

## Biokernsprit -Trilogie - Zweiter Teil "Kern"

Energie für Mobilität – Gas und Öl - kommt bisher aus Ländern, die politischen Schwankungen unterliegen, Vorräte gehen zur Neige. Die Preise steigen. Die Umwelt leidet. Da kann es nicht beim „Weiter so!“ bleiben. Elektro-Autos, Hybrid-Antriebe, Stirling-Motoren oder Brennstoffzelle können nur einen Teil unseres mobilen Energiebedarfes decken. Da bleibt genug Raum für eine Lösung, die das Problem ganzheitlich angeht, deutsche Ingenieurkunst einsetzt und Pioniergeist bei nachwachsenden Energiepflanzen nutzt. Die Chancen katastrophenfrierer Kerntechnik werden unvoreingenommen einbezogen und subsidiäre, dezentrale Versorgung gegen monopolistische Strukturen gestellt. Während in China schon ein Forschungs-Reaktor läuft, wird in anderen Ländern noch gezögert. Aber deutsche Erfahrungen sind die gründlichsten: nicht nur die Physik, auch die Bauform und viele andere Details sind wichtig. Das kann uns den Vorsprung sichern. Die Wirtschaftlichkeit wird nachgewiesen: der Sprit wird deutlich billiger als heute. Dies ist der zweite Band der Trilogie, die das Verfahren umfassend dokumentiert und aufbereitet. Es folgt noch Teil III „Sprit“.



### Jochen K. Michels (Hrsg.)

Neben seiner Tätigkeit als Unternehmensberater hat sich der Autor und Herausgeber zur Aufgabe gesetzt, eine umweltfreundliche, nachhaltige und sichere Treibstoff-Versorgung vorzuschlagen. Als Wirtschafts-Ingenieur zieht er alle erreichbaren Quellen zu Rate, prüft sie auf Schlüssigkeit und stellt sie zur Diskussion.



978-3-639-38942-5

Biokernsprit - Teil II - Kern



Jochen K. Michels (Hrsg.)

Jochen K. Michels (Hrsg.)

## Biokernsprit -Trilogie - Zweiter Teil "Kern"

Mobile Energie aus Biomasse mit GAU-freier  
Kernenergie

 AkademikerVerlag

Jochen K. Michels

# **BioKernSprit**

2. Auflage 2012

**Trilogie: Teil II - Kern**

**Umsteigen statt Aussteigen !**

**Mobile**

**Kraft**

**aus Biomasse,**

**Kohle**

**und**

**Kernenergie**

Sprit aus Biomasse, mit Kernwärme erzeugt

Trilogie: Teil II - Kern

Stand Februar 2012

## Geleitwort

Die wirtschaftliche Entwicklung ist ohne Energie nicht denkbar. Die Energieversorgung der Zukunft muss jedoch folgende Probleme gleichzeitig lösen:

Die Weltbevölkerung und ihre wirtschaftliche Entwicklung steigen und damit der Energiebedarf, gleichzeitig soll die Versorgung mit Energie jedoch zuverlässig, umweltschonend, nachhaltig und effizient sein und natürlich in ausreichenden Mengen preisgünstig zur Verfügung stehen.

Dies zu verwirklichen entspricht einer wirtschaftlichen Revolution und beeinflusst alle Bereiche des Lebens. Wir müssen alle umdenken, sparsamer mit Energie umgehen und die F&E Arbeiten erheblich intensivieren, um schnelle Fortschritte zu erzielen. All dies wird nur gelingen, wenn man nicht ideologisch verbohrt, sondern technikfreundlich und sachlich an die Probleme herangeht.

Dieses Buch ist ein Beitrag in diese Richtung und ich wünsche dem Verfasser ein großes Interesse an dem Buch.

Prof. Dr. Peter Kausch

## Zum Geleit

Vor ca. 50 Jahren war es das Genie von Professor Dr. Rudolf Schulten und die Einsicht von 15 Stadtwerken, die den GAU vorausschauend eindämmen wollten. Er ließ für die Konstruktion der Kugelbett-Öfen ausschließlich keramische Einbauten zu. Sie werden im Gegensatz zu den Meilern kontinuierlich von oben beladen und ebenso kontinuierlich nach unten entsorgt. Und sie können vor allem mit Thorium beschickt werden. Auch für die Endlagerung wurden keramisch verkapselte Panzerkörner mit einer Haltbarkeit für Millionen Jahre vorgesehen. Seit 1960 haben wir in Aachen und Jülich mit größten Erfolgen an den Kernreaktoren der vierten Generation geplant und gearbeitet.

In Deutschland kam es dann zu der Meinung, die in Amerika entwickelten Leichtwasserreaktoren seien sicher genug. Das aber hat sich im Laufe der Jahrzehnte als Irrtum erwiesen. Denn die Menschheit kann es sich nicht länger leisten, die Kernreaktoren mit großen Restrisiken beliebig zu vermehren.

Die Errungenschaften von Jülich sind bei uns von Anfang an verdrängt worden. Derzeit herrscht dazu bei uns noch immer eine Schweigespirale.

Die chinesischen Erfolge mit dem HT- Kugelbett- Ofen haben nun auch in Amerika eine Wende in der Erkenntnis gefördert. Wir brauchen in der Zukunft große Wasserstoffindustrien um hocheffiziente mobile Energiespeicher zu bekommen. Mit Hilfe von Kugelbettöfen, am besten mit Thorium befeuert, geht das am sichersten und schnellsten. Und eine Fülle von Wasserstoff kommt auch den nachwachsenden Brennstoffen und anderen erneuerbaren Energiequellen zugute. Durch Wasserstoffträger wie Ethanol, Methanol und Butanol können schon mittelfristig die notwendigen Energiespeicher entstehen.

Der Weg für eine wachsende Menschheit ist frei.

Hermann Josef Werhahn

# INHALT

<b>1</b>	<b>BIOKERNSPRIT</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Kraftstoff-Erzeugung mit Hochwärme</b>	<b>14</b>
1.1.1	Kraftstoff-Erzeugung	14
1.1.2	Umwelt-Einflüsse	15
1.1.3	Tankstellen	15
1.1.4	Fahrzeuge -Motoren	15
<b>1.2</b>	<b>Biomasse – Bedarf, Verfügbarkeit, CO2</b>	<b>15</b>
1.2.1	Sprit-Bedarf	16
1.2.2	Mengen und Vorräte	16
1.2.2.1	Biomasse - Wald	16
1.2.2.2	Biomasse – Landwirtschaft	16
1.2.2.3	Kohle und sonstige Einsatzstoffe	17
1.2.2.4	Gewinnung und Transport	17
1.2.2.5	Wirtschaftlichkeits-Rechnung Bio-Sprit (s.Tabellen-Anhang)	18
<b>1.3</b>	<b>Hochwärme und Strom</b>	<b>18</b>
1.3.1	Wärme-Erzeugung durch ungefährliche Reaktion	18
1.3.2	Reaktoraufbau bietet Sicherheit	19
1.3.3	geschichtliche und politische Entwicklung	20
1.3.4	Stand der Forschung, Entwicklung und Nutzung	20
1.3.5	Sicherheit	21
1.3.5.1	Sicherer Reaktions-Prozess (siehe 2.5.1)	21
1.3.5.2	kein waffenfähiges Material (wie z.B. Plutonium)	22
1.3.5.3	keine Terror- und Katastrophengefahr	22
1.3.5.4	Risiko-Versicherung (siehe 2.5.7)	22
1.3.5.5	Versorgungs-Sicherheit	23
1.3.5.6	Lagerung von Abfällen	23
1.3.6	Umwelt-Einflüsse	23
1.3.7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	24
1.3.7.1	Investition, Bauphase inklusive Rückbau	24
1.3.7.2	Kosten der Brennstoffe	24
1.3.7.3	andere Betriebskosten	24
1.3.7.4	Wirtschaftlichkeits-Rechnung HTR (siehe Tabellen-Anhang)	24
1.3.7.5	Dualer Vorteil Wärme und Strom	25
1.3.7.6	Kosten der Verteilung – die Netze	25
<b>1.4</b>	<b>Komplette Energie-Bilanz</b>	<b>26</b>
<b>2</b>	<b>DOKUMENTATION UND BEWERTUNG</b>	<b>28</b>

<b>2.1</b>	<b>Hochtemperatur</b>	<b>30</b>
2.1.1	Einführung	30
2.1.2	Prof. Dr. Rudolf Schulten	31
2.1.2.1	Alte und neue Wege der Kerntechnik	32
2.1.3	Geschichtliche Entwicklung (nach Wikipedia und and.)	40
<b>2.2</b>	<b>Kugelbett-Reaktor oder –Ofen ?</b>	<b>41</b>
2.2.1	Typen und Generationen der Kern-Reaktoren.	41
2.2.1.1	Zum Laufwellen Reaktor (TWR – Travelling Wave R.)	42
<b>2.3</b>	<b>Hochtemperatur-Reaktor</b>	<b>42</b>
2.3.1	Funktionsprinzip	43
2.3.2	Reaktoraufbau	44
2.3.3	Kernreaktoren für die Wärmebereitstellung	45
2.3.4	Criticisms of the reactor design	51
2.3.5	Hochtemperaturreaktor mit Kugelbrennelementen	53
2.3.6	Der Kugel-Brennelement- HT-Reaktor	55
2.3.7	Brenn-Elemente und Körner (coated particles)	79
2.3.7.1	Kugel-Brennelemente	80
2.3.7.2	TRISO Brennstoff	80
2.3.8	Daten zum Jülicher Versuchsreaktor (AVR)	81
2.3.9	HT - Helium-Wärmetauscher	82
2.3.10	Unterschiede zu bisherigen Kern-Reaktoren	88
2.3.11	Pro und Contra laut MIT in USA	88
<b>2.4</b>	<b>Kernbrennstoffe</b>	<b>97</b>
2.4.1	Uranvorräte und Preis	98
2.4.2	Thoriumvorräte	98
2.4.3	Atom-Müll-Lagerung - Beispiel Ahaus	100
2.4.4	Nutzung statt Endlagerung	102
<b>2.5</b>	<b>Sicherheit</b>	<b>103</b>
2.5.1	inhärente HTR-Sicherheit	103
2.5.2	Störfälle und Sicherheit bei LWR und HTR	104
2.5.3	Proliferation – ungewollte Verbreitung in falsche Hände	116
2.5.4	Atomkraft - aber in Grün	116
2.5.5	Sichere Kernkraftwerke – Prof. A. Hurtado, Dresden	117
2.5.6	Beiträge von Dr. Werner von Lensa, Jülich	118
2.5.6.1	Veranstaltung - 02.11.2005 in Aachen	118
2.5.6.2	Sicherheitseigenschaften von P. W. Phlippen	119

2.5.7	Versicherbarkeit bei Kernreaktoren	120
2.5.8	Stellungnahme von Greenpeace	121
2.5.9	Rohstoff-Sicherung durch Energie, oft Hochtemperatur	121
<b>2.6</b>	<b>Gesellschaft – Akzeptanz – Ausblick</b>	<b>121</b>
2.6.1	Atompolitik und Deutschland	122
2.6.2	BDI Manifest für Wachstum und Beschäftigung	123
<b>2.7</b>	<b>HTR und Kugelbett-Projekte in anderen Ländern</b>	<b>123</b>
2.7.1	Überblick Situation heute nach Dr. H. Bonnenberg	123
2.7.2	Die ausländischen HT-Reaktor-Projekte	124
2.7.2.1	Süd-Afrika	124
2.7.2.2	HTGR PROJECTS IN CHINA	125
2.7.2.3	Interview mit Prof. Zhang Zuoyi, Tsinghua Universität, Beijing	126
2.7.2.4	USA	137
2.7.2.5	Niederlande: Romawa und Adams Atomic Engines	137
<b>2.8</b>	<b>Literatur und Quellen</b>	<b>137</b>
<b>3</b>	<b>TABELLEN-ANHANG</b>	<b>148</b>
<b>3.1</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsrechnung für Hydrierwerk</b>	<b>149</b>
<b>3.2</b>	<b>Investitions-Kosten von Kraftwerken.</b>	<b>149</b>
<b>3.3</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsrechnung für HT-Kugelbett-Reaktor</b>	<b>152</b>
<b>3.4</b>	<b>GAU-Kosten für die Kilowattstunde</b>	<b>155</b>

## **Vorwort zur 1. Auflage**

Um der Wahrheit die Ehre zu geben: Die Idee stammt nicht von mir, sie wurde mir eher beiläufig bekannt. Aber sie faszinierte! Ist „BioKernSprit“ irgendwie realisierbar? Das war die Frage.

So begann das Recherchieren. Als Laie auf den hier berührten Gebieten, wie:

Autos und Motoren

Tankstellen und Transportnetze

Landwirtschaft und Forstwirtschaft

Logistik und Sammelstrukturen

Umwelt, Lärmschutz, Landschaftsbild

Stromnetze und Energie-Erzeugung

Hoch-Temperatur, Prozesswärme, Thermodynamik

Hydrierverfahren, Fischer-Tropsch, Bergius,

Kernenergie, Physik und Strahlen

Atompolitik, Energiepolitik

war von Grund auf anzufangen. Den oft interessen- oder angstgeleiteten Äußerungen wollte ich nicht folgen. Und da kamen zur Hilfe nicht nur das Internet, Wikipedia und viele einschlägige Websites – sondern auch Verbände und Institutionen wie Greenpeace, Atomforum, Kerntechnische Gesellschaft, ADAC, halbstaatliche oder freie Agenturen, zum Beispiel für nachwachsende Rohstoffe. Auch Unternehmen, wissenschaftliche und europäische Institute, Professoren, Wissenschaftler und Ingenieure ließen mir freigiebig ihre Erkenntnisse zukommen.

Ihnen allen gebührt aufrichtiger Dank!

Jochen Michels

## 2.1 Hochtemperatur

Bei Reaktoren denken wir sofort an Strom-Erzeugung. Strom kennt jeder, braucht jeder und ist die „edelste“ Energieform. In unserem hochindustrialisierten Land ist Prozesswärme für viele Produktionszweige ebenfalls eine existenziell notwendige Energieform. Großchemie, Metall-Industrie, Grundstoff-Industrien und weitere können ohne sie nicht existieren. Statt Wärme unter hohen Verlusten mit Strom oder Verbrennung zu erzeugen, erörtern wir hier ein Verfahren, das viele Vorteile bündelt.

### 2.1.1 Einführung

Aus dem Bericht des Forschungszentrums Jülich: 4228, „Erzeugung von flüssigen Kohlenwasserstoffen unter Einsatz von Kernenergie“ von E. Kugeler, N. Pöppe, I.M. Tragsdorf, K. Kugeler im Juni 2006 zitieren wir aus der Zusammenfassung:

„Der weltweite Bedarf an flüssigen Kohlenwasserstoffen, insbesondere für den Verkehrssektor, wird in Zukunft noch weiter ansteigen. Die Versorgung des Weltmarktes mit den notwendigen Mengen wird bereits in wenigen Dekaden den Einsatz von alternativ erzeugten Treibstoffen notwendig machen. Neben den konventionellen Erzeugungsverfahren, bei denen die notwendige Prozesswärme aus einer Verbrennung eines Teils der erzeugten Produkte stammt, ist der Einsatz von nuklearer Wärme zur Deckung des Prozessenergiebedarfs möglich. Diese Wärme wird in Form von Dampf, elektrischer Energie und Hochtemperaturwärme benötigt. Bei Einsatz derartiger Verfahren können das Dampfpluten von Öllagerstätten, die Ölgewinnung aus Ölsanden und Ölschiefern, die Methanolherstellung aus Erdgas, **die Kohlehydrierung sowie die Erzeugung von Methanol aus Biomassen interessant** werden. In der Regel kann die Menge an gewinnbaren leichten flüssigen Kohlenwasserstoffen **verdoppelt**, die **CO<sub>2</sub> – Emission** beim Herstellungsprozess kann **vermieden** und die **Erzeugungskosten im Vergleich zu heutigen Ölpreisen gesenkt werden**.

Die notwendigen Verfahrenstechniken sind bekannt und zum Teil seit langem im industriellen Einsatz bewährt.“

Als nukleare Wärmequelle wird der modulare Hochtemperaturreaktor (HTR) mit 200 MWth bzw. 400 MWth (bei Ring-Core) bezeichnet. Diese Bauform und Ausführung ist entscheidend wie wir zeigen wollen.

### 2.1.2 Prof. Dr. Rudolf Schulten



Zunächst gilt ein Abschnitt diesem genialen Vordenker. Prof. Schulten hat nach dem Zeugnis aller seiner Schüler, denen wir begegneten, menschliche Größe mit einer Visionskraft verbunden, die bis heute nachwirkt und bahnbrechend für die Zukunft sein sollte. Er war die geistige Triebkraft für die Entwicklung des Kugelbett-Reaktors und wird von seinen Studenten und weit darüber hinaus als Vorbild weiterhin hoch geachtet und geschätzt.

Geboren in Oeding	18.08.1923
Studium der Mathematik und Physik an der Universität Bonn	1946-1950
Promotion bei Prof. Werner Heisenberg an der Universität Göttingen	1953
Assistenz bei Prof. Heisenberg/Karl Wirtz am Max-Planck-Institut Göttingen	1953-1955
Zuständig bei BBC/Krupp für Planung und Bau des Atomversuchsreaktors bei der AVR GmbH in Jülich	1956-1964
Direktor des Instituts für Reaktorentwicklung in Jülich und zeitgleich Professor für Reaktortechnik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen	1964-1989
mehrmaliger Vorsitz des wissenschaftlich-technischen Rats der Kernforschungsanlage (heute Forschungszentrum) Jülich	1969-1985
Auszeichnung mit dem Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt	1972
Aufsichtsratsmitglied der Thyssen Industrie AG	1980-1988
Verleihung des Werner-von-Siemens-Ring	1987
Ehrung durch das große Bundesverdienstkreuz	1987
Verstorben in Aachen	30.04.1996

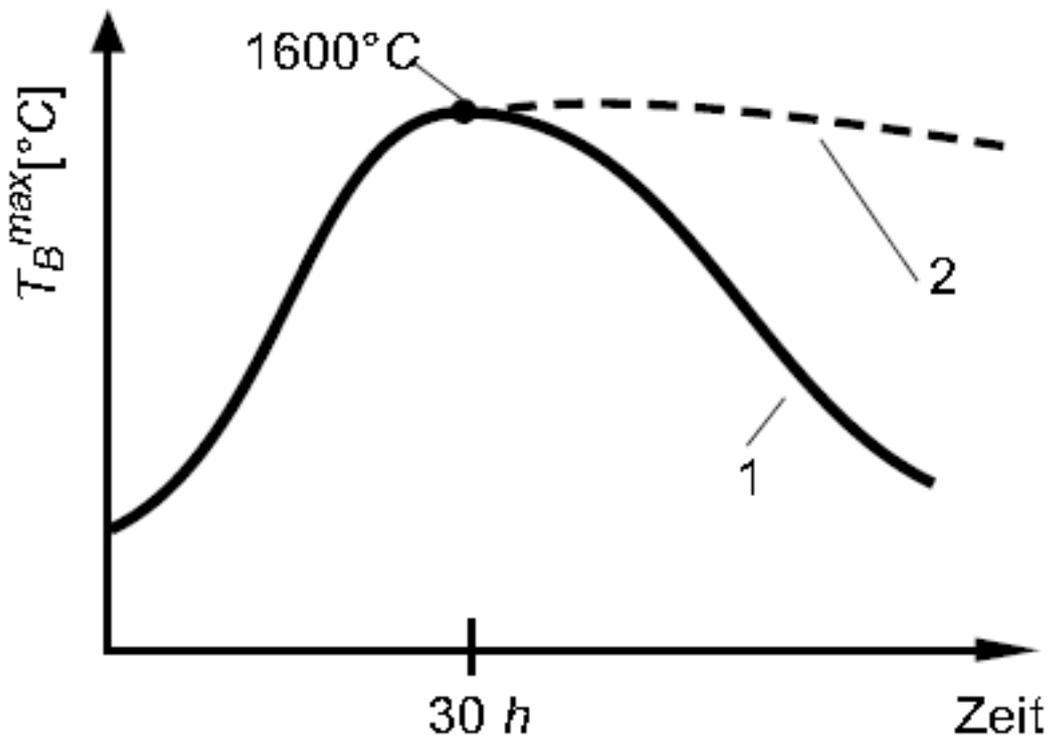


Abb. 9.2: zeigt die Entwicklung der maximalen Brennstofftemperatur in ei  
 Es kann gezeigt werden, dass diese Eigenschaft der selbsttätigen Nachwär-  
 meabfuhr und Begrenzung der maximalen Brennstofftemperaturen auf Wer-  
 te unter  $1600^\circ\text{C}$  auch noch erhalten bleibt, wenn z. B. durch einen terroristi-  
 schen Angriff das gesamte Reaktorgebäude vollständig zerstört und der Re-  
 aktor vollständig mit Bauschutt überdeckt wäre (Abb. 9.2). Insgesamt folgt  
 daraus, dass bei geeigneter Gestaltung der Anlage eine Zerstörung der  
 Brennelemente und somit eine Freisetzung von Radioaktivität in die Um-  
 welt ausgeschlossen werden kann. nem modularen HTR nach Kühlmittelver-  
 lust und Ausfall jeglicher aktiver Kühlung (Zylindercore, thermische Leis-  
 tung: 200 MW,

- 1) mit intakter innerer Betonzelle,
- 2) bauliche Strukturen (Reaktorgebäude, innere Betonzelle) zerstört

Die Zurückhaltung der Radioaktivität gelingt bei diesem Reaktorkon-  
 zept aufgrund der **Partikelstruktur** des Brennstoffs und der **Reaktorausle-**  
**gung**.

Abb. 9.3 zeigt Messkurven für die Freisetzung von Radioaktivität aus  
 den Brennelementen. Insgesamt ergibt sich für schwere Störereignisse –

Annahme eines vollständigen Ausfalls der Kernkühlung – für die Aktivitätsfreisetzung das in Abb. 9.4 gezeigte Bild. Als Isotop ist hier Cäsium 137 gewählt, welches aufgrund der denkbaren Langzeitkontamination von Böden eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung der Folgen schwerer Störereignisse hat.

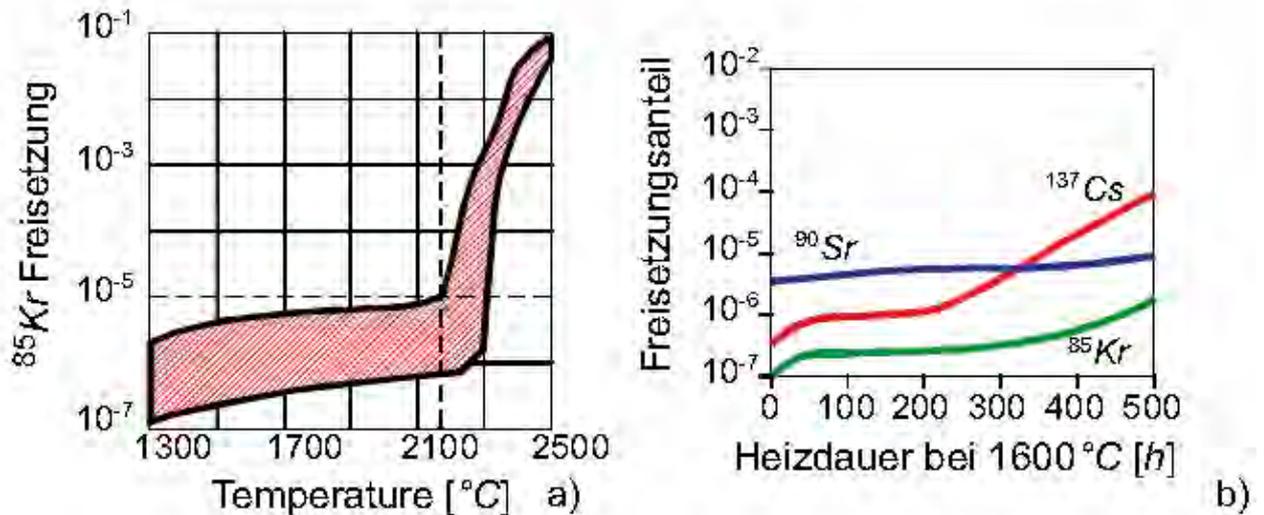


Abb. 9.3: Freisetzung von Spaltproduktion aus Brennelementen mit Triso – Coated – Partikeln in modularen HTR

a)  $^{85}\text{Kr}$  – Freisetzung abhängig von der Temperatur

b) Freisetzunganteil von  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  bei 1600°C abhängig von der Zeit

Demnach gelingt es, ausgehend von einem Inventar von etwa  $5 \cdot 10^5$  Ci  $^{137}\text{Cs}$  in den Brennelementen, dafür zu sorgen, dass bei geeigneter Auslegung und Konstruktion des modularen HTR nur eine Menge  $< 1$  Ci bei schweren Störfällen nach außen abgegeben wird.

Die 5 bis 8 m starken, eisenbewehrten und mit Spannkabeln gehaltenen Betonwände sind Flugzeugabsturzsicher, ja selbst tragbare Raketen könnten keinen Schaden anrichten

Ein druckloses Containment um den gesamten Bau, das Volumen ist so groß, daß dieser Raum das gesamte Primärgasvolumen auffangen könnte, ohne daß etwas nach außen dringt, ist die dritte Barriere.

Diese umfassenden sicherheitstechnischen Maßnahmen sind bislang, außer beim THTR, nirgends getroffen, ja sie können bei anderen Reaktor-konzepten auch meist nicht realisiert werden. Diese Konstruktionen bestimmen neben der inhärenten Sicherheit die Gesamtsicherheit des Kernkraftwerkes. Nicht nur die nuklear-physikalische inhärente Sicherheit sondern auch jede einzelne Komponente ist mitentscheidend für die Sicherheit der gesamten Anlage. Nur die Gesamtkonstruktion entscheidet den Sicherheitsfaktor eines Kernkraftwerkes. Diese Forderungen vor allem im Bauteil hatte ich bereits bei meinem Vortrag vor der KTG 2010, also ein Jahr vor Fukushima, veröffentlicht. Wäre Fukushima im unteren Bauteil so errichtet worden, wie vorstehendes Konzept, es wäre nichts passiert.

Neben diesen sicherheitstechnischen Vorteilen gegenüber anderen Konstruktionen hat der HTR aber auch enorme wirtschaftliche Vorteile:

Die Kugel-BE mit den eingelagerten Coated Particles mit dreifacher gasdichte Schutzschicht sind nun einmal die nuklear sichersten Brennelemente. Sie sind zudem einfach zu handhaben und ermöglichen einen Brennelementwechsel während des laufenden Betriebes. Dies ist ein enormer Vorteil.

Die hohen Primärgastemperaturen ermöglichen höchste thermodynamische Wirkungsgrade und damit höchste Ausnutzung der Brennstoffen mit hohem Abbrand.

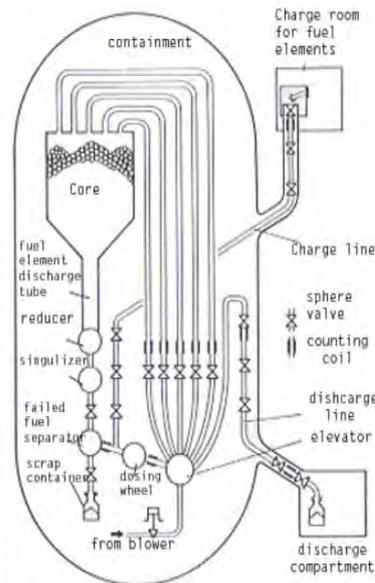
Die Hochtemperaturwärme kann neben zur Stromerzeugung in verschiedenen verfahrenstechnischen Prozessen, so zur Erzeugung flüssiger und gasförmiger Brennstoffen, zur Wasseraufbereitung und zu Heizzwecken wirtschaftlich genutzt werden.

Modular Pebble Bed Reactor



Department of Nuclear Science and Engineering

- Introduction
- People
- Background
- ★ Updated Research Areas
- Presentations
- Progress Reports
- ★ Updated Papers
- University Projects
- Links
- Contact



**Project Objective**

Develop a sufficient technical and economic basis for this type of reactor plant to determine whether it can compete with natural gas and still meet safety, proliferation resistance and waste disposal concerns.

**What is a Pebble Bed Reactor?**

- 360,000 pebbles in core
- about 3,000 pebbles handled in FHS every day
- about 350 pebbles discarded daily
- one pebble discharged every 30 seconds
- average pebble cycles through core 15 times
- fuel-handling most intensive part of plant

**Project Prospect**

Many believe that HTGRs are not credible due to past failures. Our work is meant to turn that belief around with substantive analysis. If successful, propose building a reactor research facility to license by test, explore different fuel cycles, process heat applications, and advanced control system design, helium gas turbines and other components. (Within five years!)

Unique Features of Design That Will Make The Pebble Bed HTGR Desirable - Entnommen Seite 47 ff.	
<b>Existing Challenges for Current Nuclear Plants</b>	<b>The Solution Offered by Our Proposed Modular Gas-Cooled Design</b>
<b>Engineered Safety</b> - Current designs depend heavily on engineered, active safety systems. Redundant sources of power, core cooling, and control systems are required.	No such defense-in-depth systems are required. The design is inherently “naturally safe.” Operators or automated safety systems are not required to perform any reactor safety functions.
<b>Regulatory Compliance</b> – Prescriptive regulation has resulted in numerous expensive plant modifications and forced shutdowns.	The simplicity and inherent safety of our design will allow for risk-informed regulation. Regulatory requirements will be much less complex and conformance will be much less expensive. It is proposed that the plant be licensed by test of the as built facility.
<b>Proliferation</b> - Security forces and security devices intended to prevent sabotage or theft of nuclear material constitute a significant part of plant capital and operating costs.	The inherent safety of our design significantly reduces the potential consequences of any attempted sabotage. And the pebble-type fuel our design uses is stable, difficult to reprocess, and achieves such a high burn-up that it is not a practical source for nuclear material.

### 2.5.3 Proliferation – ungewollte Verbreitung in falsche Hände

Prof. Kurt Kugeler und Rudolf Schulten treffen in „Hochtemperaturreaktortechnik“, ISBN 3-540-51535-6, 1989 Springer, Berlin S. 408 ff klare Aussagen zur Vermeidung von Atomwaffen:

Im Abschnitt 9.6 wird zur Proliferation beim Hochtemperatur-Reaktor nach Darlegung der verschiedenen Spalt- und Brutzyklen mit Natururan  $^{235}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  und  $^{232}\text{Th}$  sowie der Wiederaufarbeitung und Anreicherung mittel- bis hochangereichertes Uran oder Plutonium als explosions- und waffenfähig geschildert. Eine Tabelle zeigt die genauen Mischungsverhältnisse, kritischen Massen und andere Eigenschaften.

Für die Proliferation als besonders ungeeignet wurde der Zyklus Th/U 20 % (MEU = „Medium Enriched Uranium“) identifiziert. Dabei entsteht keine waffenfähige Konzentration von U und nur 13 Milligramm Pu je BE. Daher würden 620.000 Kugeln benötigt um die erforderliche Menge von 8 kg Pu zu gewinnen. Das wird niemand verleiten hieraus Waffen zu bauen.

#### **FAZIT:**

**Proliferationsresistent bedeutet, dass ein erheblicher Aufwand betrieben werden müsste, um an das spaltbare Material zu kommen. Viel leichter wäre es, z. B. RBMK oder andere -Reaktoren zu nutzen.** Das werden Terroristen bedenken.

### 2.5.4 Atomkraft - aber in Grün

Unter diesem Titel berichtet Ulli Kulke am 19. Februar 2010 in der WELT von Vorschlägen der **USA, China und Euratom**, die darauf hinauslaufen den Kugelbett-Reaktor als „alternative Atomkraft“ anzusehen, die ebenso für die Energiegewinnung einzusetzen ist, wie andere alternative Energien. Der schnelle Brüter in Kalkar jedoch wurde wegen seiner Eignung zur Plutonium-Erzeugung nur dann als akzeptabel erwähnt, wenn es gelingt, durch Transmutation andere Elemente daraus zu wandeln. Bisher reichen unsere Möglichkeiten aufgrund der Gesetzeslage dazu jedoch nicht aus. Deshalb schätzt der Verfasser, dass uns hier der GIF-Verbund („Generation IV International Forum“) im niederländischen Petten zuvor kommen wird.



Current Issue  
**November 2011**  
 Table of Contents »

# NATIONAL GEOGRAPHIC

ngm.com

Search

HOME FEATURES PHOTOGRAPHY YOUR SHOT MY SHOT VIDEO **NOW | NEXT** PUZZLES ARCHIVES SUBSCRIBE

## VISIONS | NOW | **NEXT**

### MELTDOWN-PROOF NUKES

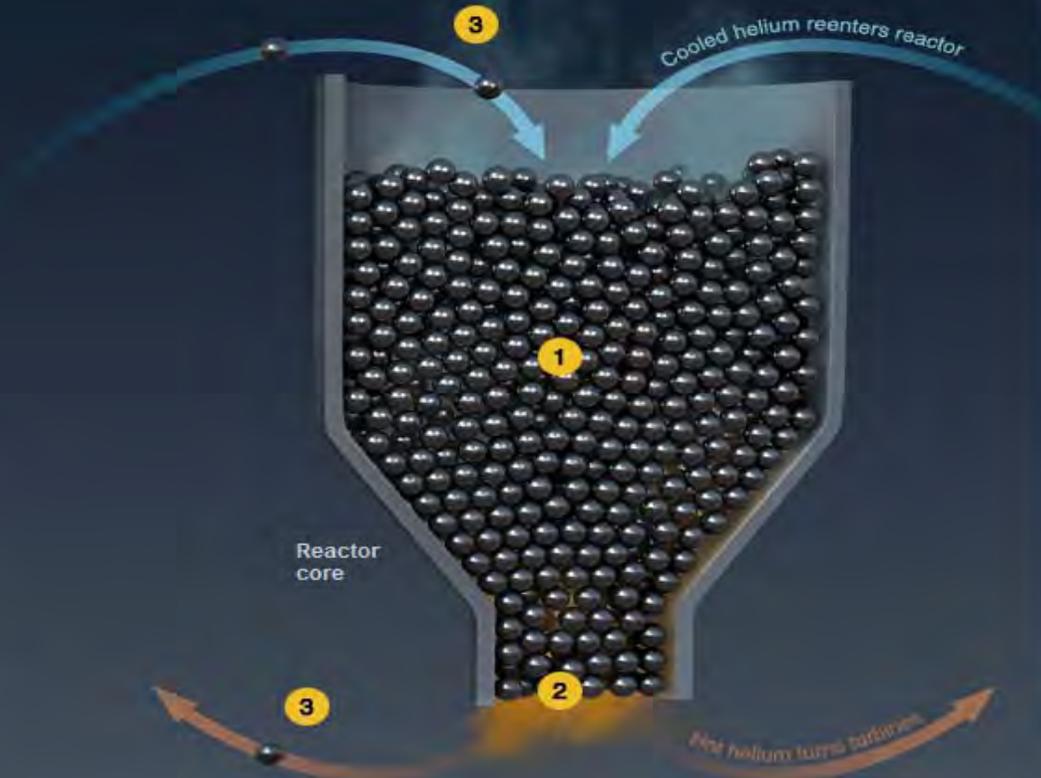
## Water-cooled nuclear power plants aren't the only option.

#### How It Works

A pebble-bed reactor is made up of about 400,000 pebbles. Heat from the fuel spheres is picked up by helium and can then be used to generate electricity—or to drive industrial processes such as oil refining and desalination.

- 1** Blowers move helium gas through the reactor and over the pebbles, where nuclear fission releases large amounts of energy, heating up the helium.
- 2** About 5,000 spheres move through the reactor each day, like gum balls through a vending machine. The constant circulation means no refueling interruptions.
- 3** If a pebble taken from the bottom can produce more power, it goes back in the top. If it's spent, it's stored as waste, and a new pebble is added.

KAITLIN M. YARNALL, NGM STAFF; ART: STEFAN FICHTEL; SOURCE: ANDREW KADAK, MIT



#### 2.7.2.4 USA

Ausser dem in 2.3.11 erwähnten MIT Konzept ist zu erwähnen, dass das Dept. of Energy im März 2010 dem südafrikanischen PBMR Projekt eine Finanzspritze gewährt hat, während die Fa. Westinghouse (Toshiba) kein weiteres Geld investieren wollte. National Geographic Magazin berichtet in der US-Ausgabe von Nov. 2011 über das Pebble bed Konzept. Im Idaho Nationallabor habe man drei Jahre lang versucht, die BE zu mit Neutronen zu zerstören – sie hielten stand.

**In der deutschen Ausgabe fiel der Artikel der Zensur zum Opfer.**

#### 2.7.2.5 Niederlande: Romawa und Adams Atomic Engines

Romawa B.V., the Netherlands, promotes a design called Nereus. This is a 24 MW<sub>th</sub> reactor designed to fit in a container, and provide either a ship's power plant.

AAE's engine is completely self-contained, and therefore adapts to dusty, space, polar and underwater environments. The primary coolant loop uses nitrogen.

Both Romawa and AAE plan to use neutron reflectors (graphite) and radiation shields (heavy metals) that are bins of balls. This means that the shielding need not have complex ducting to cool it.

Pebble-bed reactors can theoretically power vehicles. There is no need for a heavy pressure vessel. The pebble bed produces gas hot enough that it could directly drive a lightweight gas turbine.

## **2.8 Literatur und Quellen**

Für die 1. Auflage hat uns ein Autor ohne Namensnennung seine umfangreiche Sammlung zur Wasserstoffherzeugung und Kohlevergasung mittels Hochtemperaturwärme aus Kern-Anlagen zur Verfügung gestellt. Auf fast 60 Seiten werden die wesentlichen Dokumente, Formeln, Diagramme, Prozesse, Reaktionszyklen und Zeichnungen sowie zwei Dutzend Literaturquellen zu Wirtschaftlichkeits-Betrachtung und Referenzliteratur wiedergegeben. Die

Man kann sich leicht ausmalen, dass dies angesichts der Unsicherheiten auf politischem und wirtschaftlichem Gebiet ein mutiges Verlangen des Gesetzgebers ist.

Für den Kugelbett-Reaktor liegen aber belastbare Werte vor, die hauptsächlich aus den Beiträgen von Prof. K. Knizia und der Geschäftsführung der Hochtemperatur-Kernkraftwerk GmbH (HKG) - Gemeinsames Europäisches Unternehmen in Hamm abgeleitet wurden. Sie stellen insofern eine Basis für die folgende Wirtschaftlichkeitsrechnung dar, die gut begründet ist.

### 3.3 Wirtschaftlichkeitsrechnung für HT-Kugelbett-Reaktor

Wirtschaftlichkeitsrechnung Kugelbettofen mit 750 Megawatt<sub>thermisch</sub> (entspricht 300 MW<sub>elektrisch</sub>)  
diese werden erzeugt in 3 gekoppelten Core-Reaktoren à 250 MW<sub>th</sub>

#### Investition

Bauphase ca 5 Jahre	200.400.000 Euro	Bauphasen-Finanzg, Zinseszins, zusammen ein Drittel
Baukosten komplett	600.000.000 Euro	das entspricht 2 Mio. Euro je MW <sub>elektrisch</sub>
Rückstellungen für Stilllegung, Endlager, Rückbau	200.000.000 Euro	angenommen mit 30 % der Baukosten zum Zeitpunkt des Baues, mit 3 % ergibt das ein Kapital von 480 Mio. wenn Rückbau 30 Jahre später erfolgt
Nutzungsdauer	30 Jahre	
Abschreibung pro Jahr	33.346.667 Euro	auf die Gesamtsumme von rd. 800 Mio. für Bauphase bis Rückbau, auf 30 Jahre verteilt
Zinsen pro Jahr	24.012.000 Euro	6 % p.a. auf die halbe Gesamtsumme von rund 800 Mio. da diese durch AfA kontinuierlich vermindert wird, also auf 400 Mio.

Es ist leicht zu erkennen, dass in dieser Rechnung einige sehr vorsichtige Ansätze gewählt sind:

- die Laufzeit wird wohl länger als 30 Jahre sein, wie man an der Haltbarkeit des Hammer HTR-300 sehen kann
- die Rückstellung von 200 Mio. kann daher voraussichtlich niedriger erfolgen, zumal auch der Zins nur mit 3 % nur die Hälfte des Sollzinses von 6 % angenommen ist.
- das bedeutet auch einen Spielraum gegenüber den reinen Baukosten mit 2 Mio./MW, (zum Vergleich: Olkilouto I mit 1,9 Mio.) falls diese bei den ersten Bauten noch überschritten werden sollten.

**Betriebskosten**

<b>Kapitalkosten</b>	54.358.667 Euro	Übertrag von der vorhergehenden Seite für Abschreibungen und Zinsen
<b>Personal</b>		
100 mal 70.000	7.000.000 Euro	100 Personen à du. Euro 70.000 Brutto-Personalkosten
p.a.		
<b>Sachkosten</b>		
Brennstoff Uran/Thorium BE	15.000.000 Euro	75 Tonnen p.a. à 200.000 Euro
Herstellung der BE (Kugeln/Körner)	15.000.000 Euro	Annahme, da keine Zahlen vorliegen
Aufbereitung und Entsorgung BE	15.000.000 Euro	Annahme, da keine Zahlen vorliegen
		insgesamt Brennstoffkosten Euro 45 Mio. p.a., das sind rund 26 % der Jahreskosten von Euro 175 Mio. während heutige Meiler mit rund 5-10 % rechnen.
Sonstige Kosten	5.000.000 Euro	
Wartung 10%	60.000.000 Euro	jährlich 10 % der reinen Bausumme
<b>Summe pro Jahr</b>	<b>174.358.667 Euro</b>	<b>Gesamte Jahreskosten</b>

**Leistung und finanzielles Ergebnis.**

Nennleistung in Kilowatt <sub>th</sub>	750.000	kW <sub>th</sub>	entspricht 300 MW <sub>th</sub> bei 40 % Wirkungsgrad
Jahres-Stunden	8.760	Stunden	1 Jahr = 365 Tage mal 24 Stunden
Abzug für Wartung, Störung etc.	/ . 876	Stunden	10,00 % Abzug vom Jahresmaximum
ergibt die nutzbare Betriebszeit	7.884	Stunden	50 % für Strom, der Rest für Hydrierwärme, Wartung, Störung etc.
Gesamt-Wärmeenergie-Erzeugung	5.913.000.000	kWh <sub>th</sub> das sind	750.000 kW <sub>th</sub> mal 7.884 Stunden
ergibt durchschnittl. Kosten je kW <sub>th</sub>	0,02949	€/KWh <sub>th</sub>	rund 175 Mio. Euro geteilt durch 5,9 Mrd. KWh <sub>th</sub>
Die Wärme zwischen 0 und 1.000 Grad Celsius wird unterschiedlich genutzt: zunächst werden 5 % Verluste abgezogen:			
Unsicherheit zw. 1.000 und 950° C	5 %		Annahme 5 % bleiben ungenutzt
ergibt Verlustwärme, die ungenutzt bleibt	295.650.000	kWh <sub>th</sub>	5 Prozent von 5,9 Mrd.
Die verbleibende Nutzwärmemenge	<b>5.617.350.000</b>	kWh <sub>th</sub>	wird in drei Stufen genutzt
kostet pro thermische KW-Stunde	0,03104	€/kWh <sub>th</sub>	also 2 Zehntel Cent mehr als die o.g. Bruttomenge

Dieser Preis wird im Folgenden für jede thermische Kilowattstunde angesetzt

1. Hochwärme an das Hydrierwerk	2.246.940.000	kWh <sub>th</sub>	angenommen sind 40 % der Wärme-Energie
aus der Diff. von 950 bis 600°C macht	69.743.467	Euro	Hochwärme-Kosten zur Hydrierung
2. mittl. Wärme zur Stromerzeugung	2.078.419.500	kWh <sub>th</sub>	angenommen sind 37 % der Wärme-Energie
aus der Diff. von 600 bis 250°C macht	64.512.707	Euro	Wärme zum Turbinenbetrieb
damit werden erzeugt (Wirk.gr. 40%)	831.367.800	kWh <sub>el</sub>	an Strom zu Kosten von 0,0776 €/ kWh <sub>el</sub>
3. Vorwärme an das Hydrierwerk	1.179.643.500	kWh <sub>th</sub>	angenommen sind 21 % der Wärme-Energie
aus der Diff. von 250 bis 50°C macht	36.615.320	Euro	Vorwärme-Kosten zur Hydrierung

4. evtl für Fernwärme nutzbare Menge	112.347.000	kWh <sub>th</sub>	angenommen sind 2 % der Wärme-Energie
aus der Diff. von 50 bis 20°C macht	3.487.173	Euro	Fernwärme-Kosten

**Damit werden insges. 5,6 Mrd. thermische Kilowattstunden genutzt und decken die Kosten von rund 175 Mio. Euro p.a.**

Die Annahme hinsichtlich der Prozentanteile Wärmeenergie aus dem Hochtemperatur-Gas sind noch ohne Verifizierung und können daher im Endeffekt abweichen. Vorausgesetzt wird hier aber, dass die hochgespannte Wärme mehr kWh je Grad Celsius Temperaturdifferenz ergibt als bei den niedrigeren Temperaturen.

So ist angenommen, dass 350 Grad Differenz von 950 bis 600 Grad Celsius 40 % ausmachen während die 350 Grad Differenz von 600 bis 250 Grad Celsius nur 37 % leisten.

Es bleibt genauer ingenieurtechnischer Berechnung vorbehalten, diese Annahmewerte zu präzisieren. Aufgrund der vorsichtigen Annahmen wird sich keine gravierende Verminderung der Wirtschaftlichkeit dadurch ergeben.

Sollte die nutzbare Fernwärme zu optimistisch angenommen sein, so würde sich der Erlös um rund 3.5. Mio. Euro p.a. vermindern. Das sind 2 Prozent der Jahreskosten, die dann durch Erhöhung der Kosten je thermischer kWh auf 0,03171 berücksichtigt werden müssten.

**In jedem Fall bleiben die Kosten deutlich unter 4 Cent je thermische Kilowattstunde.**

### **3.4 GAU-Kosten für die Kilowattstunde**

Nach Fukushima ist es möglich, den Preis einer Kilowattstunde unter Einrechnung der GAU-Kosten zu ermitteln. Im Frühjahr 2011 bezifferte der japanische Ministerpräsident die Kosten der GAUs bei drei Atom-Meilern auf rund

140 Mrd. Euro. Rechnet man ja Meiler ungefähr 43 Milliarden, und dass ein solches Unglück alle 30 Jahre einmal vorkommt, folgende Rechnung aufmachen:

Ein herkömmliches Kernkraftwerk produziert in 30 Jahren rund 250 Mrd. Kilowattstunden elektrische Energie.

(1.000 Megawatt mal 8760 Stunden p.a. mal 30 Jahre abzüglich Stillstandzeiten für Nachladen, Wartung)

Teilt man die GAU-Kosten von 43 Mrd. durch 250 Mrd. kWh, so ergibt sich ein Kostensatz von 17,2 Cent je kWh.

Diese muss man dem normalen Gestehungskostensatz von mindestens 3 Cent je kWh zurechnen, so dass sich die Kilowattstunde nun auf rund 20 Cent stellt. Andere Berechnungen, die zu wesentlich höheren Kosten bis zu 2,5 Euro je kWh kommen, wollen wir uns nicht zueigen machen.

**Da zu den hier errechneten 20 Cent je kWh noch die heute üblichen Zuschläge für Netz-Entgelt, diverse Steuern und Gewinne hinzukommen, stellt sich die kWh für den Endverbraucher auf mindesten 35 Cent.**

**Da dieser Preis die Lebensqualität der Bürger und die Wettbewerbsfähigkeit unserer Industrie nachhaltig verschlechtern würde, ist der Hochtemperatur-Technik der Vorzug zu geben.**