

Energieerzeugung: HTR und FTS kombiniert

Mobilität und Strom auch in Zukunft gesichert

Die Sicherung ausreichender Energieressourcen ist in der Zukunft wohl eine der größten Herausforderungen, für die unsere Gesellschaft eine Lösung finden muss. Hier zur Diskussion gestellt ein Vorschlag, der auf sicherer Nutzung von Nuklearenergie basiert. Vorweg: wer fest überzeugt ist, dass Atome und ihre Energie vom Bösen sind, sollte nicht weiterlesen. Alle anderen sind eingeladen, die Chancen zu erblicken und Herausforderungen anzunehmen.

Wenn Prof. Werner Sinn von ifo-Institut die „Energiewende ins Nichts“ vorrechnet, kann man nicht zur Tagesordnung übergehen. Beim Strom erleben wir bereits, wie undurchdachte Entscheidungen auf Kosten, Preise und Wohlstand wirken. Die jetzt beschlossene EEG-Reform muss schon in Kürze wieder reformiert werden. Die Strompreise steigen durch die EEG-Umlage auf absehbare Zeit weiter, ganz gleich, ob diese Lasten auf die eine oder andere Gruppe verlagert werden. Auch wenn die Industrie einen größeren Teil schultern muss, schlägt dies auf die Endprodukte oder den Export durch. In der EU schafft der Alleingang Deutschlands keine Freunde. Wenn einige Investoren

für 20 Jahre ziemlich sichere Einnahmen erzielen, wird dies mit jährlicher Umverteilung (derzeit 23 Mrd. €) erkaufte – zu Lasten aller anderen Bürger.

Das fordert den Wirtschaftsingenieur heraus. Selbst ausgeklügeltste Sparmethoden erreichen nicht, dass Ökostrom konstant oder auch nur bedarfsgerecht zur Verfügung steht. Das intelligenteste Stromnetz wird den Anspruch auf unterbrechungsfreie Energie nicht erfüllen, den viele Bedarfsträger benötigen. Um die Versorgung zu sichern, muss eine kaum ausgelastete Backup-Struktur für nahezu 100 Prozent der Nachfrage vorgehalten werden. Der dazu diskutierte Kapazitätsmarkt für Gas- und Kohlekraft-

werke wird die Kosten weiter steigern. Stand-by-Kraftwerke verursachen neben unakzeptabel hohen Kosten auch erhöhten CO₂-Ausstoß.

Neben Strom wird noch doppelt soviel andere Energie benötigt:

- Wärme für Wohnungen und die Industrieprozesse sowie
- Mobilität für deutsche und transitfahrende Autos und LKW

stehen für 60 bis 70 Prozent unserer gesamten Energiebilanz.

Prognose von fallenden Strombedarf ist falsch

Die ausgerufene Wende kümmert sich darum kaum, selbst wenn das Ziel von einer Million Elektroautos bis 2020 erreicht werden sollte. Hohe Investitionen und Gesamtkosten für ein Tanknetz fallen an, und dabei werden die längeren Fahrstrecken nicht berücksichtigt. Wie sich eine theoretisch anvisierte Steigerung des Elektroverkehrs, zum Beispiel auf die Hälfte der heutigen 45 Millionen Kfz auswirken würde, wie deren Strombedarf auch nur annähernd gedeckt werden könnte, wurde öffentlich noch nicht diskutiert. Auch die Optimisten werden nicht an eine solche Entwicklung glauben.

Leicht zu errechnen ist aber, dass damit der heutige Stromanteil von 30 auf rund 50 Prozent steigen würde. Die offizielle Prognose vom abnehmenden Strombedarf wird damit ad absurdum geführt. Es ist auch nicht zu erwarten, dass Desertec-Wüstenstrom die Lücke zu annehmbaren Kosten schließen kann. Führende Beteiligungsfirmen haben das Konsortium bereits verlassen. Statt der Versorgung Europas



Bild: Peter von Bechen

Müll als Rohstoff für die Treibstoffgewinnung. Mit der Kombination aus HTR und FTS scheint das durchaus lohnen zu sein.

denkt man nun realistischer an die afrikanischen Verbraucher. Andererseits werden unsere Nachbarländer versuchen, die hier fehlenden Kapazitäten mit ihren Kernkraftwerken zu schließen (Beispiel Fessenheim im Westen). Im Osten bereitet man sich mit neuen Kernkraftwerke schon darauf vor. Das Resultat wird sein: geringere Sicherheit zu höheren Kosten.

Erprobte Technologien und Prozesse sinnvoll kombinieren

Anfang 2009 konnte hier eine „Alternative für den Autoverkehr der Zukunft“ (t&m 2/2009) vorgestellt werden. Inzwischen wurden Parameter überprüft, Erfahrungen ausgetauscht und die Überlegungen konkretisiert. Es geht darum, erprobte Technologien und Prozesse sinnvoll zu kombinieren und zu optimieren, um damit Energie für die Mobilität insgesamt wirtschaftlich und kostengünstig bereitzustellen. Wenn man Energie pro Gewicht, Lade-/Tanktechnik, Verteilnetze, Tankstellen, Sicherheit und Kosten über alles betrachtet, werden flüssige Treibstoffe anderen Speichern und Batterien noch auf Jahrzehnte weit überlegen sein. Dabei ist es unerheblich, ob man Hydrazin (für Raketen bekannt), Diesel, Benzin oder Ethanol ins Auge fasst. Benzin speichert heute pro Kilogramm Gewicht fast 50 mal soviel Energie wie die besten Batterien. Bei doppeltem Wirkungsgrad der Elektroautos ist das immer noch das 25-Fache.

Kraftwerke zu Spritfabriken umbauen

Aus diesen Überlegungen heraus wurde der Gedanke, bei uns bestehende Kraftwerke zu Spritfabriken umzubauen, unter wirtschaftlichen Aspekten weitergedacht und durchgerechnet. Es ergeben sich interessante Perspektiven. Folgende Forderungen sollen erfüllt werden:

- Treibstoff soll zu heute vergleichbaren Preisen geliefert werden.

- Autos, Motoren, Tankstellen und Logistik sollen nur minimal geändert werden.
- Fabriken der Autoindustrie sollen nicht radikal umgestellt werden.
- Arbeitsplätze und Qualifikationen der Mitarbeiter werden weiter genutzt.
- Neue Fern-Stromtrassen sollen vermieden werden.
- Das bestehende Stromnetz wird vom Ferntransport entlastet.
- Die heutigen Strom-Netze halten länger, weil weniger Ferntransport nötig ist.
- Kohle, insbesondere Braunkohle, wird weniger verbrannt.
- Stein- und Braunkohle werden statt dessen zu Treibstoff veredelt (hydriert).
- Dabei anfallende Mengen an CO₂ sind voraussichtlich geringer als bisher.
- Bestehende Kraftwerke werden umgebaut statt ausgemustert.
- Der Rückbau von Kern- und Kohle-Kraftwerken wird mindestens teilweise vermieden.
- Die damit einzusparenden riesigen Summen werden sinnvoll umgewidmet.
- Die Entsorgung von Atommüll wird drastisch vereinfacht.
- Die heute in allen Kernkraftwerken bestehenden „Wartelager“ werden aufgelöst.
- Die Endlagersuche entfällt, Brennelementen sind schon „start-of-pipe“-Endlager.
- Luftverschmutzung von fossilen Kraftwerken wird drastisch verringert oder behoben.
- Atemwegserkrankungen können massiv verringert werden.
- Die Zahl der 7 Mio. Toten (jährlich laut WHO) könnte wahrscheinlich signifikant verringert werden.
- Müll und fossile Abfälle werden weitgehend nutzbringend verwertet.
- Voraussichtlich werden sogar Kern-

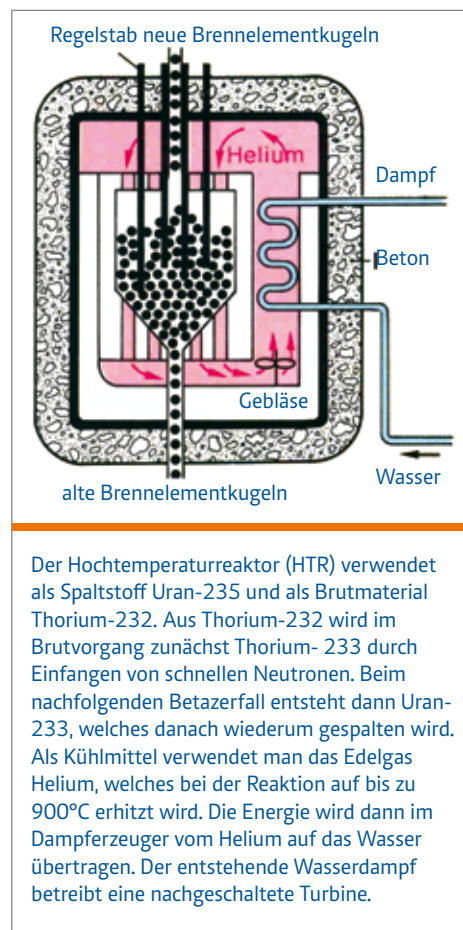


Bild: www.chempage.de

Der Hochtemperaturreaktor (HTR) verwendet als Spaltstoff Uran-235 und als Brutmaterial Thorium-232. Aus Thorium-232 wird im Brutvorgang zunächst Thorium-233 durch Einfangen von schnellen Neutronen. Beim nachfolgenden Betazerfall entsteht dann Uran-233, welches danach wiederum gespalten wird. Als Kühlmittel verwendet man das Edelgas Helium, welches bei der Reaktion auf bis zu 900°C erhitzt wird. Die Energie wird dann im Dampferzeuger vom Helium auf das Wasser übertragen. Der entstehende Wasserdampf betreibt eine nachgeschaltete Turbine.

brennstoff-Abfälle verwendet und damit entsorgt.

- Plutonium-Nebenproduktion wird fast ganz vermieden
- Waffen-Plutonium soll zur Energieversorgung verbraucht und entsorgt werden
- Gefahren ausgehend von Flugzeugabstürzen, Beben oder Terroristen sind praktisch ausgeschlossen.

Wie kann all das gelingen, wenn gleichzeitig ein totaler Ausstieg aus der heutigen Kernenergienutzung stattfinden soll? Der Schlüssel liegt im Wörtchen „heutig“! Da die heutige Kerntechnik überall mit einem seltenen, aber sehr großen „Restrisiko“ verbunden ist, muss sie vermieden werden. Auch bei den besten deutschen Leichtwasser-Bauarten ist dieses Risiko nicht vollkommen ausgeschlossen.

Die sichere Alternative HTR

Daher stellt sich die Frage, ob andere Kernkrafttechnik diese Nachteile vermeiden kann. Zwischen 1960 und 1988 wurden bei uns zwei Alternativen erprobt, der Hochtemperatur-(HTR)- und der schnelle Brut-Reaktor. Während man beim schnellen Brüter in Kalkar bald erkannte, dass die Natriumfüllung zu gefährlich ist, fanden beim HTR (als Versuch in Jülich und

Es gab niemals eine gefährliche Situation.

als Prototyp in Hamm), was die Sicherheit angeht, sehr erfolgreiche Versuche statt. Der am 10. Juni 2014 in Jülich vorgestellte Expertenbericht wies nach, dass es trotz typischer Versuchs-Szenarien niemals eine wirklich gefährliche Situation gab. Grund dafür ist die inhärente Sicherheit, die mit dem gesteigerten Neutroneneinfang bei Überhitzung entsteht. Die Baukonstruktion erlaubt dann, dass die Nachzerfallswärme schnell an die Umluft abgeführt wird. Weitere Vorteile sind:

- Kleinere Einheiten können ab etwa 250 Megawatt Leistung rentabel betrieben werden und eignen sich für verbrauchsnahe Standorte, vermeiden also die Notwendigkeit neuer Fern-Stromtrassen. Heutige Leichtwasser-Reaktoren sind erst bei einer drei- bis vierfachen Leistung rentabel.
- Die Entsorgung ist unproblematisch, weil die abgebrannten Brennelemente (Kugeln) in sich schon dreifach abgesichert sind und bis zum Abklingen oberirdisch gelagert werden können, wie es heute in Jülich und Ahaus der Fall ist. Endlager im üblichen Sinne sind entbehrlich, zumal mit Transmutation und Spallation in den nächsten Jahrzehnten auch die Abfälle wieder interessant werden dürften.
- Ein HTR kann sehr gut zur Produktion von Sprit aus Kohle und Biomaterial eingesetzt werden. Der Nutzen zum Ersatz von erschöpfbaren Ressourcen wie Öl und Gas sowie bei der Vermeidung von CO₂-Emissionen ist wesentlich höher.

Bekanntes Verfahren: Fischer-Tropsch-Synthese (FTS)

Schlüssel zur Treibstoff-Herstellung ist die fast 100 Jahre alte Fischer-Tropsch-Synthese (FTS), mit der schon in den 1940er-Jahren fast der gesamte Spritbedarf gedeckt wurde. Kritisch war allerdings immer der hohe Wärmebedarf bei dieser chemischen Reaktionskette. Spricht man mit Fachleuten der technischen Chemie, erfährt man, dass der schlechte Wirkungsgrad (unter 30 Prozent) damals aus politischen Gründen geduldet wurde. Zuletzt brach man die Treibstoff-Produktion Mitte der 1970er-Jahre ab, nachdem der Rohölpreis wieder auf 10 US \$ je Barrel gefallen war. Heute, bei über 100 US \$ sieht die Wirtschaftlichkeit ganz anders

Bei hohen Temperaturen ist die FTS wirtschaftlich.

aus. Auch in Südafrika, wo mit SASOL heute die einzige produktive Anlage betrieben wird, leistet man sich noch einen erheblichen Kohleverbrauch zur Erzeugung der notwendigen Hitze. Die insgesamt endotherme FTS kann aber verbessert werden, wenn man HTR-Wärme einschleust.

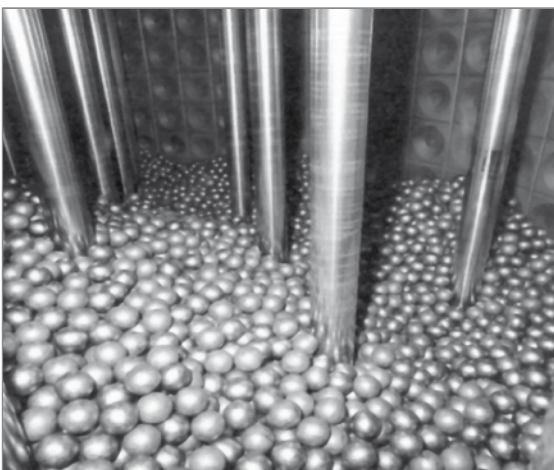
Ausstiegsgesetz ist die größte Hürde

Zur Wieder-Nutzung von Kernenergie, selbst im HTR, ist derzeit das deutsche Ausstiegsgesetz die größte Hürde. Es macht keinen Unterschied zwischen GAU-gefährdeten und GAU-freien Kerntechniken, was an der erwiesenen Unkenntnis der Beschlussgremien liegt. Es liegt nicht an einer etwaigen Gefahr dieser Technik. Daher wäre eine Ausnahmeregelung überfällig.

Wie sieht nun die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens aus? Am Beispiel eines Kraftwerksblockes (z.B. 300 MW el/ 750 MW th), wie er heute häufig anzutreffen ist, wurde sie durchgerechnet. Dahinter steht der Gedanke, dass Um- und Rückbau vorhandener Kraftwerke viele Milliarden verschlingen wird, die besser genutzt werden könnten. Je größer das umzubauende Kraftwerk, desto besser sind die Economies of Scale. Man kann z. B. fünf der kleinen HTR zu einer Batterie zusammenschalten, um ein Kraftwerk mit 1.500 MWel zu beheizen.

Beispielrechnung

Das Beispiel ergibt folgende Berechnung: Ein HTR wird mit einem FTS-Hydrierwerk kombiniert, bzw. nachgerüstet. Der erste Vorteil ist, dass Standort, Netz- und Transportverbindungen sowie die Rohstoffbasis (Kohle) weiter genutzt werden. Derartige Kraftwerke haben heute Wirkungsgrade um 40 Prozent. Man bräuchte also rund 750 MWth Wärmeleistung – erzeugt durch Verbrennen der Kohle. Diese Wärme liefert künftig ein HTR, am besten in Braun- oder Steinkohlegebieten. Vielleicht zunächst im Ausland, solange es in Deutschland kein anderes Gesetz gibt. Die Kohle wird

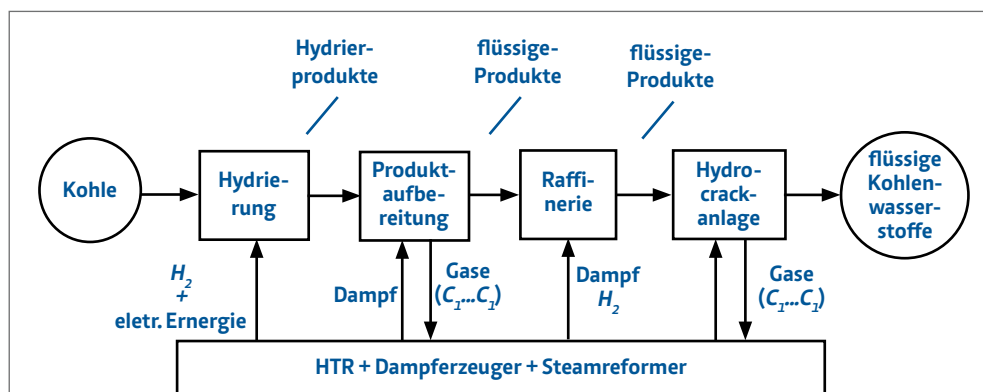


Der verwendete Kernbrennstoff ist in Graphitkugeln gasdicht eingeschlossen, welches gleichzeitig als Moderator dient.

nicht mehr verbrannt, sondern zu synthetischem Kraftstoff veredelt. Nun kommt der Vorteil der Hochtemperatur zum Zuge: Man baut nicht einen, sondern zwei KBO (Kugelbett-Ofen). Diese haben zusammen eine Kapazität von thermisch 1.500 MW. Entscheidet man sich für die modulare Serienherstellung kleiner KBO, wie derzeit in China, ließen sich auch sechs Stück mit je 250 MWth hinstellen.

Die Wärme des KBO von fast 1.000 Grad durchströmt zunächst das Hydrierwerk, in dem die Kohle verflüssigt wird. Danach ist die Ausgangswärme des Hydrierwerks noch heiß genug, um mit einer Temperatur von ca. 600 Grad den Dampferzeuger für die Turbinen zu versorgen. Mit diesen wird dann Strom im Generator wie bisher erzeugt. Da die Kohle nicht mehr verbrannt wird, ist der Prozess weitgehend emissionsfrei. Die FTS, die heute im Ruf steht, viel CO_2 in die Luft zu blasen, wird ebenfalls umweltfreundlich, weil sie keine Kohle mehr verbrennt. Hier kommt der Alleinstellungsvorteil des HTR als Wärmequelle voll zur Geltung.

Die besten heute bekannten FTS-Prozesse haben einen Wirkungsgrad bis zu 60 Prozent (z. B. im Choren-Verfahren). Aus Kohle oder Bio-Abfall mit einem Heizwert von 100 MWh ist Kraftstoff mit rund 60 MWh zu gewinnen.



HTR mit einem FTS-Hydrierwerk kombiniert: Die Wärme des KBO von fast 1.000 Grad durchströmt zunächst das Hydrierwerk, in dem die Kohle verflüssigt wird. Danach ist die Ausgangswärme des Hydrierwerks noch heiß genug, um mit einer Temperatur von ca. 600 Grad den Dampferzeuger für die Turbinen zu versorgen.

Die restlichen 40 MWh werden größtenteils „verheizt“. Ersetzt man diese Hitze mit der Reaktor-Hochtemperatur, so steigt der Wirkungsgrad drastisch an. Erfahrungswerte liegen hier zwar noch nicht vor. Befragte Chemiker konnten hierzu bisher nichts Genaueres sagen, weil ihnen die Hochtemperatur-Zufuhr fremd ist. Wichtig sei jedoch die geeignete Wahl des Katalysators. So legt das hier vermutete Potential nahe, die Erprobung dieser kombinierten Produktion und Umrüstung zu rechtfertigen. Da die Einzelverfahren lange bekannt sind, wären negative Überraschungen kaum zu erwarten.

Rechnet man die vorgenannten Heizwerte in Mengen um, so entspre-

chen 100 MWh Braunkohle bei einem spezifischen Wärmeinhalt von 5,6 MWh je Tonne insgesamt 18 Tonnen Kohle. Da Benzin einen Wärmeinhalt von 11 MWh je Tonne hat, ergibt dies rund 9 Tonnen = ca. 11.000 Liter Benzin.

Weitere Einsatzgebiete erscheinen ebenfalls lohnend

Dem Autor ist bewusst, dass einige der hier genannten Zahlen noch verifiziert werden müssen. So variieren die Schätzwerte für den Bau eines modularen Kugelbett-Ofens derzeit noch zwischen etwa 600 und 1.500 Mio €. Das ist eine viel zu große Spanne. Sie ist durch die spezifisch deutsche Situation zu erklären: unter anderem fehlen hierzulande inzwischen die grundlegendsten Qualifikationen, weil viele Kenntnisträger verstorben oder überaltert sind. Ähnlich ist es beim Hydrierwerk. Auch hier ist das Know-how für diese Techniken in den letzten 30 Jahren ins Ausland abgewandert oder schlicht vergessen. Die verbliebenen Versorger und Hersteller haben diesem Sektor zu wenig Beachtung geschenkt und operieren teils mit Mondpreisen.

Da die oben dargestellte Wirtschaftlichkeit attraktiv erscheint, ist jeder willkommen, der weitere Präzisierungen beisteuert. Details stehen auf www.biokernsprit.org zum Abruf bereit. Weitere Einsatzgebiete, zum Beispiel die Müllverspritzung, erscheinen ebenfalls lohnend und sollen in einem Folgeartikel dargelegt werden.



Der Autor Dipl.-Ing. Jochen K. Michels

ist selbständiger Unternehmensberater (www.jomi1.com) und berät große und mittlere Unternehmen seit 1975 mit Schwerpunkt IT-Finanzmanagement aus unternehmerischer Sicht. In Analysen, Büchern und Fachbeiträgen äußert er sich zu verschiedenen Bereichen des IT-Finanzmanagement. Seit 2005 hat er sich außerdem in Fragen der Kerntechnik eingearbeitet, mit dem Ziel, gangbare Wege für die Versorgung mit mobiler Energie zu ermitteln. Im Vordergrund steht dabei, der GAU- und Endlagerfreien Version in Deutschland wieder den Stellenwert zu verschaffen, die sie verdient. Siehe auch www.biokernsprit.org, www.kugelbett-ofen.de und die XING-Gruppe Biokernsprit sowie viele XING-Beiträge zu Energiefragen. Kontakt zum Autor: jochen.michels@jomi1.com