

Wissenschaft

In der Kugel steckt die Kraft

Der Kugelhaufenreaktor ist eine deutsche Erfindung, die vor zwanzig Jahren zu den Akten gelegt wurde. In Südafrika und anderswo gräbt man sie wieder aus.

VON UTA DEFFKE

JOHANNESBURG. Beim Anblick der Graphitkugeln bekommt Milan Hrovat leuchtende Augen. Wie ein kleiner Junge stürmt der Siebzjährige das Labor, geht von Experiment zu Experiment und legt gerne auch mal selbst Hand an. Wenn er die tennisballgroße Kugel auf den Boden tütscht wie Boris Becker, strahlt er übers ganze Gesicht, als erlebe er zum ersten Mal, daß das geht. Dabei hat Hrovat diese Kugeln selbst entwickelt – vor vierzig Jahren in Deutschland.

Jetzt steht die gleiche Technik im Brennelementlabor des südafrikanischen Kernforschungszentrums, in dem Hrovat zu Besuch ist. Hier geht es zu wie in einer Backstube: Quirle mixen Pulver und rühren winzige Kügelchen aus ummanteltem Uran ein, wie Rosinen unter den Teig. Die Masse wird in eine Form gepreßt und im Ofen ausgehärtet – fertig ist die Kugel. Nur geschieht das alles mit mikroskopischer Genauigkeit und nach jahrelang ausgetüftelter Rezeptur. Und die Zutaten sind grau statt weiß – angemessen unappetitlich, schließlich wird hier Brennstoff für einen Kernreaktor hergestellt. Um Milan Hrovat muß man sich aber keine Sorgen machen, noch ist kein angereichertes Uran im Einsatz.

Während in Deutschland die Zeichen in Sachen Kernenergie seit Jahren auf Abbruch stehen, herrscht am anderen Ende der Welt Aufbruchstimmung. Seit gut zehn Jahren ist Südafrika dabei, dem Kugelhaufenreaktor wieder neues Leben einzuhauchen – unter dem Namen PBMR (Pebble Bed Modular Reactor, Modularer Kieselbett-Reaktor). Die gleichnamige

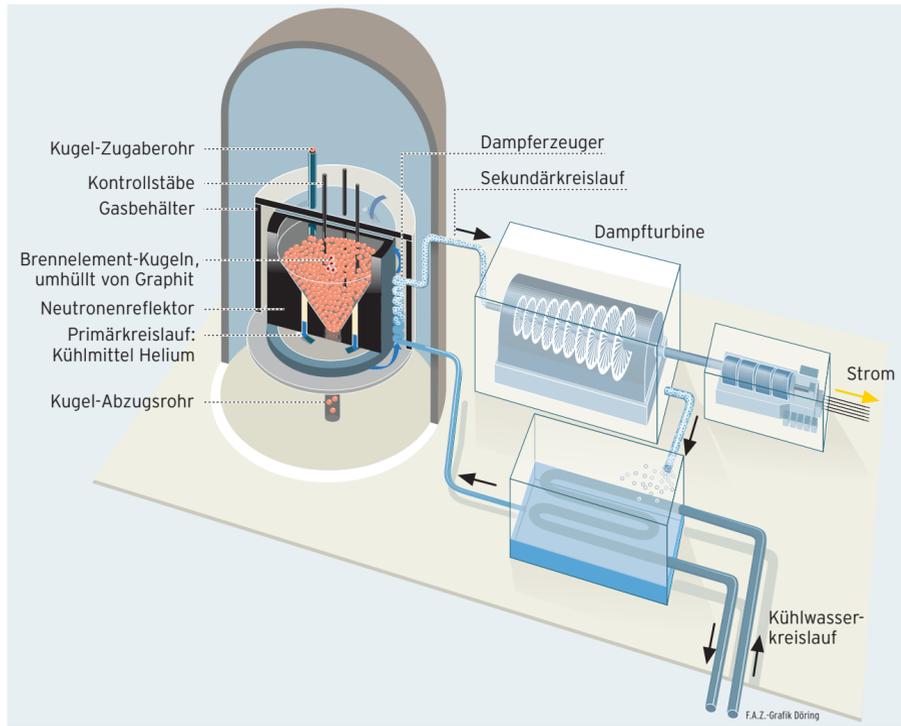
Energiefragen

Was taugen Wärmepumpen?	Seite 70
Wie baut man ein Perpetuum mobile?	Seite 70
Wohin mit dem Kohlendioxyd?	Seite 71

ge Firma wird unterstützt vom südafrikanischen Staat, der amerikanische Konzern Westinghouse hält einen Anteil von 15 Prozent.

Die Graphitkugeln sind das Herzstück dieses Atommeilers vom Typ Hochtemperaturreaktor (siehe Grafik), der in den fünfzig Jahren von Rudolf Schulten entwickelt wurde. In Deutschland ist ein solcher Reaktor nur zweimal gebaut worden: 1966 als Versuchsreaktor am damaligen Kernforschungszentrum Jülich und später als kommerzielle Variante in Hamm-Uentrop, wo er 1985 ans Netz ging, aber nur eine Betriebsdauer von 390 Tagen erreichte. Ende der achtziger Jahre wurden beide Reaktoren abgeschaltet. Der eine hatte ausgedient, der andere kämpfte mit technischen und wirtschaftlichen Problemen und beide zusammen mit den Folgen von Tschernobyl, obwohl ein Super-GAU wie dort bei diesem Reaktorkonzept niemals möglich wäre.

In den neunziger Jahren wurde die Technologie offiziell nach Südafrika verkauft. Mittlerweile hat man dort mit dem PBMR-Projekt eine führende Rolle übernommen. Ziel ist es, den ersten kommerziellen Reaktor dieses Typs auf den



Beim Kugelhaufenreaktor ist der Brennstoff in Hunderttausenden von tennisballgroßen Graphitkugeln eingeschlossen, die während des Betriebs ausgetauscht werden. Als Kühlmittel dient im Primärkreislauf Helium, im Sekundärkreislauf Wasser. Der Dampf aus dem Dampferzeuger treibt eine Turbine an. Weil der Kugelhaufenreaktor zum Typ Hochtemperaturreaktor gehört, kann er neben Strom auch Prozesswärme liefern. Zu seinen weiteren Vorteilen gehört, daß er bei relativ kleiner Bauweise

inhärent sicher ist, und daß er bedarfsgerecht erweitert werden kann. Zu den Nachteilen dieses Konzeptes gehört, daß Graphit bei Luftereinbruch in Brand geraten kann, daß die Brennstoffherstellung aufwendig ist und daß er wegen seiner begrenzten Leistung insgesamt weniger wirtschaftlich betrieben werden kann als beispielsweise ein herkömmlicher Leichtwasserreaktor. Letzteres war auch einer der Gründe dafür, daß sich der Kugelhaufenreaktor in Deutschland nicht durchsetzen konnte.

Markt zu bringen. In einem Jahr, wenn die soeben begonnenen Genehmigungsverfahren beendet sind, soll mit dem Bau eines Demonstrationsreaktors in kommerziellem Maßstab begonnen werden, der 2011 erstmals kritisch werden soll. Die erste kommerzielle Einheit soll drei Jahre später ans Netz gehen.

Der Eifer, mit dem Südafrika das Projekt vorantreibt, gründet auf der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes. Angesichts eines jährlichen Wachstums von vier Prozent droht eine massive Energieknappheit, wenn die Ressourcen bis 2025 nicht massiv gesteigert werden. Derzeit hängt die Stromversorgung zu 90 Prozent an der eigenen Kohle, fünf Prozent steuert das einzige Kernkraftwerk Afrikas in Koeberg nahe Kapstadt bei. Dort soll auch der zukünftige Demonstrationsreaktor stehen.

Die Entwicklung in Südafrika ist typisch für sogenannte Schwellenländer und symptomatisch für die Energiekrise, auf die die Welt zusteuert. Einerseits steigt der Bedarf dramatisch. Andererseits rückt die Endlichkeit der konventionellen, fossilen Ressourcen immer stärker ins Bewußtsein, ebenso wie die drohende Klimakatastrophe. Die Notwendigkeit, CO₂-Emissionen drastisch zu verringern, und die Tatsache, daß regenerativen Energiequellen nur ei-

nen Teil des zusätzlichen Energiebedarfs decken können, lassen bisher kaum eine Alternative zur Nutzung der Kernkraft in einem nachhaltigen Energiemix erkennen.

Südafrika ist nicht das einzige Land, das an der HTR-Technologie arbeitet. Auch China, Frankreich, die Vereinigten Staaten, Japan und Südkorea verfolgen größere Projekte. Welches Potential der HTR besitzt, das diskutierten in der vergangenen Woche 400 Vertreter aus Forschung und Wirtschaft auf der dritten internationalen HTR-Konferenz in Johannesburg. Die Themen reichten von unterschiedlichen Konzepten für Brennelemente, neuen Materialentwicklungen für mehr Sicherheit, Perspektiven der Energienutzung bis hin zu Genehmigungsverfahren für kerntechnische Prozesse.

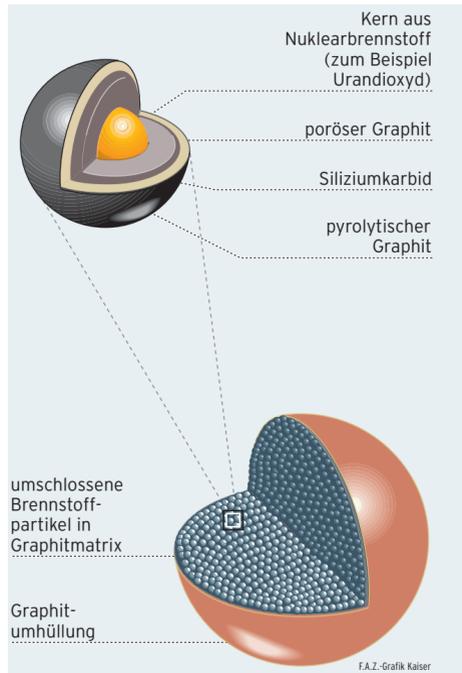
Dank seiner physikalischen Konzeption und seiner baulichen Auslegung gilt der Hochtemperaturreaktor als inhärent sicher. Selbst wenn alle aktiven Sicherheitssysteme versagen sollten, wären unkontrollierbare Kettenreaktionen ebenso ausgeschlossen wie eine Kernschmelze. Die extrem hohen Temperaturen, auf die das Kühlmittel Helium aufgeheizt wird, ermöglichen zudem einen besonders guten Wirkungsgrad, sowohl bei der direkten Nutzung zur Stromerzeugung durch eine Turbine als auch bei der indirekten Nutzung über Wärmetauscher.

Damit wird der HTR nicht nur für die Stromerzeugung interessant, sondern auch für eine Kraft-Wärme-Kopplung und die direkte Erzeugung von Prozesswärme. Dazu könnten beispielsweise die (petro-)chemische Industrie und die Metallgewinnung profitieren, aber auch eine Reihe von Anwendungen, die bisher gerade wegen des hohen Wärmebedarfs noch unterentwickelt sind, zum Beispiel die Erzeugung von Wasserstoff aus der Auftrennung von Wasser. Mit Hilfe von Brennstoffzellen könnte der Wasserstoff dann wieder genutzt werden, zum Beispiel als eine mögliche Alternative zu fossilen Kraftstoffen. Viel Wärme benötigen auch die Gewinnung von Öl aus Ölsanden oder die Meerwasserentsalzung.

Das Sicherheitskonzept des Reaktors führt dazu, daß er nur vergleichsweise klein und mit geringer Leistungsdichte gebaut werden kann. So soll der PBMR 165 Megawatt elektrische beziehungsweise 400 Megawatt thermische Leistung liefern. Das ist zwar nur etwa zehn bis 15 Prozent von dem, was viele der aktuell laufenden (zumeist Leichtwasser-)Reaktoren leisten. Aber die Kompaktheit bringt einige Vorteile mit sich. Zum einen kann modular aufgestockt werden. Zum anderen ermöglichen diese kleinen Einheiten erst die Wärmenutzung für industrielle Anwendungen, denn deren Wärmequellen müssen nah am Prozeß und extrem sicher sein. Auch eine wirtschaftliche Produktion des Reaktors könnte sich durch seine Kompaktheit abzeichnen, in Form einer Serienfertigung, die bisher beim Bau von Kernreaktoren nicht üblich ist.

Regis Matzie von Westinghouse, dem amerikanischen Investor, ist zuversichtlich, mit dem PBMR eine Marktlücke bedienen zu können: „Ein kleines Modul für die Stromversorgung wird insbesondere für Entwicklungsländer interessant sein, wo nicht so viel investiert werden kann“, sagt er. „Im Bereich Prozesswärme sehen wir einen großen Markt auch in Industrieländern.“

Ungelöst bleibt auch bei dem PBMR das Problem mit dem nuklearen Abfall. Um die Endlage-



Jede einzelne Brennelementkugel besteht wiederum aus Tausenden von winzigen Kügelchen, die den eigentlichen Nuklearbrennstoff, zum Beispiel Uran-Dioxyd, enthalten. Zusätzliche Schutzschichten bestehen aus verschiedenen Formen von Graphit und Siliziumkarbid. Graphit dient im Kugelhaufenreaktor als Moderator, der den Neutronenfluß reguliert. Neben den Brennstoffen enthalten die Kugeln werden deshalb in einem definierten Mischungsverhältnis auch Kugeln aus reinem Graphit eingesetzt.

nung macht man sich in Südafrika erst jetzt so langsam Gedanken, von einer Lösung ist man weit entfernt. Allerdings können die Brennelemente durch vielfaches Durchlaufen des Reaktors sehr weit abgebrannt werden und würden sich auch für den Einsatz von Plutonium eignen. Das Kugelkonzept dient außerdem als eingebaute Sicherheitsmaßnahme gegen die mögliche Verwendung von Plutonium für die Waffenherstellung, denn an die ummantelten Brennstoffe läßt sich nur schwer wieder herankommen.

An der North-West University und in Pelindaba, eine Stunde Busfahrt nordwestlich von Johannesburg, hat PBMR mittlerweile eine

Mancher deutsche Kerntechniker der Generation 60 plus findet jetzt eine neue Beschäftigung.

Reihe von Versuchsanlagen aufgebaut. Dazu gehört beispielsweise ein vierzig Meter hoher Turm, in dem der Heliumkreislauf des Reaktors in Originalgröße nachgebaut ist. Unter anderem wird hier das Einlassen von Moderatorstäben erprobt. Auf dem riesigen Testgelände, auf dem Südafrika bis Mitte der neunziger Jahre eigene Kerntechnik inklusive Waffen entwickelte, wimmelte es schon damals von Deutschen, wie man sich erzählt. Das technische Inventar wurde, sofern es militärischen Zwecken diente, inzwischen verschrottet, die neue Republik Südafrika verpflichtet sich nach Beendigung der Apartheid ganz der friedlichen Nutzung der Kernenergie. Übrig geblieben sind Gebäude und Hallen im Charme der sechziger Jahre sowie einiges an kerntechnischem Know-how.

Unter der Sonne Südafrikas hat nun der eine oder andere deutsche Forscher der Generation 60 plus eine neue alte Beschäftigung gefunden. Weitere Betätigungsfelder könnten sich bald in China auftun.

Dort steht bereits der Nachbau eines Zehn-Megawatt-HTR nach Originalplänen von Siemens. Er dient seit drei Jahren als Forschungsreaktor, unter anderem für Abschaltexperimente bei voller Last, die das vorhergesagte gutwillige Verhalten des Reaktors in verschiedensten Notsituationen zeigen. Nun plant China, einen Demonstrationsreaktor noch größeren Ausmaßes zu bauen.

In Pelindaba stehen neben einer Testanlage für den Heliumkreislauf inzwischen auch die Brennstofflabore, die vom Konzept her von der damaligen Nukem aus Hannover entwickelt wurden, jenem skandalgeschüttelten Unternehmen, für das Milan Hrovat damals arbeitete. Milan Hrovat hat mittlerweile als Berater bei der ALD Vacuum Technologies angeheuert, einem Unternehmen, das aus der Nukem hervorgegangen ist. „Nach jahrelanger Flaute im Nukleargeschäft erhoffen wir uns hier in Südafrika neue Perspektiven“, sagt der Geschäftsführer Richard Seemann.

Die deutschen Experten sind begeistert von dem Elan der Südafrikaner. „Wenn die das wirklich schaffen, wäre das eine Sensation“, sagt der Euratom-Vertreter Werner von Lensa. Trotzdem bleiben leichte Zweifel, ob man mit dem PBMR den Sprung in die Wirtschaftlichkeit schafft. Schließlich basiert das Konzept ziemlich genau auf dem deutschen, das zwar unter dem Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit im Betrieb, aber nicht nach heutigen Wirtschaftlichkeitskriterien angelegt war.

Ob die Hochtemperaturreaktor-Technologie mit dem südafrikanischen Projekt auch wieder zu einer Option für Deutschland wird, ist mehr als ungewiß. „Als Teil der Energieversorgung wäre das sicher wünschenswert“, sagt Werner von Lensa. Dennoch sollte man die deutschen Sorgen und Ängste der Menschen sehr ernst nehmen. Wenn sich neue Reaktoren nicht durchsetzen ließen, wäre es aus seiner Sicht zumindest erforderlich, Forschungs- und Ausbildungskapazitäten wieder aufleben zu lassen. Denn man könne es sich auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht leisten, aus einer Technik auszusteiern, die wieder auf dem Vormarsch ist.

Historische Argumente

VON JÖRG ALBRECHT

Gesundheit ist zweifellos eine wichtige Sache. Daß man sie reformieren könnte, scheint schon eher fraglich. Folgerichtig ist die Gesundheitsreform auch kein großer Wurf geworden.

Die nächste Sollbruchstelle in der großen Koalition steht bereits fest: Das wird die Frage werden, wie man hierzulande in Zukunft Energie gewinnen will. Konventionell? Regenerativ? Atomar? Die unvoreingenommene Antwort steht längst fest: Man wird, ob man das nun goutiert oder nicht, alle drei Optionen wahrnehmen müssen, mit allen damit verbundenen Risiken. Die allerdings müßte man, so gut es geht, verringern.

Wie das technisch aussehen könnte, wäre idealerweise beim morgigen anstehenden „Energiegipfel“ in Berlin zu diskutieren. Aber die Gesundheitsdebatte hat es ja gezeigt: Es wird wohl wieder auf eine sogenannte Reform hinauslaufen. Also auf den Austausch historischer Argumente.

NACHRICHTEN

Teilchenenergie

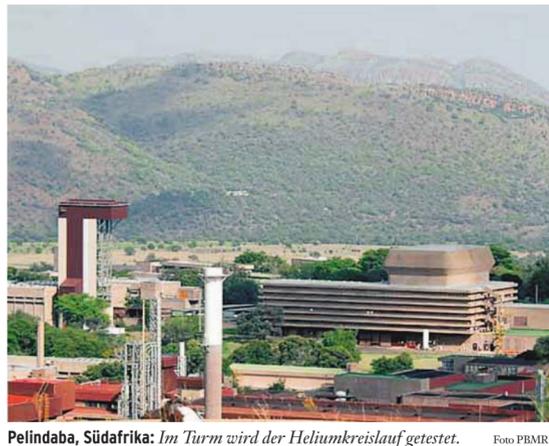
Physiker lieben es, Teilchen mit möglichst hohen Energien aufeinanderkriechen zu lassen – heutzutage mit etlichen Giga-Elektronenvolt (GeV). 1 GeV hätte ein Elektron, das von einem Spannungsfeld von einer Milliarde Volt auf Trab gebracht wurde. Soviel Schmaackes braucht langen Anlauf – daher sind Teilchenbeschleuniger auch so riesig. Nun beschreiben Forscher in *Nature Physics*, wie es ihnen gelungen ist, Elektronen auf einer Strecke von nur drei Zentimetern mit Hilfe eines Laserpulses auf sagenhafte drei GeV zu beschleunigen. Heizen kann man mit den Dingen leider nicht.

Kosmische Energie

Sie sind die hellsten dauerhaft leuchtenden Objekte im Universum, allerdings sind sie alle sehr weit weg. Daher war über die Quasare lange Zeit nicht viel herauszubringen. Heute weiß man immerhin, daß es sich um Kerne von Galaxien handelt, und vermutet, daß dort enorm heiße Materie um gigantische Schwarze Löcher strudelt. Nun ist es erstmals gelungen, solch einen Mahlstrom sichtbar zu machen. Wie Forscher auf einer Tagung in San Francisco berichteten, kam ihnen dabei eine Galaxie zu Hilfe, die zwischen uns und dem Quasar liegt und dessen Licht wie in einem kosmisch großen Teleskop bündelt.

Vergeudete Energie

Auch in diesem Jahr wurden in Harvard wieder die berühmtesten IgNoble-Preise für wissenschaftliche Arbeiten verliehen, die nach Meinung der Jury „besser unterblieben wären“. Den Friedenspreis sicherte sich Howard Stapleton, Chef einer Sicherheitsfirma im walisischen Merthyr Tydfil, für die Erfindung eines Lautsprechers, der Töne erzeugt, die für Teenager unerträglich, für Erwachsene aber nicht mehr hörbar sind. Der Literaturpreis ging an Daniel Oppenheimer von der Princeton University, und zwar für eine Untersuchung, die aufzeigt, bis zu welchem Punkt eine Strategie erfolgreich sein kann, die Intelligenz durch Verwendung unnötig komplizierter Ausdrücke vortäuscht. Den Physikpreis schließlich teilten sich zwei Forscher der Université Pierre et Marie Curie in Paris, die herausfanden, warum ungekochte Spaghetti beim Biegen häufig in mehr als zwei Teile zerbrechen.



Pelindaba, Südafrika: Im Turm der Heliumkreislauf getestet. Foto: PBMR

VERKNÄULT
Intime Blicke in den Maschinenraum des Lebens, Seiten 72–73

VERWOSEN
Die deutsche Sprache und das Eisenbahnwesen, Seite 78



Bild am Sonntag 70
Elementar 70
A bis Z 70
Gewächshaus 78
Rätsel, Cartoon 78