

Energieerzeugung auf sichere Art Kugelhaufenreaktoren als Chance

Kernkraft hat es in Deutschland nicht immer schwer gehabt. Insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg wurde diese Form der Energiegewinnung forciert. Mit dem Kugelhaufenreaktor ist sogar ein Reaktortyp ersonnen worden, der selbst bei Ausfall der Kühlung beherrschbar bleibt. Unverständlich, dass dieser Reaktortyp nun ein Fall für das Endlager geworden ist.

Die Erzeugung günstiger Energie ist ein wichtiger Grundpfeiler für Industrienationen. Wird Energie zu teuer, suchen sich energieintensive Unternehmen neue Produktionsstandorte mit günstigeren Energiekosten. Dieses Handeln ist verständlich, da eine durch hohe Energiepreise sinkende Wettbewerbsfähigkeit das betreffende Unternehmen in seiner Existenz bedroht. Sobald jedoch systemrelevante Unternehmen einen Standort verlassen haben, kommen auch in der Wirtschaftskette nachgelagerte Unternehmen in die Schieflage.

Diesen Zusammenhang hat man in der Zeit des deutschen Wirtschaftswunders erkannt und daher den Ausbau der Kernenergie forciert. Bundeskanzler Helmut

Schmidt, der von 1974 bis 1982 regierte, plante sogar den Bau von 60 Kernkraftwerken, um der Industrie genug Energie für weiteres Wachstum zur Verfügung zu stellen. Schließlich werden in Deutschland hochwertige Stähle erschmolzen, weltweit begehrte Chemikalien erzeugt, exzellente Kraftfahrzeuge gebaut und hochpräzise Werkzeugmaschinen ersonnen.

Durch das Aufkommen der Anti-Atomkraftbewegung konnte dieser Plan nicht umgesetzt werden. In der Folge der Energiewende ist Energie mittlerweile so teuer geworden, dass erste Abwanderungs- und Verlagerungsbewegungen von energieintensiven Unternehmen erkennbar werden. So produziert beispielswei-

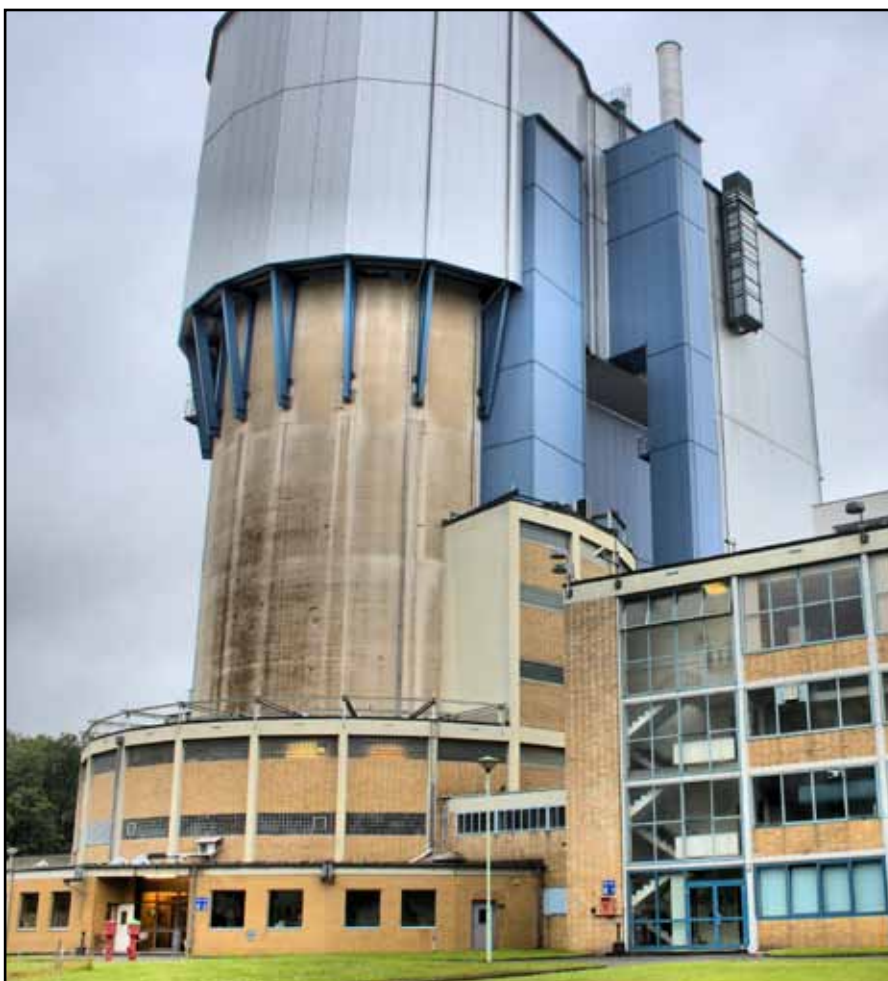
se das Unternehmen ›SGL Carbon‹ seine CFK-Produkte für die Fertigung der BMW-Modelle ›i3‹ und ›i8‹ nicht in Deutschland, sondern in den USA, wo die Stromkosten zur Fertigung von CFK-Fasern wesentlich geringer sind.

Ein Umstand, der nicht sein müsste, da es auch in Deutschland möglich wäre, Energie zu sehr günstigen Preisen bereitzustellen. Doch gelingt das nicht mit den sogenannten ›erneuerbaren Energien‹, da diese alleine schon aus Platzgründen ausscheiden. Seriöse Berechnungen haben ergeben, dass bei einem Mischbetrieb von Wind- und Solaranlagen alleine die Windkraftanlagen etwa 18 Prozent der Fläche Deutschlands belegen würden, um den aktuellen Gesamtenergiebedarf zu decken. In diesen Berechnungen sind noch nicht einmal die Flächen für die nötige Energiespeicherung enthalten, um die Versorgung auch im Fall von Flauten aufrechtzuerhalten. Ganz abgesehen davon, dass die Rotoren eine Gefahr für Vögel und Fledermäuse darstellen und darüber hinaus der durch die Rotoren erzeugte Infraschall zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung der Anwohner führen kann.

Forschen für mehr Sicherheit

Die große Chance einer sicheren und günstigen Energieversorgung liegt in der vom deutschen Chemiker Otto Hahn und seinem Assistenten Fritz Straßmann entdeckten Kernspaltung. Leider ist diese Technik mit großen Gefahren verbunden, wie die Reaktorunglücke von Harrisburg, Tschernobyl und Fukushima zeigten. Zeitgeschichtlich gesehen ist die Kerntechnik jedoch noch in den Kinderschuhen, weshalb diese Technik dringend weiterer Forschung bedarf, um sicherer zu werden.

Der AVR in Jülich war ein Kugelhaufen-Versuchsreaktor und bis 1988 in Betrieb. Mit ihm wurde nachgewiesen, dass dieser Reaktortyp bei Kühlausfall inhärent sicher ist. Gegenwärtig wird der AVR auf politischem Druck demontiert.





Gewaltige Gewichte kann die eigens zur Reaktor-Demontage eingebaute Hebevorrichtung aufnehmen. So erfolgt der Rückbau des Kraftwerks auf hohem Sicherheitsniveau.

Diesbezüglich einen gewaltigen Schritt nach vorne ermöglichte der von Prof. Dr. Rudolf Schulten ersonnene Kugelhaufenreaktor, dessen Grundsteinlegung im Jahre 1959 in Jülich erfolgte und der bis 1988 in Betrieb war. Wären die eben genannten verunglückten Reaktoren in dieser Technik erstellt worden, wäre es niemals zu den schwerwiegenden Unfällen gekommen, da ein Kugelhaufenreaktor bis zu einer Maximalleistung von 200 MW (thermisch) inhärent sicher ist.

Dies bedeutet, dass es selbst nach dem Ausfall der Kühlung dank dessen physikalischen Eigenschaften niemals zu kritisch ansteigenden Temperaturen, daher auch nicht zur so sehr gefürchteten Kernschmelze kommen kann. Japan wäre das aktuelle Desaster erspart geblieben, das nur deshalb seinen Lauf nahm, weil infolge der durch den Tsunami verursachten Schäden kein Notkühlwasser durch die Reaktorkerne gepumpt werden konnte.

Ein Kugelhaufenreaktor hingegen benötigt in seinem Inneren kein Wasser zur Kühlung, da das Edelgas »Helium« diesen Part übernimmt. Dieses Gas ist zugleich das Transportmedium, um die im Kugelhaufen entstehende Hitze aufzunehmen und diese zu einem Wärmetauscher transportiert. Hier wird die Wärme auf wassergefüllte Rohre übertragen. Das Wasser wird zu Dampf, der eine Dampfturbine antreibt. Diese treibt den Generator, der Strom erzeugt.

Beherrschbare Risiken

In Jülich wurde in einem Versuch nachgewiesen, dass vom dort installierten AVR selbst nach Ausfall des Heliumkreislaufes sowie dem gleichzeitigen, sogar noch unwahrscheinlicheren Ausfall der schwerkraftbetätigten Abschaltstäbe keine Gefahr ausgeht. Auch für Kugelhaufen-

reaktoren vom Typ »Modul«, die für eine thermische Leistung von 200 MW geplant waren (der AVR in Jülich hatte 46 MW Leistung), wurde in einer Simulation dieses Verhalten festgestellt. Der Grund: Die nach dem Ausfall des Heliumkreislaufes vorhandene Nachwärme lässt in einem Kugelhaufenreaktor vom Typ »Modul« die Temperatur auf lediglich etwa 1600 Grad Celsius ansteigen, die danach langsam absinkt. Beim AVR ist diese Maximaltemperatur während des besagten Versuchs wegen der geringeren Leistung natürlich noch geringer gewesen. Die Temperatur im Reaktorbehälter kann daher beim Kugelhaufenreaktor unter 200 MW Leistung niemals in gefährliche Bereiche vordringen. Sie gehen, ohne Schaden zu stiften, einfach aus.

Natürlich ist Kernkraft mit Störungen verbunden. So war im Jahr 1978 im AVR-



Eine imposante Hebeeinrichtung wird den Reaktorbehälter anheben.

Versuchsreaktor ein Wassereintrich aus dem Dampferzeuger zu beklagen, dessen Folgen von interessierter Seite unnötig dramatisiert wurden. Man muss sich immer vor Augen halten, dass es sich beim AVR um einen Versuchsreaktor handelte, der dazu diente, die damit gesammelten Erfahrungen in kommerzielle Kraftwerke umzusetzen. Unter anderem wurden diese Erkenntnisse im Kernkraftwerk »THTR-300« konstruktiv derart umgesetzt, dass besagter Vorfall in diesem AVR-Nachfolger wesentlich besser beherrscht worden wäre.

Ein Vergleich mit einem Kohleofen ist gar nicht so weit hergeholt, da hier wie dort eine identische Art der Nachfüllung des Brennmaterials stattfindet: Frisches Brennmaterial wird oben eingefüllt und



Der 26 Meter hohe und 2100 Tonnen schwere Reaktorbehälter wurde mit einer besonderen Art Leichtbeton verfüllt, damit im Inneren verbleibende Partikel bei einem Unglück während der Demontage nicht ins Freie gelangen können.

weiter auf Seite 30

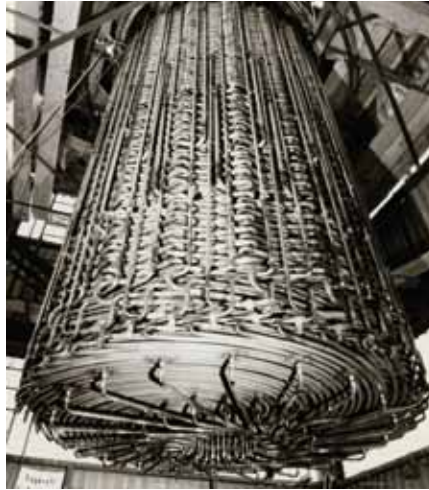
Fortsetzung von Seite 15

die „Asche“ wird unten dem Sammelbehälter entnommen. Natürlich steht der Vergleich auf wackligen Füßen, denn mitnichten wird das Reaktorbrennmaterial einfach einem „Aschebehälter“ entnommen und anschließend entsorgt. Doch das Funktionsprinzip ist so sehr schön plastisch darzustellen.

Clevere Technik

Der Kugelhaufenreaktor ist ein raffiniertes Kernkraftwerk, das sogar während des Betriebs von seinen abgebrannten Brennelementen befreit werden kann, was bei herkömmlichen Kernkraftwerken nicht möglich ist. Diese müssen komplett heruntergefahren werden, um einen Austausch des Brennmaterials vornehmen zu können. Im Kugelhaufenreaktor hingegen befinden sich die Brennelemente in einem Kreislauf. Frische Kugeln fallen von oben auf den Kugelhaufen – den Reaktorkern – während unterhalb des Kerns die gleiche Menge an Kugeln entnommen wird.

Diese werden automatisch auf Beschädigung und „Restheizkraft“ untersucht. Nur Kugeln am Ende ihrer Lebensdauer werden durch frische Exemplare ersetzt, wäh-



Der komplizierte Dampferzeuger im AVR besteht aus evolventenförmig verlaufenden Rohren, die übereinander gegenläufig angeordnet sind.

rend noch weiterverwendbare Elemente erneut in den Brennraum geschleust werden. Auf diese Weise wird das Brennmaterial optimal genutzt, was in herkömmlichen Kernkraftwerken ebenfalls nicht der Fall ist. Durch dieses System muss zudem der Reaktor zu Beginn des Betriebs nicht mit übermäßig viel spaltbarem Material versorgt werden, da Brennstoff bei Bedarf problemlos zugegeben werden kann.

Nicht zuletzt sind die Kugeln ein Stück besonderer Technik. In den Kugeln ste-

cken bis zu 40000 kleine Brennstoffkörner, auch ›Coated Particles‹ genannt. Diese sind fest in Graphit eingebettet, sodass Kernmaterial nicht unbeabsichtigt freigesetzt werden kann. Zudem sind die Kugeln sehr robust, sodass ein Bruch nahezu ausgeschlossen ist.

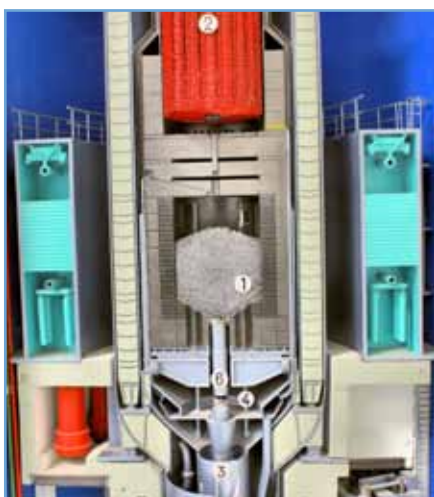
Interessant auch ein Blick auf die Coated Particles: Hier schlummert das eigentliche Wissen zum Betrieb des Kugelhaufenreaktors. Obwohl diese Körnchen nur etwa 0,5 bis 1,0 Millimeter im Durchmesser messen, haben Sie einen staunenswerten Aufbau, der sowohl den Betrieb des Reaktors sicherstellt, als auch der Sicherheit dient.

Staunenswerte Winzlinge

Der eigentliche Kern besteht aus Uranoxid oder Urankarbid, an das sich eine erste Beschichtung aus pyrolytisch abgeschiedenem Kohlenstoff (Pyrokohlenstoff) anschmiegt. Sie ist porös, von geringer Dichte und wirkt als Pufferschicht. Sie umgibt eine feste, hochdichte Pyrokohlenstoffschicht, in die eine weitere Schicht aus Siliziumkarbid eingebettet ist. Diese erschwert die Diffusion von radioaktiven Stoffen. Durch die Kernspaltung schwillt der Brennstoffkern an, was zum Teil durch die Pufferschicht aufgefangen



Die kugelförmigen Brennelemente eines Kugelhaufenreaktors bestehen aus beschichteten Brennstoffkörnern von 0,5 bis 1,0 Millimeter Durchmesser, den sogenannten ›Coated Particles‹, die in Graphit eingebettet werden. Die Kugelform gestattet die Beschickung des Reaktors über Rohrleitungen, ähnlich einer Rohrpost.



Ein Kugelhafenreaktor besitzt einen Reaktorkern (1), der aus den Kugeln gebildet wird. Darüber befand sich beim AVR der Dampferzeuger (2), dem die Hitze aus der Kernspaltung per Heliumgas zugeführt wurde. Umgewälzte Kugeln werden über ein Abzugsrohr (6) aus dem Reaktorkern herausgeführt.

wird. Trotzdem entsteht in der Beschichtung ein hoher Druck, nicht zuletzt durch bei der Spaltung entstehende Gase. Drücke von 100 bis 200 bar sind möglich. Die Coated Particles können daher als kleine Druckbehälter betrachtet werden. Eine staunenswerte Erfindung also.

Der Kugelhafenreaktor hat noch weitere Vorteile: Die erreichbare Arbeitstemperatur von beispielsweise 950 Grad Celsius ermöglicht es, in einem Röhrenspaltöfen



Im noch unbenutzten Zustand können die sechs Zentimeter im Durchmesser messenden Brennelementkugeln, wie hier ein Demomodell, gefahrlos mit der Hand berührt werden.

Kohlenwasserstoffe kostengünstig in Wasserstoff und Nebenprodukte aufzuspalten. Zudem war mit diesem Reaktortyp die Kohlevergasung geplant. Ziele, die einen großen Schritt in die Energieunabhängigkeit vieler Länder bedeutet hätten. Darüber hinaus wäre mit dem preiswert erzeugten Wasserstoff der Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft gelungen. Ein lachender Profiteur wäre nicht zuletzt die Automobilindustrie gewesen.

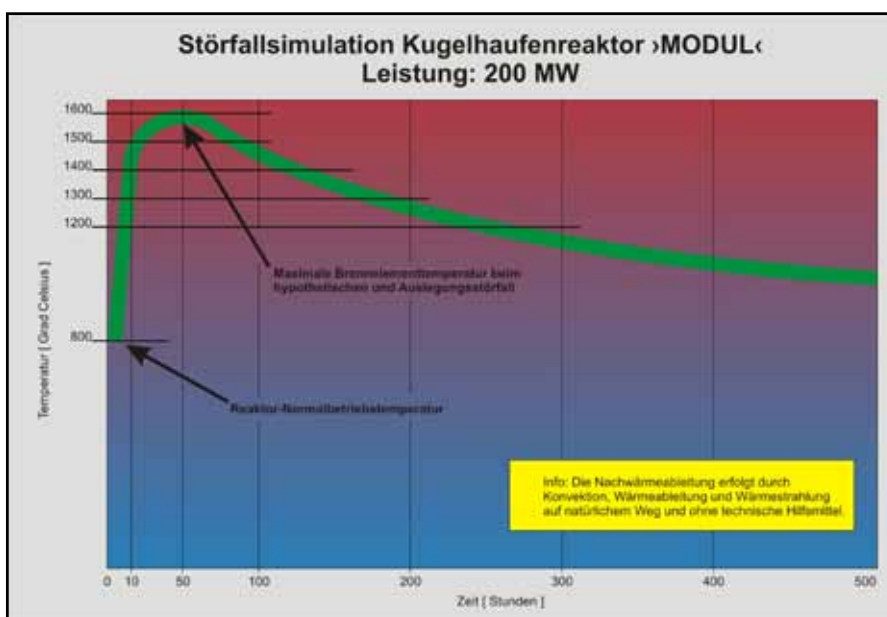
Diese innovative Technik wurde nun in Deutschland aufgegeben. In anderen Ländern, wie etwa in China, wird der Kugelhafenreaktor weiter erforscht. Aktuell wird die Anlage in Jülich demontiert. Das

Ziel ist die „Grüne Wiese“. Nicht minder bedauerlich ist, dass damit auch die Atomforschung in Deutschland nahezu nicht mehr stattfindet, denn Ideen gibt es genug, die Atomkraft für den Menschen nutzbar zu machen.

Zu nennen wäre beispielsweise der Schnelle Brüter, der sogar mit abgebranntem Kernbrennstoff funktioniert hätte, was die Reichweite des verfügbaren Urans gewaltig gesteigert hätte. Ein Reaktor mit ähnlichem Funktionsprinzip ist übrigens vor Kurzem in Russland in Betrieb gegangen. Doch gibt es noch mehr erstaunliche Ideen in Sachen Kernkraft. Zu nennen ist etwa der Dual-Fluid-Reaktor, der als Brennstoff flüssige Salze benötigt und in dem flüssiges Blei als Kühlmittel zum Einsatz kommt. Auch bei diesem Typ ist ein schwerer Unfall durch Kühlausfall physikalisch und technisch unmöglich. Zudem beträgt der Wirkungsgrad 60 Prozent, im Gegensatz zu etwa 42 Prozent bei üblichen Reaktoren.

Mit diesem Reaktortyp könnten Wasserstoff und synthetische Treibstoffe, wie etwa Hydrazin, kostengünstig dank der hohen Prozesswärme von 1000 Grad Celsius hergestellt werden. Unverständlich, dass von Regierungsseite solche Ideen ausgeblendet werden. Dabei wäre dieser Reaktortyp sogar ein „grüner Reaktor“, wie das Berliner Kammergericht 2014 urteilte, das diesem Reaktortyp eine besondere Umweltfreundlichkeit bescheinigte.

Egal ob Kugelhafen oder Dual Fluid, es wird die Zeit kommen, wo sich diese Ideen durchsetzen werden, denn am Ende hat bisher immer die Vernunft gesiegt.



Der Kugelhafenreaktor in einfacher zylindrischer Kugelschüttung ist bis zu einer maximalen Leistung von etwa 200 MW (thermisch) ein gegen Kühlungsverlust inhärent sicherer Reaktortyp, der nach Ausfall der Kühlung keine Kernschmelze kennt. Wie das Diagramm einer Simulation zeigt, steigt die Temperatur in Kugelhafenreaktoren vom Typ ›Modul‹, der 200 MW Leistung (thermisch) besitzt, nach Ausfall der Kühlung zwar an, kommt jedoch nie in einen kritischen Bereich.