

# Kernenergie ein Irrweg aus der Klimakrise

Angesichts steigender Gas- und Strompreise im Winter 2021 und stagnierendem Zubau an Erneuerbaren Energien wird der Ruf immer lauter, die deutschen AKWs länger als bis 2023 laufen zu lassen. Ja einige „alte weiße Männer“, hoffen sogar auf eine Renaissance der Atomkraft weltweit. In diesem Artikel wird zunächst ausgehend vom aktuellen Taxonomie-Streit um Atomstrom, die reale Situation der Atomkraft weltweit betrachtet. Anschließend werden die Kritikpunkte an der bestehenden Kernenergie-technik kurz erläutert und etwas ausführlicher wird auf die Gefahren beim Weiterbetrieb älter AKWs eingegangen. Danach werden die derzeit von den Atom-Lobbyisten gelaunchten Fake News und Alternativen Wahrheiten zu „neuen“ Kernkraft-Technologien, die angeblich billig und sicher seien und unsere energetische Zukunft CO<sub>2</sub>-frei retten sollen, näher unter die Lupe genommen. So erfährt man in aller Kürze das Wichtigste zum Schnellen Brüter, Hochtemperatur Reaktoren, Thorium als Kernbrennstoff, „billigen“ Mini- und Salzschmelze-Reaktoren und zur Transmutation, der angeblich unproblematischen Endlösung für Atommüll.

## Silvesterkracher 2022 „klimaneutraler“ Atomstrom soll Polen und die marode französische Energiewirtschaft retten

Nach den gültigen Klimaschutzplänen der EU werden bei Überschreitung des nationalen Treibhausgas-Budgets Strafzahlungen an die EU fällig. So ist es nicht verwunderlich, dass ausgerechnet Frankreich im Rahmen der Neuregelung der Energie-Taxonomie (was darf wie besteuert und gefördert werden) Atomstrom als „klimaneutral“ und Erdgasstrom als „klimafreundlich“ erklären lassen will. Angeblich, weil Frankreich statt in Wind- und Solarstrom in den Neubau von „klimaneutralen“ Kernkraftwerken investieren will. Der wahre Grund dürfte ein anderer sein. Zwar wird Frankreich nominell (!) zu ca. 70% mit Strom aus eigenen AKWs versorgt. Doch in der Praxis ist die Stillstandsquote der französischen AKWs sehr hoch (nur ca. 70% Verfügbarkeit). Der Stresstest nach Fukushima (2011) ergab, dass die AKWs in FR schon damals mit ca. 60 Mrd. Euro Aufwand hätten dringend „renoviert“ werden müssen, doch in Wirklichkeit flossen dafür nur ca. 15 Mrd. Stattdessen wurden vor allem Gaskraftwerke zugebaut, um die ständigen Ausfälle der maroden AKWs zu überbrücken. Der Atomkonzern Areva ging darüber pleite und wurde in den staatlichen Energiekonzern EDF fusioniert, der nun selbst defizitär wurde. Dass nun Macron 1 Mrd. Investition in Atomkraft ankündigt, ist also kein Zeichen für eine „Renaissance“ der Atomkraft, sondern eine Finanzspritze für EDF. Denn allein der Zubau eines einzigen modernen 1,6 GW EPR Reaktorblocks bester Sicherheitsstufe kostet ca. 12,5 Mrd. Euro. Es ist offensichtlich, Frankreich will seine notdürftig renovierten AKWs möglichst lange weiterlaufen lassen und sich das auch noch auf sein Treibhausgas-Budget anrechnen lassen. Auch Polen ist vehement für die neue Taxonomie, denn noch bezieht es ca. 80 % des Stroms aus Kohle. Wobei in den letzten 10 Jahren oftmals deutscher EE-Strom aushelfen musste, wenn die polnischen Kohlekraftwerke in heißen Sommern wegen Kühlwassermangel stillstanden. Auf Erdgas als Brückentechnologie mag Polen auch nicht setzen, da sich polnischer Nationalismus nicht mit russischem Erdgas verträgt. Statt auf schnellen Ausbau von EE-Stromerzeugung setzt Polen deshalb erklärtermaßen

(!) lieber auf Neubau von AKWs, ob diese Rechnung allerdings aufgeht (Baukosten, Bauzeiten, Versorgung mit Brennstäben, Entsorgung s. u!), ist fraglich.

## Die reale Lage 2021 – netto kein AKW-Zubau weltweit

In Deutschland war man bislang sicher, dass keine neuen AKWs mehr gebaut werden. So ist SIEMENS – mit seiner Tochter Kraftwerk Union einst weltweit Technologieführer beim AKW-Bau (Biblis A war 1976 der modernste und weltweit leistungsstärkste Atomreaktor) – aus Gründen mangelnder Wirtschaftlichkeit längst aus der Kernkraft ausgestiegen. Auch weltweit werden derzeit nicht wirklich neue AKWs zugebaut. Der Eindruck entsteht nur, da weltweit derzeit ca. 90 AKWs bereits seit mehr als einem Jahrzehnt in konkreter Planung bzw. im Bau sind. Selbst China erklärte bereits in 2016 seine 44 im Bau befindlichen AKWs zwar voraussichtlich fertigzubauen, aber aus Kostengründen in Zukunft nur noch auf Wind- und Solartrom zu setzen. (Was allerdings den Export von Billig-Reaktoren in alle Welt nicht ausschließt). Dass es China mit den Erneuerbaren Energie ernst meint, sieht man daran, dass China in den letzten 10 Jahren ca. 5 Billionen Dollar in erneuerbare Energien gesteckt hat. Allein in 2020 kam China beim Netzanschluss von Photovoltaik-Anlagen auf 40 GW (entsprechend ca. 4 – 6 Kernkraftwerks-Blöcken) und bei Windkraft-Anlagen auf 77 GW (entsprechend ca. 30 Kernkraftwerks-Blöcken). Weltweit liegt seit 1996 die Anzahl der aktiven AKWs konstant um die 440 (+/- 5), da nie mehr AKWs zugebaut als stillgelegt wurden. Das hat gute Gründe ...

## Bestehende AKW-Technik ist gefährlich, langwierig und unwirtschaftlich

AKWs emittieren zwar weniger CO<sub>2</sub> als Kohlekraftwerke, aber es würde weiterhin Atommüll produziert und mit fortlaufendem Alter der AKWs steigt die Gefahr von schweren Unfällen allein schon durch die naturgesetzlich gegebene Materialermüdung extrem an. Prinzipiell sprechen gegen Atomkraft als „Brückentechnologie“ einer CO<sub>2</sub>-neutralen Energiewende folgende Fakten:

- **Kernenergie ist nicht leistungsfähig genug:** Derzeit liefern rund 400 AKW weltweit nur 2 % des weltweiten Endenergiebedarfs. Selbst eine Verdopplung durch Neubau von AKWs, hätte kaum einen Effekt.
- **Es werden mehr AKWs abgeschaltet als neu gebaut:** Der globale AKW-Park ist überaltert. Der Hauptgrund für den fehlenden Neubau ist neben der Risikoeinschätzung die Unwirtschaftlichkeit von AKWs.
- **Der Neubau von AKWs ist zu langwierig:** Der Bau eines AKW dauert inklusive Planung mindestens zehn Jahre, eher aber 15 bis 20 Jahre. Der Klimawandel ist aber viel schneller!
- **AKWs sind unwirtschaftlich:** Ohne (!) Endlagerungs- und Entsorgungskosten kostet als Erzeugerpreis Strom aus neugebauten AKWs min. 10 Cent/kWh, Windkraft und Photovoltaik ab ca. 4 Cent/kWh. Mit den Kosten für Entsorgung und Endlagerung läge Kernkraft inzwischen sogar weit über 1 Euro/kWh, das stellte das Umweltbundesamt (UBA) bereits 2001 fest!
- **Kernkraft hängt deshalb am Subventionstropf:** Die wesentlichen Kosten für Bau und Rückbau der AKWs, Entsorgung und Endlagerung der Brennstäbe – heute inklusive (geplante!) Entsorgung schon ca. 300 Mrd. Euro in D – werden der Allgemeinheit und kommenden Generationen auf-

gebürdet. Für die neuen Kernkraftblöcke in Hinkley Point England subventioniert der Staat nicht nur die Hälfte der Investitionskosten von über 25 Mrd. Euro, sondern garantiert auf 35 Jahre einen Abnahmepreis von 10,5 Cent/kWh mit Inflationsausgleich. Auch in Finnland sollen trotz des Milliardengrabs AKW Olkiluoto (Kosten-Verdreifachung und 17 Jahre Bauzeit von 2005 bis 2022) weitere AKWs gebaut werden. Doch auch hier wird der Atomstrom durch eine spezielle Steuergesetzgebung für Atomstrom-Großabnehmer extrem subventioniert. Dagegen sind die Gestehungskosten bei Wind- und Solarstrom inzwischen so günstig geworden (4 bis 6 Cent/kWh), dass viele große neue Anlagen inzwischen unsubventioniert errichtet werden. Kein Wunder, denn ist die Grundinvestition einmal gemacht, gehen die Grenzkosten von EE-Strom beim Betrieb gegen Null, da Wind und Sonne nichts kosten.

- **AKWS verhindern Klimaschutz:** Jeder Euro, der in Atomkraft fließt, fehlt für den Ausbau Erneuerbarer Energien und für Investitionen in Netzausbau, Speicher und Energieeffizienzmaßnahmen.
- **AKWs sind zu unflexibel:** Im Unterschied zu Gaskraftwerken oder kombinierten Gas und Dampfkraftwerken (GuD) können AKWs ihre Leistung kaum regeln. In Kombination mit volatilen Solar- und Windstrom braucht es aber Kraftwerke, die sich bei Strommangel oder -überschuss schnell rauf oder runterfahren lassen.
- **Die Uranressourcen sind endlich:** Für den Betrieb der derzeit laufenden AKW reichen die wirtschaftlich abbaubaren Uranvorräte nur noch wenige Jahrzehnte. Bislang unerschlossene Uranquellen, wie z. B. das Meerwasser, erfordern hohen Aufwand und damit hohe Kosten. Die Sonne scheint dagegen noch 5 Mrd. Jahre. Auch Kern-Brennstoff verlängernde Techniken wie Schneller Brüter oder Thorium-Reaktoren haben sich in der Praxis bislang nicht bewährt.
- **AKWs sind zu gefährlich:** Beim Betrieb von herkömmlichen AKWs kann es jeden Tag zu einem schweren Atomunfall kommen, mit dauerhaften Folgen für Leben und Gesundheit von Millionen Menschen. Das zeigten Harrisburg in den USA, Tschernobyl in der UdSSR und Fukushima in Japan. Übrigens, 2007 schrammte auch das deutsche AKW Krümmel bei einem Trafobrand nur knapp am GAU vorbei, als die automatische Abschaltung versagte und das giftige Rauchgas in den Leitstand eindrang. Bei der Revision nach diesem Unfall zeigte sich, dass bereits 3 Brennstäbe beschädigt worden waren (Tschernobyl lässt grüßen). Es hat schon gute Gründe, dass die Versicherungswirtschaft, die seinerzeit (realistische) Berechnungen zur Sicherheit der AKWs anstellen ließ, zum Ergebnis kam, dass AKWs nicht versicherbar seien.
- **AKWs begünstigen Atomwaffenbau und Terrorismus:** Die für Brennstäbe nötige Urananreicherung ist auch eine Schlüsseltechnik zur Herstellung von Atomwaffen (→ Streit mit Iran). Ebenso die Gewinnung von Plutonium aus abgebrannten Brennstäben. Zusätzlich gilt, umso mehr AKWs weltweit herumstehen (übrigens auch kleine) umso größer ist die Gefahr, dass Material abgezweigt wird und in gefährliche Hände gelangt. Selbst wenn das radioaktive Material von Terroristen „nur“ zur großflächigen radioaktiven „Verseuchung“ eingesetzt werden sollte.
- **Das Atommüllproblem ist ungelöst:** Es gibt derzeit weltweit noch kein dauerhaft (!) sicheres Lager für Atommüll. Einzig in Finnland wurde mit dem Bau eines nach menschlichem Ermessen sicheren Endlagers in bis zu 450 m tiefem Granitgestein begonnen, das die Vorteile des dort dichten Granitgesteins mit zusätzlich gegen Wassereintrüche schützendem Ton kombiniert und in

dem der Atommüll auf hundert Jahre notfalls auch rückholbar wäre. Der dafür nötige Aufwand lässt erahnen, wie teuer Atomstrom wäre, wenn die Endlagerkosten nicht vom Steuerzahler finanziert werden. Ansonsten stehen und liegen inzwischen weltweit ca. 300 000 t hochradioaktiver Atommüll in sog. Zwischenlagern herum. Bei sog. mittel- oder schwachaktivem Atommüll sieht es nicht besser aus. Nicht nur dass in Deutschland die ins ehemalige Salzbergwerk Asse verkippten Atommüll-Fässer durchrosten und letztlich das Grundwasser bedrohen, so dass sie mit 3 Milliarden Euro Aufwand zurückgeholt werden müssen. Auch in Sibirien rosten 90 000 t Atommüll aus Frankreich und Deutschland in einfachen Stahlfässern vor sich hin. Sie wurden offensichtlich ganz legal als „Wertstoff“ nach Russland „entsorgt“.

- **Kernkraft ist umweltschädlich:** Vom Abbau von Uran über die Aufbereitung der Brennstäbe bis zur Entsorgung setzt die atomare Produktionskette radioaktive Emissionen frei mit schweren Schäden für Mensch und Umwelt. Die Aufbereitung der Brennstäbe z. B. führte inzwischen zur radioaktiven Kontaminierung des Grundwassers in Tricastin bzw. des Meerwassers in La Hague (Frankreich) und in Sellafield (England).
- **AKWs sind anfällig für den Klimawandel:** Aufgrund heißer, trockener Sommer fehlt es an den Fluss-Standorten an Kühlwasser, so dass in den letzten Jahren viele AKWs deshalb immer wieder abgeschaltet werden mussten. Der Standort am Meer macht die AKWs wg. der Kühlung mit korrosivem Meerwasser teurer und erhöht die Unsicherheit u. a. durch Überflutungsgefahr.

## Weiterbetrieb alter AKWs ist hochgefährlich!

Schon im Bereich der Rohrleitungen außerhalb des Sicherheitsbehälters der AKWs kommt es durch ganz normale Alterung des Stahls (diese ist ein unabwendbares Naturgesetz) im Lauf der Zeit zu ersten Rissbildungen. Ggfs. wird dieser Effekt durch Wasserstoffbildung im Kühlwasser noch beschleunigt. So hatten sich z. B. im belgischen Reaktor Tihange bis zu 9000 Risse gebildet. Aber auch in Deutschland ist bzw. war dies in praktisch jedem älteren AKW der Fall, egal ob z. B. in Phillipsburg, Neckarwestheim oder Krümmel. Dies ist ein großes Sicherheitsrisiko, denn bricht eine der Leitungen, kommt es bei nicht rechtzeitiger Abschaltung des AKWs zur Überhitzung des Kernbereichs mit den Brennstäben und dadurch letztlich zur Kernschmelze, dem GAU. AKWs der jüngsten und teuersten Generation – z. B. EPR III+ – haben zusätzliche Sicherungssysteme, die die Zeit bis zum Eintritt des GAUs zwar verlängern aber ihn nicht sicher verhindern können. (Beim weltweit modernsten EPR Reaktor in Taishan China entwichen bereits nach 3 Jahren Betrieb wegen Korrosionsproblemen radioaktive Gase. Die Ursache hierfür – Schwingungsprobleme – war zwar seit 2008 bekannt, trotzdem wurde der Taishan Reaktor, wohl aus Kostengründen, ohne Nachbesserung fertiggebaut). Und bei fast allen derzeit in Betrieb befindlichen alten AKWs fehlen moderne Sicherungssysteme ohnehin. Zwar werden bei allen sicherheitsrelevanten Bauwerken (wie z. B. Brücken) sog. Sicherheitsfaktoren („Sicherheitsmargen“) eingeplant, d. h. die Bauteile werden „stärker und haltbarer“ ausgelegt als theoretisch nötig. Das ist natürlich auch bei AKWs der Fall. Eine Studie des Nuklearexperten Yves Maignac (ursprünglicher Mitarbeiter bei der französischen Pro-Atom Institution CEA) später Direktor des Kernkraft kritischen World Information Service on Energy (WISE; Paris) zeigte am Beispiel des schweizerischen AKWs Beznau exemplarisch, wie die Sicherheitsmarge eines Atomkraftwerks spätestens nach 40 Jahren Laufzeit drastisch schwindet. Zwar betont Maignac, dass

die Bauteile außerhalb des Kernbereichs der AKWs regelmäßig kontrolliert und ggfs. problemlos ersetzt werden könnten. Die ursprüngliche Sicherheitsmarge mit Nachrüstungen zu erhalten, sei jedoch reine Illusion. Auch da Stillstandzeiten und das Ersetzen von Bauteilen teuer ist, kommt es bei AKWs oft nur zur „Flickschusterei“. Beim AKW Krümmel z. B. wurden defekte Rohrleitungen mit 17cm tiefen Rissen nicht etwa ausgetauscht, sondern durch Auftragschweißen nur „verstopft“. Noch gefährlicher wird es im hochradioaktiven Kernbereich der Reaktoren. Selbst wenn dieser zur Inspektion komplett demontiert würde, wären viele dort eigentlich nötige Messungen praktisch unmöglich. Deshalb warnten schon vor Bau der ersten kommerziellen AKWs viele Experten, die im Reaktorkern wirkende Neutronenstrahlung beschleunige die Alterung und Korrosion erheblich. Trotzdem wurden die ersten 20 Jahre AKWs gebaut, ohne die Wirkung der Neutronenstrahlung überhaupt gründlich erforscht zu haben. Als die spätere Forschung diesen beschleunigten Alterungsprozess im Kernbereich der Reaktoren bestätigte, wurde erstmals in 2005 – als fast alle derzeit laufenden AKWs längst gebaut waren – im Auftrag der EU-Kommission eine umfassende Studie („Nuclear Science and Technology – Validation of Constraint-Based Assessment Methodology in Structural Integrity“) zur Alterung in AKWs erstellt. Ergebnis, die Alterung ließe sich berechnen, ohne dass dies in dieser Studie allerdings auch nur an einem einzigen Beispiel exemplarisch umgesetzt worden wäre. Wie wirtschaftliche Interessen beim Weiterbetrieb von AKWs die Sicherheit überwiegen, zeigt das Beispiel des AKWs ISAR 1. Diverse Gutachten (u. a. der Niederösterreichischen Landesregierung, die befürchtete, dass bei einem GAU die Atomwolke nicht auf Bayern beschränkt bliebe) attestierten bereits nach 30 Jahren Betriebszeit massive Alterungsschäden, die die bayerische Staatsregierung auf Drängen des Betreibers EON zunächst ignorierte. Erst nach Fukushima – das zeigte, wie sicher in kommerziellem Auftrag berechnete Sicherheiten sind – wurde ISAR1 umgehend stillgelegt.

## „Brennstoff ohne Ende“ – das Märchen vom Schnellen Brüter

Bei den sog. Schnellen Brütern, verwandeln schnelle Neutronen das nicht als Kernbrennstoff geeignete Isotop Uran-238 in den Kernbrennstoff Plutonium-239. So ist es theoretisch möglich, mehr Kernbrennstoff (der dann in herkömmlichen Reaktoren eingesetzt werden kann) zu erzeugen, als verbraucht wird. Ursprünglich wurden Schnelle Brüter allerdings nur für die Atomwaffenproduktion genutzt (Atombombe geht auch mit Plutonium). Denn das im Schnellen Brüter nötige Kühlmittel Natrium macht die Konstruktion sehr aufwändig und störanfällig. Da Luft- und Wasserkontakt bei flüssigem Natrium zu schwer löslichen Bränden führt, kam es immer wieder zu Störfällen. Dazu kommt, dass heißes, flüssiges Natrium die üblicherweise im Reaktorkern verbauten Materialien stärker korrodiert als ursprünglich angenommen. Die dadurch verursachten Ausfälle (der Schnelle Brüter Super Phenix z. B. lief in 9 Jahren nur 3300 h unter Vollast) machten die Schnellen Brüter so unwirtschaftlich, dass von den bislang weltweit 11 erbauten Reaktoren nur noch 3 in Betrieb sind: In China ein 20 MW Experimentier-Reaktor und in Russland 2 große GW-Reaktoren, die aber nur noch als „Burner“ zur Vernichtung von Plutonium aus Atomwaffen verwendet werden. In Indien soll demnächst ein neuer 600 MW Reaktor in Betrieb gehen, wohl um Indien unabhängig beim Atomwaffenbau zu machen. Trotz der bisherigen Erfahrungen von über 20 gebauten und betriebenen schnellen Reaktoren mit über 400 Jahren Betriebszeit innerhalb 60 Jahren ist der Schnelle Brüter bis heute kommerziell nicht erfolgreich. Dies liegt vor allem in der niedrigen Zuverlässigkeit der bisherigen Systeme.

Auch die Wiederaufarbeitung und die Herstellung von Plutoniumbrennstoffen erwies sich für zivile Zwecke technisch als zu aufwändig und völlig unwirtschaftlich.

## Das Märchen von den sicheren Hochtemperatur Reaktoren

Herkömmliche mit Uran oder Plutonium betriebene und mit Wasser gekühlte und/oder moderierte Reaktoren laufen bei ca. 300 °C und haben deshalb einen schlechten thermischen Wirkungsgrad. Bei Kühlungsausfall und anderen technischen Defekten besteht auch die Gefahr einer Kernschmelze mit Freisetzung großer Mengen radioaktiver Substanzen. Die Idee beim HTR ist dagegen, statt Brennstäben, Kügelchen aus mit Graphit und Siliciumcarbid (SiC) ummantelten Brennstoff zu verwenden. Das Graphit wirkt dabei als Moderator, d. h. es bringt die Neutronen auf die für die Kernspaltung nötige Energie. Als Kühlmittel wird Heliumgas verwendet, das problemlos auf 1000 °C und mehr erhitzt werden kann und abgesehen zur Dampferzeugung für Dampfturbinen und Stromerzeugung auch Hochtemperatur-Energie für chemische Prozesse z. B. für die Spaltung von Wasser (→ Wasserstoffherzeugung) liefern könnte. Darüber hinaus bildet Helium unter Neutronenbeschuss keine radioaktiven Isotope. Auch sicherheitsmäßig wären HTR theoretisch im Vorteil, da das Graphit bei höheren Temperaturen einen selbstabbremsenden Effekt auf die Kernspaltung hat, was einen GAU in Form einer Kernschmelze verhindert. In der Praxis zeigte sich jedoch, dass beim Betrieb der HTR sehr schnell die radioaktiven Spaltprodukte durch die Graphit- und SiC-Hülle der Kügelchen diffundierten und sich als radioaktive Gase und Staub im Helium anreicherten. Dieser Staub führte zu starker Abrasion (mechanischem Verschleiß) der Rohrleitungen und Behälterwände. Da es beim HTR prinzipiell keine Kernschmelze geben kann, konnte scheinbar auf einen aufwändigen Sicherheitsbehälter verzichtet werden. Dieser kostenmäßige Vorteil erwies sich jedoch in der Praxis als Nachteil, da bei auftretenden Leckagen, die radioaktive Staub- und Gasmischung direkt in die Umwelt entweichen kann. Dann stellte sich heraus, dass es bei Wasser- oder Lufteinbrüchen in den Reaktor durchaus zu GAU ähnlichen Zuständen kommen kann. Als sich dann herausstellte, dass wegen des unregelmäßigen „Abbrands“ des Kernbrennstoffs in den Kügelchen praktisch keiner der je gebauten HTR einen kontinuierlichen Betrieb erlaubte, wurde weltweit alle bereits gebauten HTR eingestellt bzw. der Neubau abgebrochen. Lediglich China entwickelte auf Grundlage der bisher gemachten schlechten Erfahrungen den HTR weiter und nimmt in 2021 einen ersten und in 2022 voraussichtlich einen zweiten Pilot-HTR mit jeweils ca. 100 MW Leistung in Betrieb. Dieser HTR ist, wie gesagt, eine Billig-Lösung ohne echtes Sicherheits-Containment, was sich bei Störfällen als riskant erweisen könnte. So gehen internationale Experten davon aus, dass es bei erfolgreichem, störungsfreiem Dauerbetrieb noch bis ca. 2025 dauert, bis daraus eine produzierbare Lösung wird und weitere 10 Jahre bis das Chinesische HTR Modell in Serie gehen könnte. Auch das Problem der wirtschaftlichen Versorgung mit Kernbrennstoffen ist beim HTR nicht wirklich gelöst. Zwar erzeugt der chinesische HTR nach dem Brüter-Prinzip aus dem den Brennkugeln zusätzlich beigefügtem Thorium spaltbares U233, dass die Nutzbarkeit der Brennkugeln verlängert. Doch wie die bisherigen HTR-Projekte mit Thorium zeigten, ist die Rück-Gewinnung des U233 aus den abgebrannten Kügelchen sehr aufwändig und kostenintensiv, was mit zur Einstellung der HTRs in anderen Ländern führte. Und was auch hier vergessen wird, auch Thorium-HTR produzieren teuer zu entsorgenden Atommüll.

## Das Märchen vom unproblematischen Thorium

Dass die wirtschaftlich nutzbaren Uranvorkommen inzwischen weltweit sehr begrenzt sind, ist unbestritten. Deshalb wird gerne auf das in der Erdkruste nominell 3-mal häufiger vorkommende Thorium verwiesen. Doch Uran kommt neben feinsten Verteilung in Gesteinen (z.B. in Granit und im Meerwasser), auch in relativ angereicherten Uranerzlagern vor, die bis zu ihrer Erschöpfung einen relativ kostengünstigen Abbau erlauben. Auch der Großteil des Thoriums kommt fein verteilt vor. Allerdings sind im Unterschied zum Uran die Vorkommen mit höherer Thorium-Konzentration meist mit den Erzen anderer Metalle i. d. R. mit den „Seltene Erden“ vergesellschaftet. So stellte z. B. bereits 2008 ein im Auftrag der Regierung von Norwegen (damals weltweit Hauptlieferant von Thorium) erstellter „Thorium Report“ fest, dass eine wirtschaftliche Gewinnung von Thorium als Kernbrennstoff-Ersatz für Uran mengenmäßig unmöglich sei. Diese Aussage hat sich allerdings inzwischen relativiert (!), denn beim Abbau der inzwischen für viele Anwendungen nötigen Seltene Erden (für E-Motoren, Generatoren, Smartphones etc.) fällt beim Hauptproduzenten China ca. 10% Thorium als teuer zu entsorgender radioaktiver Abfall an. Doch China hat dafür eine geniale Lösung gefunden: In Form von HTRs und Thorium Salzschnmelze Reaktoren (s. u.!) will es seinen Thorium-Abfall in alle Welt exportieren. Rein mengenmäßig reicht das natürlich bei Weitem nichts aus, um fossile Energien oder den Zubau von Erneuerbaren Energie zu ersetzen. Aber China ist sein Thorium-Problem los, und einige unserer vergreisten deutschen Kernkraft-Professoren kriechen begierig auf diesen Leim. Auch die Behauptung, mit dem ausgebrannten Kernmaterial aus Thorium-Reaktoren gäbe es keine Probleme, ist eine „Alternative Wahrheit“. Zwar stimmt es, dass rein mengenmäßig mit Thorium weniger Atommüll entsteht. Doch dass die Radioaktivität dieser Abfälle bereits nach 500 oder gar 300 Jahren abgeklungen wäre, ist eine reine Erfindung. Zum Beispiel hat das in Thorium Reaktoren entstehende Protactinium 231 eine Halbwertszeit von 32700 Jahren. Und das aus dem Thorium-Atommüll abzutrennen, wäre ein teurer Spaß.

## Das Märchen von den billigen Mini-Reaktoren

Als die Russen nach Zusammenbruch der Sowjetunion zu viele marode Atom-U-Boote verschrotten mussten, warfen sie deren Reaktoren einfach ins Eismeer. Doch dann wurde eine „wirtschaftlichere“ Entsorgungsmethode für diesen Reaktorschrott entwickelt: Einige dieser ausgemusterten Reaktoren wurden an Land zur Stromversorgung in schwer zugänglichen Regionen Russlands aufgestellt. Da gleichzeitig auch neue Small Reactors für Atom-U-Boote gebaut werden sollten, erkannte Russland den Vorteil der Kombination von militärischer und ziviler Serien-Produktion und entwickelte einen 35 MW Typ, der sowohl in Eisbrechern aber auch als mobiles Atom-Kraftwerk eingesetzt wird (ein Schiff mit 2 solcher Reaktoren, ist bereits seit 2020 im Einsatz). Auch in den USA wurden über 60 Jahre Small Modular Reactors entwickelt, die letztlich alle mit mehr oder weniger großen Havarien endeten, in 1972 sogar mit einer kleinen Kernschmelze. (Die Vorgabe klein und billig macht solche Reaktoren eben nicht unbedingt sicherer). Zuletzt ging 2017 über der Entwicklung von SMRs sogar der ehemalige Atomgigant Westinghouse pleite. Inzwischen hat in den USA die Firma NuScale einen 45 MW Typ entwickelt, für den bis 2025 eine Bauzulassung erwartet wird. Die Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD schätzt allerdings ein, dass mit Zubau solcher Small Reactors bis ca. 2035 nur ca. 3% des bisherigen Stromverbrauchs in den 38

OECD Ländern abgedeckt werden könnte. Nicht wirklich kleine, sondern mittelgroße AKWs von ca. 350 MW Leistung will dagegen Bill Gates zusammen mit der Firma Terrapower bauen. Der erste Reaktor soll bis 2028 für 4 Mrd. Dollar (mit 2 Mrd. Staatszuschuss) erbaut werden. Obskurer Weise soll dieser Reaktor mit der hochriskanten Natriumtechnologie arbeiten und 60 Jahre halten (Das Problem der Alterung kennt der ewig junge Bill Gates nicht. Bill Gates versteht was von Software Vermarktung aber offensichtlich wenig von Physik und Chemie). Die Sicherheitsproblematik bei kleineren AKWs ist laut IAEA und NEA ähnlich groß wie bei großen AKW. Nur dass beim GAU eines einzelnen SMR die Schadensreichweite nicht so groß wäre, wie bei einem großen AKW im GW-Bereich. Allerdings können viele kleine Havarien auch große Flächen radioaktiv verseuchen. IAEA und NEA kamen deshalb bereits 2014 bzw. 2016 zum Schluss, dass SMR ihre behaupteten Sicherheitsvorteile erst in einer ersten Generation im praktischen Betrieb beweisen müssten (und dieser „Probetrieb“ müsste, wie Tschernobyl und Fukushima zeigten, allerdings Jahrzehnte dauern). Auch bezüglich Versorgung mit Brennstoff und Entsorgung bieten die SMRs in herkömmlicher Technik keine Vorteile. Mit Sicherheit ist jedoch die Gefahr wesentlich größer, dass bei vielen kleinen, dezentralen, SMRs Kernmaterial abgezweigt wird oder Attentate auf SMRs verübt werden.

## Das Märchen von den billigen Salzschnmelze-Reaktoren

Hochtemperaturreaktoren versprechen einen besseren Wirkungsgrad und damit bessere Ausnutzung des Kernbrennstoffs. Und da man statt Helium auch eine Salzschnmelze als Kühlmittel verwenden kann, hat China neben dem Thorium-Kugelhaufen Reaktor mit Helium auch das Konzept des Molten Salt Reactor (MSR) in Form eines Small MSR weiterentwickelt. Das Salz ist in diesem Fall nicht nur Kühlmittel, sondern der Kernbrennstoff ist als Mischung von Uran 235 mit Thorium 232 in flüssigem Salz gelöst, das gleichzeitig als Moderator dient. Theoretisch hat dieser „integrierte“ MSR große Vorteile. Das Salz hat eine die Kernspaltung regulierende Wirkung (eine Überhitzung wird bei normalem Betrieb abgebremst und eine Kernschmelze „automatisch“ verhindert). Die Stillstandzeiten für Brennstabwechsel entfallen, denn der nötige Kernbrennstoff kann kontinuierlich während des Betriebs nachgefüllt und immer in optimaler Konzentration gehalten werden. Aber auch dieser Reaktortyp hat große Sicherheitsrisiken. Sollte nämlich das externe Kühlsystem (Wasser zur Dampferzeugung für Turbinen) ausfallen und das Salz zu schnell erstarren, kann es wieder zu einem Hochlaufen der Kernspaltung kommen, die den Reaktorkern so überhitzen würde, dass die radioaktive Salzmischung nach außen durchbrechen könnte. Ob das – wie von den Chinesen geplant – mit vielen separaten, internen Auffangbehältern tatsächlich vermieden werden kann, ist im praktischen Notfall einer Anlage im MW-Bereich noch nie erprobt worden. Sicher weiß man jedoch, dass in der Salzschnmelze radioaktive Gase wie Krypton 85 und Tritium entstehen, die, wenn sie nicht einfach in die Umwelt abgeblasen werden, aufwändig abgetrennt und zwischengelagert werden müssten. Das Kernkraft freundliche *Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire* (IRSN) sagte 2016, die abgetrennten Gase müssten bei – 255 °C für 100 Jahre zwischengelagert werden. Welche Billig-Lösung die Chinesen dafür gefunden haben, bleibt ein Geheimnis. Auch die Entsorgung bzw. Endlagerung der ausgebrannten Salzschnmelze ist ungeklärt. Die Wirtschaftlichkeit der Abtrennung aller weiter nutzbaren Materialien und aller besonders radioaktiven Abfallprodukte wurde bislang von allen Pilotprojekten und darauf basierenden Studien bestritten. Alles deutet auch hier auf eine gefährliche Billiglösung hin. Die ursprünglich schon falsche Aussage, dass bei dem Atommüll aus Thorium Reaktoren mit nur(?) 1000 Jahren „sicherer Ver-

wahrzeit“ zu rechnen sei (s. o. „Das Märchen vom unproblematischen Thorium“), wurde inzwischen von manchen Atom-Lobbyisten zu „nach 300 Jahren keine Strahlung mehr“ umgelogen. Die Chinesen behaupten auch, dass ihr Reaktor bis zu 60 Jahre Haltbarkeit habe. Doch es ist bekannt, dass die verwendeten Salzschnmelzen auf alle bis 2016 bekannten Werkstoffe für Wärmeaustauscher und Rohrleitungen bereits nach wenigen Jahren korrodierend wirken. Eine Schweizer Firma, die ebenfalls einen MSR entwickelt hat, geht noch 2020 davon aus, dass der Reaktorkern deshalb alle 7 Jahre komplett ausgetauscht werden müsse. Auch hier bleibt es ein Geheimnis, welche Billiglösung China dafür gefunden hat. Ungeachtet dieser offensichtlichen Ungereimtheiten, bejubeln Ende 2021 große Teile der Presse, des Fernsehens und auch der (a)sozialen Medien die von der Atomlobby gelaunchte Meldung „Sicher, klein und billig – China baut ersten Thorium Reaktor“. Was die Jubler verschweigen, es ist erst ein kleiner Experimentier-Reaktor mit 2 MW Leistung, der da Ende 2021 in China in Betrieb ging. Und bei Erfolg soll dann 2030 ein erster 30 MW Prototyp erbaut und weiter erprobt werden. Dann allerdings will China mit MSRs von 30 MW bis ca. 350 MW denn Weltmarkt aufrollen. Denn – hier sind die Chinesen ehrlich – ihre kleinen MSR werden pro kW Leistung gar nicht billiger sein als die großen herkömmlichen AKWs. Aber da der Preis pro SMR auch für arme Länder finanzierbar sei, sinke weltweit die Einstiegsschwelle in Atomkraft, so ein Sprecher der chinesischen Atomenergiewirtschaft. Und, wie gesagt, China könnte endlich seine Thorium-Abfälle weltweit kostengünstig entsorgen.

## Das Märchen von der Transmutation radioaktiven Abfalls

Abgebrannte Brennelemente aus herkömmlichen AKWs enthalten eine Vielzahl radioaktiver Elemente in Form von Spaltprodukten wie z. B. Selen-79, Zirconium-93, Technetium-99, Palladium-107, Iod-129 und Cäsium-135 sowie Transurane (Elemente schwerer als Uran) wie z. B. Neptunium, Plutonium, Americium und Curium. Typischerweise enthält abgebrannter Brennstoff aus AKWs etwa 1% Plutonium, ca. 0,1-0,2% weitere Transurane und 4-6% leichtere radioaktive Spaltprodukte. Würde dieser Atommüll im Gemisch endgelagert, müsste man sich nach den enthaltenen Elementen mit den längsten Halbwertszeiten richten und das sind ca. 15 Mio. Jahre. Das ist der Grund für den nötigen hohen Aufwand bei einer sicheren Endlagerung des hochradioaktiven Atommülls. Ursprüngliche Idee war eine völlige Auftrennung des Atommülls und Sortierung nach Halbwertszeiten, so dass man nur die am Längsten strahlenden Bestandteile langzeit-sicher hätte endlagern müssen. Doch das erwies sich als hoffnungslos aufwändig und kostenintensiv. Die Alternative dazu bei der Entsorgung des langlebigen Atommülls wäre theoretisch eine Transmutation. So wird das Verfahren bezeichnet, beim dem der Atommüll solange mit Neutronen beschossen wird, bis alle Elemente in nicht mehr radioaktive Elemente bzw. in Elemente mit sehr kurzer Halbwertszeit aufgespalten sind. Dieser Restmüll könnte dann unter wesentlich geringeren Sicherheitsvorkehrungen endgelagert werden. Da für eine Transmutation die leichteren im Unterschied zu den schwereren Elementen jedoch Beschuss mit Neutronen ganz anderer Energien benötigen, müsste man den Atommüll dazu nacheinander durch zwei verschiedene Transmutationsreaktoren schicken. Dies war zu aufwändig, weshalb alle bisher experimentell erprobten Verfahren sich auf die Transmutation der Transurane in modifizierten Schnellen Brütern beschränkten. Was dann immer noch Atommüll liefert, der aber angeblich nur 1000 Jahre absolut sicher aufbewahrt werden muss. Eine deutsche Studie kam 2015 zum nüchternen Ergebnis, dass die Kosten für Transmutation und ein auf 1000 Jahre sicheres Endlager mit Sicherheit größer seien, als den

Atommüll gleich unbehandelt auf Mio. Jahre sicher zu endzulagern. Kurzum, die bisher angedachte Transmutationstechnologie war so aufwändig, dass aus Kostengründen alle Projekte wieder aufgegeben wurden. Einzig in Russland laufen, wie gesagt derzeit zwei zum „Burner“ umgebaute Schneller Brüter zur Vernichtung von überschüssigem Atomwaffen-Plutonium. Es gibt jedoch auch eine Alternative zum modifizierten Schnellen Brüter, eine Transmutation mit Neutronenbeschuss aus einem Teilchenbeschleuniger. Das hätte den Vorteil, dass der Atommüll innerhalb derselben Anlage nacheinander mit Neutronen verschiedener Energien beschossen werden könnte. So dass letztlich nur noch leicht radioaktiver Müll übrigbliebe. Doch hier steckt die Forschung und Entwicklung noch in den Kinderschuhen. In Europa soll in Belgien ab ca. 2030 im MYRRHA (Multi-purpose Hybrid Research Reactor for High-tech Applications) einem unterkritischen Kernreaktor mit integriertem Teilchenbeschleuniger als zusätzlicher Neutronenquelle getestet werden, ob das Verfahren überhaupt funktioniert. Ein japanisches Konkurrenzprojekt, das eigentlich bereits 2020 in Testbetrieb gehen sollte, wurde 2013 nach einem schweren Unfall wieder eingestellt. Kurzum, vielleicht klappt die Transmutation in ein paar Jahrzehnten, aber ob sie je bezahlbar wird, ist noch unsicherer.

## Vertröstung auf Kernenergie als Energiewendebremse

Selbst wenn einmal neue Technologien tatsächlich ein von gefährlichen Risiken und irreversiblen Schäden freie Nutzung von Kernenergie ermöglichen sollten, und das zu geringen Kosten, dann würde das nach heutigem Stand der Technik noch viele Jahrzehnte dauern. Dazu lässt uns aber die Geschwindigkeit des Klimawandels gar keine Zeit. Es ist zwar verständlich, wenn in der Kernenergie tätige Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker nur ungern von der Kernenergie lassen (wer wird schon gerne überflüssig). Und es ist verständlich wenn auch junge, zukunftsorientierte Menschen auf die plausibel (!) klingenden „Argumente“ dieser Atomlobby reinfallen. Und es ist auch verständlich, wenn Teile der fossilen Energie-Lobby auf den Atomzug mit aufspringen, denn mit der Vertröstung auf eine atomare Zukunft, die Windräder und Solarfelder überflüssig macht, können sie ihr Erdgas länger verkaufen. Doch wir sollten uns nicht an der Nase rumführen lassen, und stattdessen unverzüglich die Erzeugung, Verteilung und Speicherung erneuerbarer Energien vorantreiben!