

**Kernenergie. Kein vernünftiger Weg in die Zukunft.**

**Fakten, Erfahrungen und Schlussfolgerungen**

Emil Brütsch, Dipl.-Ing. Maschinenbau

---

Die Ausarbeitung darf gerne unentgeltlich,  
in vollständiger, unveränderter Form weitergegeben werden.

<b>Inhalt:</b>	.....	Seite
<a href="#"><u>Einführung zur Person</u></a>	.....	4
<a href="#"><u>Vorwort</u></a>	.....	4
<b>1 <a href="#"><u>Vorräte an Rohstoffen für Kernkraftwerke</u></a></b>	.....	5
<b>1.1 <a href="#"><u>Für Kernspaltung</u></a></b>	.....	5
1.1.1 <a href="#"><u>Uran, Plutonium</u></a>	.....	5
1.1.2 <a href="#"><u>Thorium</u></a>	.....	5
1.1.3 <a href="#"><u>Lithium</u></a>	.....	5
<b>1.2 <a href="#"><u>Für Kernfusion</u></a></b>	.....	6
1.2.1 <a href="#"><u>Wasserstoff, Deuterium, Tritium</u></a>	.....	6
1.2.2 <a href="#"><u>Tritium aus Lithium</u></a>	.....	6
<b>2 <a href="#"><u>Energie aus Kernspaltung</u></a></b>	.....	6
<b>2.1 <a href="#"><u>Bisherige Reaktortypen und Anlagen</u></a></b>	.....	7
2.1.1 <a href="#"><u>Druckwasser-Reaktoren</u></a>	.....	7
2.1.2 <a href="#"><u>Siedewasser-Reaktoren</u></a>	.....	8
2.1.3 <a href="#"><u>Brutreaktoren</u></a>	.....	9
2.1.4 <a href="#"><u>Thorium-Reaktoren</u></a>	.....	10
<b>2.2 <a href="#"><u>Kernenergie der Zukunft</u></a></b>	.....	10
2.2.1 <a href="#"><u>Flüssigsalzreaktor</u></a>	.....	10
2.2.2 <a href="#"><u>Dual-Fluid-Reaktor (DFR)</u></a>	.....	11
<b>3 <a href="#"><u>Energie aus Kernfusion</u></a></b>	.....	18
<b>3.1 <a href="#"><u>Magnetfusion</u></a></b>	.....	18
<b>3.2 <a href="#"><u>Laserfusion</u></a></b>	.....	19
<b>4 <a href="#"><u>Erfahrungen mit bisheriger nuklearer Energieerzeugung</u></a></b>	.....	19
<b>4.1 <a href="#"><u>Uranerz-Abbau</u></a></b>	.....	19
<b>4.2 <a href="#"><u>Rückbau von Atomkraftanlagen</u></a></b>	.....	21
<b>4.3 <a href="#"><u>Entsorgen für radioaktive Abfälle</u></a></b>	.....	21
4.3.1 <a href="#"><u>Endlager, Zwischenlager</u></a>	.....	21
4.3.1.1 <a href="#"><u>Verdrängtes Problem</u></a>	.....	21
4.3.1.2 <a href="#"><u>Deutschlands lange angedachte Lager</u></a>	.....	22
4.3.1.3 <a href="#"><u>Deutschlands Zeitkorridore</u></a>	.....	23
4.3.1.4 <a href="#"><u>Organisation, Personal und Transparenz</u></a>	.....	23
4.3.1.5 <a href="#"><u>Weltweit wenig Lösungen</u></a>	.....	24
4.3.2 <a href="#"><u>Uranmunition</u></a>	.....	25
<b>4.4 <a href="#"><u>Reaktorunfälle</u></a></b>	.....	26
4.4.1 <a href="#"><u>Tschernobyl</u></a>	.....	26
4.4.2 <a href="#"><u>Fukushima</u></a>	.....	28
4.4.3 <a href="#"><u>Ausblick</u></a>	.....	29
<b>4.5 <a href="#"><u>Gesundheitsprobleme</u></a></b>	.....	29
4.5.1 <a href="#"><u>Strahlenrisiken nicht abschließend geklärt</u></a>	.....	29

4.5.2	<a href="#">Folgen radioaktiver Strahlung</a>	.....	29
4.5.3	<a href="#">Maßeinheiten radioaktiver Strahlung</a>	.....	30
4.6	<a href="#">Für das Stromnetz relevante Aspekte</a>	.....	30
5	<a href="#">Gesamtsichten</a>	.....	30
5.1	<a href="#">Empirisch fundierte Sichten zu Kosten und Risiken</a>	.....	30
5.2	<a href="#">Sicht zu Atomwaffen</a>	.....	31
5.3	<a href="#">Meine persönliche Sicht</a>	.....	31
5.4	<a href="#">Offene Fragen</a>	.....	33
6	<a href="#">Quellen</a>	.....	33-40

Die Links zu den Quelltexten sind entsprechend den in der Ausarbeitung zugeordneten Nummern (z.B. [138]) in [Kap. 6/Quellen](#) aufgelistet. Wer diese Ausarbeitung als PDF-Datei haben möchte, wende sich bitte an: [emil.bruetsch.eb@online.de](mailto:emil.bruetsch.eb@online.de). Rückmeldungen zu Fehlern oder nicht mehr funktionierenden Links bitte ebenfalls an diese Adresse.

## Einführung zur Person des Autors

Manche Mitglieder und Gruppen unserer Gesellschaft sehen in der Kernenergie den besten Weg, aus der Problematik der Energieversorgung herauszukommen, nachdem die billige Gasversorgung aus Russland gekappt und die fossilen Energieträger insgesamt in Verruf gebracht wurden. Ist diese Sicht haltbar? Dazu möchte ich im Folgenden meine Gedanken, Erfahrungen und mir bekanntes und durch Quellen belegtes Wissen einbringen.

Überlegungen, wie die Kernenergie sei der beste Weg, gab es auch während meiner Studienzeit in den 1970er Jahren, was mich dazu bewog, als angehender Maschinenbau-Ingenieur, die vertiefende Richtung der Kernenergie zu wählen. Nach erfolgreichem Studienabschluss, habe ich im Kernenergiebereich des "Schnellen Brüters" gearbeitet. Dabei war ich über Jahre insbesondere bei der Entwicklung von Techniken des sogenannten Brennelement-Schadensnachweises tätig ([Fuel element failure detection experiments ... \[1\]](#)). Meine Entwicklungsarbeit erfolgte sowohl am Schreibtisch als auch in der Entwicklung und praktischen Erprobung im Labor, in Versuchsanlagen und in Kernkraftanlagen.

Als dann das Projekt "Schneller Brüter" eingestellt wurde, habe ich mich zunächst bei der Versorgung und Instrumentierung von supraleitenden Magneten und zuletzt über 15 Jahre bei der Instrumentierung und Regelung von Gasturbinen engagieren dürfen.

[▶ Inhalte](#)

## Vorwort

Die Nutzung der Energiefreisetzung bei der Umwandlung von Atomkernen kann auf verschiedene Weise erfolgen. Grundsätzlich lässt sich die Energiegewinnung aus der Spaltung von Atomkernen und der Fusion von Atomkernen technisch umsetzen. Dabei werden Atomkerne von spezifisch ausgesuchten Isotopen von bestimmten chemischen Elementen in den Kraftwerken unterschiedlicher Bauart eingesetzt.

Bei der Nutzung der Kernspaltung werden seit den 1950er Jahren nahezu ausschließlich sogenannte Kernbrennstoffe aus Uran (Isotop U-235) und Plutonium (Pu-239) eingesetzt (eine grundsätzliche Beschreibung dazu ist zu finden bei [Wikipedia \[2\]](#) oder unter eher physikalischen Aspekten in "[Basiswissen Kernenergie](#)" [\[3\]](#)). Dabei ist zu beachten, dass Pu-239 vor allem durch Neutroneneinfang aus U-238 (dem Hauptbestandteil natürlichen Urans) entsteht (d.h. "erbrütet" wird). Sehr selten werden Reaktoren betrieben, die das aus dem Thorium-Isotop Th-232 erbrütete U-233 nutzen.

Bisher keine Rolle spielt die Nutzung des Energiegewinns, der bei der Spaltung des Lithium-Isotops Li-6 entsteht; siehe [DE-Patent 2401488 \[4\]](#) bzw. das zugehörige [Plädoyer von H. W. Gabriel](#) (Literaturangabe dort auf Seite 12 [\[5\]](#)). Dagegen spielt Lithium bei den derzeit propagierten Flüssigsalz-Reaktoren, aber vor allem bei der Kernfusion eine wesentliche Rolle, wo es genutzt wird, um das Wasserstoff-Isotop Tritium zu erzeugen.

Die Kernfusion trägt bis heute noch nicht zur Energieerzeugung bei. Die Kernspaltung wird in verschiedenen Konzepten und Bauarten zur Erzeugung von Grundlaststrom genutzt. Ihre Stärken, Schwächen und Gefahren zeigten sich im Laufe der Jahrzehnte ihres Einsatzes und bei den Reaktorunfällen. Ein fast weltweit ungelöstes Problem bleibt die Endlagerung von den bei der Realisierung und beim Betrieb der Kernkraftwerke entstehenden radioaktiven Substanzen.

Als das meines Erachtens größte Problem bei der Beherrschung von Kernenergie stellt der menschliche Umgang mit den Herausforderungen und Gefahren der dazu erforderlichen Technologien, mit den dabei passierenden Unfällen sowie mit den langlebigen radioaktiven und giftigen und daher für Gesundheit und Umwelt gefährlichen Abfällen dar.

# 1. Vorräte an Rohstoffen für Kernkraftwerke

[► Inhalte](#)

## 1.1 Für Kernspaltung

### 1.1.1 Uran, Plutonium

In den 1970er Jahren ging man davon aus, dass das bekannte Spaltmaterial Uran (U-235) für einen Zeitraum von ca. 40 Jahre ausreichen wird und daher der nicht spaltbare Anteil von Uran (U-238) in speziellen Kraftwerken in spaltbares Plutonium umgewandelt ("erbrühten" von Pu-239) werden müsste, um die Nutzungsdauer der nuklearen Energievorräte auf ca. 100 Jahre ausdehnen zu können. 2006 stellte der Wissenschaftliche Dienst des Bundestages fest (Info-Brief [WF VIII G – 069/06](#), [6]), dass die Reichweite der weltweiten Uranvorräte je nach gewählten statischen Voraussetzungen zwischen 25 und 166 Jahren liegt. 2009 gingen Forscher von Uranvorkommen von 6,3 Mio. Tonnen aus, wovon bei Nutzung der damals bekannten Kraftwerkstechnik [bis 2035 \(also nach 25 Jahren\) knapp die Hälfte verbraucht](#) [7] sein würde. Eine Schweizer Studie von 2013 behauptete, dass [schon 2015 mit einem Rückgang der weltweiten Uranproduktion zu rechnen](#) sei [9]. Das bewertete das Öko-Institut 2017 anders: "Für einen Uranverbrauch auf dem heutigen Niveau von ca. 56'000 Tonnen gehen IAEA (Internationale Atomenergie-Organisation, Wien) und NEA (Nuclear Energy Agency, Paris) anno 2016 davon aus, dass die bekannten und vermuteten Vorräte von 5,7 Mio. Tonnen [Uran noch für über 100 Jahre](#) ([10], Seite 29) den weltweiten Bedarf decken werden [...]." 2020 sah Michael Schauer (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR) bei dynamischer Betrachtung verfügbare [Uran-Reserven für bis zu 200 Jahren](#) [8]. Aus all diesen unterschiedlichen Einschätzungen kann m.E. nur eine recht begrenzte zeitliche Reichweite abgeleitet werden.

Die Uranförderung erfolgte 2006 zu 28,5% in Kanada, zu 23,1% in Australien und zu 8,1% in Niger ([WF VIII G – 069/06](#), [6]). 2021 sieht die [BGR \[11\]](#) folgende Abbaureserven bei Uran: Kasachstan ca. 27% (344'000 Tonnen), Kanada 20,8%, Südafrika 13,4%, Brasilien 12,5%, insgesamt ca. 1'275'000 Tonnen. Davon sind 0,7% durch thermische Neutronen direkt spaltbar und 99,3% teilweise für die Umwandlung in Plutonium nutzbar. Laut [Wikipedia \[11a\]](#) förderten 2016 allein die Unternehmen Kazatomprom (Kasachstan) 12'986 Tonnen Uran (21% der Weltförderung), Cameca (Kanada) 10'438 Tonnen (17%), Orano (Frankreich) 8'176 Tonnen (13%) und ARMZ (Russland) 7'913 Tonnen (13%).

### 1.1.2 Thorium

[► Inhalte](#)

Verbindungen von Thorium finden sich häufig in sogenannten Monazitsanden, in dem mit Zirkon isomorphen (gleichstrukturierten) Mineral Thorianit sowie in Thorit. Auch Titanit und Zirkon enthalten geringe Mengen Thorium. In der Erdkruste kommt Thorium in Mengen von 7 bis 13 mg pro kg vor; damit ist es [etwa doppelt bis dreimal so häufig wie Uran](#) [12]. Generell ist das Element aufgrund seines lithophilen (Silikat-liebenden) Charakters in geringen Mengen in fast allen silikatischen Gesteinen vertreten. Das radioaktive Metall (Halbwertszeit 14 Mrd. Jahre) wird in Australien, Norwegen, Sri Lanka, Kanada, USA, Indien, Lappland und Brasilien abgebaut. Stille Vorkommen von ca. 800'000 Tonnen liegen in der Türkei. Die weltweiten Reserven an förderwürdigem Thoriumdioxid werden auf 1 Mio. Tonnen geschätzt.

[Wo sogenannte Seltene Erden abgebaut werden, fällt Thorium oft als Nebenprodukt an](#) [13]. Größere Abbauländer wie China, Indien, die USA und Großbritannien forschen an einer zivilen Nutzung von Thorium als Kernbrennstoff.

### 1.1.3 Lithium

[► Inhalte](#)

Die weltweiten [Lithium-Reserven betragen nach aktuellem Stand \(Anfang 2023\) rund 26 Mio. Tonnen](#) [14]. Weltweit wurden 2021 rund 100'000 Tonnen produziert, 2020 waren es 82'500 Tonnen. 74% werden für Batterien genutzt. Die größten Reserven (37%) liegen in

Chile nahe der Grenze zu Bolivien. Dort wird Lithium von US-amerikanischen Firmen produziert. Australien war 2022 der größte Lithium-Produzent (3,8 Mio. Tonnen); produziert wird es auch von chinesischen Firmen. Die drittgrößten Lithium-Reserven hat Argentinien, wo bisher nur 6'200 Tonnen pro Jahr gefördert werden. China hat 2 Mio. Tonnen Reserven und produzierte 2022 ca. 19'000 Tonnen an Lithium. Es folgen die USA mit 1 Mio., Kanada mit 0,93 Mio. Tonnen Lithium-Reserven.

Lithium wird in den vorgenannten Ländern unter großem Aufwand und unter gravierenden Umwelt- und Gesundheitsrisiken abgebaut. Der Rohstoff hat in der Erdkruste nur einen Anteil von etwa 0,006%, in Li-reichen Solen 6%. Um an die unterirdisch gelegenen Lithium-Vorkommen zu gelangen, wird das Material meist durch Sprengung der Landschaft freigelegt. Zudem kommt es beim Abbau zur Verschmutzung der Luft und der nahegelegenen Gewässer. In Südamerika beispielsweise wird das Lithium aus unterirdischen Wasserläufen herausgelöst. Einige Millionen Kubikmeter salz- und lithiumhaltige Lösung werden dafür in riesige Becken geleitet und mit Frischwasser angereichert. Danach lässt man das Wasser verdunsten; übrig bleibt eine Mischung aus Magnesium und 5% Lithium. Das bisherige Verfahren des Abbaus verschlingt gigantische Wassermengen und [zerstört die Lebensgrundlage der Menschen der betroffenen Regionen](#) [15].

## 1.2 Für Kernfusion

[► Inhalte](#)

### 1.2.1 Wasserstoff, Deuterium, Tritium

Für die [Kernfusion werden vor allem die Wasserstoff-Isotope Deuterium und Tritium](#) genutzt [16]. Aus dem Plasma, dem sehr heißen, flüssigen Kernbrennstoff, der die Reaktorwände nicht berühren darf, erfolgt die Wärmeabfuhr durch ein überschüssiges Neutron je Fusionskern. Das radioaktive Tritium kommt aufgrund seiner relativ kurzen Halbwertszeit (ca. 12 Jahre) auf der Erde sehr selten vor und muss daher aus Kernreaktionen (Ausgangsstoff Lithium) gewonnen werden (siehe [Kap. 1.2.2](#)). Deuterium (schwerer Wasserstoff) kann in ausreichender Menge und mit vertretbarem Aufwand aus Meerwasser gewonnen werden.

### 1.2.2 Tritium aus Lithium

[► Inhalte](#)

Der gesamte weltweite Tritium-Vorrat umfasst weniger als 20 Kilogramm. Die Kernfusionsversuchsanlage ITER soll zwar immer nur wenige Gramm Tritium pro Plasma benötigen und wird davon einen Teil wiedergewinnen. In den 15 Jahren seiner geplanten Betriebsdauer wird ITER etwa 20 Kilogramm und damit das Äquivalent des gesamten Weltvorrats an Tritium benötigen. Um das so gegebene Problem zu umgehen, [müssen die bei der Kernfusion freigesetzten energiereichen Neutronen auf das Lithium-Isotop Li-6 treffen](#) [17], wobei dies durch diesen Beschuss in Helium und Tritium gespalten wird. Nach Angaben des ITER-Konsortiums benötigt man 140 Kilogramm Lithium-6, um die 70 Kilogramm Tritium zu produzieren, die ein kommerzieller Fusionsreaktor für ein Gigawatt Wärmeleistung im Jahr brauchen würde. Für diesen Beschuss muss das Lithium in die von den Neutronen getroffenen Wände eingebaut werden. Das Problem der Tritium-Erzeugung ist noch nicht gelöst. Das Lithium, das aus ca. 7% Li-6 besteht, wiederum wird weltweit vor allem für Batterien gebraucht, wodurch eine Verknappung droht.

## 2. Energie aus Kernspaltung

[► Inhalte](#)

Insgesamt waren [im Mai 2020 laut Nucleopedia weltweit 413 Kernkraftwerke](#) [18] formal in Betrieb. Dabei handelt es sich meist um leichtwassergekühlte und -moderierte Druckwasserreaktoren, deutlich weniger leichtwassergekühlte und -moderierte Siedewasserreaktoren, noch weniger schwerwassergekühlte und -moderierte Druckwasser-

reaktoren sowie noch weniger leichtwassergekühlte, graphitmoderierte Reaktoren und gasgekühlte, graphitmoderierte Reaktoren sowie keine Hand voll schnelle Brutreaktoren.

Aber fast alle Typen von Leistungsreaktoren basieren auf den Atomkernen, die ursprünglich für Atombomben genutzt wurden (Uran, Plutonium). Auch in Thorium-Reaktoren wird Uran gespalten.

Im Folgenden werden die seit den 1950er Jahren genutzten Reaktortypen sowie deren in den letzten Jahren aufgekommenen anlagenspezifischen Probleme dargestellt.

## 2.1 Bisherige Reaktortypen und Anlagen

[► Inhalte](#)

Eine weltweite [Übersicht über alle Kernkraftwerke](#) von nucleopedia.org [18] ist nach Erdteilen und dann nach Ländern gegliedert. Die GRS (Gesellschaft für Reaktor-Sicherheit) gibt in ihrem Dossier von 2022 einen weltweiten Überblick über die [Kernenergie, die demnach ca. 10-11% der weltweiten Stromproduktion liefert](#) [19]. Während in Asien (4% atomare Stromproduktion) die meisten neuen Blöcke gebaut werden, sind die meisten im Rückbau befindlichen Reaktoren in Westeuropa (23%) und Nordamerika (USA 20%, Kanada 15%) zu finden.

Weltweit [überwiegen die Leichtwasserreaktoren](#) [20]. Aber es gibt auch Reaktortypen, die nicht Leichtwasser, sondern Schwerwasser (z.B. die CANDU-Reaktoren in Rumänien) als Moderator (Bremsmedium) für die bei der Spaltung entstehenden schnellen Neutronen nutzen. Das Abbremsen der Neutronen ist erforderlich, um die Uranspaltung als Kernreaktion in Gang zu halten. Als Moderator kann auch Grafit eingesetzt werden, wie z.B. bei den sowjetischen Druckröhren- bzw. RBMK-Reaktoren im ukrainischen Tschernobyl. Letztere werden von der EU als nicht sicher eingestuft, da mit steigender Kühlmitteltemperatur (z.B. bei Kühlmittelverlust) die Moderation und damit die Reaktionsrate steigt.

Bzgl. der in kerntechnischen Anlagen aufgetretenen Unfälle wird auf [Kap.4.3](#) verwiesen.

### 2.1.1 Druckwasser-Reaktoren

[► Inhalte](#)

Beim Druckwasserreaktor dient das Wasser als Moderator und Kühlmittel. Der Betriebsdruck des Wassers wird anders als beim Siedewasserreaktor so hoch gewählt, dass das Wasser bei der vorgesehenen Betriebstemperatur nicht siedet. Die Brennstäbe sind daher gleichmäßig benetzt, die Wärmeverteilung an ihrer Oberfläche ist ausgeglichen, und die Dampfphase mit ihrer besonderen Korrosionswirkung entfällt. [Die gleichmäßige Verteilung der Wärme bewirkt ein ruhiges Regelverhalten](#) [21] bei guter Ausnutzung der im Reaktorkern freiwerdenden Energie. Das im Reaktorkern erhitzte Wasser (Primärkreislauf) gibt seine Wärme in einem Dampferzeuger an einen getrennten Wasser-Dampf-Kreislauf, den Sekundärkreislauf, ab. Ein gegen den Primärkreislauf abgedichteter Sekundärkreislauf ist frei von radioaktiven Stoffen aus Abrieb und Korrosionsprodukten, was z. B. die Wartung der Dampfturbine wesentlich erleichtert.

### Bekannte Probleme

Die GRS macht auf [sicherheitsrelevante Rissbefunde an Schweißnähten im Notkühl-system](#) in zahlreichen französischen Reaktorblöcken aufmerksam [22]. Das Notkühlssystem soll die Kühlung des Reaktorkerns bei Kühlmittelverlust sicherstellen, um Schäden am Reaktorkern bis hin zur Kernschmelze zu verhindern. Aufgrund der festgestellten Risse könnten die betroffenen Leitungen auch bei einem schweren Erdbeben brechen. Die Ursache für diese Risse war zumindest bis Mai 2022 noch nicht bekannt. Wegen dieser Schäden sind die vier Blöcke des Typs N4 von Chooz vom Netz genommen worden. Bei dem Nachfolgetyp P4, dem AKW Penly-1, seien die Schäden nicht so gravierend. Da auch die Anlage Chinon-3 von solchen Schäden betroffen ist, seien potentiell alle drei Reaktorbaulinien in Frankreich betroffen, aber am stärksten Typ N4. Die Arbeiten zur Behebung der Probleme

sollten an allen betroffenen Anlagen bis Ende 2023 abgeschlossen sein. Die GRS unterstellt, dass eine eventuelle Übertragbarkeit auf deutsche Kernkraftwerke ausgeschlossen werden könne, obwohl laut Handelsblatt auch [bei den Atomkraftwerken Isar 2 und Neckarwestheim 2 Risse an Röhren festgestellt](#) wurden [22a]. Die GRS scheint das [Narrativ, Deutschland habe die "sichersten Atomkraftwerke der Welt", aufrechterhalten](#) zu wollen [22b].

Im Atomkraftwerk **Isar 2** gab es, wie am 20.09.2022 bekannt wurde, einen erneuten [Reparaturbedarf an einem verschlissenen Ventil am Reaktordruckbehälter](#) [23]. Dazu hätte der Reaktor im Oktober vollständig heruntergefahren werden müssen, bevor die Anlage wie geplant 2023 in einen Reservebetrieb in Form eines sogenannten (zeitlichen) Streckbetriebs mit abgesenkter Leistung und abgesenkter Temperatur versetzt wurde. Bei Fortsetzung des Betriebs mit abgesenkter Leistung bis zu einer Reparatur im Dezember bestand jedoch die Gefahr, dass der Reaktor nicht mehr hochgefahren werden kann, da das Leistungsvermögen der Brennstäbe dafür nicht mehr ausreichen könnte. Die RSK (Reaktor-Sicherheitskommission) sah trotzdem in ihrer Stellungnahme "[keinen Handlungsbedarf für den geplanten Weiterbetrieb](#)" von Isar 2 ([24], Seite 14).

In den Reaktordruckbehältern der beiden belgischen Atomkraftblöcke **Doel 3 und Tihange 2** gab es Anfang 2015 [deutlich mehr Risse, als bis dahin bekannt war](#) [25]. Eine neue Analyse hatte ergeben, dass sich in den stählernen Behältern nicht 10'000, sondern mehr als 16'000 feine Risse befanden; das gab die staatliche Atomaufsicht FANC am 13.02.2015 bekannt. FANC hat auch die Aufsichtsbehörden anderer Länder gewarnt, da solche Risse möglicherweise ein weltweites Problem für den ganzen Nuklearsektor darstellen. Die Korrosionsaspekte (Korrosion, Versprödung, Ermüdung?) seien unterschätzt worden.

Schon 2010 hatte der österreichische Werkstoffphysiker Prof. Wolfgang Kropf vor der unterschätzten, durch Neutronenbeschuss bedingten **Versprödung** des Stahls von Reaktordruckbehältern gewarnt. Diese Behälter, in denen sich die Brennstäbe mit Uran befinden, müssen hohen Drücken und Temperaturen und – im Falle der Schnellabschaltung – Temperaturschocks standhalten können. [Besonders kritisch sei eine Schweißnaht, die rund um den Druckbehälter verläuft](#) [26] und bei hohem Druck einer hohen Materialspannung ausgesetzt ist. Kropf vergleicht die Wirkung einer solchen wiederholten Belastung mit dem Biegen eines Drahtes, der nach einer gewissen Zahl von Wiederholungen bricht. Vor dem Bruch einer solchen Schweißnaht entstehen kleinste Risse an besonders beanspruchten Stellen. Diese Risse können sich innerhalb kurzer Zeit gefährlich ausweiten. Die zur Begutachtung in den Reaktor eingehängten Materialproben seien nicht aussagekräftig, da sie keinen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. – Die Einschätzung von Kropf wird durch den [Korrosionsexperten Prof. Digby D. MacDonald](#) bestätigt [27].

Der Reaktor **Tihange 2** ist am 31.02.2023 aufgrund der vielen haarfeinen Risse im Reaktordruckbehälter [nach 40 Jahren Laufzeit abgeschaltet](#) worden [28]. Deutsche Politiker und Atomkraftgegner begrüßten die Abschaltung.

### 2.1.2 Siedewasser-Reaktoren

[► Inhalte](#)

Wie beim Druckwasserreaktor dient das Kühlwasser im Reaktorkern auch als Moderator der aus der Spaltung kommenden Neutronen und damit der Erhaltung der Kernreaktionen.

Siedewasser-Reaktoren sind eine Variante eines Leichtwasserreaktors, bei der das Wärmeaustauschmedium Wasser direkt zur [Dampferzeugung ohne die Zwischenschaltung von Wärmetauscher und Sekundärkreislauf](#) (im Unterschied zum Druckwasserreaktor) verwendet wird [29]. Das Kühlmittel strömt von unten nach oben zwischen den Brennstäben hindurch, wobei es sich bis zum Sieden erhitzt. Aus dem Reaktorkern tritt somit ein Wasser-Dampf-Gemisch aus. Oberhalb des Reaktorkerns wird das Wasser vom Satttdampf abgeschieden. Der Satttdampf wird direkt der Turbine zugeführt, die einen Generator antreibt. Der aus der Turbine austretende Dampf kondensiert im Kondensator; das Kondensat wird vorgewärmt und mittels einer Speisewasserpumpe dem Reaktor wieder zugeführt.

Wegen des Fehlens eines Wärmetauschers wird die Dampfturbine kontaminiert und befindet sich daher in einer kontrollierten Zone.

Siedewasserreaktoren haben gegenüber den moderneren Druckwasserreaktoren den Nachteil, dass ihr Kühlwassersystem nicht auf den radioaktiven Kreislauf im Sicherheitsbehälter beschränkt ist. Im Falle eines Störfalls im Reaktorkern ist der [Austritt von Radioaktivität wahrscheinlicher als in einem Druckwasserreaktor](#) [31]. Auch kann ein Defekt am Rohrleitungssystem im Turbinenhaus zu einem unzureichend gekühlten Reaktorkern führen. Wegen dieser Gefahr wurden in Deutschland die Anlagen Lingen, Würgassen und Kahl vorzeitig vom Netz genommen. – Im Hinblick auf den ursprünglich geplanten Bau des Siedewasserreaktors Zwentendorf (Österreich) wurde bzgl. der deutschen Baulinie 69 dieses Reaktortyps ein [Schwachstellenbericht](#) erstellt [32].

Alle sechs Reaktoren des Atomkraftwerks [Fukushima sind Siedewasserreaktoren](#) [33]. Die japanische Kernkraftanlage wurde in den 60er Jahren erbaut. (Siehe hierzu [Kap.4.3.2](#))

Auch die [RBMK-Reaktoren sowjetischer Bauart](#) sind Siedewasserreaktoren [34]. Der Kern des Reaktors besteht aus einem Graphitblock mit Bohrungen für die Druckröhren. In ihnen ist auch der Brennstoff angeordnet. Das Kühlwasser fließt durch diese Druckröhren von unten nach oben durch den Kern. Das Wasser-Dampfgemisch wird in zwei Schleifen über Dampfabscheider geleitet. Von ihnen wird der Dampf zu den Turbinen geführt. Ein besonderes Problem stellen Druckröhrenlecks dar. Trotz ausbleibender Kühlung geht dabei die Kettenreaktion unvermindert weiter, da der Graphitmoderator noch vorhanden ist. Spätestens seit der Katastrophe von Tschernobyl ([Kap.4.3.1](#)) ist bekannt, dass der RBMK einige grobe Konstruktionsfehler aufweist. Diese sind mit einer Nachrüstung zum Teil nur schwierig zu kompensieren.

[In Deutschland gab es die Siedewasserreaktoren](#) [30] Krümmel (Bruttoleistung 1'402 MW), Gundremmingen A (250MW), B und C (1'344MW), Philippsburg 1 (926MW), Isar 1 (912MW), Brunsbüttel (806MW), Würgassen (670MW), Lingen (268MW) und Kahl (16MW). Die Laufzeit dieser Kraftwerke endete spätestens am 15.04.2023.

### 2.1.3 Brutreaktoren

[► Inhalte](#)

Die Entwicklung von Brutreaktoren begann in den USA bereits in 1940er Jahren, nicht ohne militärische Motivation. Später nahmen auch diverse andere Länder diese Entwicklung auf: Frankreich, Großbritannien, Deutschland, Japan, Russland, Indien und China. Die bisherigen praktischen [Erfahrungen sind aber trotz der langen Zeit weitgehend sehr negativ](#) [35]. Etliche Anlagen mussten nach schweren Störfällen bis hin zur Kernschmelze außer Betrieb genommen werden. Andere (etwa der französische Superphénix) arbeiteten derart unzuverlässig, dass der Betrieb vollkommen unwirtschaftlich war. Bisher wurde noch in keinem Land ein Brutreaktor entwickelt, der hinsichtlich Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit annähernd mit den konventionellen Leichtwasserreaktoren vergleichbar wäre. Hinzu kommen Bedenken wegen der möglichen Proliferation waffenfähigen Materials. Die Entwicklung von Brutreaktoren wird weltweit kaum noch verfolgt.

Das deutsche Projekt "Schneller Brüter" wurde 1960 in Karlsruhe gegründet. Nach anfänglichen Grundlagenforschungen übernahm die Industrie die Auslegung des SNR300. Der Bau dieses Kernkraftwerks in Kalkar wurde durch vielfältige politische Einflussnahmen gestört, 1985 aber letztlich doch fertiggestellt. Wegen des Kernenergieausstiegs der damals regierenden Landespartei in Nordrhein-Westfalen (NRW) konnte die endgültige Genehmigung für die Inbetriebnahme des SNR300 nicht erlangt werden. Im März 1991 wurde deshalb das Projekt Kernkraftwerk Kalkar [aus politischen Gründen beendet](#) [36, Seite 113], nachdem "wegen der Haltung des Landes NRW der erfolgreiche Abschluss des Genehmigungsverfahrens für das Kernkraftwerk Kalkar nicht mehr zu erwarten war".

#### 2.1.4 Thorium-Reaktoren

[► Inhalte](#)

Das THTR-Reaktorkonzept gestattet die teilweise Ausnutzung des auf der Erde im Vergleich zu Uran wesentlich reichlicheren Thorium-Vorkommen zur Energiegewinnung. Thorium-haltige Brennstoffe können jedoch auch in allen anderen Reaktortypen eingesetzt werden. Bei Verwendung von Thorium müssen die frischen Brennelemente aus reaktorphysikalischen Gründen zusätzlich Material enthalten, das waffenfähig und leicht abtrennbar ist. Wegen der Gefahr der Waffenverbreitung (Proliferationsgefahr) beendete US-Präsident Jimmy Carter bereits 1977 die Lieferungen von hochangereichertem Uran für Hochtemperaturreaktoren.

Nachdem man in Deutschland am Versuchsreaktor AVR in Jülich das Funktionsprinzip des Hochtemperaturreaktors in Kugelhaufen-Bauweise erprobt hatte, wurde in Hamm-Uentrop der THTR-300 als Prototyp für die kommerzielle Nutzung von Hochtemperaturreaktoren gebaut. Der Helium-gekühlte Reaktor wurde 1983 testweise in Betrieb genommen, 1987 an den Betreiber übergeben und im September 1989 aus technischen, sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Überlegungen [nach nur 423 Tagen Volllastbetrieb endgültig stillgelegt](#) [37]. Die Anlagenbauteile strahlen seither vor sich hin. Inzwischen sind dreistellige Millionensummen für den sicheren Einschluss angefallen. Die Betreiber-Gesellschaft wäre längst pleite, wenn nicht die öffentliche Hand den Löwenanteil der Kosten übernommen hätte und weiter übernimmt. Der Entwurf der dritten Endlagervorausleistungen bis 2022 sieht vor, dass die Kosten jeweils zu einem Drittel von Bund, vom Land NRW und den Gesellschaftern, also zu Zweidrittel direkt vom Steuerzahler getragen werden.

Nicht mehr im Betrieb sind u.a. auch der US-amerikanische Elk-River-Reaktor, der britische Versuchsreaktor Dragon und der deutsche [Versuchsreaktor AVR](#) [38].

## 2.2 Kernenergie der Zukunft

[► Inhalte](#)

### 2.2.1 Flüssigsalzreaktor

China, das nach eigenen Angaben 2060 "klimaneutral" werden will, berichtet im Juni 2023, dass der in der Wüste Gobi errichtete Thorium-Reaktor TMSR-LF1 für 10 Jahre in Betrieb gehen soll. Dieser Reaktor mit 2 Megawatt Leistung dient Forschungszwecken in der Entwicklung von leistungsstärkeren Flüssigsalzreaktoren.

[Flüssigsalzreaktoren benötigen eine geringe Menge spaltbaren Materials](#) (U-233), um mit der Kettenreaktion zu beginnen [39]. Der übrige Brennstoff besteht aus nicht-spaltbarem Material, wie Thorium, vermischt mit Lithiumfluorid und Berylliumfluorid, und erreicht ab ca. 450°C seinen flüssigen Zustand. [Das in der Natur vorkommende Isotop Thorium-232 kann nicht gespalten werden](#), aber wenn es in einem Reaktor bestrahlt wird, absorbiert es Neutronen und bildet das spaltbare Uran-233 [40]. Es wird dabei wenig Plutonium erzeugt, wodurch die überwiegende Halbwertszeit der radioaktiven Abfälle von 100'000 auf 300 bis 500 Jahre zurückgeht, aber die langen Halbwertszeiten nicht vollständig verschwinden. Thorium-Reaktoren haben den [Nachteil, Tritium zu produzieren](#), das auch metallische Wände durchdringen kann [41].

SINAP (Shanghai Institute of Applied Physics) entwickelt auf demselben Gelände, wo der TMSR-LF1 steht, einen kompakten, modularen Thorium-Reaktor. Die betriebsfertigen Module solcher Reaktoren sollen in Massenproduktion in einer Fabrik hergestellt, zum Einsatzort transportiert und dort zusammengebaut werden können.

TMSR-LF1 ist der erste in Betrieb gehende Flüssigsalzreaktor seit 1969, als die USA ihren Reaktor in Tennessee abgeschaltet haben. Und er ist der erste chinesische Reaktor, der mit Thorium betrieben wird. Es gibt Stimmen, die behaupten, die Chinesen hätten die Technologie der US-Forscher kopiert. Das Öko-Institut schätzte 2017, dass [noch 10 bis 15 Jahre intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich](#) seien, um die kommerzielle Einsatzmöglichkeit zu erbringen [42].

In seiner Dokumentation [WD 8-3000-049/20](#) hat auch der Wissenschaftliche Dienst des Bundestages 2020 zu den Sicherheitsaspekten von Thorium-Flüssigsalzreaktoren Stellung genommen [46]. Demnach sind mangels eines bisherigen Demonstrationsreaktors Aspekte der Korrosionsbeständigkeit oder der Nachzerfallswärme durch starke Gammastrahler wie U-232 ungeklärt. Es wird darauf hingewiesen, dass Norwegen die Entwicklung eines Prototyps aus sicherheitsbedenken der norwegischen Strahlenschutzbehörde aufgegeben hat. Es wird auch darauf hingewiesen, dass die zeitlichen Entwicklungshorizonte für Thorium-Flüssigsalzreaktoren nicht ausreichen, "um im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Einsparung eine Alternative für die sichere Bereitstellung von Energie in Frage zu kommen". Da wie bei bisherigen Reaktortypen waffenfähiger nuklearer Abfall anfallt und starke Gammastrahler (U-232) entstehen, sei ein Missbrauch als Kernwaffe oder Terrorwaffe nicht ausgeschlossen.

### 2.2.2 Dual-Fluid-Reactor (DFR)

[► Inhalte](#)

Meine bewertende Stellungnahme zu diesem Kapitel erfolgt in [Kap.5](#) und ist auch zu verstehen als Anmerkung zu dem **Buch** "[Kernenergie. Der Weg in die Zukunft](#)" [43] von [Götz Ruprecht](#), [Horst-Joachim Lüdecke](#) [44]: Beide Autoren sind Mitglied von EIKE, dem 'Europäischen Institut für Klima und Energie'. Das Buch stellt laut Verlag kerntechnische Innovationen aus wirtschaftlich-technischer Sicht vor, insbesondere im Vergleich mit den Problemen der bisherigen Kerntechnik. Es wirft dabei einen Blick auf die Effizienz anderer aktueller Stromerzeugungstechniken und äußert sich auch zur Wirkung radioaktiver Strahlen auf den menschlichen Körper.

Die in dem Buch herausgestellten Innovationen werden im dortigen Kap.4.1 durch andere Autoren näher vorgestellt.

Die Auswirkung **radioaktiver Strahlung** auf die menschliche Gesundheit wird sowohl im nachstehend verlinkten Video zum DFR als auch im EIKE-Buch klein geredet.

Das [vor dem Bundestag](#) von Götz Ruprecht gezogene Fazit [45], die Kernenergie sei keine Risikotechnologie, halte ich angesichts der in [Kap.4](#) dargelegten Erfahrungen für gewagt. In seinem Fazit klingt auch an, dass es in Fukushima nur Opfer gegeben habe, die der hastigen Evakuierung geschuldet seien. So ähnlich wird auch im Buch die Auswirkung von radioaktiver Strahlung verharmlost ([45] Seite 38ff).

Insbesondere der sog. "**Dual-Fluid-Reactor**" (DFR) wird darin als **die** Zukunftsvariante ausgewiesen, aber nicht erklärt. Als dessen Erfinder werden lt. dem [Video "Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?"](#) (48m11; 2020) Armin Huke, Götz Ruprecht, Ahmed Hussein, Konrad Czerski und Stephan Gottlieb ausgewiesen [47]; diese sind [führende Köpfe der deutsch-kanadischen Firma](#) 'Dual Fluid Energy Inc.' [47a]. Für diesen Reaktortyp wird Blei als Primärkühlmittel vorgesehen. Im Unterschied zum Buch wird das Video bzgl. der Abläufe in dem auch als Prototyp noch nicht realisierten DFR konkreter und dadurch verständlicher: Angeblich sollen auch Spaltprodukte durch die bei der Kernspaltung freigesetzten, schnellen (nicht moderierten, d.h. energiereichen) Neutronen weiter gespalten und damit in der Menge reduziert werden. Durch die schnellen Neutronen werde nicht nur das Uran-Isotop U-235 als Spaltmaterial interessant, sondern das nicht spaltbare U-238 (99,3% des natürlichen Urans) wird nach Einfangen eines schnellen Neutrons zu Plutonium (Pu-239) und dann durch Spaltung in demselben Reaktor zur Energieerzeugung genutzt (im Video nicht korrekt beschrieben). Auch Thorium-232 wird durch Einfangen schneller Neutronen in spaltbares U-233 umgewandelt. Die Erfinder des DFR gehen davon aus, dass durch dieses "Brüten" spaltbaren Materials ein bei herkömmlichen Reaktortypen erforderlicher, getrennter Prozess der Uran-Anreicherung zwecks Vorbereitung des Uraneinsatzes im Reaktor nicht erforderlich ist.

Das Primärkühlmittel Blei werde nicht gespalten und nicht radioaktiv; es bremse die Neutronen kaum ab, schirme gegen radioaktive Strahlung ab und könne viel Wärme aufnehmen und abführen und soll lokale Überhitzungen auffangen können ([Abb.1](#)). Da Blei

erst bei ca. 1'700°C verdampft, könne daher ein damit gekühlter Reaktor bei den angegebenen Temperaturen bis ca. 1'000°C mit drucklosem Primärkreislauf betrieben werden. Der Bleikreislauf gebe dann die Wärme z.B. an einen Wasserkreislauf (Sekundärkühlkreislauf) für den Antrieb einer Turbine oder zur Bereitstellung von Prozess- oder auch Heizwärme ab.

Neben den Kühlkreisläufen gibt es den Kreislauf der Kernbrennstoffe als Flüssigsalze, in dem aber auch Spaltprodukte und erbrütete Stoffe durch den Reaktorkern geführt werden, d.h. der Reaktorkern ist im Unterschied zu herkömmlichen Reaktoren flüssig ([Abb.2](#)). Die mit den Prozessen im Kern entstehenden Reaktorgifte, die die Kernspaltung unerwünscht behindern, sollen aus den Flüssigsalzen herausdestilliert werden. Problematische Spaltprodukte sollen durch weiteren Beschuss mit Neutronen in harmlose Atome umgewandelt (transmutiert) werden. Es wird sogar angedacht, den Inhalt alter Brennstäbe bisheriger Reaktortypen in DFRn als Energiequelle zu nutzen.

Zur Trennung von Brennstoff und Spaltmaterialien sollen die unterschiedlichen Bestandteile außerhalb des Reaktorkerns und des Primärkühlkreislaufs zunächst durch Wärmezufuhr verdampft und dann zur Trennung durch Kondensation in einer Destillationskolonne wieder abgekühlt werden ([Abb.3](#)). Die so abgeschiedenen Spaltprodukte sollen durch ein Spaltprodukt-Processing weiterverarbeitet werden. Damit soll einerseits die durch radioaktiven Zerfall entstehende Wärme durch einen zusätzlichen Kreislauf an das Primärkühlmittel Blei abgegeben werden ([Abb.4](#)); das soll ca. 20% der Reaktorleistung ausmachen. Andererseits sollen aus diesem Kreislauf außerhalb des Reaktors nutzbare, aber auch zu entsorgende Stoffe abgeschieden werden ([Abb.5](#)).

Mit den bisherigen Reaktortypen müssen durch den Reaktorbetrieb entstehende radioaktive Materialien für ca. 300'000 Jahre sicher endgelagert werden. Das hat bis 2023 noch kein Land außer Schweden geschafft. Mit dem DFR sollen die im Reaktor bearbeiteten Spaltprodukte nur noch für 300 Jahre sicher zu lagern sein; es sollen nur 1-3 Tonnen pro Anlage und Lebenszeit der Anlage (statt [27'000 Kubikmeter](#) bei herkömmlichen Reaktoren [\[48\]](#)) anfallen ([Abb.6](#)).

Zur Sicherheit des DFR ist laut Video eine Notabschaltung über Schmelzsicherungen im Brennstoff- und auch im Spaltprodukt-Kreislauf vorgesehen ([Abb.7](#)). Dadurch sollen die Flüssigbrennstoffe und Spaltprodukte in flache Becken abgelassen werden. Die Schmelzsicherungen sollen im Regelbetrieb auf eine bestimmte Temperatur heruntergekühlt werden. Fällt die Kühlung aus oder ist sie wegen Überhitzung eines der Kreisläufe nicht hinreichend, geben die Schmelzsicherungen das Abfließen frei, was als "physikalisch und technisch inhärent sicher" bezeichnet wird ([Abb.8](#)). In dem Ablasstank muss die Füllhöhe so begrenzt bleiben, dass es dort nicht zu einer unkontrollierbaren Kettenreaktion kommen kann.

Als Schlüsselkomponenten eines DFR werden genannt: Reaktorkern (mit Brennstoff- und Spaltproduktkreislauf), Brennstoff-Processing, Wärmekreislauf (Primärkreislauf), Wärmetauscher. Im Reaktorkern erreichen die als Flüssigsalze, d.h. als aggressive Chloride genutzten Brennstoffe ca. 1'400°C, das kühlende Blei ca. 1'000°C. Die Flüssigkeiten mit diesen hohen Temperaturen müssen in hochtemperaturbeständigen Materialien wie Siliziumkarbid-Keramik geführt werden, die bis 2'500°C nutzbar sind. Im Stoff-Processing werden Temperaturen von bis 2'000°C erforderlich, um die Stoffe voneinander trennen zu können. Hier müssen auch Dämpfe beherrscht werden.

Die hohen Temperaturen im DFR sollen einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad von 55%-60% ermöglichen (*Leichtwasserreaktoren haben bezogen auf die elektrische Nutzenergie einen Wirkungsgrad unter 35%, Gaskraftwerke bis über 60%, Kohlekraftwerke bis 50%; siehe [Wikipedia \[48a\]](#), Tabelle mit Wirkungsgrad-Beispielen*).

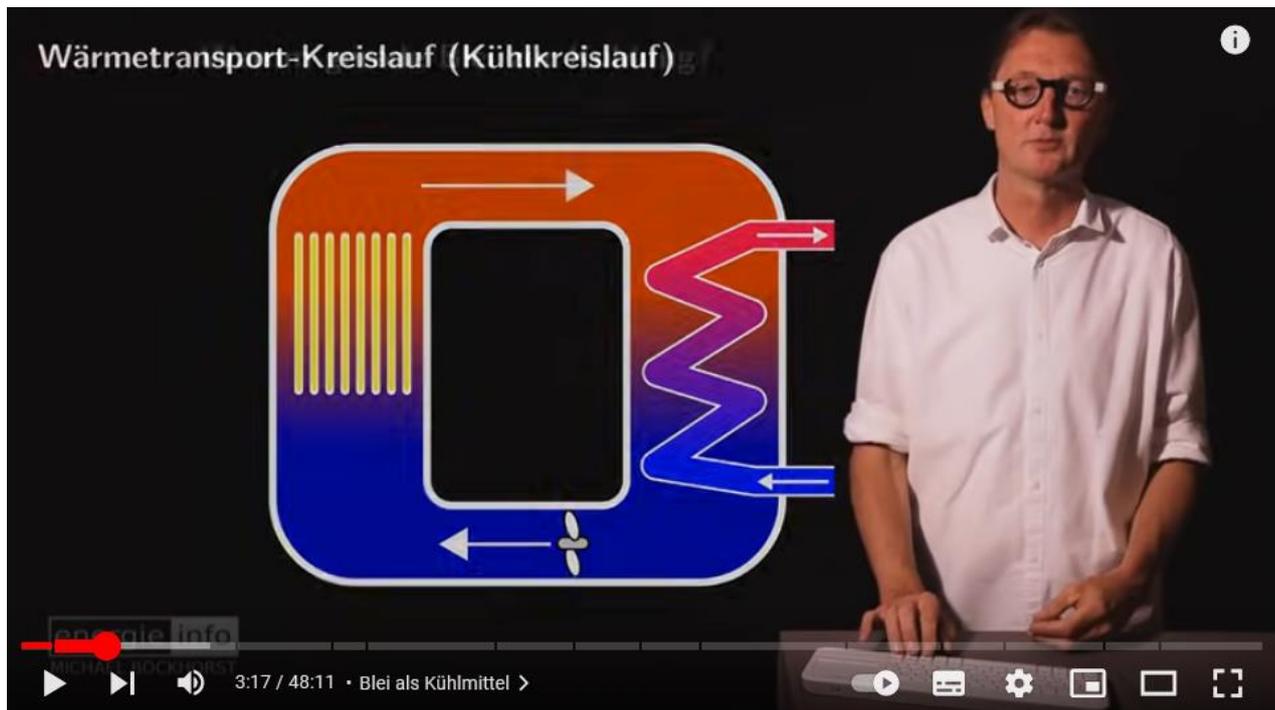
Für den DFR sind noch Voruntersuchungen nötig. Ein Demo-DFR soll laut Bockhorst in 30 Jahren, also ca. 2050, in Betrieb gehen können. Bis dahin dürfte die Entwicklung 12,5 Mrd.

Euro kosten. Ambitionierte Überlegungen gehen von m.E. utopischen 10 Jahren, also 2030, aus. Laut dem Wissenschaftlichen Dienst des Bundestages [46] ist mit einem Demonstrationsreaktor nicht vor 2040 und mit einem kommerziellen Reaktor nicht vor 2060 zu rechnen.

Im September 2023 wurde gemeldet, dass das deutsch-kanadische Kerntechnik-Unternehmen 'Dual Fluid Inc.' und die Regierung von Ruanda, vertreten durch die ruandische Atomenergiebehörde, eine [Vereinbarung über den Bau des ersten Demonstrationsreaktors](#) in diesem Land unterzeichnet haben [49]. Der ruandische Vertragspartner RAEB betont, dass sich das Land, das auf eine Zukunft mit nuklearer Energieversorgung setze, [nicht als Versuchskaninchen](#) sieht [49a]. Aufgrund der geringen Reaktorgröße soll dieser Reaktor laut Unternehmen preiswert hergestellt und in einem unterirdischen Betonbunker sicher untergebracht werden können. Ein [Testreaktor soll angeblich 2026 in Betrieb gehen](#) [50]. Das Unternehmen strebt die Serienproduktion für 2034 an.

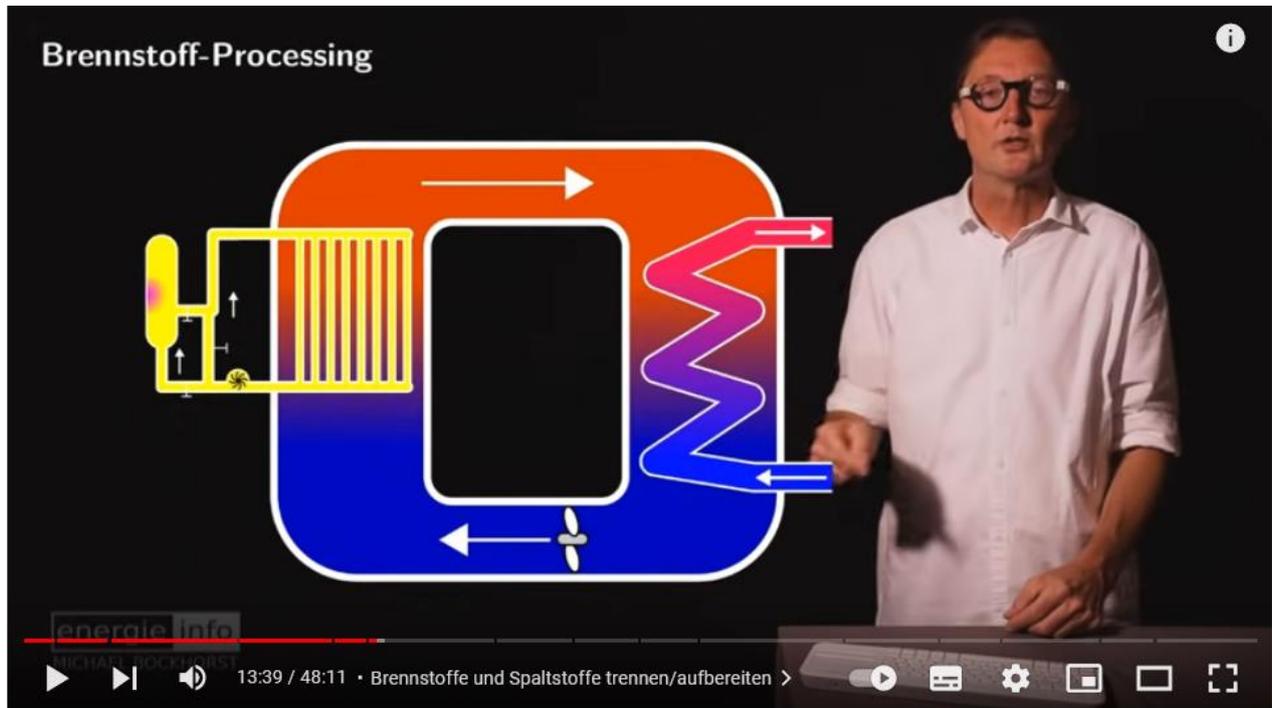
Im Folgenden werden die Abbildungen 1-8 aus dem Videovortrag von [Michael Bockhorst](#) und eine Komplettdarstellung eines DFR ([Abb.9](#)) wiedergegeben:

[► Inhalte](#)



Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

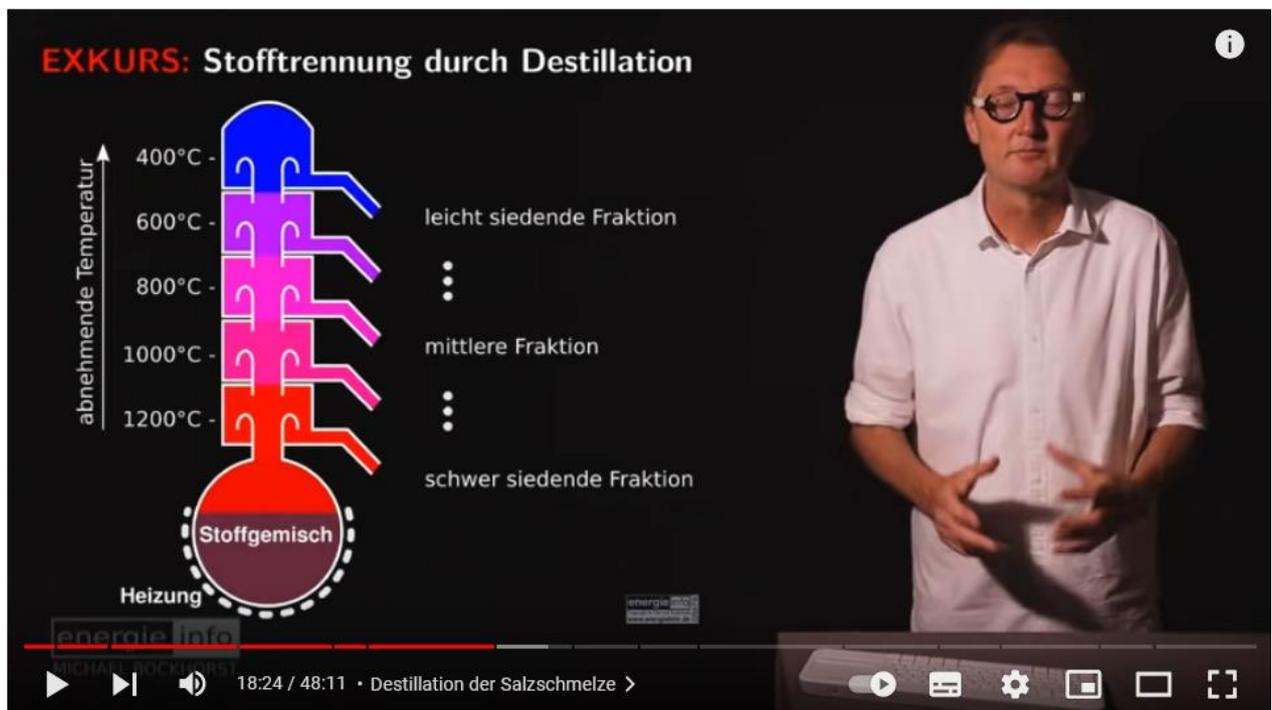
Abb.1: [12m00](#) [47] [=> Zurück](#)



Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

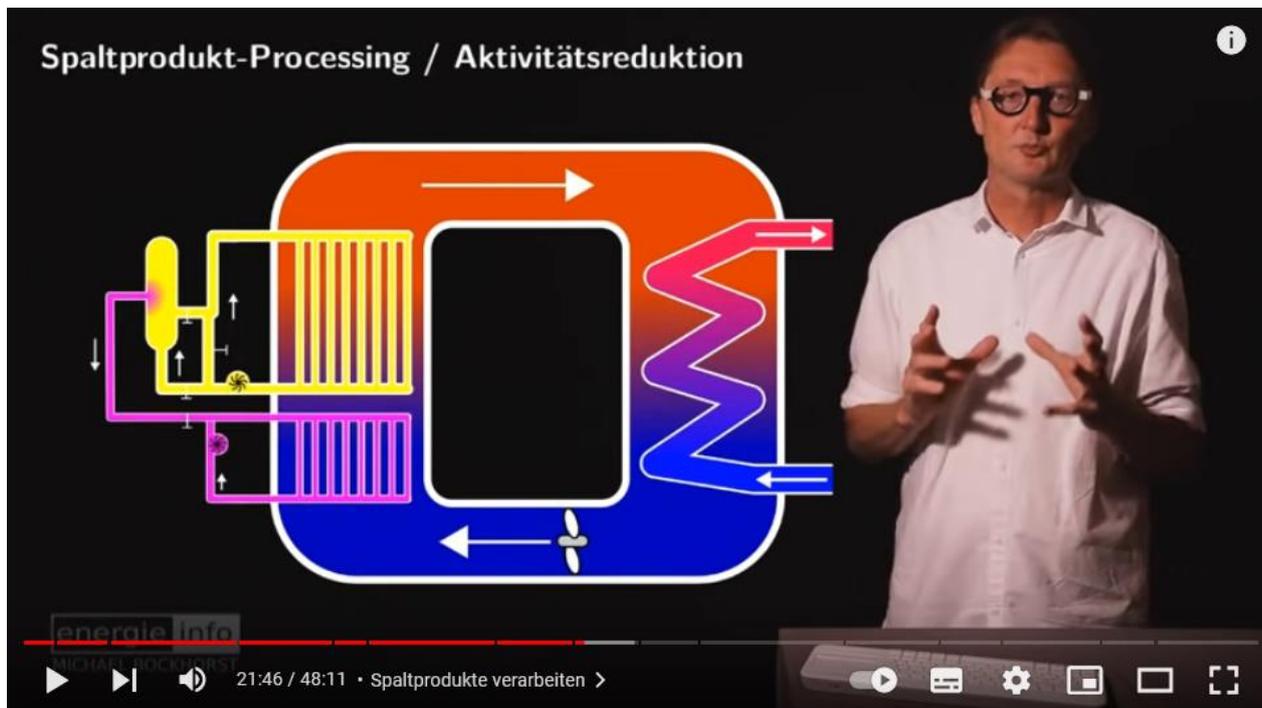
Abb.2: [13m35](#) [47] => [Zurück](#)

[Inhalte](#)



Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

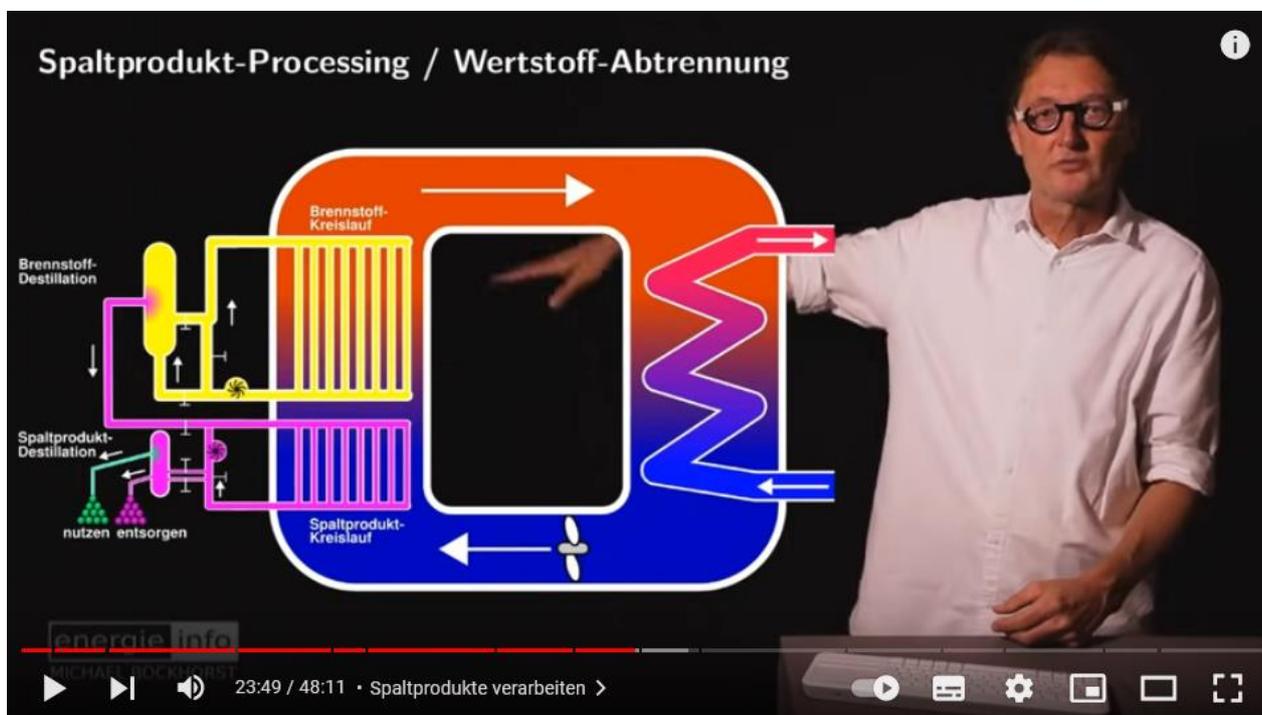
Abb.3: [18m25](#) [47] => [Zurück](#)



Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

Abb.4: [21m45](#) [47] => [Zurück](#)

[Inhalte](#)



Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

Abb.5: [22m27](#) [47] => [Zurück](#)

## EXKURS: Endlagerung radioaktiver Materialien

Endlagerung ist die **endgültige Lagerung** von Abfällen.

- ▶ Bisher:  
Endlagerung **kompletter Brennelemente** mit problematischem Stoffgemisch
- ▶ Endlagerung für ca. 300 000 Jahre:  
bis auf Schweden derzeit **keine Endlagerung** weltweit

Dual-Fluid-Reaktor:  
Bearbeitete Spaltprodukte für 300 Jahre in Anlage

Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

Abb.6: [24m00](#) [\[47\]](#) [=> Zurück](#)

[▶ Inhalte](#)

## Notfallabschaltung über Schmelzsicherung

Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

Abb.7: [26m40](#) [\[47\]](#) [=> Zurück](#)

**EXKURS: Nachwärme**

Nachwärme: Durch den Alpha-, Beta- und Gamma-Zerfall der Spaltprodukte freigesetzte Wärme

- ▶ Druckwasser- und Siedwasserreaktoren (DWR, SWR): Nachwärmeabfuhr **aktiv** durch Pumpen und Energiezufuhr!
- ▶ Dual-Fluid-Reaktor (DFR): Nachwärmeabfuhr physikalisch und technisch **inhärent** sicher

Inhärent meint, in der Natur der Sache liegend.

Der Dual-Fluid-Reaktor: Ein sinnvolles Konzept?

Abb.8: [31m50](#) [47] => [Zurück](#)

[Inhalte](#)

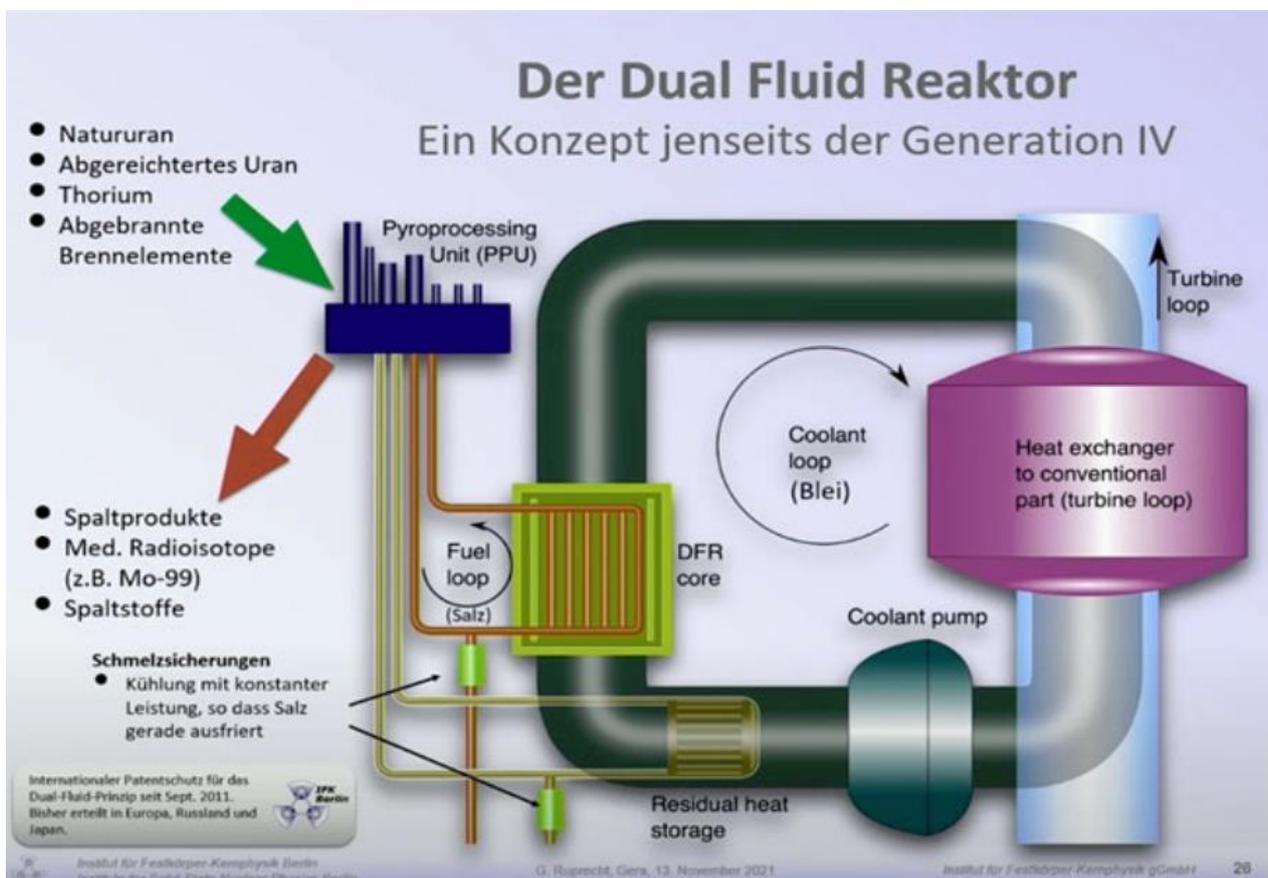


Abb.9: [Handout des IFK](#) ([51], Seite 4) => [Zurück](#)

### 3 Energie aus Kernfusion

[► Inhalte](#)

Nach Berechnungen der Max-Planck-Gesellschaft kann [1 Gramm Brennstoff in einem Fusionskraftwerk 90'000 Kilowattstunden Energie erzeugen](#), was der Verbrennungswärme von 11 Tonnen Kohle entspricht. Bisher ist man über Grundlagenforschung nicht hinausgekommen [52]. Bei der Kernfusion sollen Wasserstoff-Atomkerne zu einem Helium-Atomkern verschmelzen. [Dazu müssen die Atomkerne als Plasma vorliegen](#), um Elektronenhüllen und Atomkerne voneinander zu trennen [53]. Durch die dafür erforderlichen hohen Temperaturen von mindestens 15 Mio. °C (wie im Kern der Sonne) kann auch die Abstoßung der positiv geladenen Atomkerne überwunden werden. Um das zu erreichen, werden vor allem zwei Technologien vorangetrieben: die Fusion mit magnetischem Plasmaeinschluss (Magnetfusion) und die Trägheitsfusion, die auch Laserfusion genannt wird.

Hinsichtlich des grundlegenden Wissens verweise ich auf den [Vortrag zu den Grundlagen, dem aktuellen Stand und der Zukunft von Fusionsenergie](#) von Hartmut Zohm (Video, 1h09) 2022 [54].

Die Energiegewinnung durch Fusion würde der Menschheit für Jahrtausende riesige Energiemengen erschließen, ohne nennenswerte Abhängigkeiten bzgl. der Lieferungen der zugehörigen Brennstoffe mit sich zu bringen. Eine [abschließende Beurteilung der technischen und wirtschaftlichen Aspekte der Kernfusion](#) hielten Alfred Voß und Lothar Hahn vom IKE (Institut für Kernenergetik und Energiesysteme) anno 1990 erst ab 2050 mit den Erfahrungen eines Demonstrationsreaktors für möglich ([55], Seite 1659 bzw. 29). Auch das Österreichische Ökologie-Institut sieht, dass in der 50-jährigen Geschichte der Fusionsforschung "die [Schwierigkeiten bei der Entwicklung von Fusionsreaktoren immer wieder unterschätzt](#) wurden und der Zeitpunkt für die Realisierung wiederholt verschoben werden" musste [56].

#### 3.1 Magnetfusion

[► Inhalte](#)

Die Magnetfusion wird seit den 1950er-Jahren in Form von Tokamaks und Stellaratoren erforscht, in denen der [Plasmastrom im Innern durch stark unterschiedliche komplexe Magnetfelder zusammengehalten](#) wird [57]. In solchen Anlagen wird das Plasma (der Brennstoff des Reaktors), das primär aus den Wasserstoffisotopen Deuterium und Tritium (radioaktiv, [Halbwertszeit ca. 12 Jahre](#) [58]) besteht, auf 100 bis 200 Mio. °C aufgeheizt und darf keinen Kontakt mit der Wand bekommen. Dazu braucht es entsprechend komplexe Magnetfelder.

In den Stellaratoren wird die schraubenförmige Verdrillung der magnetischen Feldlinien ausschließlich durch äußere, kompliziert geformte Spulen erzeugt, während bei den Tokamaks durch äußere Spulen ein torusförmiges magnetisches Hauptfeld und ein vertikales Magnetfeld sowie durch den stark torusförmigen Plasmastrom ein poloidales Magnetfeld erzeugt werden, wodurch es zu einer Verdrillung der Feldlinien kommt. [57] Um die Tokamaks kleiner bauen zu können, wird auch an supraleitende Magnete gedacht. Tokamaks gibt es auch in Kugel- und Zylinderform, wobei hier statt Deuterium und Tritium Wasserstoff und Bor als Brennstoff eingesetzt werden.

Da die Wand mit dem Divertor, durch den die Wärme eines Tokamak abgeleitet und die Bestandteile des Fusionsplasmas optimiert werden sollen, mit maximal 10 MW pro Quadratmeter belastet werden kann, [werden dem Plasma geringe Mengen an Verunreinigungen \(häufig Stickstoff\) zugesetzt](#) [59]. Diese entziehen ihm den Großteil seiner Wärmeenergie, indem sie diese in ultraviolettes Licht umwandeln. Trotzdem muss der Rand des Plasmas auf Abstand zum Divertor gehalten werden, um diesen zu schützen. In jüngster Zeit ist es durch Einsatz von sogenannten X-Punkt-Strahlern gelungen, diesen Abstand von 25 auf 5 cm reduzieren zu können.

Das bei der Fusion eines Heliumkerns freigesetzte Neutron gibt seine Bewegungsenergie an die Reaktorwand ab. Bei der Magnetfusion konnten [bisher maximal 65% der aufgewendeten Energie durch Kernfusion wiedergewonnen](#) werden [53].

In dem auf Magnetfusion basierenden Forschungsreaktor JET wurde laut Wolfgang Gründinger im Dezember 2021 ein 5 Sekunden langes Fusionsfeuer gezündet. Das 1985 vereinbarte Folgeprojekt ITER soll 2035 die erste Fusion erzeugen. Auch der 2040 ange-dachte Baubeginn für den Demonstrationsreaktor DEMO ist noch ein Forschungsprojekt. Selbst wenn alles nach Plan verlaufen sollte, würde [der erste wirtschaftliche Fusionsreaktor erst 2060 in Betrieb](#) gehen [60].

Auch MDR-Wissen stellte im April 2023 fest, [dass es vermutlich "noch Jahrzehnte dauern \(wird\), bis das erste Kernfusionskraftwerk tatsächlich Strom für die Energiever-sorgung liefern kann"](#) [61]. Ob mit den X-Punkt-Strahlern der entscheidende Durchbruch zur Beherrschung des über 100 Mio. °C heißen Plasmas im Hinblick auf die zu verhindernde Schädigung der Reaktorröhren für kompaktere Fusionsreaktoren gelungen ist, sei noch nicht geklärt.

### 3.2 Laserfusion

[▶ Inhalte](#)

Da sich die Entwicklung von Magnetfusion immer wieder verzögert, setzen manche Forscher inzwischen [eher auf andere Projekte wie Laserfusion](#) [62], wobei aber auch hier [mindestens noch eineinhalb Jahrzehnte](#) bis zur Fertigstellung einer ersten Testanlage vergehen werden [63].

Bei der Laserfusion, auch Trägheitsfusion genannt, dienen leistungsstarke Laser als Ener-gielieferanten. Ihr ursprünglich im Infrarotbereich liegender Strahl wird durch zahlreiche Verstärker und Optiken in hochfokussierte UV-Laserpulse mit 351 Nanometer Wellenlänge umgewandelt. Die gepulsten und gebündelten Laserstrahlen treffen mit einer Energie von bis zu 500 Billionen Watt auf die Wände eines Hohlraums, in deren Mitte sich die nur wenige Millimeter kleine, mit Deuterium und Tritium gefüllte Brennstoffkapsel befindet. An den Innenwänden des Hohlraums erzeugen die Laserstrahlen energiereiche Röntgenstrah-len, die aus allen Richtungen kommend die Brennstoffkapsel [innerhalb von Milliardstel Sekunden bis auf rund 120 Millionen Grad](#) aufheizen und komprimieren, was in der Kapsel die Kernfusion auslöst [64].

Physiker der NIF (National Ignition Facility, USA) haben es bei einem Experiment am 05.12.2022 erstmals seit 60 Jahren Forschung geschafft, eine Fusionsenergie von 3,15 Megajoule mit einer Heizenergie (Laser) von "nur" 2,05 Megajoule zu erzeugen. Allerdings ist dabei die Energie zur Erzeugung der Laserstrahlen mit ca. 300 Megajoule um ein Viel-faches höher. [Wann es gelingen wird, tatsächlich mehr Energie zu erzeugen als man in den Prozess steckt, ist nach Hartmut Zohm nicht abzusehen](#) [65; Video 16m16]. Die Entwick-lungen der NIF finden unter militärischen Gesichtspunkten statt.

## 4 Erfahrungen mit bisheriger nuklearer Energieerzeugung

[▶ Inhalte](#)

Zu diesen Erfahrungen zählt insbesondere der Umgang der Menschen mit einer Techno-logie, die in kritischen Momenten riesigen und nachhaltigen Schaden, insbesondere für die Gesundheit der Menschen, anrichten kann. Nachstehend wird auch der Umgang mit radio-aktiven Unfällen und ihren Folgen betrachtet.

### 4.1 Uranerz-Abbau

Hinsichtlich der Erfahrungen mit dem Uranerz-Abbau, die hinsichtlich des weltweiten Abbaus ([Kap.1.1.1](#)) vorliegen, gehe ich hier vor allem auf die in Deutschland dokumentier-ten Kenntnisse ein. In Deutschland wurden sowohl im Schwarzwald als auch in der ehema-ligen DDR Uranerz abgebaut.

Im Kunkelbachtal bei Menzenschwand bzw. St. Blasien wurde von 1961 bis 1991 zur Untersuchung des größten Uranvorkommens [im Schwarzwald ca. 100'000 Tonnen Uranerz gefördert](#) [66a]. Während des Abbaus wurde das in die Grube eindringende Wasser (2740

m<sup>3</sup> pro Tag) in ein oberirdisches Absetzbecken gepumpt, was zur Folge hatte, dass laut einer Untersuchung von 1978 das Wasser des Krunkelbachs eine achtmal höhere Belastung durch das radioaktive Radium-226 erfuhr. 1982 wurde in den Bachsedimenten 1'000-mal höhere Strahlenwerte gemessen. Trotz Verbesserungen der Abwasser-Reinigung der Förderanlage überschritt die mittlere monatliche [radioaktive Belastung des Abwassers](#) insbesondere nach größeren Niederschlägen den für die Anlage festgelegten Grenzwert von 0,7 Bq/l, wobei dieser Grenzwert weit über dem Grenzwert nach der damals gültigen Strahlenschutzverordnung von 0,026 Bq/l lag ([\[66b\]](#); auf die Messeinheiten von Radioaktivität gehe ich kurz in [Kap.4.5](#) ein). 1986 betrug die während des Uran-Abbaus über die Abluft an die Umwelt abgegebene Radon-Belastung 14'000 Bq/m<sup>3</sup>, hätte aber nach der damals gültigen Strahlenschutzverordnung nur 22 Bq/m<sup>3</sup> betragen dürfen. Die in der Grube arbeitenden Arbeiter waren der Radon-Belastung der Abluft (Halbwertszeit 3,8 Tage) in vollem Umfang ausgesetzt. Der Strahlenpegel der Umgebung wurde durch Verwendung von Abfallgestein für den Wege- und Parkplatzbau erhöht. Das Erz wurde nicht im Krunkelbachtal sondern in Rheinland-Pfalz aufbereitet. Nachdem die pfälzische Landesregierung 1989 die Aufbereitungsanlage in Ellweiler, wo es zu Krebserkrankungen gekommen war, stillgelegt hatte, [wurde das Bergwerk 1990 stillgelegt](#) [\[66c\]](#). Am 21.08.1991 wurde die [letzte Pumpe der Grube der 'Grube Paul' abgestellt](#) und das Betriebsgelände bis Mitte 1992 renaturiert [\[66d\]](#).

Mit dem Ende der DDR wurde der [Uranbergbau in Sachsen und Thüringen](#) beendet. Um den sogenannten Yellowcake (Uranoxid), den Ausgangsstoff für Atombomben und Atomkraftwerke, herzustellen, wurde das geförderte Erz in einer Mühle gemahlen und das Uran mit Hilfe von Säuren und Laugen herausgelöst. Weil das Gestein, so wie in den meisten anderen Uranminen auch, nicht einmal 0,1% des begehrten Rohstoffes enthielt, blieb [pro Kilo gewonnenem Uran über eine Tonne radioaktiv belastetes Gestein](#) zurück [\[66e\]](#). So kamen durch den Uranabbau der Wismut GmbH seit den 1940er Jahren 311 Mio. Kubikmeter Haldenmaterial und 160 Mio. Kubikmeter Schlämme zusammen. Diese radioaktiven Abfälle belasten die Luft und die Gewässer je nach Wetterlage heute noch.

Über 70% der Uranvorkommen der Welt, sowie sämtliche Atomtestgelände für Atomwaffen finden sich unter bzw. auf den Territorien indigener Völker. Zu jeder Exploration werden durchschnittlich 500 Testbohrungen vorgenommen, die Wasseradern verletzen und das Trinkwasser verseuchen können. Beim Uranabbau und der anschließenden Verarbeitung werden Schwefelsäure und Laugen verwendet, wodurch spaltbare radioaktive Isotope freigesetzt werden: Radon-222, Radium-226 und Thorium-230. Pro Tonne Uranoxid (Yellowcake) fallen, je nach Anteil im Muttergestein, zwischen 1'000 und 40'000 Tonnen Abraum an. Die dadurch erzeugten Halden enthalten bis zu 85% der ursprünglichen Radioaktivität. Der Regen wäscht die Spaltprodukte aus, der Wind trägt den pulverisierten Abraumsand weit ins Land hinein. Die [Gewinnung von Uran verseucht nicht nur die Nahrung](#) und das Grundwasser der dortigen Einwohner, sondern führt oft zu deren Vertreibung und damit Entwurzelung aus ihrer jahrhundertealten Kultur [\[66f\]](#).

Die kanadische Provinz Saskatchewan ist der größte Uranproduzent der Welt. Es gibt Urangruben, Anreicherungsanlagen (Yellow Cake) und Deponien für radioaktive und metallhaltige Produktionsabfälle. Für Bewohner der Region, überwiegend Ureinwohner, ist die Mitarbeit in den Urananlagen oft ihre einzig mögliche Einkommensquelle. Dabei werden die Sicherheitsstandards und die Auswirkungen auf die Natur missachtet. Denn "zurück bleibt Müll, der die radioaktiven Elemente, Metalle und Gifte enthält wie Nickel, Arsen, Eisen und Aluminium, Sulfide, Sulfate und Radon; [viele Tausend Jahre lang bleiben die Stoffe im sehr empfindlichen Umweltkreislauf der Natur](#) im Norden von Kanada" [\[66g\]](#).

Im Niger erfolgt der Uran-[Abbau auf der Grundlage von Geheimverträgen](#) [\[66h\]](#). Dort wurden die Forderungen der Bevölkerung nach einer Offenlegung der Verträge und eine Begrenzung der durch den Erzabbau verursachten sozialen und ökologischen Schäden jahrelang übergangen, bis der Widerstand so groß wurde, dass daraus Organisationen

erwachsen, denen es gelang die mafiösen Machenschaften des französischen Konzerns Areva (heute Orano) offen anzuprangern. Nach dem Putsch im Sommer [2023 wurde der Export von Uran nach Frankreich sofort gestoppt](#) [66i].

## 4.2 Rückbau von Atomkraftanlagen

[► Inhalte](#)

Nicht nur der Bau, sondern auch der Rückbau eines Kernkraftwerks muss einem Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren unterzogen werden, um sicherzustellen, dass dem Zustand der Anlage entsprechend sicherheitsrelevante Komponenten erhalten bleiben. Radioaktive Abfälle (d.h. 2% der Gesamtmasse des AKW) sind "geordnet" zu beseitigen. Die Brennelemente (mit 99% der Radioaktivität eines AKW) müssen mehrere Jahre nach dem Reaktorbetrieb in Kühlbecken (die Kühlung und Wasserversorgung sind sicherheitsrelevant) abklingen, bevor sie zur Wiederaufbereitung oder Endlagerung abtransportiert werden können. Alle anderen Stoffe müssen hinsichtlich der Radioaktivität kontrolliert und den Kategorien schwach-, mittel und hochradioaktiv zugeordnet bzw. als schadlos verwertbar eingestuft werden, damit sie entsprechend konditioniert, verpackt und entsorgt werden können. [Ein vollständiger Rückbau kann bis zu 15 Jahre oder deutlich mehr Zeit beanspruchen](#) [67a].; so ist das [AKW Greifswald nach 29 Jahren immer noch nicht](#) vollständig rückgebaut [67b].

Der Rückbau der deutschen Atomkraftwerke bis Ende des Jahrhunderts soll [laut einer Schätzung von 2016 ca. 170 Mrd. Euro](#) kosten [67c]. Davon sollten die AKW-Konzerne ca. 49 Mrd. aufbringen, hatten aber [nur 38,3 Mrd. zurückgestellt](#) [68]. MONITOR-Recherchen haben 2014 aufgezeigt, dass sich die Energieversorger [Ende 2022 ihrer gesetzlichen Zahlungspflichten beim Atomausstieg entledigen](#) könnten [69; Video 7m20]. Das milliarden-schwere Kostenrisiko für den Rückbau der Anlagen und die Endlagerung des atomaren Mülls müsste seitdem der Steuerzahler alleine tragen.

Der Direktor des Westfälischen Energieinstituts, Heinz-Josef Bontrup, hatte in diesem Zusammenhang bei den Bundestagsausschuss-Beratungen zum Gesetzentwurf zur Neuordnung der Verantwortung der kerntechnischen Entsorgung von unerträglichem Politikversagen gesprochen. Die AKW-Betreiber seien lt. Atomgesetz verpflichtet, "die Kosten für die Stilllegung und den Rückbau der Kernkraftwerke und die Entsorgung des von ihnen erzeugten radioaktiven Abfalls einschließlich der Endlagerung zu tragen". Mit den vereinbarten einmaligen Zahlungen können sich die Betreiber für immer von allen originär vertraglich eingegangenen Verpflichtungen zur Entsorgung des angefallenen Atommülls entledigen. Die Begründung, die Betreiber seien in einer schwierigen wirtschaftlichen Lage, trägt laut Bontrup nicht, da dieser Tatbestand übertrieben dargestellt werde. Bontrup legt auch die [Verbandelung der Politik mit der Atom-Lobby](#) ausführlich offen [70]. Bontrup bemängelt, dass den Konzernen Rückstellungen erlaubt, aber eine Rücklagenbildung nicht vorgeschrieben worden sei.

## 4.3 Entsorgen für radioaktive Abfälle

[► Inhalte](#)

### 4.3.1 Endlager, Zwischenlager

#### 4.3.1.1 Verdrängtes Problem

Der Dokumentarfilm "Die Reise zum sichersten Ort der Erde" nimmt sich des Themas Atommüll an. Demnach saß die Menschheit 2013 weltweit bereits auf 350'000 Tonnen, und es kommen bei dem in diesem Jahr gegebenen Nutzungsgrad der Kernenergie jährlich weitere 10'000 Tonnen Atommüll hinzu. Doch bis 2013 war [keine Lösung für die sichere Endlagerung](#) absehbar [71]. So bleibt am Ende des Films, der an den unterschiedlichsten Orten wie in dichtbesiedelten Schweizer Gebieten oder der chinesischen Wüste Gobi oder in einem Indianerreservat oder in der westaustralischen Steppe oder in Mexiko oder in Gorleben sucht, die Frage "Wohin also mit dem lebensgefährlichen Abfall?" offen. Präzise

und angenehm unaufgeregt begibt sich Regisseur Edgar Hagen auf die globale Spurensuche, lässt renommierte Experten, Befürworter und Gegner zu Wort kommen. Die Erkenntnisse sind so erschreckend wie beklemmend. [Der Regisseur äußert sich im Interview](#) zu seinem kontroversen Film [72] dahingehend, dass die Verdrängung des Problems, radioaktiven Müll für Millionen von Jahren sicher zu lagern, weltweit erfolgt. Hagen fordert, dass die Herausforderung von einer unabhängigen und demokratisch kontrollierten Politik angenommen wird.

#### 4.3.1.2 Deutschlands lange angedachte Lager

[► Inhalte](#)

Gegen die 1964/65 bekannt gewordenen Pläne der Bundesregierung, in der **ASSE** Atom- müll einzulagern, gibt es Widerstand von der Bevölkerung, vom Kreistag Wolfsburg und von der Handwerkskammer Braunschweig. Am 04.04.1967 hat trotzdem die Einlagerung von schwach-aktivem Atommüll begonnen, nachdem der Salzabbau in dem Bergwerk am 31.03.1964 eingestellt worden war. Am 30.08.1972 begann die Einlagerung von mittel- radioaktivem Müll, 1973 von Wiederaufbereitungsmüll. Ab 1974 wurden die Fässer nicht mehr gestapelt, sondern von oben in die Kavernen gekippt. Die von der PTB (Physikalisch- Technische Bundesanstalt) erteilte Genehmigung zur Einlagerung von Kugelhaufen-Brenn- elementen des Reaktors AVR wurde durch juristischen Widerspruch verzögert und mit der Aufhebung der [Einlagerungsgenehmigung aller radioaktiven Abfälle zum 31.12.1978 vorerst beendet](#) [73]. Es sollten nur noch Versuche zur seit 1977 geplanten Endlagerung in Gorleben durchgeführt werden.

Am 22.02.1977 überraschte der niedersächsische Ministerpräsident Ernst Albrecht die Republik mit der Entscheidung, in **Gorleben** (Wendland) ein nationales Endlager für hoch- radioaktiven Atommüll und eine Wiederaufarbeitungsanlage zu errichten. [Mit dem Stand- ort wollte sich Albrecht an der DDR revanchieren](#) [74], die ihr mittlerweile defektes End- lager Morsleben ebenfalls dicht an der Grenze zur alten BRD platziert hatte.

Nach einer einwöchigen Demonstration von Gegnern des Projekts gab die niedersäch- sische Landesregierung am 16.05.1979 bekannt, dass auf die Wiederaufbereitungsanlage verzichtet wird. Da sich die Genehmigung eines Endlagers hinzog, drängte die Atomwirt- schaft auf den Bau eines Zwischenlagers. Dem Vorhaben stimmte die Lokalpolitik trotz 1'500 Einwendungen am 26.05.1981 zu. Am 08.10.1984 erreichte der erste Atommüll- transport auf Schleichwegen das Zwischenlager in Gorleben. Am 25.04.1985 wurden gegen den massiven Widerstand der Bevölkerung erstmals Castor-Behälter mit hochradio-aktivem Material in Gorleben angeliefert. Nachdem unter dem Eindruck von der Reaktor-Katastro- phe in Fukushima der Bundestag am 30.06.2011 sowohl das Ende aller AKWs bis 2022 als auch die weitere Erkundung Gorlebens als Endlager beschloss, erfolgte am 28.11.2011 der 13. und letzte Transport nach Gorleben. Der weitere Ausbau [Gorlebens als Endlager wurde am 15.12.2011 von der Bundesregierung gestoppt](#) [75]. Am 27.07.2013 wurde auch die weitere Erkundung Gorlebens vollständig gestoppt.

Anno 2019 wurde der schwach- und mittel-radioaktive Atommüll von Gorleben abtrans- portiert und im **Schacht Konrad** (Salzgitter) eingelagert. Am 17.09.2021 wurde das Erkun- dungsbergwerk Gorleben endgültig stillgelegt. Nun muss der Salzstock [innerhalb von zehn Jahren in seinen ursprünglichen Zustand rückgebaut](#) werden, indem die Salzhalde wieder unter Tage verbracht wird [76]. Sobald die Hohlräume verfüllt seien, würden die Schächte verschlossen. Im Juni 2023 wird bekannt, dass das Atommüllendlager Schacht Konrad aufgrund einer Neubewertung noch fälliger Bauarbeiten [nicht bis 2027 fertig](#) werden kann [77a]. Den Antrag auf Rücknahme oder Widerruf des [Planfeststellungsbeschlusses](#) für das Endlager [77b] wies [Niedersachsens Umweltminister am 19.12.2023 vorläufig ab](#), um den Weiterbau zu ermöglichen [77c]. Die Antragsteller [BUND und NABU haben dieser Abwei- sung am 16.04.2024 widersprochen](#) und "erwarten eine tiefgreifende, eigenständige, zügige und positive Entscheidung des Ministeriums auf unseren Antrag" [77d].

Es gibt immer wieder [Hinweise auf Wassereinbrüche](#) in die **ASSE** [78]. Seit 1988 werden täglich ca. 12 m<sup>3</sup> zutretender Lauge aufgefangen. Im Februar 1979 gab es Wassereinbrüche im Bereich der Lagerkavernen. Ein Braunschweiger Wasserbauingenieur zeigte 1979 in einer Studie die Gefahr des Einstürzens und Absaufens der ASSE II auf. Über die tatsächliche Menge der Laugenzutritte ist nichts bekannt. Aber 2008 wurde bekannt, dass ein Teil der Laugen seit vielen Jahren Kontakt mit dem Atommüll in Kammer 12 hat. Eine radioaktive Verseuchung des Grundwassers kann nicht ausgeschlossen werden. Laut Novellierung des Atomgesetzes anno 2013 ist der Atommüll aus der ASSE II zurückzuholen, außer dies sei "aus radiologischen oder sonstigen sicherheitsrelevanten Gründen nicht vertretbar". Seitdem gibt es eine Auseinandersetzung um die Rückholbarkeit und um die Einrichtung eines Zwischenlagers für die über 125'000 Gebinde mit mittel- und schwach-radioaktiven Abfällen – auch in dem 2007 eingerichteten Begleitprozess, d.h. dem in staatlicher Verantwortung liegenden, aber von der "Asse-2-Begleitgruppe" begleiteten Prozess für die Planung, die Entscheidungen und die Umsetzung des Rückholprozesses.

Der Asse-II-Koordinationskreises (A2K) weist den von der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) am 17.04.2020 vorgestellten Rückholungsplan als fehlerhaft und unzureichend zurück. Dieser Plan sei nur eine Konzeptplanung und sei noch weit weg von einer Ausführungsplanung. Die Berichte, Studien und BGE-Vorstellungen zur Rückholung würden nur aneinandergereiht. Eine professionelle Projektplanung (z.B. Netzplantechnik) sei nicht erkennbar. Der [Rückholungsplan sei rechtlich nicht abgesichert und bergrechtlich problematisch](#) [79].

#### 4.3.1.3 Deutschlands Zeitkorridore

[▶ Inhalte](#)

Zur Endlagersuche in Deutschland wurde 1994 von der BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) eine im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie durchgeführte "[Untersuchung und Bewertung von Regionen in nicht-salinaren Formationen](#)" im Hinblick auf die "Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands" vorgelegt [80]. Dazu wurden Literatur- und Archivmaterial genutzt. Im dortigen Kap. 6 werden für die in Frage kommenden Regionen Bewertungen aufgrund von definierten Einzelfaktoren vorgenommen. Mitte 2023 hat die 'Bundesgesellschaft für Endlagerung' (BGE) bekanntgegeben, dass der [Standort für ein Endlager für hochradioaktiven Atommüll nicht wie im Gesetz vorgesehen 2031, sondern frühestens 2046](#) feststehen wird [81]. Ein anderes Szenario sieht sogar einen Zeitkorridor bis 2068 vor. Im August 2024 wurde ein vom Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) beauftragtes Gutachten des Freiburger Öko-Instituts bekannt, nach dem "selbst bei einem idealen Projektablauf [...] das Verfahren erst im Jahr 2074 abgeschlossen werden kann" [81a]. Für einen Teil der angefallenen und noch anfallenden schwach- und mittel-radioaktiven Abfälle ist bislang das frühere Eisenerzbergwerk Schacht Konrad in Salzgitter vorgesehen. Die Grube wird von der BGE umgebaut und darf laut Genehmigungsbescheid bis zu 303'000 Kubikmeter Atommüll aufnehmen, d.h. für entsprechende Abfälle, die aus Asse geborgen werden müssen und bei der Urananreicherung in Gronau anfallen, ist in diesem Schacht kein Platz. Ob Schacht Konrad jemals in Betrieb geht, ist aber offen. So müssen die schwach- und mittelradioaktiven Abfälle weiterhin in Zwischenlagern gelagert werden.

#### 4.3.1.4 Organisation, Personal und Transparenz

[▶ Inhalte](#)

Personell hat 2016 die damalige Bundesumweltministerin Barbara Hendricks [zur Umsetzung der neuen Organisationsstruktur im Endlagerbereich entschieden](#) [82], Wolfram König zum neuen Präsidenten des Bundesamtes für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) sowie Ursula Heinen-Esser, Dr. Ewold Seeba und Prof. Dr. Albert Lennartz zu Geschäftsführern der neugegründeten Bundesgesellschaft für Endlagerung GmbH (BGE) zu

bestellen. Die BGE übernimmt seitdem sämtliche Aufgaben bei der Planung, der Errichtung, dem Betrieb und der Stilllegung von Endlagern, die bisher vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als Betreiber und der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) sowie der Asse GmbH als Verwaltungshelfer durchgeführt wurden. Zu den Personalien: Wolfram König war seit 1999 Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Er ist laut Hendricks ausgewiesener Experte in Fragen der Endlagerung und des Strahlenschutzes; er hat illegalerweise, Sondermüll entsorgen lassen. Ursula Heinen-Esser war ehemals Parlamentarische Staatssekretärin im BMU (zuständig für den Bereich Reaktorsicherheit, die Asse, den Atomenergieausstieg, das Standortauswahlgesetz, den Aufsichtsratsvorsitz der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit GRS). Sie wird in der Gesellschaft die Funktion der Vorsitzenden der Geschäftsführung der BGE übernehmen. Dr. Ewold Seeba war erster kommissarischer Präsident des Bundesamtes für kerntechnische Entsorgung (BfE) und hat diese Behörde in den vergangenen zwei Jahren mitaufgebaut und geleitet. Prof. Dr. Albert Lennartz ist seit 2009 Geschäftsführer der Asse GmbH, die mit über 500 Beschäftigten einen großen Teil des zukünftigen Personals der neuen Bundesgesellschaft stellen wird. Lennartz wird in der neuen Gesellschaft den Geschäftsbereich Rechtsfragen und kaufmännische Funktionen übernehmen. Die Qualifikation der Personen wird von Umweltaktivisten in Zweifel gezogen: So habe Wolfram König, damals Staatssekretär des Umweltministerium Sachsen-Anhalt, [toxische Abfälle trotz vorliegendem Angebot nicht recycelt, sondern illegalerweise verbuddeln lassen](#) [83; Video 8m13]. Als Präsident des BfS habe er seine Sicht, es sei für das Zwischenlager für die aus Asse rückgeholt radioaktiven Abfälle keine vergleichende Standortsuche erforderlich, [durch eine eigene Studie bestätigen lassen](#) [84]. Ursula Heinen-Esser bringt das Handicap mit, nun dafür sorgen zu müssen, dass das von ihr als vormalige Parlamentarische Staatssekretärin erarbeitete Endlagersuchgesetz, nun durch die von ihr geleitete Kommission umgesetzt werden muss. Sie kann in den Augen der Umweltschützer [nicht unabhängig und unparteilich](#) handeln [85]. Die Gorleben-Gegner sehen in dieser Personalie "eine brüskierende Kontinuität". Auch Niedersachsens Umweltminister Stefan Wenzel sieht durch diese Personalie die Vertrauensbildung zu den Bürgern untergraben.

Der Bundesrechnungshof hat 2019 das Bundesumweltministerium und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) scharf kritisiert, da das Umweltministerium seine [Aufsichtspflicht gegenüber dem Betreiber des Endlagers "Asse II" ungenügend](#) wahrnehme [86]. Dem BfS wird mangelnde Transparenz bzgl. der Kostenentwicklung vorgeworfen. Beide Institutionen seien ihrer Verantwortung für Asse II nicht gerecht geworden.

#### 4.3.1.5 Weltweit wenig Lösungen

[► Inhalte](#)

2014 war weltweit noch kein Endlager in Betrieb. Bei näherer Betrachtung wird deutlich, dass die Realisierung der [Planungen zeitlich immer weiter hinausgeschoben](#) wurde [87]. [Japan, das 2013 noch über kein Endlager für radioaktiven Müll verfügte](#) [88], will weiterhin auf Atomkraft setzen, wie ein Regierungsausschuss verkündete. 2023 wird Atomkraft per Atomgesetz zur "Verpflichtung des Staates" gemacht, aber ein [Endlager ist auch 2023 nicht in Sicht](#) [89]. Laut 'Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung' sind [viele weitere Länder auf der Suche einer Lösung für den Umgang mit hochradioaktivem Müll](#) [90].

In Finnland wurde 2015 das weltweit erste Endlager für hochradioaktive Abfälle in einer Höhle aus Kristallingestein bei Eurajoki genehmigt. "Das Einlagerungskonzept des Betreibers Posiva sieht zum Schutz vor eindringendem Grundwasser vor, die ausgedienten Brennelemente in dicht verschlossenen, mit Kupfer ummantelten Behältern in das Endlager zu verbringen. Diese Behälter sollen gasdicht und korrosionsbeständig sein. In 400 bis 450 Metern Tiefe sollen diese mit Bentonit umhüllt werden – einem quellfähigen Ton, der bei Kontakt mit Wasser sein Volumen erhöht und somit die Hohlräume schließen soll. Geplant

ist, die Behälter vertikal in Bohrlöchern oder horizontal in Einlagerungstunnel einzulagern. Die Einlagerungstunnel werden mit komprimierten Tonblöcken verschlossen.“ Auch [in Schweden wurde 2022 grünes Licht für den Bau eines Endlagers](#) für hochradioaktiven Atommüll in Granitgestein gegeben [91]. Der Müll soll wie bei den Finnen in Gusseisen eingeschmolzen, dann in einen Kupferbehälter eingeschlossen werden. Jeder Behälter soll in einer eigenen Höhlung mit Bentonit-Ton versiegelt eingelagert werden.

In Frankreich wird eine Betriebsgenehmigung für das Endlager für 83'000 Kubikmeter mittel- und hochradioaktiven Abfälle in 500 Metern Tiefe in einer rund 130 Meter mächtigen Tonformation nördlich des Untertagebaus Bure ([3D-Modell](#) [92], [Lage des Standorts](#) [93]) für den Zeitraum 2035-2040 angestrebt. Die Schweiz plant einen Standort für ein Endlager für hoch-, mittel- und schwach-radioaktiven Atommüll im Gebiet 'Nördlich Lägern' ([Artikel mit Karte](#) [94]). Die Unterlagen zum Rahmenbewilligungsgesuch sollen voraussichtlich bis Ende 2024 eingereicht werden. Wenn das Parlament bzw. das Volk zustimmt, könnte das Lager im 800 Meter tiefen Tongestein ab 2060 zur Verfügung stehen.

[Eine ernüchternde Bestandsaufnahme der Endlagersuche für Atommüll](#) in Ländern wie Belgien, Deutschland, Italien, Niederlande, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Schweden und der Schweiz nahm die 'Berliner Morgenpost' im April 2023 vor [95]. Das Blatt stellt am Ende fest: "In fast jedem Land, das Atomanlagen betreibt, wird immer wieder auch eine Lösung für den strahlenden Müll diskutiert, bei der keine Gemeinde oder Bürgerinitiative widersprechen kann: das All." Aber eine Betrachtung der verschiedenen Aspekte solch einer Idee zeigt, dass das [Entsorgen der sehr kritischen 3% des Atommülls im Weltall](#) absolut keine vernünftige Idee ist ([96], Video 10m14).

#### 4.3.2 Uranmunition

[► Inhalte](#)

Das für die Kernspaltung erforderliche Uran-Isotop 235 kommt nur zu 0,7% in natürlichem Uran vor. [Um es für Kernreaktoren oder gar Atomwaffen nutzen zu können, muss dieses U-235 angereichert werden](#): für Reaktoren auf 3,5%-5%, für Atombomben auf 20%-85% [97]. Je höher angereichert wird, desto mehr abgereichertes Uran bleibt übrig, das zu entsorgen ist. Von diesem abgereicherten Uran (Depleted Uranium, DU) sind über die Jahre sehr große Bestände zusammengekommen. Um der teuren, noch nicht geklärten Entsorgung zu entgehen, wird das DU inzwischen teilweise zur [Herstellung von Munition von sehr hoher Durchschlagssfähigkeit](#) genutzt ([98], Seite 3).

Aber überall da, wo Uranmunition eingesetzt wurde, stiegen die Fälle von aggressiven Krebserkrankungen schlagartig an, nicht nur bei der Bevölkerung der betroffenen Gebiete, sondern auch bei den Soldaten. Frieder Wagner hat in vorstehend verlinkten "Beweis- und Faktensammlung" [98] zusammengetragen, zu welchen Schädigungen des menschlichen Lebens DU führen kann und wie es dazu kommt. Die Schädlichkeit wurde gerichtlich festgestellt, aber von der WHO ("Weltgesundheitsbehörde"), der ICRP (International Commission on Radiological Protection), den maßgebenden Politikern und Militärführern bis heute abgestritten. Es interessiert diese Organisationen und Personen nicht, wenn die Regierung des Irak verlauten lässt, man habe wissenschaftlich festgestellt, dass im Irak durch die Kriege von 1991 und 2003 mindestens 18 Regionen durch DU-Staub quasi unbewohnbar geworden sind und dass man deshalb die Bevölkerung evakuieren muss [92, Seite 19]. Es interessierte die ehemalige Bundesverteidigungsministerin und Ärztin Ursula von der Leyen weder, dass [3,6% der italienischen Soldaten aufgrund ihres Irak-Einsatzes an den Folgen von der Vergiftung durch DU-Munition gestorben](#) sind [99], noch, dass 16 italienische Familien ihren Verteidigungsminister erfolgreich verklagt haben. In Deutschland wird abgestritten, Munitionstests mit DU durchgeführt zu haben, obwohl ein beteiligter Soldat an Krebs erkrankt und gestorben ist. Da die Wahrheit über die Schädlichkeit, auch noch lange nach den Kriegshandlungen, z.B. vom deutschen Verteidigungsministerium totgeschwiegen wird, wurde diese Munition immer wieder eingesetzt. Im März 2023 hat Groß-

britannien [angekündigt, der Ukraine Uran-Munition zu liefern](#) [100]. Israel hat in vorangegangenen [Konflikten mit der Hamas die bunkerbrechende Bombe GBU-28](#) bereits mehrfach verwendet und in der Konflikt-Eskalation seit dem 07.10.2023 wird öffentlich spekuliert [101], dass Israel diese DU-Waffe auch im Gazastreifen einsetzen könnte.

#### 4.4 Reaktorunfälle

[► Inhalte](#)

Eine Übersicht über alle [Unfälle in kerntechnischen Anlagen](#) ist bei Wikipedia [102] zu finden. Im Folgenden werden nur die bisher katastrophalsten Reaktorunfälle in Tschernobyl und Fukushima behandelt.

##### 4.4.1 Tschernobyl

Dass es [am 26.04.1986 in Tschernobyl am Block 4 zur Kernschmelze gekommen](#) ist [103], ist laut dem Magazin 'Der Spiegel' auf menschliches Versagen zurückzuführen:

Obwohl bekannt war, dass stundenlanges Betreiben des stark gedrosselten Reaktorblocks 4 zu einer sogenannten Neutronen-absorbierenden Xenonvergiftung des Reaktorkerns führt, wurde entschieden, die für einen geplanten, aber durch widrige Umstände verzögerten Test runtergefahren Leistung des Reaktors wieder hochzufahren. Um die durch das Spaltprodukt Xenon gegebene Neutronenabsorption zu kompensieren, wurden die zur Leistungsregelung eingebauten, Neutronen absorbierenden Regelstäbe so weit aus dem Reaktorkern herausfahren, dass sie nicht mehr schnell genug eingefahren werden konnten, als sich die Kernreaktionen wieder verstärkten. Dieses Fehlverhalten wurde bewusst durchgeführt, indem der Operateur automatische Sicherheitssysteme überbrückte, Warnanzeigen ignorierte und auf eine Notabschaltung verzichtete. Es war nicht nur dem Chefsingenieur bekannt, dass die Kernreaktion beim Einfahren der weit herausgezogenen Regelstäbe konstruktionsbedingt noch kurzfristig verstärkt wird. Die Folge: Ab einem gewissen Zeitpunkt stieg die Reaktorleistung unkontrollierbar an. Der Siedewasserreaktor erhitze sich sehr schnell. Die Erhitzung wurde noch aufgrund des testbedingten Abschaltens der Kühlwasserpumpen beschleunigt. Innerhalb kurzer Zeit kam es zur Kernschmelze, zur Zerstörung des Reaktorgebäudes und zur Entzündung des Graphitblocks im Reaktorkern. Es wurden radioaktive Stoffe in die Atmosphäre freigesetzt. Radioaktives Jod-131 (Halbwertszeit 8 Tage), Cäsium-134 (Halbwertszeit 2 Jahre) und Cäsium-137 (30 Jahre) werden mit der austretenden Wolke Hunderte Kilometer weit in die Umwelt getragen, radioaktive Metalle in Form von Staubpartikeln freigesetzt, die sich auf dem Boden niederschlagen.

Einen Eindruck über den Ablauf der Katastrophe und seine europaweiten Folgen gibt der Film "[Die Schlacht von Tschernobyl](#)" ([104], Planet-Schule 2022, 29m15). Diese Doku ist die Kurzform von "[Battle of Chernobyl](#)" ([105], Video, 1h31). Der explodierende Reaktor 4 schleuderte riesige Mengen radioaktiven Materials in die Atmosphäre. Sieben Monate lang kämpften 800'000 sowjetische Soldaten, Bergleute und Zivilisten, um die Radioaktivität vor Ort einzudämmen und um eine zweite Explosion zu verhindern, die halb Europa unbewohnbar gemacht hätte. Laut der Dokumentation sind inzwischen 50'000 bis 100'000 dieser Katastrophenhelfer an den Folgen der Strahlenbelastung gestorben, die meisten Überlebenden sind krank und arbeitsunfähig. Über die ihnen tatsächlich drohenden Gefahren der außer Kontrolle geratenen Kernkraft wurden die Einsatzkräfte (Liquidatoren) nicht aufgeklärt. 2022 lebten noch acht Millionen Menschen in dem verstrahlten Teil der Ukraine.

Laut überlebenden Liquidatoren spiegelt der Umgang mit ihnen nicht nur "das Selbstbildnis des totalitären Sowjetsystems" wider. Auch die Internationale Atomenergieagentur (IAEA) habe [nur 31 durch die Reaktorkatastrophe bedingte Todesfälle anerkannt](#) (Regina Mönch, FAZ, 2011, [106]). Ohne, dass es von der IAEA ausgesprochen wird, sind mit diesen

31 nur die Toten der ersten 24 Stunden nach der Explosion des Reaktors gemeint. Über die später zu Tode gekommenen wird nicht gesprochen.

Nicht nur mit den Liquidatoren wurde ohne Aufklärung und gesundheitsgefährdend umgegangen. Alla Jaroshinskaja berichtet in ihrem Buch "[Verschlussache Tschernobyl](#)" [107], indem sie aus geheimen Dokumenten aus dem Kreml zitiert, wie menschenverachtend mit der von der Katastrophe betroffenen Bevölkerung umgegangen wurde. – Regina Mönch sagt zu dem Buch [106]: "Es ist das wohl umfassendste Protokoll über das Vertuschen und Ignorieren, über Unterschleif (d.h. Täuschung) und Fälschung und über den Verrat vieler Wissenschaftler an den Menschen, die von der Reaktorkatastrophe direkt betroffen waren." Es ist aber auch ein Verrat der politischen Führung.

Die Zahl der durch das Reaktorunglück zu Tode gekommenen Menschen geht je nach Quelle stark auseinander. Während die IAEA von einer wahrscheinlichen Opferzahl von 4'000 spricht, verzeichnete die Ukrainische Kommission für Strahlenschutz allein 34'499 verstorbene Rettungshelfer, nennen die 'Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges' (IPPNW) von [50'000 bis 100'000 Tote und bis zu 900'000 Invalide](#), hält die MIT-Professorin Kate Brown allein in der Ukraine 150'000 Tote für realistisch, schätzt Greenpeace die Zahl der Toten infolge des Tschernobyl-Unglücks auf insgesamt 93'000 [107a]. Das Problem bei der Bestimmung der Opferzahlen ist, "dass sich die Folgen von Tschernobyl nur schwer räumlich und zeitlich eingrenzen lassen. Hinzukommt das nur der klassische Strahlentod der Katastrophe zweifelsfrei zuzuordnen ist."

In Deutschland wurde die radioaktive Belastung der Luft durch Meldungen der Bundesregierung heruntergespielt, wie z.B. Messungen in Erlangen zeigten. Zu den dadurch provozierten Reaktionen stellt die Uni Erlangen in einem [Bericht der Universität](#) [108] in ihrem Kap.7 fest: "Die angesichts des Informationsbedarfs der Bevölkerung auf allen Ebenen des Staates wahrgenommene Hilflosigkeit führte zu einem massiven Anstieg der Zahl der Kernkraftgegner in Deutschland. [...] Die Heftigkeit der Reaktionen aus Teilen der Bevölkerung überstieg alles, was man für den Fall eines Unfalls in einem Kernkraftwerk erwartet hatte, und das Unternehmen [KWU] stuft den entstandenen Imageschaden als existenzbedrohend ein." In Kap.2.1 (Seite 15ff) wird in dem Bericht auch auf die eingangs angesprochene Xenon-Vergiftung und Reaktivität eingegangen.

Wie sich die Radioaktivität vom Unfall in Tschernobyl bis in unsere Lebensmittel hinein ausbreitet, stellt das Schweizerische BAG (Bundesamt für Gesundheit) am Beispiel der Schweiz dar (Zusammenfassung [Radioaktivität und Lebensmittel](#) [109]; Teil 1 [Wie gelangt die Radioaktivität nach einem Unfall in die Lebensmittel?](#) [110]; Teil 2 [Die Kontamination von Lebensmitteln nach dem Unfall von Tschernobyl, 1986](#) [111]).

Im radioaktiv belasteten Gebiet um das havarierte Atomkraftwerk Tschernobyl ist es in der Osterzeit 2020 zu einem Waldbrand auf einer Fläche von 10'500 Hektar gekommen. Am 20.04.2020 wurde gemeldet, dass Satellitenaufnahmen zufolge die Feuer wieder aufgeflammt sind. Innerhalb von zwei Wochen kamen die [Brände der Atomruine von Tschernobyl bis auf einen halben Kilometer nahe](#) [112]. Ob der bis nach Kiew ziehende Rauch dieser Feuer radioaktiv kontaminiert war, ist zwar strittig. Aber bei Messungen der Cäsium-137-Aktivität in der Umgebungsluft vor Ort zeigte sich am 10./11.04.2020 ein Anstieg der Cäsium-137 Konzentration von rund 6 mBq/m<sup>3</sup> auf 700 mBq/m<sup>3</sup>. Nach dem Super-GAU von Tschernobyl wurden in Bayern Cäsium-137 Konzentrationen von 10'000'000 mBq/m<sup>3</sup> gemessen. Die französische Strahlenschutzbehörde IRSN schreibt, dass allein in den ersten 10 Tagen der Waldbrände, also noch vor deren Wiederausbruch, rund 200'000'000'000 Bq Radioaktivität durch die Feuer freigesetzt und über ganz Europa verbreitet wurden. Eine Erhöhung der Radioaktivität an deutschen Meßstellen ist laut den öffentlich einsehbaren Daten (eigene Recherche bei den Meßstellen von [ODL-INFO](#) [113], z.B. Meßstelle [Ober-schleißheim](#) [114]) nicht feststellbar. Zu den bei der Messung von Radioaktivität gebräuchlichen Maßeinheiten siehe [Kap.4.5](#).

Am 11.03.2011 erreichten die ersten Primärwellen des stärksten Erdbebens in der japanischen Geschichte das Kraftwerksgelände. Sie lösten dort die [Schnellabschaltung der Siedewasserreaktoren 1-3 \[115\]](#) aus und führten zum Ausfall der externen Stromversorgung. Durch die aufbrandenden Tsunami-Wellen wurden die Meerwasserpumpen zerstört, was zum kompletten Ausfall der Notstromversorgung und damit der regulären Kühlung der Reaktoren führte. Aus der Umgebung angeforderte mobile Notstromaggregate konnten nicht angeschlossen werden, da die Anschlusspunkte unter Wasser standen. Am 16.05.2011 bestätigte der Betreiber Tepco, dass es auch in den Reaktoren 2 und 3 zu Kernschmelzen gekommen ist. Im Juni gehen die Behörden davon aus, dass es in den Reaktoren 1-3 zu einem Austreten von Teilen des Reaktorkerns in den Sicherheitsbehälter gekommen ist.

In der ["Radiochemischen Betrachtung des Reaktorunfalls in Fukushima" \[116\]](#) im Jahre 2011 gibt es neben dem Aufzeigen der in der Anlage enthaltenen kerntechnischen Materialien einschließlich der Spaltprodukte auch eine Darstellung des Unfallverlaufs und der dabei erfolgten Freisetzung von Elementen aus dem Reaktorkern. "Zusammengefasst kann gesagt werden, dass das Inventar der Radionuklide Kr-85 [Krypton], H-3 [Tritium] und die der [Xenon]-Isotopen vollständig bis annähernd vollständig, gefolgt von den [Jod- und Cäsium-Isotopen], freigesetzt wurde. Auch wenn der freigesetzte Anteil des Inventars der Radionuklide Te-132 [Tellur], Sr-89 / Sr-90 [Strontium] und Tc-99 [Technetium] gering ist, ist die absolut freigesetzte Menge annähernd vergleichbar mit der der [Cäsium]-Isotopen."

In Japan gibt es viel Kritik an der Regierungsinitiative, die einen Großteil der angekündigten [470 Mio. US-Dollar in ungeprüfte Technik zur Sicherung der Reaktorgebäude](#) und 350 leckende Tanks in Fukushima investieren will [\[117\]](#).

Die japanische Regierung räumte am 06.10.2013 auf einer internationalen Konferenz zu Energie- und Umweltfragen in Kyoto erstmals ein, [Hilfe aus dem Ausland](#) zu benötigen, um die Probleme mit drei geschmolzenen Reaktorkernen in dem weitgehend zerstörten Atomkraftwerk Fukushima in den Griff zu bekommen [\[118\]](#).

Im Meerwasser vor einem der beschädigten Reaktoren wurden die höchsten Werte an Radioaktivität seit zwei Jahren gemessen, wie die Betreibergesellschaft Tepco am 10.10.2013 mitteilte. Die [Werte für Cäsium-134 und Cäsium-137 schnellten um das 13-fache in die Höhe](#) und lagen weit über den Grenzwerten. Die Regierung in Tokio wirft dem Kraftwerksbetreiber vor, die Lage in Fukushima nicht richtig im Griff zu haben [\[119\]](#).

Das für die Notkühlung der geschädigten Brennstäbe der zerstörten Reaktoren genutzte Wasser ist radioaktiv hoch belastet und wird nach einer Aufbereitung in Stahlbehältern auf dem Reaktorgelände eingelagert. Im August 2023 waren 1,3 Mio. Tonnen aufbereitetes Kühlwasser in über 1'000 Stahltanks auf dem Reaktorgelände eingelagert und damit alle Aufbewahrungsmöglichkeiten zu 98% ausgeschöpft. Daher leitet Japan seit dem 24.08.2023 [radioaktiv belastetes Kühlwasser aus dem ehemaligen Atomkraftwerk Fukushima](#) in den Pazifik [\[120\]](#). Das Kühlwasser soll gefiltert und nur noch durch das radioaktive Wasserstoff-Isotop Tritium ([Betastrahler \[121\]](#), Halbwertszeit 12,3 Jahre) belastet sein. Vor dem Ableiten ins Meer soll die radioaktive Belastung durch Verdünnen auf 1'500 Becquerel/Liter gesenkt werden, was über der Radioaktivität im menschlichen Körper liegt. Die Ableitung ins Meer wird von der laut Julia Sica und Klaus Taschwer nicht unabhängigen Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) überwacht (Fabian Lambeck sieht die IAEA als Lobbyisten, da sie laut Satzung "den [Beitrag der Kernenergie zu Frieden, Gesundheit und Wohlstand weltweit](#)" [beschleunigen](#) und vergrößern soll [\[121a\]](#)). Laut einem Berater von Kernkraftwerken leiten Kernkraftwerke und Wiederaufbereitungsanlagen auf der ganzen Welt seit 60 Jahren Tritium-haltiges Wasser ins Meer, wodurch eine höhere Meeresbelastung erfolge als durch das derzeit aus Fukushima abgeleitete Kühlwasser. Die Verklappung des Kühlwassers von Fukushima soll [voraussichtlich 30 Jahre](#) dauern [\[122\]](#).

#### 4.4.3 Ausblick

[▶ Inhalte](#)

Die erlebten Katastrophen und auch die [Gefährdung von Atomkraftwerken durch Beschuss oder Anbringen von Sprengladungen](#) in der Ukraine (Saporoschje) und in Russland (Kursk) anno 2023 lassen nicht erkennen [\[123\]](#), dass die Menschheit gelernt hat, mit dem Gefahrenpotential dieser Energieform hinreichend verantwortungsvoll genug umzugehen. Ebenso wenig ist zu erkennen, dass der besondere Schutz, unter den [ein Atomkraftwerk als "gefährliche Anlage" in der Genfer Konvention](#) (Art. 56 Abs.1./Seite 1 des 1. Zusatzprotokolls) gestellt ist, wirkliche Beachtung findet [\[124\]](#).

Wie die Atomkatastrophe von Fukushima die Welt erschüttert hat und welche Konsequenzen einzelne Länder wie Deutschland daraus gezogen haben, legt 'planet-schule.de' dar (Video "[Kernkraft](#)", 14m40). Es stellt sich heraus, auch ein atomarer Rückbau vor allem bei ungeklärter Endlagerfrage eine Herausforderung darstellt, die so schnell nicht zu lösen sein wird [\[125\]](#).

Auf die Problematik der Atombomben und die bei ihrer Entwicklung durchgeführten Tests gehe ich in [Kap.5](#) kurz ein.

### 4.5 Gesundheitsprobleme durch Radioaktivität und Schwermetalle

[▶ Inhalte](#)

#### 4.5.1 Strahlenrisiken nicht abschließend geklärt

Zur [Strahlenempfindlichkeit des menschlichen Lebens](#) hat die Scherb-Gruppe im Münchner Helmholtz-Zentrum herausgefunden [\[126\]](#): Von 1981 bis 1995 kamen in einem Radius von 40km um das Zwischenlager Gorleben 6'939 Jungen und 6'922 Mädchen zur Welt, das Geschlechterverhältnis lag bei 1,0025. Für den Zeitraum 1996 bis 2010 springt es auf 1,0865: den 12'047 Jungen stehen nur 11'088 Mädchen gegenüber, fast tausend zu wenig. Auch mehrfach variierte Rechenmethoden und veränderte Radien belegen: das Ergebnis ist eindeutig, wie auch das niedersächsische Landesgesundheitsamt amtlich bestätigt. Bei den Lebendgeburten nach Tschernobyl sah Scherb dasselbe Phänomen wie in der Nähe von vier der insgesamt 32 Atomstandorte Europas. Daraus ergibt sich die zwingende Schlussfolgerung: Ionisierende Strahlung kann auch unterhalb der Grenzwerte die Geburtenstatistik verändern. Denn es ist unbestritten, dass weibliche Organismen 1,5- bis 2-mal empfindlicher auf ionisierende Strahlung reagieren als männliche.

Die aktuellen [Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission](#) (ICRP) von 2007 sind teilweise überholt, insbesondere, was den linearen Ansatz betrifft ([\[127\]](#), Seite 42 Absatz 36 bzw. Seite 49 Absatz 64 und 65 bzw. Seite 55 Abs. 99). Immerhin wird von der ICRP gesagt, dass bei Strahlendosen unter 100mSv Unsicherheit bzgl. des Strahlenrisikos für Krebs besteht (Seite 48 Absatz 62). Die Resultate von mehr als 20 in den Jahren 2008 bis 2023 erstellten epidemiologischen Studien zeigen dann aber eindeutig [erhöhte gesundheitliche Strahlenrisiken für Krebserkrankungen im Niedrigdosisbereich](#) auf [\[128\]](#).

#### 4.5.2 Folgen radioaktiver Strahlung

[▶ Inhalte](#)

Hier spreche ich nur mir direkt zugängliche Probleme im Zusammenhang mit der Nutzung der Atomkraft an, soweit sie über in [Kap.4.1](#) bis [Kap.4.4](#) an verschiedenen Stellen angesprochenen Erfahrungen hinausgehen oder diese ergänzen.

Der US-Flugzeugträgers USS Ronald Reagan war nach den GAUs in Fukushima nicht das einzige US-amerikanische Schiff vor der japanischen Küste, das wegen des Tsunami erste Hilfe leisten sollte. Insgesamt waren gut 5'000 Soldaten im Einsatz. Doch die Besatzung der Reagan traf es besonders schwer, denn sie konnte über zweieinhalb Monate nirgendwo anlanden. Japan, Korea und Guam wollten das kontaminierte Schiff nicht in einen Hafen

lassen. In dieser Zeit zeigten sich bei den Soldaten erste Auswirkungen der Strahlung: Sie litten laut einer Betroffenen an starkem Durchfall. Letztendlich erteilte nur Thailand dem Flugzeugträger eine Anlegeerlaubnis. Die Besatzung konnte in die USA zurückkehren. Doch [viele von ihnen leiden heute noch unter den Folgen der Strahlung \[129\]](#): Leukämie, gynäkologische Blutungen, Probleme mit der Schilddrüse, Polypen, Hodenkrebs, Hirntumor und Blindheit traten bei den Soldaten auf. "Die Liste geht leider noch weiter und weiter", sagt Anwalt Paul C. Garner, der die Klage der Betroffenen Besatzungsmitglieder gegenüber dem Betreiber Tepco vertritt.

Die Zahl der [durch den Uranerzbergbau in Sachsen und Thüringen verursachten Lungenkrebs-Fälle](#) hat sich von 1991 bis 2013 um 3'700 Fälle erhöht [\[130\]](#). Bis 1990 waren bereits 5'500 Fälle der zumeist tödlich verlaufenden Krankheit festgestellt worden. Es handelt sich um anerkannte Berufskrankheiten. Die "normale" Wohnbevölkerung, die nicht bei dem DDR-Unternehmen Wismut gearbeitet hat, ist somit noch nicht berücksichtigt.

Hinsichtlich der gesundheitlichen Probleme durch die Uran-haltige Munition verweise ich auf [Kap.4.3.2](#) in dieser Ausarbeitung.

#### 4.5.3 Maßeinheiten radioaktiver Strahlung

[► Inhalte](#)

Abschließend eine Auflistung der **Maßeinheiten** zur [Messung von Radioaktivität \[130a\]](#):

- Radioaktivität: Abgeben von ionisierender Strahlung pro Sekunde = 1 Becquerel
- Dosis: aufgenommene ionisierende Strahlung wird unterschieden nach Energiedosis; 1 Gray (früher 1 Rad) entspricht einer aufgenommenen Energie von 1 Joule pro Kilogramm; 3-4.5 Gray können tödlich sein) und Äquivalentdosis (früher Organdosis), die in Sv = Sievert (früher in rem: 1 rem = 10 mSv) gemessen wird.
- Intensität der Strahlung (Dosisleistung) ist Dosis pro Zeiteinheit, z.B. Sv/a (Sievert pro Jahr)

Beim Bundesamt für Strahlenschutz können [Grenzwerte](#) eingesehen werden [\[130b\]](#).

#### 4.6 Für das Stromnetz relevante Aspekte der Kernenergie

[► Inhalte](#)

Aus meiner Berufserfahrung heraus muss ich darauf hinweisen, dass die Stabilität der Frequenz in unserem Stromnetz durch Kernenergieanlagen nicht sichergestellt werden kann. Denn diese Anlagen sind nicht für schnelle Leistungsänderungen nutzbar, die es braucht, um z.B. das Zu- oder Abschalten von großen Stromverbrauchern oder den Ausfall eines Stromerzeugers auffangen zu können.

Auch ein Abschalten von Kernenergieanlagen bei dem nachts deutlich niedrigeren Stromverbrauch verbietet sich. Daher werden sie nur für den Grundlastbetrieb genutzt.

Bisher sehe ich die Möglichkeit der Netzstabilisierung (d.h. der [Netzfrequenz, \[131\]](#), die auch durch den stunden- oder tageweisen Ausfall von Wind- und Solaranlagen erforderlich wird, nur durch den Einsatz von Öl- und Gaskraftwerken, in eingeschränktem Maß auch durch Wasserkraft (z.B. [Pumpspeicherkraftwerke](#)) gegeben [\[131a\]](#).

### 5. Gesamtsichten

[► Inhalte](#)

#### 5.1 Empirisch fundierte Sichten zu Kosten und Risiken

Das DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.) hat 2019 in seinem [DIW-Bericht 30/2019 \[132\]](#) die historischen, gegenwärtigen und zukünftigen Kosten und Risiken der Atomkraft analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass Atomkraft aufgrund radioaktiver Strahlung für über eine Million Jahre mitnichten als "sauber" bezeichnet werden kann, sondern für Mensch und Umwelt gefährlich ist. Zudem fallen hohe Risiken bezüglich Proliferation an. Eine empirische Erhebung aller jemals gebauten 674 Atomkraftwerke zeigt,

dass privatwirtschaftliche Motive von Anfang an keine Rolle gespielt haben, sondern militärische Interessen. Selbst bei Vernachlässigung der Kosten für den Rückbau der Atomkraftwerke und die langfristige Lagerung des Atommülls wären rein privatwirtschaftliche Investitionen in Atomkraftwerke mit hohen Verlusten verbunden – im Durchschnitt knapp 5 Mrd. Euro pro Kraftwerk, wie eine betriebswirtschaftliche Simulation zeigt. In Ländern, in denen noch Atomkraftwerke gebaut werden, wie etwa China und Russland, spielen private Investitionen keine Rolle. Atomkraft ist laut dem DIW-Bericht zu teuer und gefährlich und daher keine Option für eine Energieversorgung.

Das Öko-Institut e.V. hat bei seiner 124-seitigen [Analyse des Forschungsstands über neue Reaktorkonzepte](#) [133] das zusammenfassende Fazit gezogen (S.110ff), dass keines der bis 2017 bewertbaren Reaktorkonzepte in der Lage sei, "gleichzeitig in allen Bereichen Fortschritte zu erzielen. Vielfach stehen die einzelnen Kriterien untereinander im Wettbewerb, so dass Fortschritte in einem Bereich zu Nachteilen bei anderen Bereichen führen. So führen beispielsweise häufig Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit zu Nachteilen im Bereich der Ökonomie, Vorteile bei der Ressourcenausnutzung stehen vielfach im Widerspruch zu einer Verbesserung im Bereich der Proliferation. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass ein Reaktorkonzept, welches nur in einzelnen Bereichen Fortschritte bietet, zu einer deutlich verbesserten gesellschaftlichen Akzeptanz der Kernenergienutzung beitragen könnte."

Im zweiteiligen, umfangreichen Interview von Sebastian Pflugbeil durch Paul Schreyer ([Teil 1](#), [134]; [Teil 2](#), [135]) zum Thema der zunehmend in den Hintergrund geratenden Risiken der Atomenergie werden u.a. die fehlende Haftung und die Indizien für eine geheime deutsche Atomwaffenforschung, die Indizien für eine Kernexplosion in Tschernobyl, die Schäden des Unglücks in Fukushima sowie die schwankende öffentliche Meinung und "stark professionalisierte Propaganda" dargelegt. Für Pflugbeil "wäre es nicht so schwer, aus der früheren Kritik an der Kernenergie etwas für die heutigen Debatten zu lernen: Prognosen zur Kernenergie von damals trafen nicht zu, die Prognosen in der Coronazeit trafen nicht zu. Wie vernünftig ist es, auf die Prognosen zu Klimakatastrophe und zu der noch nicht vorhandenen kleinteiligen Wunderkernenergie zu setzen?"

## 5.2 Sicht zu Atomwaffen

[► Inhalte](#)

[Die Liste von Unfällen und Beinahe-Katastrophen](#) mit Atomwaffen, Atom-U-Booten und fehlerhaften Warnsystemen ist laut Axel Mayer [136] in allen Atomwaffenstaaten erschreckend lang und unvollständig. Allein die USA "vermissen" aktuell immer noch mindestens acht voll explosionsfähige, verlorene Bomben. Sogenannte Broken-Arrow-Unfälle führten in den USA, in Spanien und Grönland zu massiven radioaktiven Verseuchungen. Die USA geben 32 solcher schweren Unfälle bis 1980 öffentlich zu. Eine inoffizielle Liste spricht von über 1'000. Die tatsächliche Zahl an Bränden, Fehlzündungen oder Abstürzen atomar bestückter Flugzeuge dürfte weit größer sein.

Im Jahr 1980 stand die Welt wegen eines fehlerhaften Computers "Zwanzig Minuten am Rand eines Atomkriegs". Am 30.01.2024 stürzte eine Test-Atomrakete ab und verfehlte das abfeuernde britische Atom-U-Boot mit 16 atomar bestückten Trident-Raketen an Bord nur um wenige Meter. Beim letzten britischen Atomraketen test hat die Rakete nach Austritt aus dem Meer den Kurs in Richtung naher US-Küste geändert und konnte noch im Flug gesprengt werden. Mayer warnt vor dem mörderischen Risiko der Atomwaffen, das durch einen menschlichen oder technischen Fehler zu einer Katastrophe führen könne. In meinen Augen sind Atomwaffen, aber auch die Uran-Munition ([Kap.4.3.2](#)), für das Leben auf diesem Planeten untragbar.

## 5.3 Meine persönliche Sicht

[► Inhalte](#)

Die erlebten Katastrophen mit Kernenergieanlagen ([Kap.4.4](#)) und auch der im Ukraine-Krieg praktizierte Erpressungsversuch durch Beschuss von Atomanlagen ([Kap.4.4.3](#)) lassen

für mich nicht erkennen, dass die Menschheit mit dem Gefahrenpotential dieser Energieform hinreichend verantwortungsvoll umzugehen gewillt ist. Hierzu sei explizit auf die in Tschernobyl gemachten Erfahrungen verwiesen, die eindeutig auf menschliche Fehler zurückgehen, die m.E. weltweit nie ausgeschlossen werden können. Dazu verweise ich noch einmal auf das Buch "Verschlussache Tschernobyl" von Alla Jaroshinskaja [107], das geheime Dokumente aus dem Kreml zitiert, laut denen menschenverachtend mit der von der Katastrophe betroffenen Bevölkerung umgegangen wurde ([Kap.4.4.1](#)).

Auch die für die AKW Neckarwestheim-2 und Isar-2 beschlossene "Einsatzreserve" (Leistungsbetrieb, falls zu wenig andere Kraftwerksleistung verfügbar) bis Ende April 2023 zeugt m.E. nicht von hinreichendem Verantwortungsbewusstsein, da damit der tatsächliche Zustand der Reaktoren und die akuten, aber auch grundlegenden Sicherheitsprobleme der Meiler (siehe [Kap.2.1.1](#)) ausgeblendet wurden. Es ist auch die Frage, ob die Behauptung der GRS haltbar ist, dass es an deutschen Kernkraftanlagen keine Risse gebe.

Hinsichtlich des in [Kap.2.2.2](#) vorgestellten Dual-Fuel-Reaktors (DFR) habe ich folgende Anmerkungen zu machen: Der im Regelbetrieb drucklose Primärkreislauf des DFR müsste wohl entgegen der Darstellung im Video auf hohe Drücke ausgelegt sein, um den evtl. schlagartigen Druckaufbau bei einem Leck zwischen dem Primär- und Sekundärkreislauf (Wasser) standhalten zu können. Solch einem Druckaufbau müsste auch der Brennstoffkreislauf bis in den Ablasstank hinein standhalten können. Der Ablasstank müsste wegen der auch dort noch anfallenden Wärmeproduktion mit einem Wärmeabfuhrsystem ausgestattet sein. Offen ist die Frage, wie ein einmal abgelassener und evtl. fest gewordener Tankinhalt wieder in den Brennstoffkreislauf kommen soll. Offen scheint mir auch die Frage, wie man mit den durch das Primärkühlmittel Blei Korrosionsproblemen umgegangen werden soll. Überhaupt nicht angesprochen wird im Vortrag die evtl. auch erforderliche schnelle Steuerung/Regelung der Reaktorleistung, denn es ist nicht vorstellbar, dass zum störungsbedingten Absenken der Leistung immer der Brennstoff abgelassen werden soll, zumal dies auch nicht schnell genug möglich sein dürfte. Hinsichtlich der Weiterverwendung von weiterhin nutzbarem spaltbarem Material und von Abscheiden nicht mehr nutzbaren Materials im Brennstoffkreislauf ist zu sagen: Hierzu wurde bei den herkömmlichen Reaktoren in Form der Wiederaufbereitung eine ganze Industrie aufgebaut. Das soll beim DFR in einem Nebenprozess erledigt werden? Mir scheint, es werden einige wichtige Aspekte erst gar nicht betrachtet. Und dann soll solch ein Reaktor kurzfristig in Ruanda in einem Keller gebaut und 2026 in Betrieb genommen werden?

Es wird m.E. ebenfalls ausgeblendet, dass die Endlagerung des radioaktiven Mülls bis heute nicht geklärt ist, und auch, dass Niedersachsens Ministerpräsident Ernst Albrecht mit Tricksen, Täuschen und Lügen das Lager Gorleben gegen alle wissenschaftlichen Bedenken durchgeboxt hat, nur um der DDR eine Lektion zu erteilen ([Kap.4.2.1](#)). Dass der Reaktortyp DFR das Endlagerproblem lösen kann, steht für mich noch in den Sternen. Auch manche der auf verantwortungreiche Posten gehobenen Personen im Bereich der End- und Zwischenlagerung ([Kap.4.3.1](#)) oder die Verbandelung von Politikern mit der Atom-Lobby ([Kap.4.2](#)) sind als fragwürdig zu bezeichnen.

Wie zukunftsfähig die Kernkraft hinsichtlich der verfügbaren Ressourcen ist, darüber gehen die Meinungen in den unterschiedlichen Lagern deutlich auseinander; die Spanne reichte 2006 laut einer Bundestagsstudie von 50 bis 150 Jahre, während eine Schweizer Studie von 2013 schon für die laufenden Kernkraftwerke nicht mehr genug Brennstoff ausmachen konnte (s. [Kap.1.1.1](#)).

Auch wenn die Nutzung des Brennstoffs für Kernenergie durch evtl. effizientere Reaktortypen (Generation IV, [Kap.2.2](#)) etwas entspannt werden könnte, bleiben die grundsätzlichen Bedenken hinsichtlich des menschlichen Umgangs mit den aus der Technologie prinzipiell erwachsenden Gefahren bestehen. Denn es ist m.E. zu bezweifeln, dass durch menschliches Entscheiden und Agieren die angeblich besseren Sicherheitsbarrieren neuer Reaktortypen ("mindestens so sicher und zuverlässig wie die aktuellen Reaktormodelle")

nicht auch bewusst außer Betrieb gesetzt werden – genauso wie in Tschernobyl ganze sicherheitsrelevante Teilsysteme abgeschaltet wurden und gegen die grundsätzlich vorgeschriebene Betriebsweise verstoßen wurde.

## 5.4 Offene Fragen

[► Inhalte](#)

Es bleiben ein paar spannende Fragen offen, wie:

- Wann lassen die Herrscher dieser Welt, die auch gerne von nachhaltigem Wirtschaften reden, endlich die Erkenntnis an sich heran, dass Kriege die größte reale Verschwendung von Ressourcen ist?
- Wann lassen die profitorientierten Unternehmen endlich an sich heran, dass der Bau von immer energieintensiveren Produkten und Anlagen, wie z.B. immer größere, schwerere und schnellere Automobile oder sogenannte KI-Zentren, der offensichtlich begrenzten Verfügbarkeit von Energie nicht gerecht wird?
- Wie kann die Menschheit angesichts der beschränkten zeitlichen Verfügbarkeit der aktuell ins Auge gefassten Energieressourcen ihren Energiebedarf auf Dauer und umweltschonend befriedigen? Ein Verteufeln der Nutzung von fossilen Energien, um eine angeblich drohende "menschengemachte" Klimakatastrophe abzuwenden, hilft nicht, sondern verschärft das Energieversorgungsproblem. Im Zusammenhang mit dem angeblich zur Abwendung einer Klimakatastrophe laufenden Versuchen, mit Geo-Engineering die Sonneneinstrahlung zu reduzieren, sollte vielleicht auch überlegt werden, welche Folgen das Ausbringen von Stoffen in der oberen Atmosphäre noch haben kann, wie z.B. Reflexion von Wärmestrahlung der Erde in Richtung Erde oder katastrophale Niederschlagsmengen. Oder welche Folgen das Erzeugen von gewaltigen Magnetfeldern und deren Zusammenbrechen durch menschengemachte Einrichtungen wie HAARP haben kann.

Neben einer sinnvollen Nutzung von Wasserkraft, Wind- und Solarenergie sollte bei der Suche nach weiteren Energiequellen auch die von [Thomas Gold](#) in seinem Buch [\[137\]](#) aufgeworfene These ernsthaft überprüft werden, dass "fossile" Energieträger aus den im Erdinneren vorhandenen Kohlenwasserstoffen unter Mitwirkung von hitzeresistenten Mikroben kontinuierlich entstehen und damit [nahezu unerschöpflich](#) seien [\[138\]](#).

## 6. Quellen

[► Inhalte](#)

Hier werden die in den vorstehenden Kapiteln hinterlegten Links entsprechend der zusätzlich zugeordneten Quellen-Nummer, z.B. [\[6\]](#), aufgelistet. Aufgrund von Überarbeitungen wurde bei manchen Quellen-Nummern Untergliederungen (z.B. [\[81a\]](#)) eingebracht.

- Zur [Einführung](#)

[1] <https://www.oecd-nea.org/dbcps/bibliography/KNK-references.htm>

- Zum [Vorwort](#)

[2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kernenergie>

[3] [http://schrewe.wp.hs-hannover.de/public/www/Informationskreis\\_Kernenergie/Broschueren/BasiswissenKernenergie2006.pdf](http://schrewe.wp.hs-hannover.de/public/www/Informationskreis_Kernenergie/Broschueren/BasiswissenKernenergie2006.pdf)

[4] <https://register.dpma.de/DPMAREgister/pat/register?AKZ=24014888&CURSOR=1>

[5] <https://silo.tips/download/literaturliste-bcher-stand>

- Zu [Kap.1](#), [Kap.1.1](#):

[▶ Inhalte](#)

[6]

<https://www.bundestag.de/resource/blob/509082/5594603c3ecf27933ad76d31faf89c27/uran-als-kernbrennstoff-data.pdf>

[7] <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/atomenergie-uranvorkommen-sollen-noch-jahrzehnte-reichen-a-707639.html>

[8] <https://www.welt.de/wirtschaft/article206096289/Uranreichweite-Ist-schon-in-20-Jahren-Schluss-mit-der-Atomenergie.html>

[9] <https://www.telepolis.de/news/Uran-wird-sich-drastisch-verteuern-2113708.html>

[10] <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Neue-Reaktorkonzepte.pdf>

[11] <https://www.technik-einkauf.de/rohstoffe/uran-abbau-vorkommen-und-lieferanten-928.html>

[11a] [https://de.wikipedia.org/wiki/Uran/Tabellen\\_und\\_Grafiken#Nach\\_L%C3%A4ndern](https://de.wikipedia.org/wiki/Uran/Tabellen_und_Grafiken#Nach_L%C3%A4ndern)

[12] <https://www.chemie.de/lexikon/Thorium.html>

[13] <https://www.spektrum.de/kolumne/die-vergessene-gefahr-des-thoriums/1173175>

[14] <https://www.elektroniknet.de/power/die-laender-mit-den-groessten-vorkommen.202102.html>

[15] <https://www.deutschlandfunk.de/lithium-abbau-in-suedamerika-kehrseite-der-energie-wende-100.html>; ursprünglicher Link: <https://www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/ressourcen/3788-deutschlands-lithium-vorkommen-genug-fuer-400-millionen-e-autos.html>, auch zu finden unter: <https://web.archive.org/web/20230402123854/https://www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/ressourcen/3788-deutschlands-lithium-vorkommen-genug-fuer-400-millionen-e-autos.html>

[▶ Inhalte](#)

- Zu [Kap.1.2](#):

[16] <https://www.energie-lexikon.info/kernfusion.html>

[17] <https://www.scinexx.de/dossierartikel/das-problem-des-tritiums/>

- Zu [Kap.2](#), [Kap.2.1](#):

[18] [https://de.nucleopedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Kernkraftwerke](https://de.nucleopedia.org/wiki/Liste_der_Kernkraftwerke)

[19] <https://www.grs.de/de/aktuelles/kernenergie-weltweit-2022>

[20] <https://science.orf.at/v2/stories/2770176/>

[▶ Inhalte](#)

- Zu [Kap.2.1.1](#)

[21] <https://de.wikipedia.org/wiki/Druckwasserreaktor>

[22] <https://www.grs.de/de/aktuelles/sicherheitsrelevante-schaeden-im-sicherheits-einspeisesystem-franzoesischer>

[22a] <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiekrise-atomkraftwerk-neckarwestheim-hat-risse-in-rohren/28696094.html>

[22b] [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/atomkraft/Risikofaktor-deutsche-Atomkraftwerke-BUND.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/atomkraft/Risikofaktor-deutsche-Atomkraftwerke-BUND.pdf)

[23] <https://www.rnd.de/wirtschaft/leck-in-akw-isar-2-was-die-reparatur-des-atomkraftwerks-fuer-habecks-plaene-bedeutet-K2LDFIRPGJCMBPDRVMUCLSDJRY.html>

[24] [https://www.rskonline.de/sites/default/files/reports/EP-Anlage\\_RSK532>Weiterbetrieb\\_hp.pdf](https://www.rskonline.de/sites/default/files/reports/EP-Anlage_RSK532>Weiterbetrieb_hp.pdf)

[25] <http://taz.de/Risse-in-Atomreaktoren/!154908/>

[26] <http://linkszeitung.de/akwrd150217liz.html>

[27] <https://www.dw.com/de/gef%C3%A4hrliche-risse-in-atomreaktoren/a-18269673>

[28] <https://www.br.de/nachrichten/deutschland-welt/tihange-2-riss-atom-reaktor-in-belgien-geht-vom-netz,TUX8YQQ>

• Zu [Kap.2.1.2](#)

► [Inhalte](#)

[29] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/siedewasserreaktor/13281>

[30] [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Kernreaktoren\\_in\\_Deutschland](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Kernreaktoren_in_Deutschland)

[31] <https://taz.de/AKW-Sicherheit/!5124269/>

[32] <https://wua-wien.at/images/stories/publikationen/zusammenfassung-schwachstellen-swr-69.pdf>

[33] [https://nuklearchemie.uni-koeln.de/fileadmin/einrichtungen/nuklearchemie/Diverses/Examensarbeit\\_Tobias\\_Hover.pdf](https://nuklearchemie.uni-koeln.de/fileadmin/einrichtungen/nuklearchemie/Diverses/Examensarbeit_Tobias_Hover.pdf)

[34] <https://wua-wien.at/glossar/952-rbmk>

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.2.1.3](#)

[35] <https://www.energie-lexikon.info/brutreaktor.html>

[36] <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/270032042/3813448>

• Zu [Kap.2.1.4](#)

[37] [https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk\\_THTR-300](https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_THTR-300)

[38] <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Neue-Reaktorkonzepte.pdf>

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.2.2](#), [Kap.2.2.1](#):

[39] <https://futurezone.at/science/china-thorium-reaktor-fluessigsalzreaktor-tmsr-lf1-msr-start-atomenergie/402490463>

[40] <https://www.spektrum.de/news/energiewende-china-bereitet-test-eines-thoriumreaktors-vor/1922764>

[41] <https://www.spektrum.de/video/kann-der-thorium-fluessigsalz-reaktor-die-atomkraft-retten/2065017>

[42] [https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/pdf/2017\\_Oeko-Institut\\_Gen\\_IV.pdf](https://energiestiftung.ch/files/energiestiftung/publikationen/pdf/2017_Oeko-Institut_Gen_IV.pdf); identisch mit [38]

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.2.2.2](#)

[43] <https://www.tvrbuchshop.eu/p/horst-joachim-luedecke-goetz-ruprecht-kernenergie-der-weg-in-die-zukunft>

[44] [https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Horst-Joachim\\_L%C3%BCdecke](https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Horst-Joachim_L%C3%BCdecke)

[45]

[https://www.bundestag.de/resource/blob/559738/e840605dd7ad4a44509cb9b692fad989/19-16-63-f\\_anhoerung\\_atomgesetz\\_dr\\_goetz\\_ruprecht-data.pdf](https://www.bundestag.de/resource/blob/559738/e840605dd7ad4a44509cb9b692fad989/19-16-63-f_anhoerung_atomgesetz_dr_goetz_ruprecht-data.pdf)

[46]

<https://www.bundestag.de/resource/blob/803686/9029c1122daec9568e97bd6b32fdd019/WD-8-049-20-pdf-data.pdf>

[47] <https://www.youtube.com/watch?v=aRkNChZ2puo>

[47a] <https://dual-fluid.com/de/about-us/>

[48] [https://www.endlagersuche-infoplatzform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Abfallarten/Hochradioaktive-Abfaelle/hochradioaktive-abfaelle\\_node.html](https://www.endlagersuche-infoplatzform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Abfallarten/Hochradioaktive-Abfaelle/hochradioaktive-abfaelle_node.html)

[48a] <https://de.wikipedia.org/wiki/Wirkungsgrad>

[49] <https://www.nuklearforum.ch/de/news/abkommen-ueber-den-bau-des-deutschen-dual-fluid-reaktors-ruanda>

[49a] [https://en.igihe.com/spip.php?page=mv2\\_article&id\\_article=48857](https://en.igihe.com/spip.php?page=mv2_article&id_article=48857)

[50] [https://efahrer.chip.de/news/berliner-bauen-reaktor-der-mit-atommuell-laeuft-erste-tests-in-afrika\\_1015227](https://efahrer.chip.de/news/berliner-bauen-reaktor-der-mit-atommuell-laeuft-erste-tests-in-afrika_1015227)

[51] [https://festkoerper-kernphysik.de/presentations/Handouts/2018\\_03/DFR-Handout\\_2018\\_03\\_de.pdf](https://festkoerper-kernphysik.de/presentations/Handouts/2018_03/DFR-Handout_2018_03_de.pdf)

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.3](#):

[52] <https://www.nd-aktuell.de/artikel/1168291.atomphysik-griff-nach-den-sternen.html>

[53] <https://1e9.community/t/bei-der-kernfusion-gibt-es-fortschritte-aber-wann-kommen-die-ersten-kraftwerke/16966>

[54] <https://www.youtube.com/watch?v=M2f5bb9Mrq4>

[55] <https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/8151/1/vos194.pdf>

[56] [https://ecology.at/ecology/files/pr577\\_2.pdf](https://ecology.at/ecology/files/pr577_2.pdf)

• Zu [Kap.3.1](#):

[57] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/tokamak/14587>

[58] <https://www.scinexx.de/dossierartikel/das-problem-des-tritiums/>; identisch mit [17]

[59] [https://www.ipp.mpg.de/5334385/02\\_23](https://www.ipp.mpg.de/5334385/02_23)

[60] <https://www.wolfgang-gruendinger.de/post/kann-die-kernfusion-uns-retten>

[61] <https://www.mdr.de/wissen/faszination-technik/max-planck-kompakter-fusionsreaktor-durch-x-strahler-100.html>

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.3.2](#):

[62] <https://www.spektrum.de/news/iter-noch-nicht-gebaut-schon-nicht-mehr-gebraucht/2151132>

[63] <https://www.merkur.de/welt/kernfusion-experte-laser-magnet-experiment-usa-energie-radioaktiv-reaktor-kraftwerk-91974633.html>

[64] <https://www.scinexx.de/news/physik/kernfusion-schafft-die-zuendung/>

[65] <https://www.youtube.com/watch?v=BG2aysAuGCA>

• Zu [Kap.4](#), [Kap.4.1](#):

[66a] <https://geotouren-schwarzwald.de/touren-radioaktivitaet/>

[66b] <https://www.wise-uranium.org/pdf/mzdsk.pdf>

[66c] <https://www.mitwelt.org/menzenschwand-uran-bergbau-abbau-krunkelbach>

[66d] [https://de.wikipedia.org/wiki/Grube\\_Krunkelbach](https://de.wikipedia.org/wiki/Grube_Krunkelbach)

[66e] <https://www.sueddeutsche.de/wissen/uranabbau-in-ostdeutschland-strahlende-landschaften-1.2421153>

[66f] <https://www.atomwaffena-z.info/geschichte/atomwaffentests/nuklearer-neokolonialismus>

[66g] <https://urantransport.de/hintergrund/uran-ein-rundgang-zum-thema/2-5-uranabbau-in-kanada/>

[66h] <https://zeitschrift-luxemburg.de/artikel/kampfe-um-uran-in-niger/>

[66i] <https://www.anti-spiegel.ru/2023/was-deutsche-medien-verschweigen-warum-der-niger-fuer-den-westen-so-wichtig-ist/>

► Inhalte

• Zu [Kap.4.2:](#)

[67a] <https://www.tuev-nord.de/explore/de/sicherheit/der-lange-weg-zur-gruenen-wiese/>

[67b] <https://katapult-mv.de/artikel/zwischen-abfaellen-und-neubauten/>

[67c] <https://www.tagesschau.de/inland/atomausstieg-kosten-monitor-101.html>

[68] <http://www.nachdenkseiten.de/?p=31607>

[69] <https://www.ardmediathek.de/video/monitor/atomausstieg-das-grosse-geschaeft-der-stromkonzerne/das-erste/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWl0cmFnLTc4OTU5NDlkLTI0OTAtMTFINS1hOWE3LTUyMjFhZiBjMmJiNQ>

[70] [http://www.nachdenkseiten.de/upload/pdf/170102\\_Bontrup-Anhoerung-Bundestag-Kerntechnische-Entsorgung-b.pdf](http://www.nachdenkseiten.de/upload/pdf/170102_Bontrup-Anhoerung-Bundestag-Kerntechnische-Entsorgung-b.pdf)

► Inhalte

• Zu [Kap.4.3](#), [Kap.4.3.1](#), [Kap.4.3.1.1:](#)

[71] <https://der-andere-film.ch/filme/filme/titel/def/die-reise-zum-sichersten-ort-der-erde-1>

[72] <https://diereisezum-sichersten-ort-der-erde.ch/de/2013-08-27-08-39-18/synopsis.html>

• Zu [Kap.4.3.1.2](#)

[73] <https://www.ag-schacht-konrad.de/asse-ii/chronik>

[74] <https://www.energie-chronik.de/090808.htm>

[75] <https://www.ndr.de/geschichte/schauplaetze/Gorleben-und-der-Atommuell-Eine-Chronik,gorlebenchronik2.html>

[76] <https://www.dw.com/de/gorleben-wird-endg%C3%BCtig-stillgelegt/a-59217112>

[77a]

[https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig\\_harz\\_goettingen/Atommuell-Endlager-Schacht-Konrad-wird-noch-spaeter-fertig,schachtkonrad398.html](https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/braunschweig_harz_goettingen/Atommuell-Endlager-Schacht-Konrad-wird-noch-spaeter-fertig,schachtkonrad398.html)

[77b]

[https://www.bge.de/fileadmin/user\\_upload/Konrad/Wesentliche\\_Unterlagen/Genehmigungsunterlagen/Planfeststellungsbeschluss\\_Endlager\\_Konrad\\_vom\\_22\\_Mai\\_2002.pdf](https://www.bge.de/fileadmin/user_upload/Konrad/Wesentliche_Unterlagen/Genehmigungsunterlagen/Planfeststellungsbeschluss_Endlager_Konrad_vom_22_Mai_2002.pdf)

[77c] <https://www.nd-aktuell.de/artikel/1178643.atommuell-niedersachsen-gruener-umweltminister-erlaubt-weiterbau-eines-atomaren-endlagers.html>

[77d] <https://niedersachsen.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/energie/30031.html>

[78] <https://www.atommuellreport.de/daten/detail/asse-ii.html>

[79] [https://waagwf.files.wordpress.com/2020/06/asse\\_durchblicke\\_nr11\\_web-120dpi.pdf](https://waagwf.files.wordpress.com/2020/06/asse_durchblicke_nr11_web-120dpi.pdf)

► Inhalte

• Zu [Kap.4.3.1.3](#)

[80]

[https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Charakterisierung\\_Wirtsgesteine\\_geotech\\_Barrieren/3\\_Kristallingestein/1994-11-00\\_BGR\\_kristallinstudie.pdf?blob=publicationFile&v=7](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Charakterisierung_Wirtsgesteine_geotech_Barrieren/3_Kristallingestein/1994-11-00_BGR_kristallinstudie.pdf?blob=publicationFile&v=7)

[81] <https://taz.de/Plan-fuer-Atommuelllager/!5951274/>

[81a] <https://www.rnd.de/politik/atommuell-endlager-standort-wohl-erst-im-jahr-2074-KHURSO6GP5C2ZIERWLZIMW3N2Q.html>

• Zu [Kap.4.3.1.4](#)

[82] <https://wendland-net.de/post/wolfram-koenig-wird-praesident-der-endlager-genehmigungsbehoerde-57313>

[83] <https://www.youtube.com/watch?v=mE6s7kj55gA>

[84] <https://waagwf.wordpress.com/2016/05/08/stadtortsuche-zwischenlage-betreiber-von-asse-ii-bestaetigt-sich-selbst/>

[85] <https://wendland-net.de/post/endlager-kommission-arger-ueber-personalien-29380>

[86] <https://taz.de/Raegung-der-Asse/!5618636/>

► Inhalte

• Zu [Kap.4.3.1.5](#)

[87] <https://waagwf.wordpress.com/2014/06/21/die-endlagerung-hochradioaktiver-abfalle-gibt-es-noch-nirgendwo-von-herman-damveld/>

[88] <https://www.telepolis.de/news/Japanische-Regierung-haelt-im-Entwurf-eines-Energieplans-an-zentraler-Bedeutung-von-Atomenergie-fest-2101829.html>

[89] <https://www.fr.de/meinung/japans-nuklear-irrweg-92229805.html>

[90] [https://www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Loesungen-anderer-Laender/loesungen-anderer-laender\\_node.html](https://www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Loesungen-anderer-Laender/loesungen-anderer-laender_node.html)

[91] <https://www.stern.de/digital/technik/ab-ins-granit-bergwerk---schweden-baut-endlager-fuer-100-000-jahre--31585984.html>

[92] [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Bilder/End\\_kooperationmitBure3\\_g.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Bilder/End_kooperationmitBure3_g.html)

[93] <https://www.base.bund.de/DE/themen/soa/endlager-weltweit/frankreich/frankreich-endlager.html>

[94] [https://www.base.bund.de/DE/themen/soa/endlager-weltweit/schweiz/schweiz\\_node.html](https://www.base.bund.de/DE/themen/soa/endlager-weltweit/schweiz/schweiz_node.html)

[95] <https://www.morgenpost.de/politik/article238137567/atommuell-endlager-atom-reste-schutt-lager-all-loesung.html>

[96] <https://www.zdf.de/funk/kurzgesagt-11090/funk-warum-schiessen-wir-atommuell-nicht-einfach-ins-weltall-102.html>

► Inhalte

• Zu [Kap.4.3.2:](#)

[97] <https://de.nucleopedia.org/wiki/Anreicherung>

[98] [http://www.uranmunition.net/files/Faktensammlung\\_Uranwaffen\\_Frieder\\_Wagner.pdf](http://www.uranmunition.net/files/Faktensammlung_Uranwaffen_Frieder_Wagner.pdf)

[99] <http://www.nrhz.de/flyer/beitrag.php?id=20120>

[100] <https://www.telepolis.de/features/Steht-der-Einsatz-von-Uran-Munition-in-der-Ukraine-bevor-7666615.html?seite=all>

[101] <https://www.merkur.de/politik/unter-gaza-knacken-bodenoffensive-aktuell-krieg-in-israel-bunkerbrecher-koennen-hamas-tunnel-zr-92577743.html>

► Inhalte

• Zu [Kap.4.4](#), [Kap.4.4.1](#)

[102] [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_von\\_Unf%C3%A4llen\\_in\\_kerntechnischen\\_Anlagen](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Unf%C3%A4llen_in_kerntechnischen_Anlagen)

[103] <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/tschernobyl-der-super-gau-im-protokoll-a-1089220.html>

[104] <https://www.ardmediathek.de/video/planet-schule/die-schlacht-von-tschernobyl/swr/Y3JpZDovL3BsYW5ldC1zY2h1bGUuZGUvQVJEXzg0OTFfdmlkZW8>

[105] <https://www.youtube.com/watch?v=YtlpUe5XghY>

[106] [https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/tschernobyl-die-letzten-liquidatoren-1624061.html?printPagedArticle=true#pageIndex\\_all](https://www.faz.net/aktuell/feuilleton/tschernobyl-die-letzten-liquidatoren-1624061.html?printPagedArticle=true#pageIndex_all)

- [107] <https://basisdruck.de/produkt/alla-jaroshinskaja-verschlussache-tschernoby/>
- [107a] <https://www.lpb-bw.de/tschernoby/>
- [108] [https://opus4.kobv.de/opus4-fau/files/14579/JakobFelsberger\\_OPUS.pdf](https://opus4.kobv.de/opus4-fau/files/14579/JakobFelsberger_OPUS.pdf)
- [109] [https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/ura/Radioaktivit%C3%A4t\\_und\\_Lebensmittel.pdf.download.pdf/Radioaktivit%C3%A4t\\_und\\_Lebensmittel.pdf](https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/ura/Radioaktivit%C3%A4t_und_Lebensmittel.pdf.download.pdf/Radioaktivit%C3%A4t_und_Lebensmittel.pdf)
- [110] <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/radiologische-ereignisse-notfallvorsorge/freisetzung-von-radioaktivitaet/tschernoby1/chapitre1.html>
- [111] <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/radiologische-ereignisse-notfallvorsorge/freisetzung-von-radioaktivitaet/tschernoby1/chapitre2.html>
- [112] <https://www.lebenshaus-alb.de/magazin/012935.html>
- [113] [https://odlinfo.bfs.de/ODL/DE/home/home\\_node.html](https://odlinfo.bfs.de/ODL/DE/home/home_node.html)
- [114] [https://odlinfo.bfs.de/ODL/DE/themen/wo-stehen-die-sonden/karte\\_documents/Messstelle.html?id=091841351](https://odlinfo.bfs.de/ODL/DE/themen/wo-stehen-die-sonden/karte_documents/Messstelle.html?id=091841351)

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.4.4.2](#)

- [115] [https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe\\_von\\_Fukushima/Chronik](https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Fukushima/Chronik)
- [116] [https://nuklearchemie.uni-koeln.de/fileadmin/einrichtungen/nuclearchemie/Diverses/Examensarbeit\\_Tobias\\_Hover.pdf](https://nuklearchemie.uni-koeln.de/fileadmin/einrichtungen/nuclearchemie/Diverses/Examensarbeit_Tobias_Hover.pdf)
- [117] <https://www.telepolis.de/news/Fukushima-Noch-hoehere-Werte-an-leckenden-Tanks-gemessen-2000980.html>
- [118] <https://linkszeitung.de/akwjap131006liz.html>
- [119] <https://www.n-tv.de/panorama/Strahlung-um-Fukushima-steigt-drastisch-article11520166.html>
- [120] <https://www.derstandard.de/story/3000000183797/radioaktives-fukushima-abwasser-im-ozean-erhitzt-die-gemueter>
- [121] <https://de.wikipedia.org/wiki/Tritium>
- [121a] <https://www.nd-aktuell.de/artikel/1180891.atomenergie-akw-gipfel-mit-strahlkraft.html>
- [122] <https://www.derstandard.at/story/3000000183783/japan-leitet-rafukushima-kuehlwasser-ins-meer>

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.4.4.3](#)

- [123] [https://www.anti-spiegel.ru/2023/die-ukraine-greift-immer-wieder-russische-atomkraftwerke-an/?doing\\_wp\\_cron=1699041457.5481150150299072265625](https://www.anti-spiegel.ru/2023/die-ukraine-greift-immer-wieder-russische-atomkraftwerke-an/?doing_wp_cron=1699041457.5481150150299072265625)
- [124] <https://www.ippnw.de/frieden/konflikte-kriege/ukraine/artikel/de/die-aktuelle-situation-der-atomanlag.html>
- [125] <https://www.planet-schule.de/schwerpunkt/total-phaenomenal-energie/kernkraft-fassung-2016-film-100.html>

• Zu [Kap.4.5](#)

- [126] <http://www.taz.de/!130519/>
- [127] [https://www.icrp.org/docs/P103\\_German.pdf](https://www.icrp.org/docs/P103_German.pdf)
- [128] <https://saez.swisshealthweb.ch/de/article/doi/saez.2022.20871>
- [129] <http://bazonline.ch/ausland/amerika/Krebs-und-Hirntumor-USSoldaten-verklagen-Tepco/story/18997738>; ersatzweise: <https://www.tagesschau.de/ausland/japan-fukushima-schilddruesenkrebs-101.html>

[130] <https://www.welt.de/gesundheit/article106234136/Mehr-Wismut-Mitarbeiter-an-Lungenkrebs-erkrankt.html>

[130a] <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/wer-macht-was/messen/messen.html>

[130b]

[https://www.bfs.de/SharedDocs/FAQs/BfS/DE/ion/ion/grenzwerte.html;jsessionid=49B04199F3793853C6DA2E97DB4A6.2\\_cid390](https://www.bfs.de/SharedDocs/FAQs/BfS/DE/ion/ion/grenzwerte.html;jsessionid=49B04199F3793853C6DA2E97DB4A6.2_cid390)

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.4.6](#)

[131] <https://www.netzfrequenz.info/aktuelle-netzfrequenz-full>

[131a] <https://www.planet-schule.de/frage-trifft-antwort/video/detail/wie-funktioniert-ein-pumpspeicherkraftwerk.html>

• Zu [Kap.5](#), [Kap.5.1](#)

[132] [https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw\\_01.c.670466.de/19-30-1.pdf?pk\\_campaign=nl190815&pk\\_kwd=mediadiw&pk\\_source=mail](https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.670466.de/19-30-1.pdf?pk_campaign=nl190815&pk_kwd=mediadiw&pk_source=mail)

[133] <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Neue-Reaktorkonzepte.pdf>

[134] <https://multipolar-magazin.de/artikel/pflugbeil-interview-teil-1>

[135] <https://multipolar-magazin.de/artikel/pflugbeil-interview-teil-2>

► [Inhalte](#)

• Zu [Kap.5.2](#)

[136] <https://www.lebenshaus-alb.de/magazin/015058.html>

• Zu [Kap.5.4](#)

[137] <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4612-1400-7>

[138] <https://tkp.at/2023/07/05/das-gefaehrlichste-buch-der-welt/>