

Westinghouse eVinci Microreactor

geschrieben von Admin | 28. April 2019

Ohne Zweifel zählt Westinghouse zu den besonders innovativen Unternehmen auf dem Gebiet der Kerntechnik. Deswegen verwundert es auch nicht, daß sie sich mit ihrem „eVinci“ weltweit an die Spitze der Entwicklung sogenannter „Mikro-Reaktoren“ setzen. Dabei handelt es sich um „Kleinst-Kernkraftwerke“ im Leistungsbereich einiger hundert Kilowatt bis zu etwa 25 Megawatt elektrischer Leistung. Gemeinsam ist dieser Klasse, daß sie vollständig (in Serie) in einer Fabrik gefertigt werden und komplett auf einem LKW (etwa in einem Container) ausgeliefert werden sollen. Man zielt damit auf einen völlig neuen Markt: Das Kernkraftwerk nicht mehr als Milliarden teures Großkraftwerk, sondern als dezentrales „Block-Heiz-Kraftwerk“. Ironischerweise ist diese Entwicklung erst durch die wetterabhängige Erzeugung mit Wind und Sonne so richtig angefacht worden. Die einstigen Vorteile des guten alten Stromnetzes – Versorgungssicherheit bei günstigen Kosten – drohen durch die „Regenerativen Energien“ systematisch zerstört zu werden. Will man nicht zurück ins Mittelalter, sind also schnellstens neue Lösungen gefragt.

Das Konstruktionsprinzip

Will man direkt in die Städte oder Industrieanlagen (Raffinerien, Chemieparks etc.) ist die maximale Leistung auf einige zehn Megawatt begrenzt. Diese Kernkraftwerke müssen für einen Inselbetrieb ausgelegt sein: Ohne ein Netz in Betrieb zu nehmen (*Schwarzstart*), nahezu unterbrechungsfrei laufen (kein Brennelementewechsel), äußerst robust auf Lastschwankungen reagieren können und nicht zuletzt – „sicher sein“.

Bei allen schweren Störfällen – Three Mile Island, Tschernobyl, Fukushima – war der Verlust des Kühlmittels (Wasser) ausschlaggebend. Während des Unfallgeschehens kamen noch Reaktionen des Kühlmittels mit den Reaktorwerkstoffen hinzu: Die Bildung von Wasserstoff und die anschließende Knallgas-Explosion führte z. B. in Fukushima erst zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Es ist damit logisch, daß der gesamte Kühlwasserkreislauf besondere Sorgfalt bei jeder Wiederholungsprüfung erfordert (Zeitdauer und Kosten) und all seine Bauteile den Kostentreiber „*nuclear grade*“ erfüllen müssen. Hinzu kommt, daß insbesondere bei Druckwasserreaktoren erhebliche Druckverluste auftreten, die durch Pumpen mit großer Antriebsleistung ersetzt werden müssen. Ein Ausfall der Stromversorgung, wie z. B. in Fukushima durch die gewaltige Flutwelle, ergibt damit sofort ein ernsthaftes Sicherheitsproblem. Könnte man das Kühlmittel Wasser ersetzen und darüberhinaus noch ein rein passives „Umwälzverfahren“ anwenden, ergebe sich sofort ein Quantensprung in der Sicherheitstechnik.

Seit Anbeginn der Kernkrafttechnik hat man Natrium als Kühlmittel verwendet. Neben seinen herausragenden thermodynamischen Eigenschaften,

besitzt es auch hervorragende neutronenphysikalische Eigenschaften. Allerdings war früher die Marschrichtung eine völlig andere: Man wollte sogenannte „Schnelle Brüter“ bauen, die aus Uran-238 mehr leicht spaltbares Plutonium-239 erzeugen, als sie während ihres Betriebs verbrauchen. Ursache war die falsche Annahme, daß die Vorräte an (wirtschaftlich) gewinnbarem Natururan nur sehr klein wären. Heute schwimmen wir weltweit nicht nur in Natururan, sondern auch bereits in Plutonium. Im Gegenteil, das Plutonium wird als „Endlager-Risiko“ und damit Handikap der Kernenergie betrachtet.

Strebt man einen „Schnellen Brüter“ an, muß dieser ein möglichst großes Volumen haben (Ausfluß von Neutronen) und daraus ergibt sich automatisch eine große Leistung. Schon muß man wieder die gleichen Sicherheitsprobleme wie bei einem Druckwasserreaktor lösen und stets im Griff behalten: Großes Kühlmittelvolumen, das auch noch zum Abtransport der Wärme ständig (aktiv) umgepumpt werden muß und unter keinen Umständen verloren gehen darf. Will man jedoch nur einen Reaktor (relativ) kleiner Leistung bauen, kann man diese Probleme geschickt umschiffen.

Wärmerohre als Kühlmedium

Beim eVinci wird der Wärmetransport vom festen Kern zum Arbeitsgas durch Wärmerohre (*heat pipes*) bewerkstelligt. Wärmerohre sind (dünne) Metallrohre mit einem Docht versehen, die teilweise mit einer Flüssigkeit gefüllt sind und anschließend gasdicht verschweißt werden. Das mit Flüssigkeit gefüllte Ende steckt in der Wärmequelle (Reaktorkern) und das mit Dampf gefüllte Ende in der Wärmesenke (Arbeitsgas). Die Flüssigkeit im Rohr wird nun kontinuierlich verdampft, breitet sich im Rohr aus und kondensiert am gekühlten Ende. Dort bildet sich ein Flüssigkeitsfilm, der durch die Kapillarwirkung im Docht wieder zum heißen Ende zurück strömt. Das Wärmerohr ist also stets mit Sattdampf gefüllt und besitzt dadurch annähernd die gleiche Temperatur an beiden Enden. Ist die Rohrwand dünn und besteht aus gut leitendem Material, können große Wärmeströme durch die Rohroberfläche übertragen werden. Das Wärmerohr kann immer nur in eine Richtung die Wärme transportieren, ist aber durch den „Docht“ nicht von der Lage abhängig.

Das Temperaturniveau hängt von der Flüssigkeit ab. Im eVinci sollen mit Natrium gefüllte Wärmerohre eingesetzt werden. Natrium hat einen Schmelzpunkt von ungefähr 98°C und einen Siedepunkt von 883°C bei Atmosphärendruck. Die übliche Bandbreite für mit Natrium gefüllte Wärmerohre beträgt etwa 600°C bis 1200°C. Strebt man eine „niedrige“ Temperatur von 600°C an, muß man im Wärmerohr einen sehr geringen Druck von etwa 0,06 bar einhalten. Die Kombination aus Temperatur und Druck ist keine besondere Herausforderung, da man sich damit noch im Bereich konventioneller Stähle bewegt.

Die Wärmerohre funktionieren vollständig passiv. Der einzige Antrieb ist die Wärmeproduktion im Kern – gleichgültig ob im Betrieb oder als

Nachzerfallswärme nach einer Abschaltung. Da jedes einzelne Wärmerohr ein in sich geschlossener Kühlkreislauf ist, stellt ein Versagen einiger Rohre für den Reaktor kein großes Problem dar. Im Gegensatz zu einem kleinen Loch in einem Druckwasserreaktor, das bereits die Sicherheitskette auslösen muß.

Der Aufbau des Kerns

Der Kern besteht aus einem massiven Stahlblock, der mit ca. 2000 Längsbohrungen von etwa 1,5 m Länge versehen ist. In den Längsbohrungen stecken die Brennelemente und die Wärmerohre. Das Verhältnis zwischen „Brennstäben“ und Wärmerohren beträgt etwa 1:2. In der Fertigung dieses „durchlöcherten Stahlblocks“ liegt ein zentrales Fertigungsproblem des Reaktors. Mit einfachem Bohren wird es nicht gelingen, da die Wände zwischen den Bohrungen möglichst dünn sein sollten um eine gute Wärmeübertragung zu gewährleisten. Der Stahlblock gibt der ganzen Konstruktion Halt, Schutz und transportiert die Wärme gleichmäßig zu den Wärmerohren. Es kann also nichts auslaufen und es steht auch nichts unter Überdruck.

Allerdings fehlt hier noch der Moderator. Bei einem Druckwasserreaktor übernimmt das Wasser selbst die notwendige Abbremsung der Neutronen. Beim eVinci soll Zirkoniumhydrid (ZrH_2) diese Aufgabe übernehmen. Wahrscheinlich auch als Legierung aus Uran, Zirkon und Wasserstoff. Für diese Legierungen existieren jahrzehntelange Betriebserfahrungen in den TRIGA-Forschungsreaktoren. Diese Brennstoffe besitzen ein ausgeprägtes Verhalten zur Selbstregulierung der Leistung (stark negativer Temperaturkoeffizient der Reaktivität): Erhöht sich die Brennstofftemperatur ungebührlich, bricht die Kettenreaktion praktisch sofort ein und infolge auch die Wärmeproduktion. Ein Schmelzen des Brennstoffs wird sicher verhindert.

Der Brennstoff

Als Brennelemente sollen die – auch hier schon näher beschriebenen – TRISO Elemente verwendet werden. Sie besitzen ausgezeichnete Eigenschaften bezüglich hoher Temperaturbeständigkeit und dem Rückhaltevermögen von Spaltprodukten. Erinnerung sei nur an die zwanzigjährige Erfolgsgeschichte des Kugelhaufenreaktors in Jülich. Unzählige Versuche in Deutschland und China haben die „Walk-Away-Sicherheit“ nachgewiesen. Dieser Brennstoff kann auch nach schwersten Störfällen, wie z. B. in Fukushima, nicht schmelzen und damit größere Mengen radioaktiver Stoffe freisetzen.

Allerdings benötigt man bei solch kleinen Reaktoren höher angereichertes Uran als bei Leichtwasserreaktoren. Ferner wird hier das „Batterie-Konzept“ angestrebt. Man liefert den betriebsbereiten Reaktor, schließt ihn an und läßt ihn für mindestens zehn Jahre (nahezu) vollautomatisch und ohne Unterbrechung laufen. Quasi ein Blockheizkraftwerk ohne

Tankstelle. Durch die Wahl der TRISO-Brennelemente ist man zukünftig sehr flexibel. Neben Uran (HALEU) sind auch Plutonium und Thorium einsetzbar. Nur die Brennstoffherstellung muß verändert werden.

Das Arbeitsmedium

Da bei dieser Konstruktion der Kern mit seiner Neutronenstrahlung durch die Wärmerohre physikalisch vom Arbeitsmedium CO₂ getrennt ist, hat man stets ein „sauberes“ Arbeitsmedium. Man muß also nicht noch einen sekundären Dampf-Kreislauf wie z. B. beim Kugelhaufenreaktor (radioaktiver Staub durch Abrieb der Brennelemente) oder einem mit Natrium gekühlten Reaktor (Aktivierung des Natriums durch schnelle Neutronen) hinzufügen. Dies spart Bauvolumen, Bauteile (die Funktion des Zwischenwärmetauschers übernehmen die Wärmerohre) und letztendlich Kosten. Im Prinzip ist man damit in der Wahl des Arbeitsmediums völlig frei. Allerdings sollte man die „Drucklosigkeit“ dieses Reaktortyps nicht grundlos aufgeben. Druckdifferenz bei hoher Temperatur bedeutet automatisch Wandstärke und damit Gewicht. Der Vorteil des einfachen Transports könnte schnell verloren gehen.

Beim eVinci ist zur Stromproduktion eine Gasturbine mit CO₂ als Arbeitsmedium vorgesehen. Mit CO₂ als Betriebsstoff besitzt man in der Kerntechnik jahrzehntelange Erfahrung (z. B. die gasgekühlten Kernkraftwerke in Großbritannien). CO₂ läßt sich aber auch sehr gut als Medium für eine Gasturbine einsetzen. Man kommt damit mit wesentlich kleineren Arbeitsdrücken als bei Wasser aus. Die hohe angestrebte Betriebstemperatur von 600°C+ bei diesem Reaktor, erlaubt trotzdem akzeptable Wirkungsgrade. Noch wichtiger ist die Temperatur am kalten Ende des Turbinenaustritts: Eine Gasturbine arbeitete – anders als eine Dampfturbine – ohnehin mit so hohen Temperaturen, daß problemlos eine Kühlung mit Umgebungsluft möglich ist. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil für alle „Wüstengebiete“ bzw. Flüsse, bei denen die zulässige Temperaturerhöhung bereits ausgereizt ist. Momentan ist der Einsatz von Turbinen mit überkritischem CO₂ Kreisprozess geplant. Solche Turbinen gibt es bereits für diese Leistungsklasse. Ein weiterer Vorteil für die Beschränkung als „Mikroreaktor“. Des weiteren will man sich im ersten Schritt auf eine Temperatur von 600°C beschränken, sodaß man sich noch voll im Bereich konventioneller Kraftwerkstechnik bewegt.

Wieder ein Papierreaktor mehr?

Danach schaut es diesmal wahrlich nicht aus. Der eVinci besteht aus Komponenten, an denen bereits seit Jahrzehnten in den „*National Laboratories*“ geforscht und entwickelt wird. Das Gesamtkonzept mag revolutionär anmuten, die Grundlagen sind längst in aller Stille geschaffen worden. Deshalb ist der Terminplan auch sehr eng gestrickt. Fertigstellung eines Prototyps – noch ohne Kernbrennstoff – bis Ende 2020. An diesem „Modell“ sollen die Fertigungsverfahren ausprobiert werden und die Berechnungsverfahren etc. verifiziert werden.

Inbetriebnahme eines Prototyps durch Westinghouse noch 2024. Bereitstellung von genehmigungsfähigen und lieferbaren Reaktoren für das Verteidigungsministerium bis 2026. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß die kanadischen Genehmigungsbehörden ein paralleles Genehmigungsverfahren aufgenommen haben. Ziel dort ist die Versorgung abgelegener Minen mit Strom und Wärme. Es ergibt sich damit erstmalig die Situation, daß die Entwicklung eines „Prototypen“ – wie in guten alten Zeiten – in der Hand des Energieministeriums verbleibt. Parallel wird ein kommerzielles Genehmigungsverfahren von zwei nationalen Behörden gleichzeitig entwickelt. Konkurrenz belebt das Geschäft. Das bisher praktizierte „Totprüfen“ durch immer neu erfundene Sicherheitsnachweise – in Stundenlohnarbeit versteht sich – scheint diesmal ausgeschlossen.

Betrachtet man die Ströme an Forschungsgelder innerhalb der Kerntechnik in den USA der letzten zwei Jahre, so wird der Stellenwert dieses Projekts deutlich. Dies betrifft sowohl die absolute Höhe, als vor allem den relativen Anteil. Große Summen fließen bereits in Fertigungsverfahren. So wird eine vollautomatische Fertigung für die Wärmerohre entwickelt. Diese soll die Produktionskosten auf unter ein Zehntel der bisherigen Kosten senken. Gleiches gilt für die Produktion von TRISO-Brennelementen und eine neue Anreicherungsanlage für HALEU. Erklärtes Ziel ist ein Kraftwerk für einen Preis unter 2000 US\$/kW anzubieten. Ausdrücklich in Konkurrenz zu Erdgas-Kombikraftwerken. Diese Kraftwerke sollen innerhalb von 30 Tagen ab Auslieferung vor Ort einsetzbar sein. Sie sollen in Fabriken, ähnlich denen für Flugzeugtriebwerke, in Serie gefertigt werden.

Warum das alles?

Man mag es gut finden oder nicht. Mal wieder scheint der Krieg Vater aller technischen Entwicklungen zu sein. Das US-Militär befindet sich mitten im Umbruch. Weg von der jahrzehntelangen Jagd auf irgendwelche Taliban mit Kalaschnikows und am Ende der Träume von der „Friedensdividende“ aus dem Zusammenbruch der Sowjetunion. China wird immer aggressiver (Südchinesisches Meer) und Parallelen zum Japan der 1930er Jahre erscheinen immer beängstigender. Hinzu kommt der Potentat Putin mit seinen Eskapaden in Osteuropa und Syrien, der sich inzwischen als die beste Werbeabteilung der amerikanischen Rüstungsindustrie erweist. Man muß sein Geschwafel über seine Wunderwaffen nur wörtlich nehmen und schon hat man Vorlagen für neue Rüstungsprogramme. Im Rahmen der Umstrukturierung wird immer deutlicher, daß der nächste „große Krieg“ voll elektrisch wird: Immer mehr Radaranlagen, immer mehr Datenverkehr, immer mehr Computer und sogar Laser-Waffen. All dies erfordert immer mehr elektrische Leistung, möglichst nah an der Front. Diese Energieerzeugungsanlagen müssen aber ständig mit Treibstoff versorgt werden, was zusätzliche Kräfte bindet – besonders in den Weiten des Pazifiks. Ganz ähnlich ist die Entwicklung bei der Marine. Hinzu kommt dort die neuartige Bedrohung durch präzise Mittelstreckenraketen.

Eine Antwort auf diese Bedrohung ist die Kombination aus klassischen Schiffen mit „Roboter-Schiffen“. Diese Schiffe machen aber nur Sinn, wenn sie – ohne Besatzung – quasi endlos über die Weltmeere ziehen können. Kernreaktoren bieten sich als Antrieb geradezu an, sind aber mit heutiger Technik nicht finanzierbar. Billige Mikroreaktoren wären eine Lösung.

Immer wenn sich Militärs etwas in den Kopf gesetzt haben, bekommen sie kurz über lang ihre Wünsche erfüllt. Ganz besonders, wenn in breiten Bevölkerungskreisen eine Angst vor einer konkreten Bedrohung vorhanden ist. Dann spielen Kosten keine Rolle mehr. In den USA ist es schon immer Tradition gewesen, neuartige militärische Entwicklungen möglichst schnell in die zivilen Märkte überzuführen (Spielekonsolen, GPS etc..). Geheimhaltung ist sowieso nur beschränkt möglich, aber große Stückzahlen senken die Kosten. In diesem Sinne, ist in der Tat mit dem schnellen Aufbau von „Reaktor-Fabriken“ zu rechnen. Dies paßt auch zum aktuellen Zeitgeist: Donald Trump ist mit dem Slogan angetreten, die Industriearbeitsplätze zurück zu holen. Er hat dabei sicherlich nicht an Nähereien für Hemden gedacht. Alle, die dies milde als „populistisch“ abgetan haben, könnte das Lachen bald vergehen.

Der Beitrag erschien zuerst bei NUKEKLAUS hier