

Atomforschung in Deutschland: Nur für die Sicherheit oder auch für Atomwaffen?

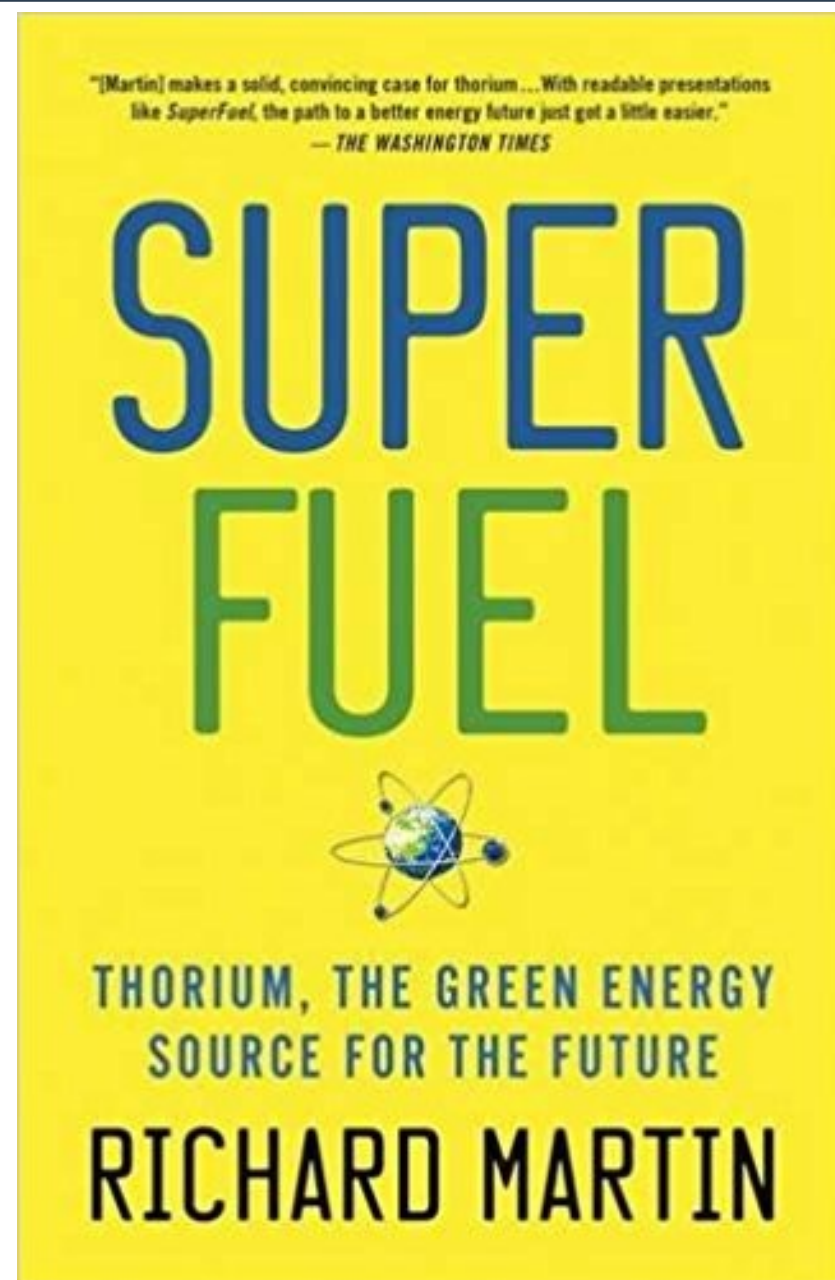
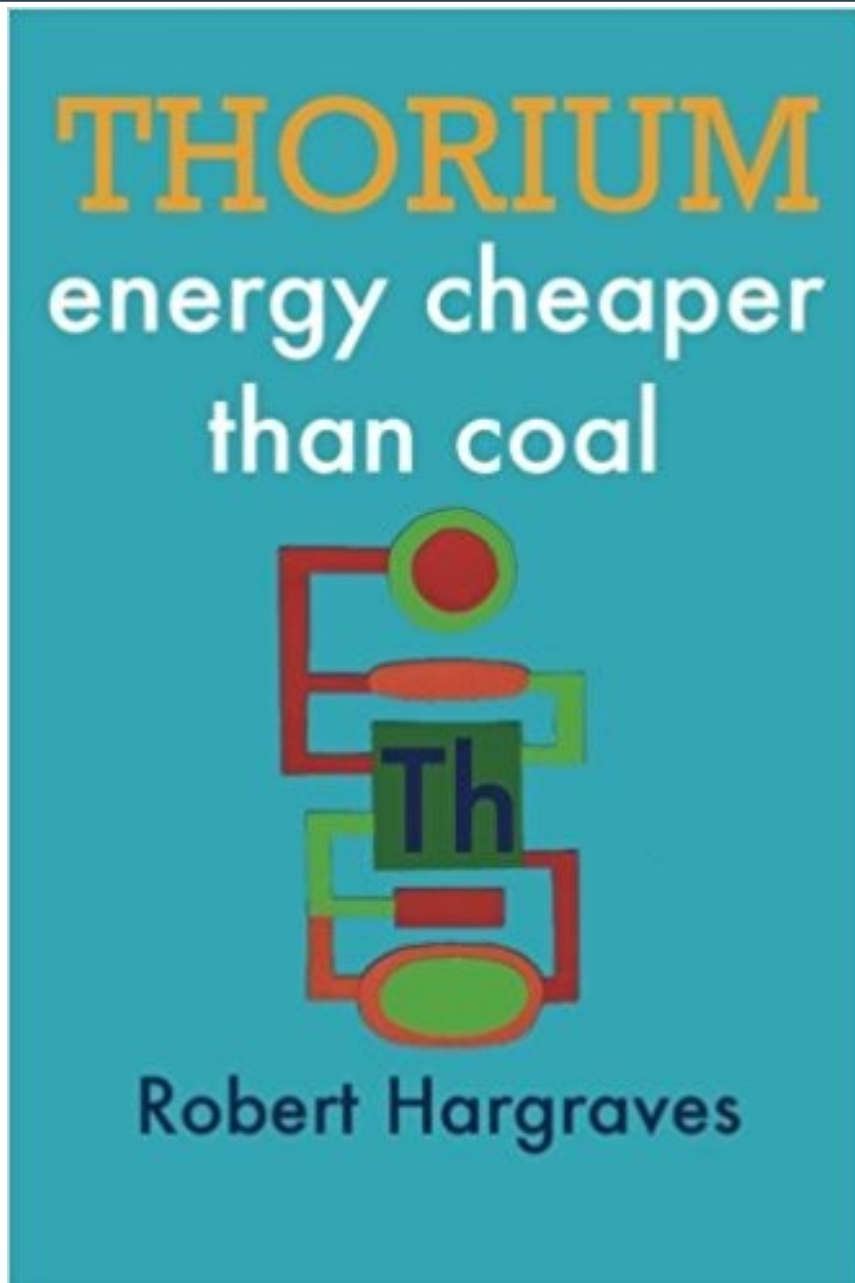
Dr. Rainer Moormann
Aachen

1. Thorium und fortgeschrittene Reaktoren
 - Einleitung
 - Mythen zum Thorium
 - Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren
 - Proliferationsrisiken der Thoriumnutzung
 - Forderungen zu Thorium / Gen-IV-Reaktoren
2. Sonstige Fragen
 - Werden nur noch Sicherheitsarbeiten für AKW durchgeführt ?
 - Könnte Deutschland selbstständig Atombomben bauen ?
3. Whistleblowing in Jülich zum Kugelhaufenreaktor

1. Thorium und fortgeschrittene Reaktoren - Einleitung

- Die **Kernenergie befindet sich im Niedergang**, vor allem in den westlichen Industrieländern
- In **Ländern mit niedrigerem Sicherheitsstandard** (China, Indien, Russland...) - wo Menschenleben und Umwelt noch nicht viel zählen - wird **Kernenergie** allerdings weiter **ausgebaut**
- Um der Kernenergie öffentlichkeitswirksam neue Impulse zu geben, wird aktuell mit angeblich innovativen Ideen geworben, die eine nachhaltige, sichere und ökonomische Kernenergie ohne Entsorgungsprobleme und ohne Proliferationsgefahr ermöglichen sollen. Dabei wird verwiesen auf:
 - ♦ Thoriumeinsatz in
 - ♦ fortgeschrittenen Reaktoren der **IV. Generation**
 - ♦ kombiniert mit Transmutation zur „Lösung“ der Entsorgungsfrage
- Die Stichhaltigkeit dieser Ansprüche soll nun untersucht werden

.....Einleitung



.....Einleitung

Kernspaltung

Spaltung von ca. 55 g Spaltstoff erzeugt Energiemenge wie 1 kt TNT

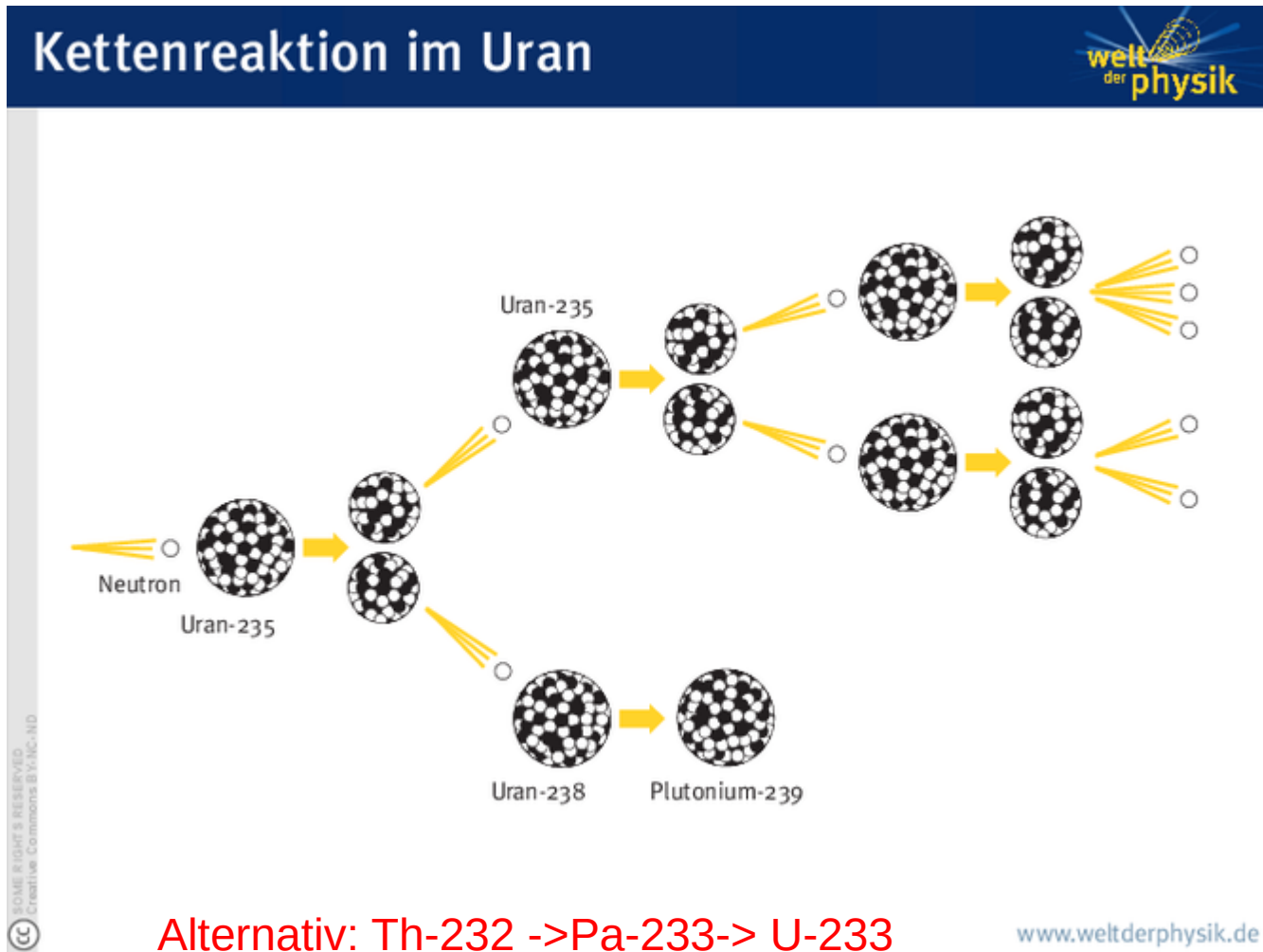
Nur wenige Isotope sind spaltbar

Kritikalität (k_{eff}):

(Spaltungen Folgegeneration)

/

(Spaltungen aktuelle Generation)



.....Einleitung

- Bei spaltbaren Nukliden entstehen 2-3 Neutronen pro Spaltung, aber: Neutronen gehen durch Nebenreaktionen verloren oder entweichen
- Daher: Mindestgröße, **Kritische Masse** (Kritikalität = 1) erforderlich, um eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion (AKW) zu erzeugen
- Für Atombombe (sich verstärkende Kettenreaktion) ist Kritikalität $\gg 1$ erforderlich
- Kritische Masse reiner Isotope (Kugelgeometrie):
 - × Uran-235: 50 kg (natürlich vorkommend)
 - × Uran-233: 20 kg (aus Thorium)
 - × Plutonium-239: 15 kg (aus Uran-238)
- In Atombomben ist die Kritische Masse durch Reflektoren und Dichtevergrößerung/Kompression reduzierbar

.....Einleitung

**MSR (Molten Salt Reactor) =
Flüssigsalzreaktor (allgemein)**

Varianten

**LFTR Liquid Fluoride Thorium Reactor
Thermischer Thorium Flüssigsalzreaktor**

*Thermisch = Reaktor mit
„Neutronenbremse“
(Moderator z.B. Graphit),
abgebremste Neutronen
reagieren leichter*

**MSFR Molten Salt Fast Reactor
Schneller Thorium Flüssigsalzreaktor**

*Schnelle Reaktoren
haben keinen Moderator,
benötigen höhere
Spaltstoffdichten*

**IMSR und DMSR (Integrated bzw. Denaturated MSR)
Flüssigsalzreaktoren mit verbesserter Proliferati-
onsresistenz, IMSR ohne Thorium**

Mythen zum Thorium

Thorium vergrössert Kernbrennstoffreserven um Faktor 300 bis 400

- Thorium ist kein Brennstoff, sondern erfordert Brüter- und Wiederaufarbeitungstechnologie, um in spaltbares **Uran-233** umgewandelt zu werden
- Thorium ist 3 bis 4-mal häufiger als Uran. Verglichen mit den entwickelten Uran/Plutonium-Brütern könnten Uranreserven also maximal um diesen Faktor gestreckt werden
- Der Faktor 300 – 400 vergleicht unzulässig Uranverwendung in Nichtbrütern mit Thoriumbrütern

Thorium kam bei Kernenergieentwicklung nicht zum Zuge, weil untauglich für Atomwaffenherstellung

- Aus Thorium erbrütetes U-233 ist der **optimale Kernwaffensplattstoff** (s. Diskussionsbeitrag später)
- Thorium kam nicht zum Zuge, weil Urananreicherung bis in die 1950er Jahre nicht ausreichend entwickelt war und Thorium in Natururanreaktoren nicht einsetzbar

.....Mythen zum Thorium

- Thorium erfordert, da selbst kein Spaltstoff, **waffenfähiges Uran** oder Plutonium als Initialspaltstoff (Proliferationsrisiko)
- z.B. mit Thorium bespeiste deutsche Kugelhaufenreaktoren: 10 % waffenfähiges Uran (93 % angereichert) plus 90 % Thorium
- Ab 1955 USA: **Bemühungen um Thoriumtechnologie**, militärisch (strategische Reserve von 2200 kg U-233 für A-Bomben, Test einer A-Bombe mit U-233) und zivil (Shippingport LWR, US-HTR), aber Vorsprung von Plutoniumbomben und LEU-LWR nicht einholbar

Thorium hat kaum Entsorgungsprobleme

- Beim Thorium Einsatz entstehen fast **die gleichen Spaltprodukte** wie bei klassischem Brennstoff
- Aktivierung zu **minoren Aktiniden (Am, Np, Cm) fehlt**, aber in geringerer Menge entstehen ähnlich langlebige Alphastrahler

.....Mythen zum Thorium

- Aber: Das Risiko eines Endlagers wird wesentlich von leicht beweglichen langlebigen Spaltprodukten bestimmt (Tc-99, I-129, Cs-135..) sowie von anderem Brennstoffinventar niedriger Masse (C-14, Cl-36...), nicht von kaum beweglichen minoren Aktiniden
- Der häufige Hinweis auf **fehlende minore Aktinide** und damit sicherer Entsorgung beim Thorium **führt daher in die Irre**
- Die **risikobestimmenden Nuklide** sind durch **Transmutation nicht beseitigbar**

Thoriumreaktoren sind sicherer als klassische Reaktoren

- Bzgl. **Nachzerfallswärme kaum Unterschiede**, vergleichbar groß (treibende Kraft für Kernschmelze...)
- Bzgl. Kritikalität: **Sicherheitsmarge** durch verzögerte Neutronen ist bei Thorium/U-233 deutlich kleiner (**Faktor 2.5**)

.....Mythen zum Thorium

- Bzgl. Kritikalität: **Positiver Temperaturkoeffizient der Reaktivität** (Kettenreaktion wird bei Temperaturerhöhung stärker; = gefährlich, s. Chernobyl) ist in **thermischen Flüssigsalzreaktoren LFTR*** in der Kombination Thorium/U-233 plus Graphitmoderator i.d.R. gegeben:
 - Kann durch geeignete Wahl von Zusammensetzung und Menge des Flüssigsalzes verringert werden (schmäler Effizienz) oder durch schnelle Flüssigsalzreaktoren (MSFR*)
- LFTR als thermische Brüter erfordern zwingend große, **riskante integrierte Wiederaufarbeitung**
- Bestimmte Sicherheitseigenschaften von MSR* oder Kugelhaufenreaktoren (PBR) sind nicht durch Thorium verursacht, sondern durch das Reaktorkonzept und gelten auch bei Einsatz von klassischem Brennstoff
- Fazit: **Thorium bietet keine erkennbaren Sicherheitsvorteile**, die Nachteile dürften sogar überwiegen

**Molten Salt Reactor MSR = Überbegriff für *LFTR und *MSFR*

Exkurs: Thorium in deutschen PBR

- AVR und THTR wurden überwiegend mit Thorium/U-235 Brennstoff betrieben
- Ursprüngliches Ziel **thermischer PBR-Thoriumbrüter war nicht erreichbar**: Thoriumbeitrag zur Energierzeugung < 30 %
 - d.h. faktisch = Uranreaktoren
- **Wiederaufarbeitungsanlage JUPITER für Thoriumbrennstoffe** wurde in Jülich ab 1969 gebaut:
 - Fehlerhafte Zusammensetzung des Brennstoffs (Uran/Thoriummischung): **rückgewonnener Brennstoff wertlos**
 - x neutronisch vergiftet mit U-236, γ -strahlend durch U-232...
 - JUPITER wurde nach kalter Erprobung aus Furcht vor Blamage 1978 aufgegeben, in aller Stille beseitigt, Zusammenhänge bis heute verschleiert
- Präs. Carter beendete die Lieferung von Waffenuran für das deutsche PBR-Thoriumprogramm
- **PBR/Thorium** also **erfolglos**, heutige PBR-Konzepte: LEU

Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

LFTR

How the reactor works

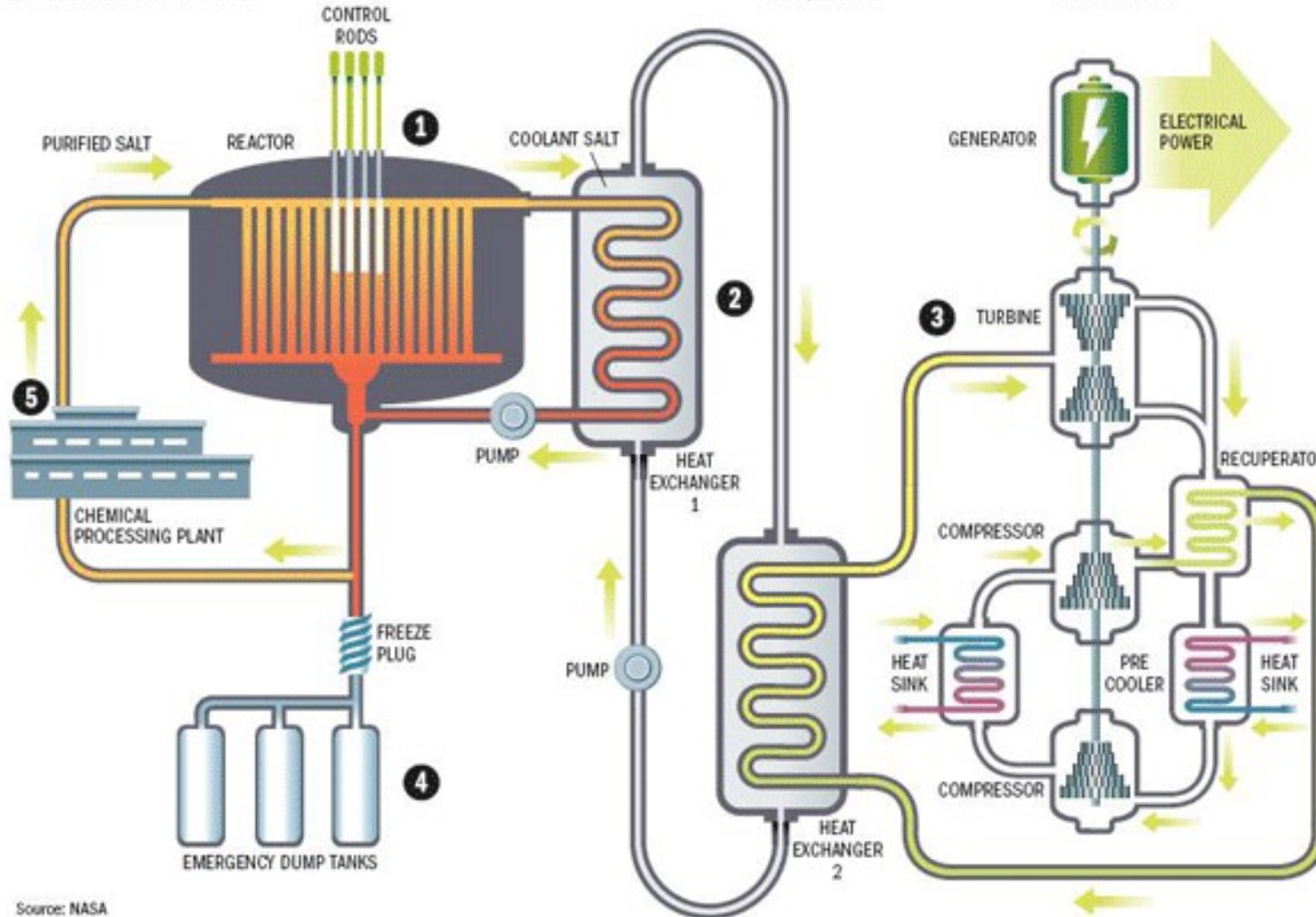
1. Thorium and uranium 233 are dissolved in molten lithium fluoride salt in the reactor. As fission occurs, heat is released and free neutrons start changing more thorium into uranium 233.

2. Heat from the reactor is transferred to another loop of molten salt that does not contain nuclear materials.

3. Heat is transferred to helium gas, which runs turbines that power a generator.

4. As an emergency measure, if the system gets too hot a plug designed to melt at a specific temperature releases the reactor's components into dump tanks.

5. Because the salt in the reactor core is liquid, waste can be removed while the reactor is working. Solid-core reactors must be shut down to remove waste.

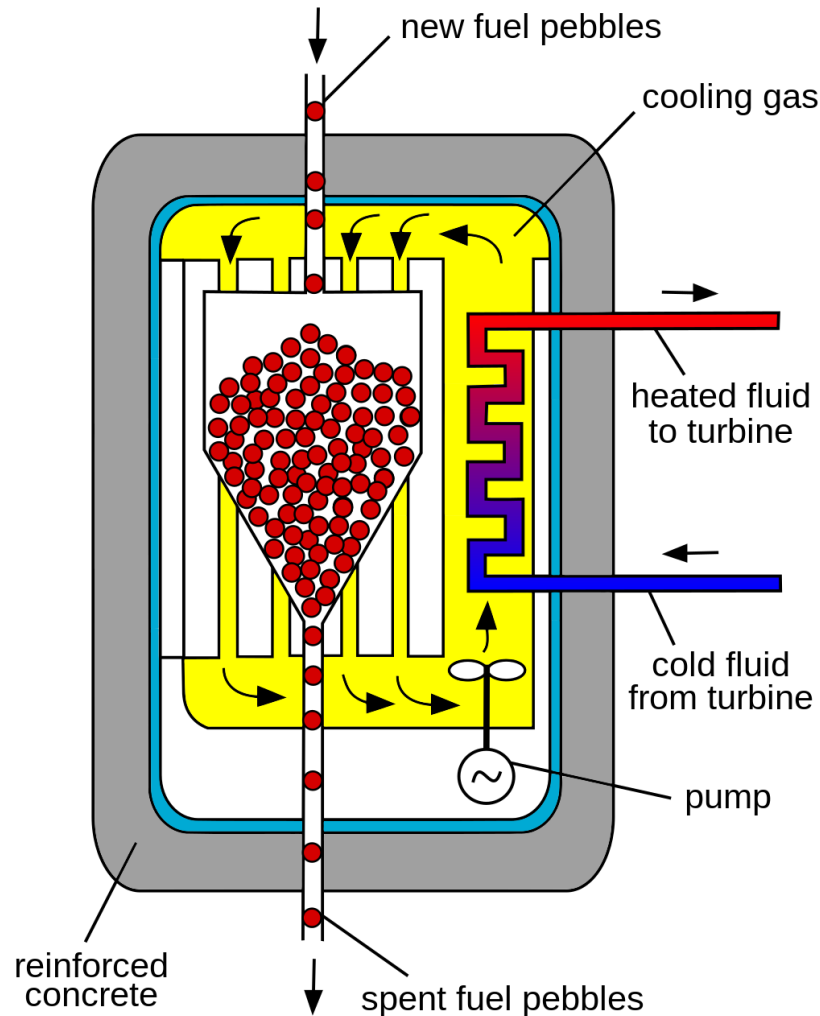


Source: NASA

.....Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

Kugelhaufenreaktor (PBR)

Pebble Bed Reactor scheme



www.alamy.com - FAHXRJ

.....Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

Es gibt Reaktorkonzepte der 4. Generation (**hochsicher, geringe Entsorgungsprobleme, nachhaltig, ökonomisch...**)

- Die aktuell als GenIV angepriesenen Reaktorkonzepte für Thorium-einsatz (Flüssigsalzreaktoren MSR, klassische Kugelhaufenreaktoren, Laufwellenreaktoren...) wurden sämtlich in der Frühzeit der Kerntechnik entwickelt und später wegen Problemen aufgegeben
- Schlüsselprobleme dieser Reaktorkonzepte (**Sicherheit, Werkstoffe....**) sind weiter ungelöst. Allen Gen-IV-Konzepten ist gemein, dass sie sich weiter vom bekannten Terrain entfernen als etwa LWR/DWR. Daher gigantischer Entwicklungsaufwand
- Bei dem aktuell in China (mit Hilfe aus Jülich) im Bau befindlichen Kugelhaufen-HTR (**HTR-PM**, Inbetriebnahme Ende 2018 ?) **handelt es sich nicht um ein echtes Gen-IV-Konzept:**
 - Um ungelöste Probleme zu umschiffen, wurde die Nutzt-temperatur von 950°C (AVR Jülich 1974) auf 750°C gesenkt:

.....Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

- d.h. **keine Hochtemperaturprozesswärme** (Kohlevergasung, Wasserstofferzeugung...), elektr. Wirkungsgrade mit 41,5 % nicht höher als in Britischen AGR-Reaktoren vor 30 Jahren
- Also **wenig innovativer „Mitteltemperaturreaktor“** mit schweren Sicherheitsdefiziten:
 - ✗ aus ökonomischen Gründen kein druckhaltendes Containment, jedes größere Leck im Primärkreislauf führt zur unmittelbaren Verseuchung der Umgebung
- d.h. **Sicherheitsniveau erfüllt westliche Maßstäbe nicht**
- ✓ Innovativerer südafrikanischer PBMR (900°C) scheiterte 2010 aus technischen Gründen
- LFTR: Kaum effizient lösbare **Stabilitätsprobleme mit Graphitmoderatoren**, sowie dessen **positiver T-Koeffizient** haben vor ca. 10 Jahren zu Konzepten ohne Moderatoren geführt (schnelle Reaktoren MSFR, hohe Leistungsdichte: 300 MW/m³, sehr grosse Spaltstoffmengen im Kern)

.....Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

- MSR: Benötigen Salz mit **reinem Li-7 (Tritiumproblem)**; teuer
- MSFR: Thoriumnutzung in schnellen Reaktoren weniger effizient, da Neutronenausbeute bei schneller U-233-Spaltung relativ schlecht ist, bei thermischer Spaltung (moderiert) aber besser als bei Pu-239/U-235. Thorium ist für thermische Brüter prädestiniert

SAMOFAR-MSFR (ITU, KIT): Schneller Reaktor mit integrierter Wiederaufarbeitung von geringer Kapazität, Schmelzstopfen, Fluoridsalze, Thorium, keine Regelstäbe, 1,5 GWe

- Alternatives Konzept 1: „**Ex+Hopp**“ (**Seal+swap**)-Graphit-LFTR: Reaktorbehälter wird nach 3 - 7 Jahren Betrieb (Graphit unbrauchbar) mit Inventar entfernt + endgelagert (*nachhaltig ?*)
- Alternatives Konzept 2: **Kugelhaufenreaktoren (Graphit) mit Flüssigsalzkühlung** (statt Helium, Berkely), Hybridkonzept
- Sehr viele weitere Flüssigsalzreaktor-Konzepte
- **Durchbrüche bei „echten“ GenIV-Reaktoren sind bisher nicht erkennbar**

.....Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

Bei GenIV-Reaktoren sind schwere Störfälle unmöglich

- Behauptung basiert darauf, dass **LWR-typische schwere Störfälle (Kernschmelze...) fast ausgeschlossen** werden können (niedrige Leistung/Leistungsdichte bei PBR, Schmelzstopfen mit Coreentleerung bei MSR)
- Es kommt aber darauf an, **alle** Störfallphänomene mit potentiell grosser Radioaktivitätsfreisetzung zu beherrschen
- HTR und LFTR kennen sehr schwere Störfälle, die in LWR nicht auftreten können und bei obiger Behauptung negiert wurden, z.B.:
 - **Corebrand oder Wassereinbruch mit nuklearem Durchgehen und chemischen Explosionen im HTR**
 - MSR: **Nukleares Durchgehen bei Brennstoff-Kompaktierung (Auskristallisieren) oder (MSFR) bei Kontakt mit Moderatoren**
 - MSR: **Instabileres Kritikalitätsverhalten**, da prompte Überkritikalität schon bei $k_{eff} = 1.0015$ auftritt (Standard-LWR: $k_{eff} = 1.0055$)
 - Ursachen: Thorium, Umwälzen des Kerns (verz. Neutronen)
 - Zudem: Ggf. positiver T-Koeffizient (LFTR)

.....Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

Gen-IV Reaktoren haben kaum Entsorgungsprobleme

- Kugelhaufen-HTR haben wegen **viel größerer Volumina viel größere Entsorgungsprobleme als LWR**, Moderator und Brennstoff bilden eine Einheit (152 Castoren/Jülich für Brennelemente, die Strom für nur 1 deutschen Tagesverbrauch lieferten, 1,51 Mrd kWh)
- Geplante Brennelemententsorgung des chinesischen HTR-PM: Keine Castoren, nur große dünnwandige Edelstahlfässer, die oberirdisch in Hallen für mindergefährliche Abfälle gelagert werden sollen = hochriskante **Billigstentsorgung** (deutsche Planung !)
- MSR: Entsorgung des kleinen **MSRE** (7.4 MW_{th}, 1965-69): **gravierende Probleme (große Mengen U-233 in den Abgasfiltern, Fluorbildung.....)**; Rückbaukosten (Schätzung 2003): 130 Mio \$, Rückbau noch immer nicht abgeschlossen
- **MSR: Salze und Graphit (LFTR) schwer zu entsorgen**

.....Mythen zu fortgeschrittenen Reaktoren

- LFTR: Integrierte (bisher nur im Labor getestet) **Wiederaufarbeitung** soll Entsorgung erleichtern (Sortierung von Abfällen), ähnlich wie klassische WAA: Riskant und wenig umweltfreundlich, Umweltbilanz evtl. sogar negativ
- MSR: Anders als oft behauptet, ist MSR **kein „Atommüll-schlucker“**: Die risikorelevanten Nuklide können nicht nennenswert umgewandelt werden, lediglich eine bessere Beseitigung von spaltbaren Nukliden als im LWR erscheint im MSFR möglich (aber: zusätzliche Spaltprodukte)
- **Schnelle Reaktoren** eignen sich damit nur **eingeschränkt für Transmutation**; effizienter: Spallationsquellen (ADS)



ARTE: Thorium-Werbefilm 2016

Exkurs: Dual Fluid Reaktor (DFR)

- Der DFR (Variante des MSR) wird von einem kleinen privaten Institut (IFK Berlin) seit 2012 angepriesen (von Kernphysikern mit Beschleuniger-Hintergrund, ohne tiefe Erfahrung in Nukleartechnik)
- Der IFK-Hauptakteur Huke ist für seine Nähe zur obskuren „Kalten Fusion“ bekannt (2005: „*Wunder der Kalten Fusion...*“)
- Der DFR findet mit seinen maßlosen Versprechungen („*kein Abfall, verringert sogar natürliche Radioaktivität...*“) in bestimmten pronuklearen Kreisen große Aufmerksamkeit (EIKE, Nuklearia, AfD...)
- Selbst im wissenschaftlich seriöseren pronuklearen Umfeld wird der DFR durchweg abgelehnt/verspottet: „*DFR-Beschreibung = Einleitung eines Perry Rhodan Heftchens*“, „*Wenn der DFR funktionieren würde, könnte das eine Höllenmaschine sein*“.....
- Eine Auseinandersetzung mit dem DFR lohnt nicht, da es sich z.T. um völlig unrealistische Ansätze und „alternative Fakten“ handelt
- Hauptzweck der DFR-Kampagne könnte sein, Geldquellen für das IFK und eventuelle Arbeiten zur Kalten Fusion zu erschließen
- **Polen beantragt aktuell EU-Gelder für DFR**

Fortgeschrittene Reaktoren: Realisierungschancen

- ✓ Für die nächsten Jahrzehnte sind baureife (echte) Gen-IV-Konzepte wohl auszuschließen:
 - ✓ Milliardeninvestitionen zur Entwicklung wären erforderlich
 - ✓ Aktuell fördert die EU den MSFR (**SAMOFAR**-Projekt zur Sicherheit) mit nur gut **1 Mio €/y**
- Halbwegs ausreichende Summen zur MSR-Entwicklung werden derzeit im Westen nicht bereitgestellt (China: unklar)
 - ✓ Ursache: Skepsis auch in westlicher Nuklearcommunity
 - ✓ Aber: Intensive Propagandakampagne der MSR-Befürworter mit den skizzierten, fragwürdigen, z.T. populistischen Argumenten baut politischen Druck zugunsten MSR auf
 - ✓ Dem muss durch **Aufklärung entgegengewirkt** werden
 - ✓ SAMOFAR: Trotz seines begrenzten Umfangs ein verheerendes Signal zugunsten einer nicht nachhaltigen Kerntechnik
- **Wichtig: Technik für primär militärische Nutzung bei ineffizienter Energieerzeugung anspruchsloser und leichter realisierbar**, gilt insbesondere für den weiter entwickelten Kugelhaufenreaktor

Exkurs: Grossprojekt PBR-Wiederaufarbeitung

- Deutschland finanziert aktuell Entwicklung einer Wiederaufarbeitung für AVR/THTR-Kugeln im US-Militärkomplex Savannah River
- Für Entwicklung/Durchführung der Wiederaufarbeitung und Entsorgung der Abfälle erwarten USA > 1 Mrd €
- z.Vgl.: Stromwert (Gestehungskosten) der Kugeln: < 200 Mio €
- THTR-Kugeln = begrenztes Proliferationsrisiko, AVR-Kugeln: ohne
- Deutsche Rechtslage wurde kürzlich modifiziert: Export = möglich
- Geordnete Beseitigung wäre in Deutschland machbar, ohne nachfolgende Probleme zu verursachen:
 - 1.US-Verfahren umwelttechnisch riskant
 - 2.**Die Wiederaufarbeitung würde ein PBR-Kernproblem (extrem grosse Müllvolumina) lösen, d.h. = verdeckte riesige Investition in Reaktorentwicklung**
- Es gibt Hinweise, dass deutsche Politik unter dem Vorwand der schwierigen Entsorgung von der PBR-Lobby in dieses Abenteuer gedrängt wurde, um weiter PBR-Entwicklung zu betreiben
- **Export der Kugeln in die USA muss verhindert werden**

Proliferationsrisiken von Thoriumnutzung

- Aus Th-232 wird über das Zwischenprodukt Pa-233 (HWZ 4 Wochen) spaltbares Uran-233 erbrütet
- U-233 hat eine ähnlich niedrige kritische Masse wie Waffenplutonium, und eine günstig niedrige Spontanspaltungsrate wie Waffenuran
 - **Spontanspaltung** => unerwünschte Bombenfrühzündung
 - Spontanspaltung bei U-235 und U-233: 0.5 Spaltungen/[s·kg], aber sehr hoch bei Plutonium, wg. Gehalt an Pu-238 (1 Mio Spaltungen/[s·kg])
 - Pu erfordert Kritikalitätssteigerung von $k_{\text{eff}} = 1$ (gerade kritisch) auf > 2 (hinreichend überkritisch für A-Bombe) in Mikrosekunden, damit keine Frühzündung mit ineffizienter Explosion erfolgt. Bei Uran: Millisekunden ausreichend
 - Beim Erbrüten von Plutonium entstehen leicht weitere, unerwünschte Plutoniumnuklide (hoher Abbrand: Reaktorplutonium statt Waffenplutonium); bei U-233: Problem viel kleiner
- **U-233 aus Thorium = fast optimales Kernwaffenmaterial**

.....Proliferationsrisiken von Thoriumnutzung

A-Bombe nach Gun-Prinzip (Hiroshima-Bombe)

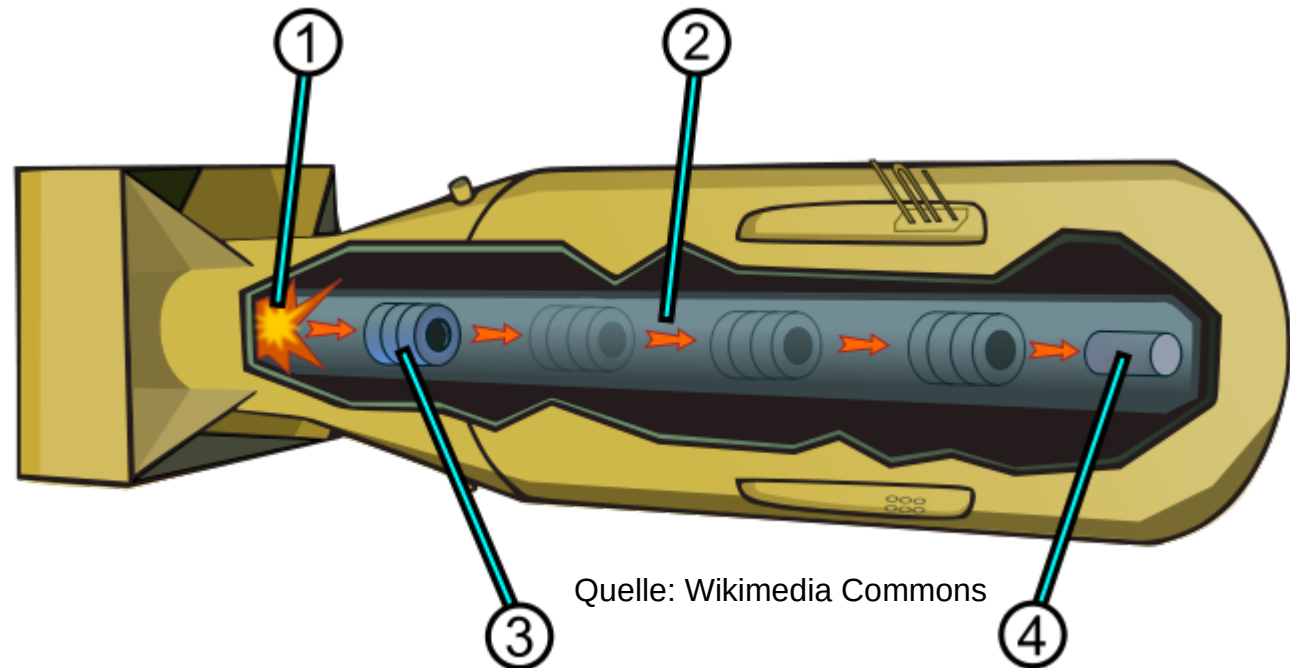
- Sehr einfach und zuverlässig, aber:
- Nur mit Uran-233 und U-235 verwendbar (kein Plutonium)
- Schlechter Wirkungsgrad (einige Prozent)
- Unflexibel, hohes Gewicht

Daher in modernen Waffenarsenalen nicht mehr vorhanden

Aber: Erfordert geringen Aufwand zum Bau, wenn HEU verfügbar

(...Terrororganisationen, daher Restriktionen/-Rücknahme bei HEU)

*Hiroshima-Bombe: 64 kg 80 % anger. U-235;
13 kt TNT*



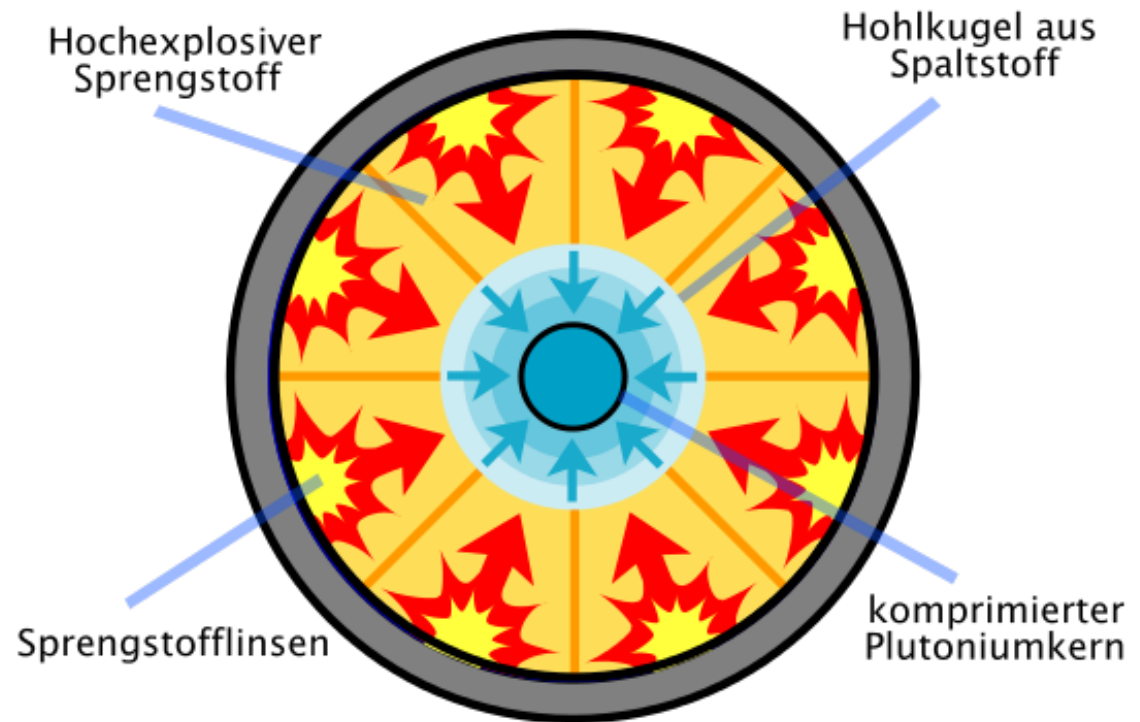
Quelle: Wikimedia Commons

1. konventioneller Sprengstoff (Kordit) zum Beschleunigen des „Geschosses“
2. Lauf
3. hohes Urangegeschoss
4. zylindrisches „Ziel“

.....Proliferationsrisiken von Thoriumnutzung

A-Bombe nach Implosionsprinzip

- Komplex: Exakt kugelförmige Explosionswelle erforderlich, welche den Spaltstoff sehr gleichmäßig komprimiert (geringe Abweichungen führen zu Zerstörung ohne effiziente Explosion)
- Erfordert erheblichen Aufwand zur Entwicklung (für Terrororganisationen kaum machbar)
- Mit Plutonium und Uran verwendbar
- Überkritikalität wird etwa 1000-mal schneller erreicht als in Gun-Bomben
- Wirkungsgrad moderner Waffen: Einige zehn Prozent
- Heute dominierendes Waffenprinzip



Implosionsmethode

Quelle: Wikimedia Commons

.....Proliferationsrisiken von Thoriumnutzung

- Problem bei U-233: Ohne Vorkehrungen entsteht auch Uran-232, starker Gammastrahler (stört Kernwaffenelektronik und erfordert Strahlenschutzmassnahmen beim Umgang mit A-Bombe)
 - ✓ Aber: **Gun-Typ Atombomben benötigen keine Elektronik**, U-233 ist in simpler Gun-Bombe verwendbar (anders als Plutonium, s.o.), **U-232 stört den eigentlichen Explosionsvorgang nicht !**
 - ✓ Aber: **Strahlenschutz dürfte für Terrororganisationen, die über Selbstmordattentäter verfügen, nicht relevant sein**
- U-232-Beimengungen leicht verringerbar z.B. durch:
 - ✓ Ausblenden hochenergetischer Neutronen (separater Brutbereich im Reaktor, Neutronen $< 0,5$ MeV)
 - ✓ Isolation des Zwischenproduktes beim Erbrüten, Pa-233, über die integrierte Wiederaufarbeitung des MSR (ergibt hochreines U-233); Methoden wurden im Labormaßstab getestet

US-Untersuchung 1980 (Pres. Carter): LFTR nur dann halbwegs proliferationssicher, wenn auf intensive integrierte Wiederaufarbeitung verzichtet **und** U-238 dem Thorium zugemischt wird (**DMSR**)

.....Proliferationsrisiken von Thoriumnutzung

→ U-238 kann Spaltstoff U-233 soweit verdünnen (downgrading), dass Waffenfähigkeit nicht mehr gegeben ist

→ Ähnlich halbwegs proliferationssicherer MSR (Kanada 2013): Thermischer **IMSR**, kein Thorium sondern LEU, keine integrierte **Wiederaufarbeitung**, kein Schmelzstopfen sondern Kühlsystem

- Krise der Thoriumnutzung in deutschen Kugelhaufenreaktoren 1980: USA lieferten aus **Proliferationsgründen** das erforderliche Waffenuran nicht mehr (1200 kg U-235 waren geliefert): AVR teilw. mit LEU
- Wegen ständiger, kaum kontrollierbarer Brennelemententnahme (einige hundert pro Tag) gelten Kugelhaufenreaktor als besonders proliferationsgefährlich (US-NRC Mitglied 2001: „*...tailormade for production of weapon explosives...*“)
 - Spezielle Thorium-Brutkugeln lassen sich in LEU-PBR in begrenzter Zahl einsetzen
- **Kugelhaufen-HTR = technologisch weiter als MSR**. Saudi-Arabien hat Interesse am Chinesischen HTR-PM (militärische Ambitionen ?)

.....Proliferationsrisiken von Thoriumnutzung

- Proliferationsrisiko des **SAMOFAR**-Projektes:
 - **Positiv**: Aktuell nur **kleine integrierte Wiederaufarbeitungsanlage**; das verringert die Möglichkeit des Abzweigens großer Mengen an Pa-233 zur Gewinnung von hochreinem Waffenmaterial U-233
 - Aber **negativ**: **Technologieentwicklung für Aufarbeitung** kann auch für größere Anlagen genutzt werden
 - **Negativ**: **Festhalten am Thoriumkreislauf ohne** die schon 1980 (Carter) zur Minderung des Proliferationsrisikos vorgeschlagene **Denaturierung** (= U-238-Zugabe)
 - D.h. für Terroristen brauchbares **U-233** (verunreinigt mit strahlendem U-232) in großem Umfang vorhanden (**5000 kg**), könnte separiert werden; erbrüteter Überschuss U-233: 150 kg/Jahr muss abgetrennt werden
 - ✓ Anmerkung: Denaturierung würde die Wirtschaftlichkeit des SAMOFAR-MSFR beeinträchtigen (gemischter Pu/Th-Kreislauf)
- **Safeguarding** als Proliferationsschutz: Für MSR und PBR bisher nicht entwickelt. Komplexer und teurer als beim LWR

.....Proliferationsrisiken von Thoriumnutzung

Zusammenfassung:

- Entwicklung von **Thoriumnutzung konterkariert** die Bemühungen um **Nichtverbreitung von Atomwaffen**, insbesondere in Kombination mit dem MSR
 - Seit ca. 20 Jahren bemühen sich USA und Russland, früher geliefertes U-235 (HEU) zurückzuholen, da daraus fast so leicht eine **Gunbombe** gebaut werden kann, wie aus U-233
 - Hintergrund sind Befürchtungen, dass Terroristen in den Besitz von einigen Dutzend kg U-235 (HEU) gelangen könnten und dann einen katastrophalen A-Bombenanschlag ausführen würden
- Förderung der Thoriumnutzung durch die EU ist also kurzsichtig, unverantwortlich und langfristig hochgefährlich, da U-233 noch besser als Bombensprengstoff taugt als U-235 (40 % der U-235 Menge ausreichend)

Eine Ächtung des Thoriumkreislaufs ohne Denaturierung muss angestrebt werden (ähnlich wie bei waffenfähigem U-235)

Exkurs: Die Rolle von Karlsruhe beim PBR

- **ITU**: Vor 15 Jahren wurde die PBR-Entwicklung in Jülich aufgrund politischer Vorgaben schwierig. Ein Schlüsselexperiment der PBR-Entwicklung (Aufheizung von bestrahlten Brennelementen auf bis zu 1800°C) konnte nicht weitergeführt werden
 - ITU sprang in die Bresche, baute das Experiment in Karlsruhe auf und betrieb/betreibt es in Kooperation mit Jülich
 - = **Unterlaufen des deutschen Atomausstiegs**
 - = **Wichtiger Beitrag zum südafrikanischen PBMR-Projekt**
- **KIT-PTKA** fördert weiter deutsche PBR-Arbeiten (z.B. TU Dresden, U Stuttgart)
- **KIT-PTKA** beauftragte 2015 die Jülicher PBR-Entwickler, das deutsche PBR-know-how an IAEA zu übertragen:
 - Da ausschließlich die wissenschaftlich fragwürdigen Jülich/Aachener PBR-Befürworter und ihr Umfeld den know-how-Transfer vornahmen, ist zu vermuten, dass nur eine unrealistisch positive Informationsauswahl an IAEA übergeben wurde. **Mittelfristig ggf. gefährlich, sollte korrigiert werden !**

Eigene Erfahrungen zur Proliferation

- **FZ Jülich** hat 1988 trotz Embargos know-how zum **Kugelhaufenreaktor** an **Apartheid-Südafrika** geliefert:
 - Sollte im dortigen Kernwaffenprogramm (Südafrika besaß 7-A-Bomben des Gun-Prinzips) als U-Boot-Antrieb Verwendung finden
 - Militärische PBR-Anwendung wurde vom FZJ damals vehement abgestritten („**wissenschaftliche Kooperation**“)
- 1988 offerierte Siemens den USA einen PBR (HTR-Modul) zur **Tritiumerzeugung für H-Bomben**; zu den zivil nutzbaren Grundlagen des HTR-Moduls hat FZJ intensiv beigetragen; FZJ opponierte trotzdem nicht
- Folgerungent:
 - Das bestehende **Verbot** militärisch orientierter Forschung im FZJ war **wirkungslos**
 - Auch wenn unmittelbare Forschung für Atomwaffen in Jülich wohl nicht bestand, wurde militärische Nutzung des Jülicher know-hows unterstützt bzw. toleriert

Forderungen zu Thorium / Gen-IV-Reaktoren

Was muss mindestens gefordert werden, um grobe Fehlentwicklungen bei Gen-IV-Reaktoren/Thorium zu vermeiden ?

- (1) **Denaturierung** (U-238-Zugabe) im Kern des **SAMOFAR-MSFR** als zentraler Konzeptbestandteil
- (2) Verzicht auf **Brutfaktoren > 1** in **SAMOFAR-MSFR**
- (3) Weitere Verkleinerung/ggf. **Verzicht** auf die integrierte **SAMOFAR-Wiederaufarbeitung**
- (4) **Verzicht** auf grosse deutsche Investitionen für **verdeckte Entwicklungsarbeiten am PBR** (Entwicklung der Wiederaufbereitung unter dem Deckmantel Entsorgung)
- (5) **Überprüfung** und ggf. Korrektur/Vervollständigung der aus Jülich an **IAEA übergebenen Informationen betr. PBR**

2. Weitere Fragen: Sind aktuelle deutsche/EU-Projekte zur Kerntechnik ausschliesslich Sicherheitsarbeiten ?

- In Deutschland werden nur noch sicherheitsgerichtete Arbeiten zur Kerntechnik gefördert
- Wenig hilfreiche Einschränkung, da zu weit gefasst:
 - ✓ Beispiel: FZ Jülich hat die Entwicklung/Auslegung des Reaktorkerns für den südafrikanischen PBMR durchgeführt. Argument: Eine fehlerhafte Auslegung könne sicherheitstechnisch schwerste Konsequenzen haben, daher = Sicherheitsarbeiten
 - D.h.: **Wegen des extrem hohen AKW-Risikos könnten fast alle Arbeiten zu AKW als sicherheitsgerichtet eingeordnet werden; „Entwicklungsarbeiten werden zu Sicherheitsarbeiten umdefiniert“**
 - ✓ Im klassischen Sinne (Trennung Entwicklung/Sicherheit) handelt es sich jedoch i.d.R. nicht um Sicherheitsarbeiten
 - ✓ Ähnliche Überschneidungen bei **SAMOFAR (weitgehend Entwicklungsarbeiten, teilweise sicherheitsrelevant....)**
- Eine Präzisierung der anzuwendenden Sicherheitsdefinition auf politischer Ebene ist daher dringend erforderlich

.....Weitere Fragen: Ist Deutschland in der Lage, selbstständig Atomwaffen zu bauen ?

A) Beschaffung von Nuklearsprengstoff:

- Waffenplutonium über WAA: aktuell nicht mehr möglich
- Urananreicherung: **Kleiner Umbau der Zentrifugenanlage Gronau erlaubt Produktion von Waffenuran in ausreichender Menge**
- Langfristig evtl. LFTR als Explosivstoffquelle denkbar

B) Konstruktion einer Bombe

- **Gun-Bombe** stünde kurzfristig zur Verfügung
 - (Beispiel: Apartheid-Südafrika ab 1977: 7 A-Bomben)
- **Implosionsbombe**: Könnte bei ausreichenden Investitionen in ca. 3 bis 5 Jahren entwickelt werden (50 bis 100 Spezialisten)

Fazit:

- Als Hochindustrieland **wäre Deutschland innerhalb weniger Jahre in der Lage, Atommacht zu werden**
- Aufgegebene Schließung des Brennstoffkreislaufs macht Bau von A-Bomben (anders als oft behauptet) nicht unmöglich
- Trägersysteme sind separat zu betrachten

3. Whistleblowing in Jülich - Hintergrund

- In Jülich wurden Kugelhaufenreaktoren (PBR) entwickelt sowie der AVR (46 MW_{th}) gebaut und 1967-88 betrieben
- PBR wurden 1943-47 in den USA erdacht und patentiert („Daniels pile“); ab 1956 wurde know how nach Jülich transferiert
- In D wurde der PBR als rein deutsch ausgegeben, was zu einer hilfreichen Identifizierung der Bevölkerung mit dem PBR führte
- Grundschwächen des PBR:
 - Kerninstrumentierung unmöglich (PBR-Kern = black box)
 - Schmiermittelwirkung des Graphit (Kugeln) im Reaktor nicht gegeben (bei AVR-Auslegung übersehen):
 - Brennstoffverteilung im Kern völlig anders als berechnet (hot spots....), de facto = showstopper für PBR
 - Resultierende Probleme bei AVR-Betrieb konnten wegen fehlender Kerninstrumentierung vertuscht werden
- THTR (750 MW_{th}): Baubeginn 1971 (Steuermittel), obwohl Reibungsprobleme ungelöst (verheimlicht)
 - Zurückstellen des THTR hätte PBR weit zurückgeworfen

.....Whistleblowing in Jülich - Hintergrund

- THTR-Bau verteuerte sich um Faktor 7 auf 4,5 Mrd DM, Bauzeit verdreifachte sich (Inbetriebnahme 1987 statt 1976)
- THTR-Reibungsprobleme: enorme Bruchrate der Brennelemente
- THTR: viele weitere Probleme (Verstopfung von Kühlleitungen...)
- THTR: nach 423 Tagen Vollastbetrieb und **Konkursdrohung** 1989 stillgelegt, da niemand den hochdefizitären Betrieb weiter finanzieren wollte (600 Mio DM für 2 Jahre Weiterbetrieb gefordert)
- THTR: Rückbau evtl. ab 2027, Finanzierung unklar
- AVR Jülich: 1974 „**Weltrekordtemperatur**“ **950°C (Helium)**; wegen hot spots schweres Versagen der Brennelemente, einige Prozent von Cäsium und Strontium entweichen über Monate aus den Brennelementen und verbleiben als Staub im Kühlkreislauf
- = **Havarie IAEA-Kategorie 4 bis 5** (vergleichbar TMI-Bedingungen)
 - ✓ Intern und der Behörde bekannt, aber verheimlicht
- Mai 1978: überheisse Gasstrahlen aus hot spots führen zu **Haarriss im Dampferzeuger**
 - ✓ Reaktor schaltet sich wegen Explosionsgefahr selbsttätig ab

.....Whistleblowing in Jülich - Hintergrund

- Betriebsmannschaft **manipuliert illegal** das Feuchtemessgerät des Reaktorschutzsystems, sodass Reaktor in Betrieb geht
- AVR wird erst nach 4 Tagen nuklear abgeschaltet (Wasser steht im Reaktor)
- Aufsichtsbehörde deckt das nach 2 Monaten auf, verheimlicht das aber **„um die Bevölkerung nicht zu beunruhigen“**; mündliche Verwarnung an AVR-Betreiber
- Nukleare und chemische Explosionen unterblieben nur deshalb, weil der Dampferzeugerriss sich nur langsam vergrößerte; vollständiger Rohrreißer hätte wohl zur Katastrophe geführt
- 30 m³ hochkontaminiertes Wasser im AVR: Stümperhafte Beseitigung 1978 führte zu gravierender **Boden- und Grundwasserkontamination** mit Sr-90 und Tritium (teilweise veröffentlicht erst 1999 nach Strontiumfunden in der Rur)
- Um 1990: Gravierende Häufung von **Kinderleukämie um Jülich**: Zusammenhang mit Tritium/Grundwasser nicht nachweisbar, da vor 1994 keine Aktivitätsmesswerte verfügbar sind

.....Whistleblowing in Jülich - Hintergrund

- AVR-Betrieb 1983 – 88 weniger spektakulär, da Behörde strenger beaufsichtigte
- **Hot spots** 1987 nachgewiesen, Hochtemperaturbetrieb untersagt
- Gutachten 1987 nach Chernobyl-Unfall (Benecke et al.) unterstreicht das Risiko nuklearer Explosionen bei AVR und THTR: „**Chernobyl-Syndrom**“; Gutachten bis 2011 unter Verschluss
- AVR-Abschaltung 1988; 2003 vom Staat übernommen
- Enorme Rückbauprobleme und -kosten (Mrd): Extrem mit Sr und Cs kontaminierter, havariierter Reaktorbehälter wurde mit Beton verfüllt (**wie marode sowjetische Atom-U-Boote**) und muss wohl bis weit ins nächste Jahrhundert zwischengelagert werden
- 152 Castoren mit teilweise havarierten Brennelementkugeln in Jülich in genehmigungslosem, unsicheren Zwischenlager
- Aktuell Versuche, die **Castoren nach Ahaus bzw. in die USA abzuschieben** (USA erwarten dafür Zahlungen im Mrd-Bereich)
- Boden- und Grundwasserkontamination soll ab ca. 2022 beseitigt werden (Kosten: 3-stelliger Millionenbereich)

.....Whistleblowing in Jülich - Ablauf

- Ab 1976 habe ich in Jülich nukleare Sicherheitsforschung betrieben
- Bis ca. 1990 war die PBR-Community relativ groß, vielfältig und insgesamt normal; die Führungsebene musste die großen Probleme vor den meisten Mitarbeitern verheimlichen
 - Dennoch: Bei gesundem Misstrauen (das ich nicht hatte) hätte ich damals Teile der Missstände erkennen können
- Nach PBR-Zusammenbruch 1988 Wechsel meines Arbeitsschwerpunktes (Sicherheit von Fusion, Spallationsquellen.....)
- Ab 2004 Arbeit zum südafrikanischen PBR-Projekt **PBMR**, das (anfänglich unter militärischem Vorzeichen für Apartheidregime) 1988 von Jülich initiiert wurde
- Die verbliebene kleine Jülicher PBR-Mannschaft hatte sich seit 1988 radikalisiert (Ideologiegetrieben: „*katastrophenfreier PBR...*“, Verschwörungstheorien zum PBR-Misserfolg...), wissenschaftlich überwiegend unredlich
- Ich stellte schnell fest, dass den Südafrikanern sicherheitstechnisch wesentliche PBR-Schwachstellen verheimlicht wurden

.....Whistleblowing in Jülich - Ablauf

- Beispiel: [Radioaktive Stäube im Kühlkreislauf](#), die wegen fehlendem Containment (bei PBR zu teuer) bei Leckagen zu grossen Umweltbelastungen führen
- Die FZJ-interne Auseinandersetzung darüber eskalierte in einem Gespräch beim FZJ-Vorstand am 10.03.2006: PBR-Führungsebene stritt wider besseren Wissens jegliches Problem ab
- Das war mein [Saulus-Paulus-Erlebnis](#): Ich habe 10/2006 die Südafrikaner auf eigene Faust informiert, führte zu faktischem [Ausschluß aus der PBR-Community](#)
- Danach habe ich die Kernpostulate der PBR-Sicherheitsphilosophie systematisch hinterfragt, und bin schrittweise auf die eingangs skizzierten Mißstände gestossen
- [Brief an die Jülicher PBR-Community 04/2007](#): Benennung einiger vertuschter sicherheitstechnischer Probleme benannt und Forderung nach Transparenz
- Nach inhaltenden Reaktionen habe ich 09/2007 den FZJ-Vorstand informiert und [meine Ergebnisse in Berichtform](#) gebracht

.....Whistleblowing in Jülich - Ablauf

- FZJ-Vorstand unterstützte mich anfänglich, geriet aber unter Druck durch PBR-freundliche NRW-Minister und liess mich fallen
- Nach mehrmonatigem Kampf gelang es mir **06/2008**, die Genehmigung zur **Veröffentlichung meines Berichts** zu erhalten
- Mobbing: Reaktionen aus der deutschen PBR-Community und vom FZJ waren heftig: **Zweifel an meinem Geisteszustand**, Verleumdungen in der südafrikanischen Presse, Ausgrenzung, mehrfache Versetzungen innerhalb des FZJ.....
- Der Bericht verstärkte die Krise des PBMR-Projektes, der **PBMR scheiterte 09/2010 endgültig** (Kosten ca. 1 Mrd €)
- 2010 Antrag Altersteilzeit, 02/2012 Ende des aktiven Dienstes
- Unter dem Druck von Fukushima musste FZJ meine Angaben endlich untersuchen lassen: Eine **4-köpfige Expertengruppe** gab mir 2014 nach 3-jähriger Arbeit in fast allen Punkten recht
- D.h. es gab **Wissenschaftsbetrug** beim PBR in Jülich (Kommentar AREVA „**die PBR-Leute sind Gefangene ihrer marktshreierischen Propaganda und ihrer uneinlösbaren Versprechungen...**“)

.....Whistleblowing in Jülich - Fazit

- Probleme des Whistleblowings habe ich erheblich unterschätzt
- Die Belastungen sind eigentlich nicht zumutbar, und bin unsicher, ob ich es nochmals machen würde (Alternative: anonyme Weitergabe von Informationen ?)
- Ohne Unterstützung von Partnerin und Freunden sowie (verdeckt) von vielen FZJ-Kollegen wäre das nicht durchhaltbar gewesen
- Aus der deutschen **Nuklearcommunity** bekam ich (verdeckt) wichtige Hilfe (Jülich war zur Belastung geworden)
- Keine Unterstützung vom **Betriebsrat** (Argument: Arbeitsplätze), wohl aber von einzelnen Mitgliedern
- Der mittlerweile schlechte Ruf der AKW-Technik hat mich sicher vor Schlimmerem bewahrt
- Der **Whistleblowerpreis 2011** hat geholfen, meine Anliegen in die Öffentlichkeit zu transportieren
- Im Rückblick erscheint mir die **Rolle der Aufsichtsbehörden**, die das Jülicher Debakel erst ermöglicht haben (Herunterspielen, Verschweigen, Kumpanei...), **als problematischster Aspekt**