



## Faktenblatt – Neue Atom-Reaktoren

**Von Atombefürwortern immer wieder als Allerheilmittel der Energieversorgung angepriesen, erhalten neue Atomreaktormodelle regelmässig die Aufmerksamkeit von Öffentlichkeit und Medien. Die meisten Modelle existieren jedoch erst in Form von Prototypen, auf dem Papier oder als bislang leere Versprechungen der Atomlobby. Zudem sind sie bei genauerem Hinschauen längst nicht mehr so vielversprechend wie von der Atomlobby dargestellt.**

Eine offizielle Einteilung, welche Reaktortypen unter «neue Reaktoren» fallen, existiert nicht. In den meisten Fällen handelt es sich um Modelle, die bisher noch nicht kommerziell Strom produziert haben. Dieses Faktenblatt gibt einen Überblick über diejenigen Modelle, die häufig im Zusammenhang mit «neuen Reaktoren» erwähnt werden. Es zeigt Vor- und Nachteile dieser AKW-Typen auf und beleuchtet den aktuellen Stand der Forschung.

Der erste Teil gibt eine kurze Übersicht der verschiedenen AKW-Generationen und gängigen Reaktortypen. Im zweiten Teil werden die «neuen Reaktormodelle» genauer betrachtet. Im Fazit wird deren Rolle für die Energiewende analysiert.

### Inhaltsübersicht

1	Auslegeordnung Reaktortypen.....	1
1.1	AKW-Generationen.....	1
1.2	Alte Reaktortypen in der Schweiz.....	2
1.3	Schweiz unterstützt Atomforschung finanziell .....	2
2	«Neue Reaktoren» .....	3
2.1	Generation III+ nach wie vor nicht am Netz .....	3
2.2	Generation IV Reaktoren noch in weiter Ferne .....	3
2.3	Kernfusion bleibt Utopie.....	5
2.4	Neue Reaktoren und Atommüll.....	6
3	Energiepolitische Analyse und SES-Fazit .....	7

# 1 Auslegeordnung Reaktortypen

## 1.1 AKW-Generationen

Atomkraftwerke werden gemäss ihrem technischen Stand in Generationen eingeteilt.

### Generation I und II sind Prototypen und ältere Modelle

Zur Generation I gehörten Prototypen nach den Kriegsjahren um 1950. Die beiden uralten Schweizer AKW Beznau I und II (1969 bzw. 1971) und Mühleberg (1972) gehören zur Generation II. Beznau I ist das älteste AKW weltweit, das noch in Betrieb ist. Auch Gösgen (1979) und Leibstadt (1984) sind etwas modernere Vertreter der Generation II.

### Generation III und III+ haben ein fortschrittlicheres Design

Schon seit Jahren sind Reaktoren der Generation III ein Thema. Doch wirklich in Betrieb sind nur wenige. In China und Indien etwa sind eine Handvoll Reaktoren der Generation III am Netz.

Mit Reaktoren der Generation III+ konnte noch nirgends kommerziell Strom erzeugt werden. Es befinden sich jedoch wenige Reaktoren im Bau. Der europäische Druckwasserreaktor EPR beispielsweise wird in Frankreich in Flamanville und in Finnland in Olkiluoto gebaut. Beide Projekte sind stark verzögert und kämpfen mit ausufernden Kosten. Einige Reaktoren der Generation III+ sollen dereinst auch als so genannte Small and Modular Reactors (SMR) gebaut werden. Diese sollen dank geringerer Grösse und modularer Bauweise wirtschaftlicher sein.

### Generation VI und Kernfusion sind bislang Zukunftsmusik

Bei der Generation IV handelt es sich nicht um Weiterentwicklungen bisheriger Technologien, sondern um neue bzw. wieder aufgenommene andersartige Reaktorkonzepte. Die Kernfusion ist hingegen ein völlig neuer Ansatz der Energiegewinnung.

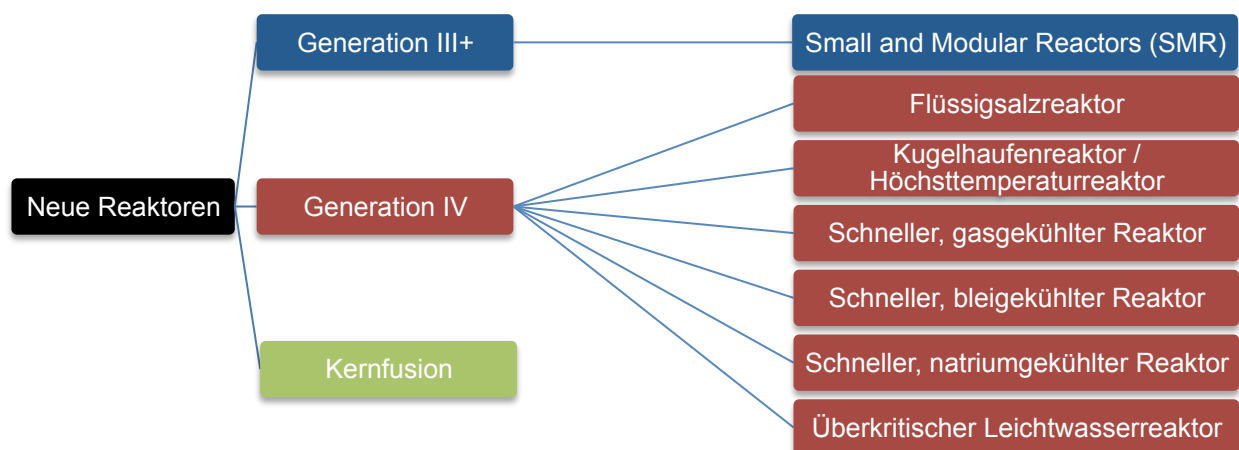


Abb. 1: Der Überbegriff «neue Reaktoren» ist nicht klar definiert, umfasst jedoch meistens die Small and Modular Reactors der Generation III+, die Generation IV Reaktoren und die Kernfusion. Unter den Generation IV Reaktoren sind die bekanntesten Typen aufgeführt. Weitere Typen der Generation III+ wie etwa der European Pressurized Water Reactor EPR gelten meist nicht als «neue Reaktoren».

## 1.2 Alte Reaktortypen in der Schweiz

Nach den Kriegsjahren hat man an diversen Reaktortypen geforscht. Durchgesetzt hat sich der Leichtwasserreaktor, bei dem sogenannt leichtes Wasser (= normales Wasser) als Kühlmittel und Moderator dient. Alle fünf AKW der Schweiz sind Leichtwasserreaktoren. Beim Leichtwasserreaktor unterscheidet man zwischen zwei Arten, dem Siedewasserreaktor (Leibstadt und Mühleberg) und dem Druckwasserreaktor (Beznau I und II, Gösgen). Ersterer funktioniert, indem die Brennstäbe die Hitze ans Wasser abgeben, dieses zu sieden beginnt und dann der Dampf eine Turbine antreibt. Beim Druckwasserreaktor bleibt das Wasser durch den hohen Druck im Reaktorkern flüssig und heizt einen Wärmetauscher, welcher wiederum Wasser bis zur Vergasung aufheizt, so dass die Turbine angetrieben werden kann.

In den 60er Jahren wurde auch in der Schweiz an einem eigenen Reaktortyp geforscht. Daraus entstanden ist ein Schwerwasserreaktor und folglich der Versuchsreaktor Lucens, der in einer Kaverne gebaut wurde. Dieser wurde nach acht Jahren Bauarbeiten im Januar 1969 zum zweiten Mal hochgefahren. Dabei kam es zu einem Unfall mit Kernschmelze eines Brennelementes. Die Anlage war daraufhin nicht mehr betriebsfähig. Trotz Dekontaminierung der Anlage werden noch heute vereinzelt erhöhte radioaktive Werte in der Umgebung gemessen.

## 1.3 Schweiz unterstützt Atomforschung finanziell

Trotz der weltweit rückgehenden Bedeutung der Atomkraft<sup>1</sup> wird fleissig an «neuen» Reaktormodellen geforscht. Die Schweiz ist Mitglied des Generation IV International Forum (GIF), dem 13 Staaten angehören und investiert jährlich drei Millionen Franken in diese Forschung. Das GIF verfolgt das Ziel, auserwählte Reaktormodelle der Generation IV (siehe Abb. 1) für die zweite Hälfte des 21. Jahrhundert zur Marktreife zu bringen.

---

<sup>1</sup> Siehe auch World Nuclear Industry Status Report 2015: <http://www.worldnuclearreport.org> (15. Juli 2015)

## 2 «Neue Reaktoren»

### 2.1 Generation III+ nach wie vor nicht am Netz

Bei dieser Generation gehen wir hier ausschliesslich auf die Small and Modular Reactors (SMR) ein.

#### Small and Modular Reactors (SMR)

Small and Modular Reactors sollen laut Atombranche die Zeit überbrücken bis Reaktoren der Generation IV auf den Markt kommen. Es handelt sich um kleine Reaktoren mit bis zu 300 Megawatt (MW) Leistung. Zum Vergleich: Das AKW Leibstadt hat eine Leistung von 1275 MW, das AKW Mühleberg 373 MW. Das Ziel ist, modulare Reaktoren dereinst in «Massenproduktion» anfertigen zu können, um die Kosten zu senken. Viele kleine Reaktoren sollen zur Stromversorgung beitragen und in unmittelbarer Nachbarschaft von Grossverbrauchern gebaut werden.

Gemäss World Nuclear Association sind bereits vier SMR am Netz (China, Pakistan, Indien, Russland). Sie sind jedoch nicht Vertreter der Generation III+, sondern eines weniger fortgeschrittenen Designs. Das erklärte Ziel ist, SMR auf dem Stand von modernen III+ Reaktoren zu bauen. Doch dies führt nur zu vernachlässigbaren Vorteilen gegenüber herkömmlichen Reaktoren. Langlebiger, giftiger Atommüll wird weiterhin produziert und auch die Risiken des Austritts von Radioaktivität und des Missbrauchs durch die Waffenindustrie bestehen weiterhin. SMR sind deshalb keine Lösung für unsere Energiezukunft. Die erhofften wirtschaftlichen Vorteile gegenüber grösseren Reaktoren zeigen sich noch nicht. SMR werden nur gebaut, wo sie durch den Staat finanziell subventioniert werden, wie etwa in Russland und China.

### 2.2 Generation IV Reaktoren noch in weiter Ferne

#### Generation IV Reaktoren sind die Verlierer von gestern

Das Generation IV International Forum (GIF) hat unter mehr als hundert Generation IV Modellen die sechs vielversprechendsten ausgewählt (siehe auch Abb. 1), mit dem Ziel diese bis zur Marktfähigkeit weiterzuentwickeln. Diese sechs Reaktormodelle haben eine Gemeinsamkeit: Es sind allesamt alte Modelle. In der Anfangsphase der Atomindustrie wurden sie bereits erfolglos erforscht. Von einigen Typen existierten Testreaktoren, die in den 1950er und 60er Jahren aus diversen Gründen wieder abgestellt wurden. Weltweit durchgesetzt hat sich als einziges Modell der Leichtwasserreaktor. Die Generation IV Reaktoren hinken dem Leichtwasserreaktor in der Forschung und in der Praxis also um Jahrzehnte hinterher. Folgend werden nur die beiden bekanntesten Typen genauer betrachtet; der Flüssigsalzreaktor (A) sowie der Kugelhaufenreaktor (B).

#### A) Flüssigsalzreaktor – Molten Salt Reactor (MSR)

In konventionellen Reaktoren befindet sich das Uran in Brennstäben. Im Unterschied dazu zirkuliert der Brennstoff des Flüssigsalzreaktors in einer Salzschmelze. Dies ermöglicht eine höhere Ausbeute des Brennstoffs. Weiter soll der Flüssigsalzreaktor bei sehr hohen Temperaturen (ca. 1400°C) unter Normaldruck betrieben werden.

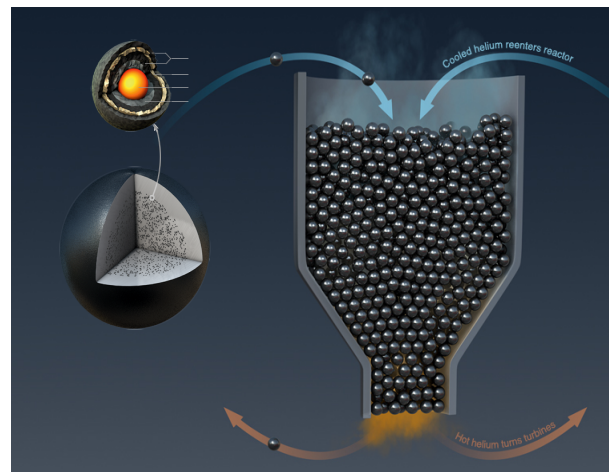
Als Vorteil propagieren die Forscher die intrinsische Sicherheit des Flüssigsalzreaktors. Eine Kernschmelze sei theoretisch nicht möglich, da das System sich selbst reguliere und nicht auf Notkühlungen angewiesen sei. Das Risiko wird jedoch vor- und nachverlagert. Die Aufbereitung des Brennstoffes ist kritisch und wie die chemische Separierung von Spaltprodukten aus der Schmelze aussehen soll, ist unklar. Ganzheitliche Sicherheitsanalysen für den MSR gibt es noch keine, bisher sind nur spezielle Aspekte der Sicherheit betrachtet worden.

Der Reaktor ist noch Jahrzehnte vom kommerziellen Betrieb entfernt, denn diverse technische Herausforderungen sind noch ungelöst. Zum Beispiel hat noch kein Material überzeugt, welches den hohen Temperaturen und der extremen radioaktiven Bestrahlung (Korrosionsprobleme) über Jahrzehnte standhält. In der Forschung des Flüssigsalzreaktors sind heute neben Privatfirmen die Atomkräfte Japan, China, Grossbritannien und die USA tätig. Dabei sind die chinesischen Bemühungen mit dem Bau eines ersten Testreaktors in Shanghai (2 MW Leistung), der 2020 fertig gebaut sein soll, am weitesten fortgeschritten.

## **B) Höchsttemperaturreaktor (Kugelhaufenreaktor) - Very High Temperature Reactor (VHTR)**

Der Kugelhaufenreaktor ist die bekannteste Variante eines Höchsttemperaturreaktors. Der Brennstoff ist in tennisballgrosse Graphit-Kugeln eingeschlossen (siehe Abb. 2). Bei diesem Modell soll laut Forschung selbst bei Komplettausfall der Kühlung keine Kernschmelze möglich sein. Durch sehr hohe Temperaturen können jedoch auch ohne Kernschmelze erhebliche Mengen von Radioaktivität in die Umwelt gelangen. Wie beim Flüssigsalzreaktor bilden die hohen thermischen Lasten der Betriebstemperatur von ca. 1600° technische Knackpunkte. Kritik erntet der Kugelhaufenreaktor auch im Bereich Atommüll. Vor allem beim Rückbau würden hohe Mengen an radioaktivem Material anfallen, da der gesamte Kühlkreis mitsamt den Kugeln radioaktiv verseucht ist.

Dieses Reaktorkonzept wurde erstmals 1985 in Hamm-Uentrop (D) angewendet. Nach vier Jahren Laufzeit wurde jener Versuchsreaktor aus Kostengründen und wegen häufigen Störfällen bereits wieder heruntergefahren. Ein Versuch von Südafrika ist 2010 aufgrund von Geldmangel eingestellt worden. Ursprünglich sollte das Modell auch zur Wasserstoffgewinnung und Meerwasserentsalzung eingesetzt werden. Aufgrund der technischen Probleme mit hohen Temperaturen dominiert jedoch heute die Forschung an Reaktoren mit tieferer Betriebstemperatur. Staaten wie Kanada, China, Frankreich, Japan, Korea, die Schweiz, USA und Südafrika sind in der Forschung involviert.



*Abb. 2: Beim Kugelhaufenreaktor ist der Brennstoff in Graphitkugeln eingeschlossen. Heliumgas soll als Kühlmittel durch die Kugeln zirkulieren. Die Technologie steckt noch in den Kinderschuhen.*

## 2.3 Kernfusion bleibt Utopie

### Wie funktioniert Kernfusion?

Bei der Kernspaltung wird ein Atomkern in zwei oder mehrere Bestandteile zerlegt. Bei der Kernfusion hingegen verschmelzen zwei Atomkerne zu einem neuen Kern (Abb. 3). Dieser Prozess findet zum Beispiel in der Sonne statt und setzt enorme Energien in Form von Wärme frei.

Um eine Kernfusion zu erreichen, versuchen Forscher Wasserstoff in Helium umzuwandeln. Dafür braucht es auf der Erde eine Temperatur von mehr als 100 Millionen Grad Celsius (das ist eine etwa 10 Mal höhere Temperatur als in der Sonne). Damit das Plasma im Reaktor überhaupt diese Temperaturen erreichen kann, muss ein Magnetfeld geschaffen werden, das verhindert, dass Plasma an die Reaktorwände trifft und abkühlt. Im Jahr 1991 ist Kernfusion erstmals für zwei Sekunden lang gelungen. Das Ziel besteht darin, bis zu 100 mal mehr Energie zu erzeugen, als hineingesteckt werden muss. Bislang ist es in keinem Experiment gelungen, mehr Energie zu erzeugen, als es für die Erstellung des Plasmas brauchte.

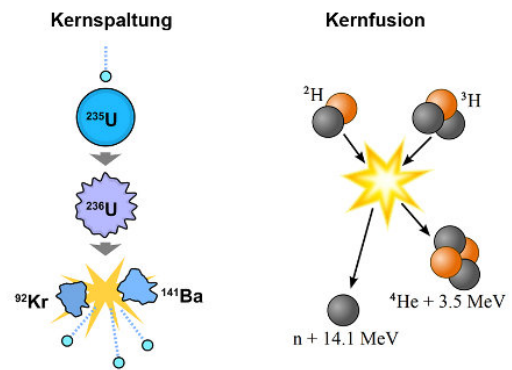


Abb. 3: Bei der Kernspaltung (heutige AKW) wird Energie frei durch die Spaltung von Atomen. Bei der Kernfusion soll Energie durch Fusion von Atomen freigesetzt werden.

### ITER-Kernfusionsexperiment als unüberschaubares Riesenprojekt

Das bekannteste Projekt in der Kernfusionsforschung ist der Versuchsreaktor ITER in Südfrankreich. Die EU, Japan, USA, Russland, China, Südkorea und Indien leisten einen Beitrag an die Projektkosten von rund 15 Milliarden US Dollar. Die Schweiz beteiligt sich mit 40-60 Millionen Dollar jährlich. Der Bau der Versuchsanlage dauert Jahre und bereits mehrmals musste das Management Verzögerungen bekanntgeben (Abb. 4). Aktuell heisst es, dass die Experimente 2027 starten. Gemäss Angaben auf der Webseite des Projekts wird die Kernfusion frühestens im letzten Viertel des 21. Jahrhunderts ihren Beitrag an die Energieversorgung leisten können – und dies nur, falls die Experimente mit ITER und der geplanten Nachfolganlage DEMO erfolgreich verlaufen.



Die Kernfusion steckt demnach noch in der Grundlagenforschung. Sie ist für die heutige Energiedebatte völlig irrelevant. Angesichts der Unsicherheit des Erfolgs würden die Milliarden besser in bereits funktionierende erneuerbare Energien investiert werden.

Abb. 4: Die ITER-Baustelle für Experimente zur Kernfusion ist noch kaum fortgeschritten (Quelle: [www.iter.org](http://www.iter.org), 2015)



## 2.4 Neue Reaktoren und Atommüll

### Können neue Reaktoren Atommüll «unschädlich» machen?

Einige der Generation IV Modelle sollen die Vernichtung von radioaktiven Abfällen ermöglichen. Durch Beschuss von Neutronen werden radioaktive Isotope wie etwa Plutonium tatsächlich in weniger langlebige Produkte umgewandelt. Bei diesem Vorgang spricht man von Transmutation. Transmutation ist theoretisch möglich, bislang jedoch erst in Laborversuchen gelungen. Die Forschung in diesem Bereich ist noch soweit in ihren Anfängen, dass heute nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Vernichtung unseres Atommülls jemals technisch möglich und wirtschaftlich sein wird.

### Kann Atommüll dank Thorium reduziert werden?

Im selben Atemzug mit Generation IV Reaktoren wird oftmals der Brennstoff Thorium genannt, der deutlich weniger Atommüll als Uran verursachen soll. Thorium ist nicht spaltbar und muss daher unter Einbezug eines Startbrennstoffs in Uran-233 umgewandelt werden. In diesem Zyklus werden etwas weniger langlebige Stoffe produziert als mit den üblichen Brennstoffen Uran-238 und Uran-235. Jedoch sind einige der Zerfallsprodukte zu Beginn extrem radioaktiv und bereits in kleinen Mengen gefährlich. Deshalb ist die Fabrikation deutlich teurer, schwieriger und auch unsicherer.

Das pronukleare U.S. Departement für Energie schreibt, die Wahl zwischen Thorium und Uran basiere einzig auf Vorlieben und es gäbe keine fundamentalen Differenzen was z.B. Abfallmanagement, Sicherheit oder Nachhaltigkeit angehe. Auch die Atommacht Grossbritannien kommt in einem unabhängigen Assessment zum Schluss, dass die Vorteile von Thorium überbewertet worden sind und der Brennstoff in den nächsten Jahrzehnten keine entscheidende Rolle spielen wird.

### Geschlossener Brennstoffkreislauf mit «schnellen Brütern»?

Als «schnelle Brüter» werden Reaktoren bezeichnet, die Brennstoff erbrüten bzw. herstellen. «Schnell» deshalb, weil dies unter einem temporeichen Neutronenspektrum geschehen soll, das heisst das Kühlmittel darf nicht bremsend wirken (deshalb Natrium statt Wasser). Das von üblichen Reaktoren nicht brauchbare Uran-238 wird in Plutonium umgewandelt und erzeugt dabei Energie. Es wurde damit geworben, dass so das Uran-238 aus alten Brennstäben benutzt werden könnte und das Abfallproblem verringert werden würde. An «schnellen Brütern» wird schon seit den 70er Jahren geforscht. Von der anfänglichen Euphorie ist jedoch wenig geblieben. Es hat sich gezeigt, dass Brüter im Vergleich zu herkömmlichen Leichtwasserreaktoren entscheidende Nachteile mit sich bringen:

- Noch gefährlicher: Das Kühlmittel Natrium reagiert mit Wasser und Luft explosionsartig.
- Die Herstellung von sehr giftigen Plutonium, das zudem als Waffenmaterial verwendbar ist.
- Die Umweltverseuchung bei den Wiederaufbereitungsanlagen der alten Brennstäbe, die im Brüter gebraucht werden.

Selbst das International Panel on Fissile Materials musste zugestehen, dass die Brütertechnologie trotz jahrzehntelanger Forschung die Erwartungen nicht erfüllt. Die meisten der effektiv gebauten Brüter sind nach Problemen und technischen Defekten (z.B. der Superphénix in Frankreich) frühzeitig stillgelegt worden. Damit ist der Traum vom «geschlossenen Brennstoffkreislauf» vorerst ausgeträumt.

### 3 Energiepolitische Analyse und SES-Fazit

Die sogenannten neuen Reaktoren bergen Hoffnungen aber auch grosse Probleme. Zusammenfassend lässt sich Folgendes festhalten:

- **Keine Lösung für unsere Stromversorgung:** Selbst die Atomindustrie geht davon aus, dass die neuen Reaktoren frühestens in den 2030er Jahren kommerzialisiert werden können. Kritiker meinen, dass dies allerfrühestens gegen Mitte des Jahrhunderts der Fall sein wird, mittlerweile steht jedoch in den Sternen, ob diese Reaktoren jemals wirtschaftlich Strom produzieren werden. Teil der Lösung der heutigen Energiefrage und des Klimaproblems werden sie definitiv nicht sein.
- **Vermeintliche Sicherheit:** Einige der Modelle versprechen ein Nullrisiko für eine Kernschmelze und deutlich geringere Halbwertszeiten für Atommüll. Bei der Atomkraft bleibt jedoch immer ein Restrisiko der Freisetzung von radioaktivem Material. Dazu kommt, dass die Sicherheitsversprechen der Forschung auf theoretischen Berechnungen fussen. Wie sicher diese Reaktoren wirklich sind, wird erst die Nutzung zeigen. Genau das Argument der inhärenten Sicherheit wurde immer auch für den Leichtwasserreaktor verwendet – bis wir durch Tschernobyl und Fukushima eines Besseren belehrt wurden.
- **Neue Reaktoren sind die Verlierer von gestern:** Die Reaktoren der vierten Generation beruhen auf alten Konzepten, welche sich in der Anfangsphase der Kerntechnologie nicht durchgesetzt haben. Es ist mehr als fragwürdig, warum ausgerechnet diese Modelle den heute führenden Leichtwasserreaktor mit jahrelangem Technologievorsprung ablösen sollen.
- **Propaganda anstatt Marktreife:** Die Forschung an neuen Reaktoren wirbt mit verheissungsvollen Zukunftsvisionen. Fast symptomatisch sind die Ankündigungen der «Beinahe-Marktreife» diverser Technologien, die dann jeweils wieder in die Zukunft verschoben werden.
- **Kosten als Feind Nr. 1:** Aufgrund der erhöhten Sicherheitsvorkehrungen und der benötigten exotischen Materialien würden die AKW der Generation IV vermutlich nochmals deutlich teuer sein als herkömmliche Modelle. Ein Vorgeschmack dafür geben die Kostenexplosionen der sich im Bau befindenden Generation III+ Reaktoren. Sicher ist, die Forschung verschlingt schon heute Milliarden und das, obwohl nach wie vor ungewiss ist, ob die Reaktoren jemals zur Produktion von Strom eingesetzt werden können. Dieses Geld würde besser in erneuerbare Energien investiert, welche bereits heute zuverlässig, sicher und günstig Strom produzieren.

➤ **«Neue Reaktoren» sind keine Lösung für die Energiewende**

*„Die Theorie träumt, die Praxis belehrt.“*

Karl von Holtei (1798 - 1880), deutscher Schriftsteller und Schauspieler