

<https://www.sueddeutsche.de/wissen/atomkraft-klimawandel-erderwaermung-energie-1.4233713>

Anmerkung: Farbige Markierungen und Text in Farbe wurden von GWS eingefügt.



30. November 2018, 18:52 Uhr - Von Christian J. Meier

Energieversorgung

Kann Atomkraft den Klimawandel stoppen?



Steht die Atomenergie vor einem Comeback? (Foto: Stefan Dimitrov)

- Ingenieure arbeiten an einer vierten Generation von Kernreaktoren, die effizienter und sicherer sein sollen. Ein neuartiger Flüssigsalzreaktor nutzt etwa statt fester Brennstäbe flüssigen nuklearen Sprit - **Uran in Salzform**.
- Die neuen Kraftwerke wollen nebenbei noch das Atommüllproblem lösen. Statt neuen Abfall zu produzieren, sollen sie den alten schlucken.
- Kernenergie-Start-Ups und einige Wissenschaftler pochen darauf, dass Kernkraft als klimaneutrale Energiequelle nötig sei, um den Klimawandel zu bremsen. Kritiker halten diese Versprechen aber für verfrüht.

Vielleicht hat sich Walt Disney für seinen Film "Unser Freund das Atom" von einem Tennisball inspirieren lassen. Ein Tennisball reicht, um 20 000 Haushalte ein Jahr lang mit Strom zu versorgen. Man muss ihn dafür nur mit Uran befüllen.

Genau darum ging es Walt Disney im Jahr 1957: Die Menschheit sollte mit einem Film vom Segen der Atomenergie überzeugt werden. Das klappte anfangs gut, dann überhaupt nicht mehr. Aber **seit sich der Klimawandel verschärft, ändert sich unter manchen Wissenschaftlern wieder der Blick auf die Kernenergie**. Vor allem junge Forscher setzen auf sie, weil sie hoffen, dass sich die Erderwärmung damit noch stoppen lässt. Zumindest in Gegenden, in denen nur wenig Wind weht und die Solarenergie nicht ausreicht, um Öl, Gas oder Kohle zu ersetzen.

Die Renaissance der Atomkraft sollen aber nicht die alten Meiler bringen, sondern neue Reaktoren, sie zählen zur sogenannten vierten Generation. Angeblich sind die Kraftwerke genau das, was die herkömmlichen nicht mehr sind oder nie waren: sauber, wirtschaftlich effizient - und sicher.



In Kanada hat die Firma Terrestrial Energy zum Beispiel die ersten Hürden genommen. In den nächsten Jahren **will sie einen neuartigen Flüssigsalzreaktor in Betrieb nehmen**. Statt fester Brennstäbe nutzt das Kraftwerk einen flüssigen nuklearen Sprit - Uran in Salzform. Dieser fließt im Kreis, ähnlich wie Wasser in einer Heizung. An einer Stelle wird das Uran in einer Kettenreaktion gespalten. Anschließend transportiert das Flüssigsalz die Hitze ab, die nun zur Stromerzeugung genutzt werden kann.

Warum Brennstäbe mühsam wechseln, wenn man Uran auch tanken kann?

Der flüssige Brennstoff soll die gesamte Energiegewinnung billiger, einfacher und flexibler machen. Statt wie früher die abgebrannten Brennstäbe aufwendig auszuwechseln, lässt sich der Brennstoff während des laufenden Betriebs nachtanken.

Der Flüssigsalzreaktor hat aber noch einen weiteren Vorteil: Er kann theoretisch auch mit Atommüll oder dem in der Natur reichlich vorhandenen Thorium betrieben werden. Das spaltbare Metall Thorium ist ein alternativer Kernbrennstoff, der in der Erdkruste zehn Mal so häufig wie Uran vorkommt. Entsprechend lang könnte das neue Nuklearzeitalter andauern.

Die kanadischen Behörden haben das Konzept von Terrestrial Energy fürs Erste bereits genehmigt. Angeblich soll es einige Investoren geben, die sich für das Modell interessieren. Die Firma ist kein Einzelfall. Das britische Unternehmen Moltex verfolgt in Kanada einen ähnlichen Plan und hat eine Zusage für einen Demonstrationsreaktor erhalten. Auch anderswo tüfteln Wissenschaftler an Prototypen für neuartige Atomkraftwerke. Unterstützt werden sie von privaten Geldgebern, die offenbar wieder bereit sind, in die unbeliebte Atomenergie zu investieren. Die amerikanische Denkfabrik Third Way schätzt, dass Atom-Start-ups allein in Nordamerika 1,3 Milliarden Dollar Risikokapital eingesammelt haben.

Die Mehrheit der weltweit in Betrieb befindlichen Kraftwerke wird noch der zweiten Generation zugerechnet. Bei ihnen handelt es sich um sogenannte Druckwasserreaktoren. Nach dem Unglück von Tschernobyl verpasste man dieser Kraftwerksreihe zwar ein Sicherheitsupdate - seitdem laufen sie unter dem Stichwort "dritte Generation". Aber mit einer simplen Weiterentwicklung wollen sich die Kerntechniker der Zukunft nicht mehr zufriedengeben. Sie wissen, dass man der Atomkraft so kein neues Leben einhaucht.



Atommüll

Müllkippen für die Ewigkeit

Weltweit haben sich gigantische Mengen Atommüll aufgetürmt - doch niemand will sie haben. Anders in Schweden: Dort konkurrierten zwei Städte darum, zur Endlagerstätte zu werden.

Von Christoph Behrens

Die neuartigen Kraftwerke sollen viel effizienter arbeiten. Im Wesentlichen geht es darum, die begrenzte Ressource Uran besser einzusetzen. Flüssigsalzreaktoren könnten zum Beispiel als sogenannte schnelle Brüter betrieben werden. Als solche würden sie dann das Uran, das ein Druckwasserreaktor in großen Teilen ungenutzt lässt, zu spaltbarem Plutonium umwandeln. Der neue Brennstoff ließe sich dann jederzeit entnehmen und weiternutzen - oder er bleibt im Kreislauf und wird verbrannt.

Spricht man mit den Befürwortern des Flüssigsalzreaktors, dann wird besonders dessen "inhärente Sicherheit" gelobt. Gemeint ist eine Art Schutz durch Naturgesetze gegen Konstruktionsmängel und jedes menschliche Versagen. Zumindest soll eine Kernschmelze, wie sie in Fukushima in mehreren Reaktoren stattfand, für die Zukunft ausgeschlossen werden.

Um das zu verstehen, hilft eine Analogie aus dem Alltag: Ein Wasserglas, das sich nach oben hin verengt, wird auch beim Dagegenstoßen nicht kippen, weil sein Schwerpunkt tief liegt.

Die neuen Kraftwerke funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip: Ein überhitzter Reaktor oder eine unkontrollierte Kettenreaktion würde von selbst wieder abklingen.

Angeblich kann keine Kettenreaktion mehr außer Kontrolle geraten

Spektakuläre Unfälle sollen so ein für alle Mal aus der Realität verbannt werden. Das Versprechen der neuen Kraftwerke ist gigantisch: Angeblich kann keine Kettenreaktion mehr außer Kontrolle geraten. Die Salzsäure würgt jedes Heißlaufen sofort ab, weil sie sich im Ernstfall ausdehnt und die Uranatome von selbst auseinandertreibt. Das bremst die Kettenreaktion ab, die Flüssigkeit kühlt wieder auf Normaltemperatur herunter. Ein Vorgang, der selbst dann funktionieren soll, wenn alle Systeme heruntergefahren sind und das Kernkraftwerk evakuiert wird.

"Unfälle wie in Fukushima lassen sich damit ausschließen", sagt der Kernphysiker Götz Ruprecht. Er sitzt an einem Herbstnachmittag in einem Bungalow am Stadtrand von Berlin. Der Bungalow ist nicht irgendein Haus, sondern der Sitz seines Instituts für Festkörper-Kernphysik. Ruprecht arbeitet dort seit vielen Jahren mit fünf Physikern und einem Ingenieur an einer Renaissance der Atomkraft. Dass es die auf absehbare Zeit in Deutschland nicht geben wird, weiß er selbst. Doch Ruprecht macht trotzdem weiter. Auch weil er neuerdings ein paar Erfolge vermelden kann. Es gibt Kooperationen mit mehreren Universitäten. Und am Nationalen Kernforschungszentrum in Polen arbeiten fünf Doktoranden an der Umsetzung eines vom Institut entworfenen Reaktorkonzepts.

Ruprecht wirft das Schema des geplanten Kraftwerks mit einem Beamer an die Bungalowwand. Wie bei der kanadischen Firma Terrestrial Energy handelt es sich um einen Flüssigsalzreaktor. Ruprecht erklärt, dass die Reaktoren in Fukushima nach dem Erdbeben zwar abgeschaltet worden seien. Im Gegensatz zur radioaktiven Asche. Die sei nämlich weiter abgebrannt, der Reaktor habe deswegen auch weitergestrahlt und neue Hitze erzeugt. Genau das soll bei seinem neuen Prototyp nicht mehr passieren. Es gibt ihn bisher zwar nur auf Papier. Aber dort steht, dass die Asche bei laufendem Betrieb entfernt wird.

Der Flüssigsalzreaktor hat auch Schwächen

Ob das im Ernstfall wirklich hilft, ist umstritten. "Inhärente Sicherheit ist ein Ideal", sagt Christoph Pistner, Reaktorexperte beim Öko-Institut in Darmstadt. Aus seiner Sicht hat der Flüssigsalzreaktor klare Nachteile. Gezeigt hätten sich diese bereits bei einem amerikanischen Versuchsreaktor in den Sechzigerjahren. Damals bildeten sich durch chemisch aggressive Stoffe Risse in den Rohrleitungen. Diese Korrosion sei weiterhin ein ungelöstes Problem, sagt Pistner. Andere Experten für Reaktorsicherheit wie Sören Kliem vom Helmholtz-Zentrum in Dresden sehen das ähnlich. Kliem sagt, dass das Material noch immer eine große Schwachstelle sei. Er glaubt, dass sich ein Flüssigsalzreaktor deshalb nicht so schnell bauen lässt.

Aber die Start-ups wollen sich davon nicht entmutigen lassen. Manche behaupten, dass sich das Material längst weiterentwickelt habe. Andere, wie die kanadische Firma Terrestrial Energy, wollen das Materialproblem ganz einfach umgehen: Indem sie "modulare" Flüssigsalzreaktoren bauen, bei dem der gesamte Reaktorkern alle sieben Jahre ausgewechselt werden soll.

An der breiten Öffentlichkeit sind all diese Pläne bisher vorbeigegangen. Das liegt auch daran, dass der Anteil der Kernenergie an der weltweiten Stromproduktion in den letzten Jahren stark gesunken ist: auf inzwischen nur noch zehn Prozent. Die meisten Reaktoren gingen in den Siebziger- und Achtzigerjahren ans Netz, neue kommen kaum hinzu. Im Grunde baut

im Moment nur China die Kernenergie nennenswert aus. Dort gingen im vergangenen Jahr drei neue Kraftwerke ans Netz - von weltweit insgesamt vier Neustarts.

Anmerkung: China, Indien, Russland und die USA haben derzeit über 100 Reaktoren neu im Bau bzw. in der Planung.

Der Harvard-Nuklearexperte Matthew Bunn glaubt, dass sich das radikal ändern müsste. Vorausgesetzt, die neuen Start-ups wollen wirklich Einfluss auf den Klimawandel nehmen. Nach Bunn's Berechnungen müsste dann im Jahr 2050 zehnmals so viel Atomstrom wie heute fließen. Aber selbst damit wäre gerade einmal ein Zehntel des Bedarfs an CO₂-armer Energie gedeckt. Die Welt müsste also sehr schnell sehr viel neue Atomkraftwerke bauen. Ist das nach der Katastrophe von Fukushima überhaupt realistisch? *Umgekehrt: Wieviele Windräder müssten aufgestellt werden? Sind 1.000.000 WKA realistisch? Und wo sollen diese alle stehen? Und gibt es für so viele WKA denn überhaupt genug Wind?*

Genau genommen liegen die Pläne für die so modern klingenden Kraftwerke der vierten Generation bereits seit Jahrzehnten in der Schublade. Die Wissenschaftler drehen seither nur an verschiedenen Stellschrauben für die Reaktordesigns, von denen es viele gibt. Der Brennstoff kann zum Beispiel fest oder flüssig sein. Als Kühlmittel lässt sich neben Salz auch Wasser, Gas, flüssiges Blei oder flüssiges Natrium verwenden.

Jedes Konzept will die herkömmlichen Druckwasserreaktoren auf eigene Weise übertrumpfen. Zum Beispiel durch ein möglichst heißes Kühlmittel wie Heliumgas, das sich auf mehrere Hundert bis tausend Grad erhitzen lässt, was das Umwandeln von Wärme in Strom um einiges effizienter macht.

Die Forscher verfolgen außerdem mehrere Ansätze für "schnelle Brüter". Schnell heißt in diesem Zusammenhang, dass mit schnelleren Neutronen gearbeitet wird. Dadurch lässt sich das Uran dann besser verwerten. Die entsprechenden Prototypen sollen in Frankreich und Osteuropa von 2030 an erprobt werden. Um aber die Kernkraftwerke überall in der Welt wirtschaftlich bauen zu können, setzen viele der Start-ups zunehmend auf industrielle Massenproduktion. Statt einen Meiler wie einen Maßanzug vor Ort zu fertigen, sollen vorgefertigte Standardteile an der Baustelle künftig nur noch zusammenmontiert werden.

"Transmutation" soll das Atommüllproblem lösen

Gemein ist den Modellen der neuen Generation, dass sie wie der Flüssigsalzreaktor allesamt mehr Sicherheit versprechen. Auch der mit EU-Mitteln geförderte Prototyp "Astrid", der demnächst in Frankreich gebaut werden soll, wirbt mit dieser Verheißung. Flüssiges Natrium als Kühlmittel soll den Reaktor gegen Überhitzung schützen. Es kann enorm viel Hitze aufnehmen, bevor es verdampft. Bei einem Leck würde es ebenfalls nicht entweichen.

Doch mehr Sicherheit allein reicht nicht. Die neuen Kraftwerke wollen nebenbei noch das gewaltige Atommüllproblem lösen. Statt neuen Abfall zu produzieren, sollen sie den alten schlucken. Der Vorgang heißt "Transmutation" und soll - grob gesagt - die radioaktiven Abfälle verbrennen. Nach Meinung einiger Atom-Ingenieure wären somit deutlich weniger Atommülllager nötig. Das Verfahren soll am neuen Prototyp Astrid in der Praxis getestet werden. Spätestens dann wird sich zeigen, ob sich Atommüll wirklich effizient verbrennen lässt.

Für Christoph Pistner sind solche Versprechen verfrüht. "Ob durch Transmutation tatsächlich Endlagervolumen eingespart wird oder gar die notwendigen Isolationszeiträume reduziert werden könnten, ist aus heutiger Sicht mehr als fraglich." Nach Meinung des Reaktorexper-

ten vom Darmstädter Öko-Institut kann niemand aufrichtig versprechen, dass es am Ende nicht doch mehr Endlager bräuchte, als ohnehin schon nötig sind.

Aber Pistner geht noch einen Schritt weiter: Er stellt die Vorzüge der neuen Kraftwerksgeneration insgesamt infrage. Vor allem, weil sie **bisher nur als bloße Konzepte auf dem Papier** existieren und nirgendwo einem echten Realitätscheck standhalten mussten. Dann könnte sich nämlich schnell zeigen, dass sich mehr Sicherheit und ein wirtschaftlich rentabler Betrieb nicht so ohne weiteres vereinbaren lassen.

"Der Markt zeigt der Szene die kalte Schulter"

Um gegen Strom aus Wind, Sonne und fossilen Brennstoffen bestehen zu können, müsste die Kernkraft sowieso günstiger werden. Derzeit kostet eine Kilowattstunde Atomstrom um die neun Cent; für Strom aus Wind oder Kohle sind es nur rund vier bis acht Cent. *wobei die Kohle zuverlässig liefern kann, Windräder dagegen nicht.*

Und der Trend geht eher in die andere Richtung: Während erneuerbare Energieträger im letzten Jahrzehnt deutlich erschwinglicher wurden, hat sich die Kernenergie immer weiter verteuert. Das Energy Innovation Project, eine energiepolitische Denkfabrik aus Washington, glaubt trotzdem, dass sich die Entwicklung umkehren lässt. Nach seinen Berechnungen ließen sich die Kosten mit den neuen Meilern halbieren.

Aber selbst wenn das gelänge, stellt sich immer noch die Frage, wer die neuen Kraftwerke bauen soll. **In Deutschland wurden die öffentlichen Fördermittel für Reaktorforschung faktisch auf null heruntergefahren.** Geld gibt es nur aus Brüssel, und selbst dort wird es nur sehr sparsam ausgegeben. Das zeigen die mauen Fördersummen, die im EU-Forschungsprogramm "Horizon 2020" für Reaktorforschung bereitgestellt werden. In den Prototyp Astrid investiert die EU zum Beispiel nur zehn Millionen Euro. In einem anderen Projekt, das die Sicherheit von Flüssigsalzreaktoren erforscht, sind es nur fünf Millionen Euro. Eine Revolution lässt sich damit noch nicht entfachen.

"Der Markt zeigt der Szene die kalte Schulter", sagt der Kritiker Pistner vom Öko-Institut. Zumindest in Deutschland merkt das der Berliner Kernphysiker Götz Ruprecht schon länger. **Um einen ersten Prototyp seines Flüssigsalzreaktors bauen zu können, bräuchte er mindestens 100 Millionen Euro. Aber ein Investor, der ein solches Risiko eingehen würde, ist nicht in Sicht.** Aufgeben wollen die Physiker vom Institut für Festkörper-Kernphysik trotzdem nicht. Dafür arbeiten sie schon zu lange an einer Renaissance der Atomkraft.

Zuversichtlicher sind da die jungen Wissenschaftler in Amerika. Der Filmemacher David Schumacher hat sie im vergangenen Jahr für seinen Dokumentarfilm "The New Fire" getroffen. **Er sagt, dass die jungen Leute der Idealismus antreibe. In anderen Branchen könnten die Forscher deutlich mehr Geld verdienen. Doch sie hätten sich ganz der Kernenergie verschrieben. Sie glauben, dass sich damit der Planet retten lässt.**

Passend dazu gibt es eine Szene im Film. Man sieht einen jungen Mann mit Bart, der einen eindringlichen Appell an die Zuschauer richtet. Er sagt: **"Wenn uns das Klima am Herzen liegt, müssen wir so schnell wie möglich neue Atomkraftwerke auf der ganzen Welt bauen."** Er klingt ein bisschen wie der Sprecher im Film von Walt Disney vor 60 Jahren.

Oder wie bei Al Gores "Unbequeme Wahrheit" bzw. bei Fechners "Climate Warriors"