

Kernkraft alternativ - ohne die Gefahr einer Kernschmelze, ohne Endlager und Stromtrassen

von Eduard Meßmer, Februar 2024

vgl. Telegram-Nachricht:

<https://t.me/solidarnosch/17566>



Laut Bundesnetzagentur (BNetzA) werden in Deutschland an 923 Standorten Erdgas, Braun- und Steinkohle-Kraftwerke betrieben mit einer Nettotonennleistung von insgesamt 69.114 MW¹. Die gesamte in Deutschland installierte Brutto-Leistung von Kraftwerken (ab 10 Megawatt) lag laut Umweltbundesamt im Jahr 2023 bei 249.271 MW².

Tabelle: [Auswertung Kraftwerksliste BNetzA](#) nach aktuellem Kraftwerkstatus und Energieträger, Stand: 15.04.2024; Summe elektrische Netto-Nennleistung in MW

Energieträger	Kraftwerks-Netto-nennleistung in MW	Anzahl Kraftwerke
Abfall	1.977	113
Batteriespeicher	1.678	73
Braunkohle	15.246	39
Steinkohle	17.538	79
Mineralölprodukte	4.040	86
Erdgas	36.330	805
Grubengas	142	20
Geothermie	50	16
Biomasse	10.641	202
Pumpspeicher	9.929	101
Solare Strahlungsenergie	82.443	17
Wärme	560	38
Wasser	8.015	349
Windenergie (Offshore-Anlage)	8.458	19
Windenergie (Onshore-Anlage)	61.017	16
sonstige Energieträger (nicht erneuerbar)	2.935	49
Gesamt	248.662	2.022

¹https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html

² Umweltbundesamt, Kraftwerksleistung in Deutschland im Jahr 2023:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/bilder/dateien/kraftwerksleistung_2024_0.pdf

Die Entwicklung der Kernkraftwerke

In Deutschland werden Kernkraftwerke vom Netz genommen. Die noch verbleibenden Kernkraftwerke funktionieren nach dem Prinzip der Kernspaltung und verwenden Uran als Brennstoff. Dieses Uran, dessen Isotop ^{235}U das einzige spaltbare natürliche Isotop ist, entsteht jedoch nur im Herzen von Supernovae. Auf der Erde gilt Uran als eine begrenzte Ressource. Uran ist ein auf unserem Planeten zwar häufig vorkommendes Element, jedoch nur schwer und damit teuer abbaubar. Die Ressource Uran ist also begrenzt und nicht erneuerbar³. Der Verbrauch von Uran kann durch einen natürlichen Wiederauffüllungsprozess nicht ausgeglichen werden. Dennoch ist die Ressource Uran nicht als fossil zu bezeichnen. Der Begriff „fossile Energie“ bezieht sich auf eine bestimmte Form der chemischen Energie. Und zwar solche, die aus kohlenstoffreichen Brennstoffen gewonnen wird, die durch die langsame Zersetzung von organischem Material entstehen. Dazu gehört beispielsweise Kohle. Uran ist eine kohlenstofffreie Energie, ohne Ausstoß von CO_2 . Die Frage der Sicherheit der herkömmlichen Reaktortechnologien ist nach mehreren großen Störfällen (u.a. Tschernobyl, Fukushima) hoch umstritten, die Endlager- und Entsorgungsfrage von hochgiftigen Atommüll bleibt ungeklärt. Die unerwünschten Auswirkungen wie bspw. gesundheitliche Beeinträchtigungen oder die Zerstörung der Landschaft könnten mit Atommeiler der 4. Generation vermieden und zudem überregionale Stromtrassen überflüssig werden. Die Endlagerfrage ist hierbei deutlich einfacher, weil "nur" Abklinglager benötigt werden. Die stark strahlenden Reststoffe erreichen mit Reaktoren der sogenannten 4. Generation in wenigen Jahrhunderten ein normales Umweltniveau. Überdies entfällt der drastisch hohe Landverbrauch, der für Wind und Sonne-Anlagen in Kauf genommen wird.

Mit verschiedenen **Reaktortypen der 4. Generation⁴ (GEN IV)** ist alternativ eine Energiewende ohne fossile Energieträger und ohne gesundheits- und landschaftszerstörende Windindustrieanlagen denkbar.

Die **Entwicklung von Kernkraftwerken** wird herkömmlicherweise in vier Generationen unterteilt (GIF, 2002)⁵:

- I. Generation (1950–1970): frühe Prototypen unterschiedlicher Bauart;
- II. Erzeugung (1970–1995): kommerzielle Kraftwerke, in der Regel LWRs (Leichtwasserreaktoren), zuverlässig und wirtschaftlich wettbewerbsfähig;

Generation III/III+ (1995–2030): Entwicklung der LWR-Generation II;

IV. Generation (2030+): Entwürfe, die aufgrund ihrer Diskontinuität mit den KKW der III. Generation als revolutionär bezeichnet werden.

³ Futura-Science, 16.02.2022, https://www.futura-sciences.com/de/ist-kernenergie-fossil-oder-erneuerbar_9180/

⁴ **Reaktoren der Generation IV (Gen IV)** sind Technologien zur Konstruktion von Kernreaktoren, die als Nachfolger von Reaktoren der Generation III vorgesehen sind. Das *Generation IV International Forum (GIF)* – eine internationale Organisation, die die Entwicklung von Reaktoren der Generation IV koordiniert – hat speziell sechs Reaktortechnologien als Kandidaten für Reaktoren der Generation IV ausgewählt. Die Entwürfe zielen auf verbesserte Sicherheit, Nachhaltigkeit, Effizienz und Kosten ab. Die *World Nuclear Association* schlug 2015 vor, dass einige vor 2030 in den kommerziellen Betrieb gehen könnten, https://en.wikipedia.org/wiki/Generation_IV_reactor

⁵ Kernreaktoren der Generation IV: Aktueller Stand und Zukunftsaussichten, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421513006083?via%3Dihub>

Die Entwicklung der GEN IV-Technologien wird vom *Generation IV International Forum (GIF)* koordiniert. Das GIF veröffentlicht die Referenzdokumente für die KKW GEN IV: GIF, 2002, GIF, 2009a, GIF, 2009b, GIF, 2012).

Ein Reaktortyp der sechs Klassen von Kernreaktoren in der Initiative der Generation IV ist der Reaktortyp TRISO-Hochtemperaturreaktor ⁶, ein sogenannter Kugelhaufenreaktor (PBR), seit Dezember 2023 in China auch kommerziell in Betrieb. Es handelt sich um eine Art Hochtemperaturreaktor (VHTR⁷), der die Nachteile der bisher in Betrieb befindlichen Reaktortypen der dritten Generation kompensiert, denn es sind weder Störfälle wie in Tschernobyl oder Fukushima möglich, noch benötigt dieser Reaktortyp ein Endlager. Der Kugelhaufenreaktor (PBR) ist ein Design für einen graphitmoderierten, gasgekühlten Kernreaktor..

Bereits vor zwei Jahren wurde in China das weltweit erste Kernkraftwerk auf der Basis von Tri-Isotopic (TRISO)-Kernbrennelementen gebaut und nun im Dez. 2023 auch kommerziell in Betrieb genommen⁸. Es handelt sich um einen mit Hochtemperatur gasgekühlten Reaktortyp (HTGR) im Kernkraftwerk "Huaneng Shidao Bay" in Rongcheng in der Provinz Shandong. Aus wirtschaftlicher Sicht ist der HTGR ein überlegener Kernreaktor, da es aufgrund seiner inhärenten Sicherheit zusätzliche Anlagen reduzieren und aufgrund der hohen Temperaturwärme einen hohen Wärmer Wirkungsgrad erzielen kann. Dieser Hochtemperatur-Reaktortyp ist in Jülich entwickelt worden, diese Technologie in USA im Aufbau ⁹ ¹⁰ ¹¹. Das US-amerikanische Energieministerium wurde gesetzlich verpflichtet, einen modernen Forschungsreaktor zu errichten, den *Versatile Test Reactor* (VTR). Außerdem soll das DOE bis 2025 mindestens zwei fortschrittliche Reaktoren erproben und bis 2035 zwei bis fünf weitere. In Deutschland wurde bereits in den späten 1950er Jahren an sogenannten Kugelhaufenreaktoren gearbeitet. Der Konzern „Asea Brown Boveri (ABB) und Siemens Interatom¹² entwickelten modulare Konzepte, etwa den HTR-Modul mit 200 MWth auf der Basis einer Entwicklung aus dem Versuchskernkraftwerk Jülich (AVR Jülich¹³). Diese Entwicklungen wurden nach dem Scheitern des Prototyps Thorium-Hochtemperaturreaktors (THTR ¹⁴) Ende der 1980er Jahre weitgehend beendet.

⁶ Zu Hochtemperatur Reaktortypen (HTR): <https://de.wikipedia.org/wiki/Hochtemperaturreaktor>

⁷ Evans D. Kitcher (26. August 2020). "Ein Whitepaper: Dispositionsoptionen für einen gasgekühlten Hochtemperaturreaktor" (PDF). Nationales Laboratorium von Idaho. Der gasgekühlte Hochtemperaturreaktor (HTGR) ist ein mit Uran befeuertes, graphitmoderiertes, gasgekühltes Kernreaktorkonzept, das in der Lage ist, sehr hohe Kernaustrittstemperaturen zu erzeugen: https://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_gas-cooled_reactor

⁸ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Chinese-HTR-PM-Demo-begins-commercial-operation>

⁹ <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx>

¹⁰ Idaho National Laboratory: Next-generation nuclear fuel withstands high-temperature accident conditions (Memento vom 14. Juli 2015 im Internet Archive), 25. September 2013, https://web.archive.org/web/20150714152201/https://inlportal.inl.gov/portal/server.pt?open=514&objID=1555&mode=2&featurestory=DA_612467

¹¹ <https://www.nuklearforum.ch/de/news/usa-erster-spatenstich-fuer-die-triso-x-fuel-fabrication-facility/>

¹² Die Siemens AG ist an der Interatom GmbH einem Unternehmen des Kernreaktorbaus mit Sitz im heutigen TechnologiePark Bergisch Gladbach zu 60 Prozent beteiligt: <https://de.wikipedia.org/wiki/Interatom>

¹³ Zum AVR Jülich: [https://de.wikipedia.org/wiki/AVR_\(J%C3%BClich\)](https://de.wikipedia.org/wiki/AVR_(J%C3%BClich))

¹⁴ Zu dem Kernkraftwerk-Prototyp „THTR-300“: https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_THTR-300

Probleme und die Stilllegung des THTR-300 führten zum weitgehenden Ende der Kugelhaufenreaktorentwicklung in Deutschland¹⁵.

Fossile Atommeiler in Deutschland haben rund 250 TWh Strom geliefert¹⁶. Der Dip. Ing. Jochen K. Michels aus Neuss (Unternehmensberatung) schlägt vor, an existierenden Kraftwerkstandorten mit fossilen Energieträgern in Deutschland sukzessive modulare, **Minireaktoren**¹⁷ (**Small Modular Reactors - SMR**) mit **TRISO-Technologie** zu errichten, insgesamt 950 Module, u.a. in Gruppen bis zu 10 seriengefertigten Modulen, á 100 MW Leistung. Die fossilen Kraftwerke könnten bei 7.000 Stunden rund 490 TWh liefern, sind also gerade zur Hälfte ausgelastet, weil die Öko-Energien Vorrang haben. Dazu kommen noch 267 TWh aus „Erneuerbaren“, zusammen also 517 TWh.

Die Investitionskosten lägen bei ca. 300 Mio. Euro pro Minireaktor, insgesamt bei 285 Mrd. Euro. Der Strompreis wird so ab Kraftwerk auf ca. 6 Cent/kWh kalkuliert¹⁸. Erheblich mehr betragen die Kosten für Windindustrie- und PV-Anlagen, Tendenz steigend. Die Kosten für die deutsche Energiewende werden u.a. in einer Höhe von 1,9 Billionen Euro eingeschätzt.

Insgesamt könnten so 80 000 MW Leistung bei 8.000 Laufstunden im Jahr 640 Mio. MWh erzeugt werden. Das sind 640 TWh und entspricht unserem heutigen Stromverbrauch plus einem gewissen Wachstum. Das Einzige was fehlt, ist eine Ideologie- und Denkwende der derzeitigen innovationsfeindlichen und umweltschädlichen Energiepolitik.

Hochtemperatur / Kugelbett-Technologie

Zur Hochtemperaturreaktor mit Tri-Isotopic Kernelementen/Kugelbetttechnologie - (TRISO-Technologie: <https://nukeklaus.net/triso/>

zur HTR-Technologie: <https://htr2024.thutech.cn/>

Beschreibung der Vor- und Nachteile verschiedener Reaktortypen der 4. Generation

<https://www.watson.ch/wissen/forschung/974564720-reaktoren-der-4-generation-kernfusion-die-zukunft-der-atomenergie>

https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/kta-deutschland/neuartige-reaktorkonzepte/sogenannte-neuartige-reaktorkonzepte_node.html

¹⁵ Zu Gründen und Auswirkungen der vorzeitigen Stilllegung auf die HTR-Entwicklung in Deutschland: https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk THTR-300#Auswirkungen_der_vorzeitigen_Stilllegung_auf_die_HTR-Entwicklung

¹⁶ FAZ, 19.12.23

¹⁷ <https://nuklearia.de/2021/04/25/mikroreaktoren-stromversorgung-fuer-kleine-netze/>

¹⁸ Quelle Berechnung, <https://www.gaufrei.de/> → siehe Excel-Tabelle: gelbe Kachel rechts / Tec-Wirtsch

Vortrag Dual Fluid Kraftwerk von Dipl. Ing. Volker Eyssen

(ehemaliger Energieexperte der Bundesregierung)

in Bad Krozingen, 28. Juli 2024: Teil 1: < [Link](#) > Teil 2: < [Link](#) >

Leitstudie der Deutschen Energie-Agentur (DENA): „Aufbruch in die Klimaneutralität“

https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf

Die Anfang 2022 beschlossene *EU-Taxonomie-Verordnung*, in der die EU-Kommission bestimmte Atomkraft- und Erdgasaktivitäten als umweltverträglich und „nachhaltige Energieformen“ eingestuft hat¹⁹, sollte Anlass genug sein, den eingeschlagenen Weg der Bundesregierung kritisch zu hinterfragen und zu korrigieren.

Zur Frage, warum die so sehr gelobte inhärent sichere Kugelbett-Technik nach ihrem Ende in Deutschland bisher von keinem andern Land umgesetzt wurde, erfahren wir im September 2019 Folgendes aus China: „Ein US-amerikanisches Unternehmen entwickelt mit Unterstützung des *US Department of Energy* (US DOE)²⁰ einen gasgekühlten Hochtemperatur-Kieselbettreaktor. Der Name dieses Unternehmens ist *X-Energy*. Der Entwurf des *DOE* ist ähnlich wie der chinesische Kleinbau-Atomreaktor (HTR-PM). Der HTR-PM ist ein hochtemperaturgekühlter (HTGR) Kugelhaufenreaktor²¹, der aus dem HTR-10-Prototyp entwickelt wurde²². Die Technologie soll Kohlekraftwerke im Landesinneren Chinas ersetzen, im Einklang mit dem Plan des Landes, bis 2060 CO₂-Neutralität zu erreichen“

Gleichzeitig entwickeln sie in Zusammenarbeit mit dem *Oak Ridge National Laboratory* Brennelemente aus Kieselsteinen. Sie wollen Kraftwerke im In- und Ausland errichten. Sie wollen auch TRISO-Brennelemente (von englisch „*TRistructural-ISOtropic*“²³) an ausländische Anlagen liefern. Das Vereinigte Königreich erwägt auch den Bau von SMR-Kraftwerken als Ersatz für die Anlagen, die in naher Zukunft stillgelegt werden sollen. Der modulare Hochtemperatur gasgekühlten Reaktortyp (HTGR) ist hierfür ein vielversprechender Kandidat, denn *British Nuclear Fuels plc* (kurz BNFL²⁴) ist ein Aktienunternehmen (Hauptanteilseigner) der britischen Regierung. BNFL hat sich intensiv am Kugelhaufenreaktorprojekt (*PBMR – Pebble Bed Modular-Project*)-in

¹⁹ Europäisches Parlament, Taxonomie: Keine Einwände gegen Einstufung von Gas und Atomkraft als nachhaltig, Pressemitteilung vom 06.07.2022, <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20220701PR34365/taxonomie-keine-einwande-gegen-einstufung-von-gas-und-atomkraft-als-nachhaltig>

²⁰ US Department of Energy (US DOE): <https://www.energy.gov/>

²¹ Bei Kugelhaufreaktoren (PBR) **Der Kugelhaufenreaktor (PBR)** ist ein Design für einen graphitmoderierten, gasgekühlten Kernreaktor. Es handelt sich um eine Art Hochtemperaturreaktor (VHTR), eine der sechs Klassen von Kernreaktoren in der Initiative der Generation IV: https://en.wikipedia.org/wiki/Pebble-bed_reactor

²² **HTR-10** ist ein 10 MWt Prototyp [eines gasgekühlten Gas-Kiesen-Reaktors](#) an der [Tsinghua Universität](#) in [China](#). Der Bau begann 1995 mit der ersten Kritikalität im Dezember 2000 und wurde im Januar 2003 in vollem Stromzustand betrieben, übersetzt aus dem Original der Tsinghua Universität - Institut für Kern und Neue Energiepolitik: <https://web.archive.org/web/20110928033448/http://www.tsinghua.edu.cn/publish/ineten/5696/index.html>

²³ **TRISO** (von englisch *TRistructural-ISOtropic*) ist eine Verarbeitungsform von [Kernbrennstoff](#), die aus dreifach ummantelten [Pac-Kügelchen](#) besteht: <https://de.wikipedia.org/wiki/TRISO>

²⁴ Das Unternehmen ist (Stand 2023) weltweit aktiv im Kerntechnik-Geschäft und firmiert unter dem Namen *Westinghouse Electric Company LLC*, https://de.wikipedia.org/wiki/British_Nuclear_Fuels

Südafrika beteiligt. Japan hat die modulare HTGR-Technologie entwickelt. Sie haben sich für den prismatischen Brennstofftyp entschieden. Obwohl es aufgrund der internen Situation in Japan schwierig ist, eine neue HTGR-Anlage zu bauen, hat das Land genügend Technologien angesammelt, um eine neue Anlage zu errichten. Deshalb versucht die japanische Atomenergiebehörde (JAEA²⁵), seine Technologie nach Polen zu exportieren. Natürlich ist es nicht einfach, eine neue Anlage für alle Kernenergietechnologien zu bauen, einschließlich HTGR und anderer SMR-Technologien, z.B. *NuScale*. In China wurde die Forschung und Entwicklung von HTR-PM von der Zentralregierung unterstützt. Insbesondere die Atomaufsichtsbehörden verfügen über viel Erfahrung. In China kann durch den Bau und Betrieb des HTR-10 die Sicherheit der HTGR-Technologie sehr gut bewertet werden. Der Bau und Betrieb von HTGR-Anlagen zeigt die große Leistung, die in Jülich von den Entwicklern der Kugelbett-Technologie schon in den 1970-er Jahren, wenn auch mit internationaler Zusammenarbeit erbracht worden ist. Der Grund, warum die so sehr gelobte, inhärent sichere Kugelbett-Technik nach ihrem Ende in Deutschland bisher von keinem andern Land - außer in China - umgesetzt wurde, ist, dass die Lizenzvergabe eine sehr kostspielige und zeitaufwändige Angelegenheit ist. Man hat in allen anderen Ländern den bequemeren Weg gewählt: Reaktoren, die einmal von Admiral Rickover für U-Boote eingeführt worden waren, hat man an Land gesetzt. Eine Konstruktion, die mit dem Restrisiko behaftet ist. Das kann man im U-Boot leicht begrenzen, ist aber zu Lande von viel größeren Unfall-Wirkungen begleitet. Das verbleibende Restrisiko ist um Dimensionen höher. So etwas mit aufwendigen Sicherheits-Apparaturen vermeiden zu wollen, macht die Reaktoren anfälliger, teurer und leider dennoch gefährlicher (Tschernobyl, Fukushima). In Deutschland sollte man die unermesslich großen Vorteile der inhärent sicheren Kugelbett-Technik wieder erkennen, aufnehmen und umsetzen²⁶.

FAZIT

Es geht nicht mehr nur um Visionen und Forschung. Für Industrie und Verbraucher ist die erprobte Hochtemperatur-Reaktoren die Lösung. Eine bahnbrechende Jülicher Entwicklung in den 70-er/80-er Jahren läuft in China kommerziell und wird ignoriert, zugunsten von ruinösen sogenannten Erneuerbaren. Was in China läuft und funktioniert, bald auch in USA und Südafrika, sollte auch bei uns möglich sein, zumal die sichere, emissionsfreie und bezahlbare Energie (Strom) aus der neuen Hochtemperatur-Reaktoren die jetzt in China läuft, in Deutschland entwickelt wurde. Unsere Jugend sollte hier lernen, nicht nur, wie man abwackt, sondern wie man Neues schafft.

²⁵ Das HTGR Research and Development Center JAEA zur HTGR-Reaktoren:

<https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/en/faq/>

²⁶ <https://www.gaufrei.de/category/aushaengebrett/>