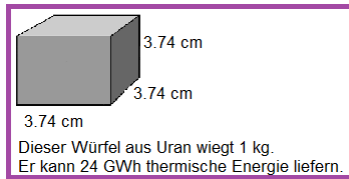


Götz Ruprecht zum Dual Fluid Reaktor^[1]

Die Einleitung, klärenden Zwischentitel, die Quellen und die Bemerkungen in [...] sind von mir.



Einleitung

KERNSPALTUNG Die gewaltige Menge an Energie^[2], die bei der Spaltung von Atomkernen frei wird, wird erst seit etwa 80 Jahren genutzt. 1938 experimentierten die Chemiker Otto Hahn und Fritz Strassmann nach den Vorgaben von Enrico Fermi mit Uran. Sie beschossen es mit Neutronen. Die Physikerin Lise Meitner und ihr Neffe Otto Frisch fanden heraus, dass den beiden Deutschen eine Kernspaltung gelungen

war. Das Uran hatte sich in Barium und ein anderes Element (wahrscheinlich Krypton) verwandelt.

ATOMBOMBEN Leider wurde diese Energiequelle zuerst einmal für ein Macho-Gehabe missbraucht. Die Menschheit geriet wegen der Atombomben in Angst und Schrecken. Darunter litt auch die zivile, also friedliche Anwendung. Besorgte Leute demonstrierten gegen den Bau von Kernkraftwerken. Militante Gegner ketteten sich an Gleisen fest, auf denen Castoren transportiert werden.

ATOMKATASTROPHEN In Tschernobyl lief 1986 ein Experiment aus dem Ruder. Die Katastrophe hätte sich bei einem normalen Betrieb nicht ereignet. 2011 wurde in Fukushima wegen eines Seebebens ein Kernkraftwerk beschädigt. Daraufhin verloren Politiker und Politikerinnen in Deutschland und der Schweiz den Kopf. Bei uns wurde im Zuge einer „Energiewende“ der Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen. Das erste Opfer wurde das KKW in Mühleberg. Obwohl man es noch länger hätte laufen lassen können, wird es jetzt abgerissen.

KLIMAGESPENST Auch es trägt zur angeblich nötigen Energiewende bei. Diese verlangt einen Ausstieg aus den fossilen Energieträgern. Erdöl, Erdgas und Kohle sollen verboten werden. Dahinter steckt die Behauptung, das CO₂ sei in der Lage, die Erde in katastrophaler Weise zu erwärmen. Allerdings kann selbst das IPCC diesen angeblichen Einfluss nicht genau beziffern und muss sich mit Schätzungen begnügen. ^[29]

ENERGIEWENDE Die Energiewende ist gescheitert oder sieht ganz anders aus, etwa so, wie sie Götz Ruprecht in seinem Video beschreibt. ^[30]

SMR Im folgenden Video ist auch von einem SMR die Rede. Ein SMR ist ein Small Modular Reactor, also einfach ein kleiner, modularer Reaktor. Damit ist noch nicht gesagt, wie er funktioniert.

Es gibt davon schon mehrere Typen. Einige sind auch bereits gebaut. Für einen Laien wie mich ist es schwierig, sie miteinander zu vergleichen. Am besten ist es zu versuchen, die Mängel der bisher gebauten Reaktoren zusammen zu stellen.

1: Bisher gebaute Reaktoren können nur etwa 5% der Energie, die in der Uranspaltung steckt, gewinnen.

2: Sie benötigen ²³⁵U. Die Anreicherung produziert aus 7 Tonnen Natururan 1 Tonne mit angereichertem ²³⁵U.

3: 95% des Brennstoffs müssen als sogenannter Atommüll endgelagert werden.

4: Sie müssen zusätzlich gekühlt werden.

5: Eine Überhitzung führt zu einer Kernschmelze und zu einer nuklearen Katastrophe.

Der im folgenden Video vorgestellte Dual Fluid Reaktor hat diese Mängel nicht. Wie weit das auch auf die die anderen SMR zutrifft, weiss ich gerade nicht.

VIDEO In einem Video stellt Dr. Götz Ruprecht einen Kernreaktor der neusten Generation vor. Die Fragen, die man ihm stellt, sind fett gedruckt, seine Antworten in normaler Schrift. Ich habe sie fast wortwörtlich wiedergegeben.

Stellen Sie ihr Projekt kurz vor.

Die Dual Fluid Inc. hat sich das Ziel gesetzt, in 10 Jahren einen Reaktor auf den Markt zu bringen. Das neue Prinzip wurde patentiert. Er

- arbeitet effizienter als herkömmliche Typen,
- verkleinert die Abfall-Berge für das Endlager,
- kann dank der hohen Temperatur synthetische Kraftstoffe und
- Wasserstoff kostengünstig herstellen.

Aktuell sind die Kleinreaktorprojekte (SMR) weltweit im Gespräch. Bill Gates und die Chinesen investieren sehr hohe Summen in deren Entwicklung. Was aber ist der Unterschied zu ihrem Dual Fluid Reaktor?

„SMR“ heisst „Small Modular Reactor“. Das bedeutet, dass diese Reaktoren klein sind. Zurzeit sind die Druckwasser-Reaktoren weltweit im Einsatz; aber auch diese haben sich aus kleinen Anlagen entwickelt, die in Schiffen zum Einsatz kamen. Man begann kurz nach dem 2. Weltkrieg, sie zu entwickeln. Später wurden sie für zivile Anwendungen vergrössert. Allerdings gibt es einen militärischen Hintergrund.

Nun möchte man sie wieder klein und modular^[3] machen. Dafür gibt es einen guten Grund.

-Um einen grossen Reaktor bauen zu können, braucht es Jahre, bis alle Bewilligungen erteilt worden sind.

-Für einen kleinen Reaktor genügen Serien-Lizenzen^[2].

-Die Kosten pro Kilowattstunde allerdings werden nicht sinken.

Und was ist der technologische Unterschied?

FLÜSSIGER BRENNSTOFF Im Dual Fluid Reaktor (DFR) ist der Brennstoff flüssig und nicht in festen Stäben. Das ist eine bereits seit Jahren bekannte Technologie, die aber leider nie umgesetzt wurde.

Beim Spalten des Urans mit Neutronen entstehen auch Elemente, die den Prozess behindern und zum Stillstand kommen lassen. Wenn der Brennstoff flüssig ist, kann man ihn ständig von diesen störenden Produkten reinigen. Bei festen Brennstäben ist das nicht möglich. Sie müssen ausgebaut werden.

Ein herkömmlicher Reaktor kann sich überhitzen und der Kern schmelzen.^[4] Auch der DFR kann sich erhitzen; aber mithilfe von Schmelzsicherungen kühlt er sich wieder von selbst. Das funktioniert wie folgt: An verschiedenen Stellen in diesem Kreislauf befinden sich abzweigende Rohrstücke. Sie sind mit einer Kühlmanschette umgeben, die den an sich flüssigen Brennstoff kühlt und erstarren lässt. Falls dieser zu heiss wird oder der Strom, der zur Kühlung benötigt wird, ausfällt, schmilzt dieser Pfropfen und der Brennstoff kann abfließen. Die Spaltung wird beendet.

DUAL FLUID Die eine Flüssigkeit enthält den Brennstoff.^[6] Die andere kühlt den Reaktor und besteht aus flüssigem Blei. [Dieses flüssige Blei^[5] erhitzt in einem Wärmetauscher superkritisches Wasser^[7] oder Kohlenstoffdioxid, die eine Turbine antreiben, welche wiederum einen Generator antreibt, der elektrische Energie liefert.]

KERNSPALTUNG Im Reaktorkern schwirren Neutronen herum. Die Kettenreaktion kommt dadurch zustande, dass solche Neutronen auf Atomkerne treffen und diese spalten. Dabei werden enorme Energiemengen^[8] und neue Neutronen freigesetzt, die wiederum andere Kerne spalten. Im Atomreaktor wird dafür gesorgt, dass diese Kettenreaktion geordnet abläuft.^[9]

REAKTOR ERWÄRMT SICH Was passiert, wenn sich ein Reaktor [unkontrolliert] erwärmt? Als Beispiel dient Tschernobyl. Bei diesem Typ führt eine Erwärmung dazu, dass noch mehr Neutronen freigesetzt werden. Der DFR reagiert anders. Bei Erwärmung nimmt die Kettenreaktion rapide ab, während sie beim Abkühlen wieder zunimmt. Er reguliert sich also selbst. Es sind also keine Regelstäbe und keine Mechanik nötig.

BAUART Der DFR kann auch sehr klein gebaut werden und etwa 1/10 des Volumens bestehender Reaktortypen haben. Deshalb ist es möglich, Materialien zu benutzen, die sehr teuer, aber geeignet sind, die etwa 1000°C Betriebstemperatur auszuhalten. Herkömmliche Reaktoren arbeiten bei etwa 350°C. Ab etwa 900°C eröffnen sich neue Möglichkeiten der Wasserstoffgewinnung. Sie wird so preiswert, dass er billiger als die fossilen Kraftstoffe wird. Damit lässt sich eine Energie-Wende realisieren, die nicht nur, wie jetzt, auf den Sektor „Elektrizität“ beschränkt ist.

Aber dauert die Umsetzung des Dual Fluid Reaktor-Projekts nicht zu lange und liegen die Kosten hier nicht auch zu hoch?

Es besteht der Vorwurf, der DFR sei nur ein Papierkonzept. Die 10 Jahre bis zur Serienreife seien viel zu lang. Damit kann man jede neue Technologie totreden. Man kann auch anders argumentieren: Wenn sie so gut ist, dann ist es höchste Zeit, sie in Angriff zu nehmen!

Wenn man wirklich will, kann man das Konzept schneller umsetzen. Man muss dann parallel arbeiten. Man könnte schon in 5 Jahren einen serienreifen Reaktor haben. Ein Prototyp könnte in 3 Jahren realisiert werden. Dabei sind 10 Jahre nicht einmal so lang. Die „Energiewende“ dauert schon länger.

Stehen ihnen dabei hier die Gesetze und bürokratischen Verordnungen im Weg?

Bei der Kernenergie spielen Verordnungen wegen Sicherheitsaspekten eine grosse Rolle. Die Behörden können natürlich bremsen.^[10] In Kanada sind sie uns freundlicher gesinnt. In Deutschland gibt es den Ausstieg aus der Kernenergie.^[11] Es ist verboten, eine der 4 Naturkräfte zu nutzen.^[12] Selbst wenn es in den Behörden vernünftige Leute gibt, werden sie von der Politik behindert.

Apropos Politik. In Frankreich z.B. steht man ja eher positiv zur Kernenergie und möchte diese auch weiter ausbauen.

Frankreich ist fokussiert auf Druckwasser-Reaktoren.^[13] Es produziert damit um die 70% seiner elektrischen Energie.^[14]

Also beziehen wir hier in Deutschland dann noch mehr Energie aus Polen?

Polen will in die Kernenergie einsteigen. In Deutschland wird es sich wohl auch wieder ändern. Es ist ein hoch entwickeltes Industrieland. Ich nehme an, dass auch hier eine wirkliche Energiewende kommt.

Zurück zur Technik. Wie hoch ist die durchschnittliche Leistung eines Dual Fluid Reaktors?

Das kann man festlegen. Für die Versorgung einer Stadt, zum Beispiel Berlin, sind 1 bis 1.5 GW elektrischer Leistung üblich. Ein Reaktor mit 300 MW Leistung gilt gerade noch als SMR.

Wieviel Material und Fläche benötigt man für solch einen Reaktor?

Unser Reaktor ist klein^[15] und lässt sich komplett in der Erde versenken. Das erhöht die Sicherheit gegenüber terroristischen Anschlägen. Die übrigen Anlagen, Turbine und Generator, bleiben sich gleich.

Herkömmliche AKW's müssen ja immer mal wieder für Wartungen abgeschaltet werden. Wie sieht es da beim Dual Fluid Reaktor aus?

Der grosse Reaktor ist für einen Dauerbetrieb ausgerichtet. Im Prinzip kann er ewig laufen. Man kann ständig Brennstoff nachfüllen und die störenden Stoffe entfernen.

Der kleine, modulare Reaktor wird als geschlossenes System angeliefert. Er kann zum Beispiel 25 Jahre funktionieren. Dann wird er ausgewechselt.

Viele AKW-Gegner befürchten durch den Einsatz von Kernenergie eine weitere gefährliche Zunahme von radioaktiver Strahlung, die unsere Gesundheit und unsere Umwelt weiter zerstören könnte.

Kerntechnik produziert radioaktive, genauer ionisierende Strahlung. In einigen Bereichen wird sie verteufelt, in anderen aber begehrt. In der Medizin ist sie ein Teil der Strahlentherapie.^[16] Die Wirkung hängt von der Dosis ab. Der DFR ist klein und kompakt. Man kann ihn leicht einbunkern. Weil in ihm kein Überdruck herrscht, wird auch bei einem Leck kaum Radioaktivität nach aussen gelangen.

Zu Fukushima ist noch anzumerken, dass kein Mensch durch Radioaktivität zu Schaden gekommen ist. Das hat die UN inzwischen bestätigt.

Liegt der Ursprung dieser Technologie nicht auch im militärischen Bereich? Beschreiben sie doch bitte kurz einmal die Geschichte der Kernkraft?

Die bestehenden Druckwasserreaktoren beruhen auf Militärtechnik. Dabei kam es nicht auf Effizienz, sondern auf Logistik an. Beispiel U-Boot. Die Brennelemente werden an Land hergestellt und [gut verpackt] ins Boot geliefert. Dabei ist es nicht wichtig, dass nur etwa 5% der Energie gewonnen werden können.

Der zivile Gesichtspunkt sieht anders aus. Man benötigt eine nachhaltige ^[17] Stromversorgung. Der sogenannte „Atom-Müll“, das sind die 95%, die nicht genutzt werden, machen das geologische Endlagerproblem aus. Er muss für mindestens 100'000 Jahre sicher gelagert werden. Wenn man auch die Energie aus diesen restlichen 95% auch noch gewinnen würde, hätte man erstens eine viel effizientere Nutzung des Brennstoffs. Das heisst auch, dass man viel weniger Uran fördern müsste und auch weniger Abfälle hätte. Diese würden nur noch aus den Spaltprodukten^[18] bestehen. Diese müssen aber nur 300 Jahre gelagert werden.

Der Abfall des DFR besteht nur aus diesen Spaltprodukten, benötigt also kein geologisches Endlager. ^[19]

Und der Uranabbau?

Uran hat eine sehr hohe Energiedichte^[8]. Man schürft immer wieder ein bisschen, und das reicht wieder für Jahrzehnte. Man hat auch begonnen, das Plutonium aus den Atomwaffen auszubauen. Auch das ist ein guter Brennstoff für Kernreaktoren. Das reicht fast ewig... Man kann, etwa im DFR, auch Thorium benutzen. Wahrscheinlich reichen die Vorräte auf der Erde für 100 Millionen Jahre. Wikipedia schreibt: „Als erneuerbare Energien (EE) oder regenerative Energien werden Energiequellen bezeichnet, die im menschlichen Zeithorizont für nachhaltige Energieversorgung praktisch unerschöpflich zur Verfügung stehen[...] oder sich verhältnismäßig schnell erneuern.“ Das heisst: Auch Kernenergie gehört dazu. ^[20]

Viele Kernkraftgegner erwähnen immer wieder, dass die Kernenergie letztlich auch zukünftig für Atombomben genutzt wird. Wie sehen sie das?

Ich halte das für einen völligen Unsinn. Kernreaktoren werden nicht mehr benutzt, um Atomwaffen herzustellen. Das war nur am Anfang so. Damals wurde mit ihnen Plutonium „gebrütet“. Wenn man heutzutage bombenfähiges Uran herstellen wollte, würde man zu Anreicherung und nicht zum vielfach teureren Umweg über einen Reaktor greifen. ^[21] Dazu kommt, dass die IAEA^[22] den Bau der Reaktoren überwacht.

Energiewende und Klimaschutz stehen aktuell ja ganz oben auf der politischen Agenda. Hat ihr Projekt auch Vorteile gegenüber erneuerbaren Energien?

Das ist offensichtlich. Die Energiedichte von Uran ist enorm. Bei einer Kernspaltung wird das 100-millionenfache an Energie im Vergleich mit der Oxidation eines Kohlenstoffatoms frei. ^[8] Je geringer die Energiedichte, umso grösser die Anlage. ^[23] [Eine Windturbine leistet um die 5 MW – falls ein geeigneter Wind weht.]

In der aktuellen Debatte beschreibt man, dass erneuerbare Energien viel kostengünstiger sind als die Kernkraft. Wie sehen sie das?

Man kann sich das natürlich schönrechnen. Schon beim Vergleich der Energiedichten kann man aber feststellen, dass es nicht stimmt.

Nach 20 Jahren läuft die EEG-Förderung für erneuerbare Energien aus, was dazu führt, dass jetzt innerhalb von 1 - 2 Jahren mehrere tausend Windräder abgestellt werden. Will man so die Energiewende schaffen? (aktuelle Anmerkung: Jetzt werden die Betreiber mit anderen Zuschüssen und Förderungen - auch durch die Hintertür - bedient. Änderung hat sich seit dem Interview so ergeben, ändert aber nicht grundsätzlich die Antwort)

Das System mit den sogenannten erneuerbaren Energien ^[24], das ist Wind, Photovoltaik und Biomasse, funktioniert nur mit Förderung, die eigentlich eine Zwangsabgabe ist. Jedes Jahr werden viele Milliarden [Euro] umgelegt, ohne dass der Bürger um Erlaubnis gefragt wird. Wie man jetzt sieht, bricht das zusammen, sobald diese Förderung ausläuft. Die ersten Windkraftanlagen werden jetzt abgeschaltet. ^[25] Wie es scheint, hat man von Anfang an falsch kalkuliert.

Fehlen da nicht auch andere Elemente wie z.B. für die Industrieproduktion oder den Verkehr?

Die Energiewende ist eigentlich eine Stromwende. Seit ein paar Jahren hat man bemerkt, dass Elektrizität nicht alles ist, was man an Energie benötigt. Sie macht nur etwa einen Viertel aus. Ein anderer Energieträger ist Wasserstoff. Seine Gewinnung mithilfe der Elektrolyse ist physikalisch möglich, aber wirtschaftlich eine Katastrophe. Mit der Prozesswärme, die der DFR liefert, wird der Prozess kostengünstiger.

Wie sieht das mit Speicherkapazitäten für erneuerbare Energien aus?

Der grosse Vorteil der fossilen Brennstoffe und des Urans ist, dass sie selbst Speicher sind. Bei Wind und Solar ist es anders, und weil diese vom Wetter abhängig sind, benötigt man externe Speicher. Das wird oft nicht mit einberechnet. Es gibt viele Vorschläge für solche Speicher, etwa Autobatterien. Die einzige vernünftige Lösung ist ein Pumpspeicherkwerk. Wenn Photovoltaik und Windturbinen viel Energie liefern, wird die dazu benutzt, um Wasser in einen hoch gelegenen See zu pumpen. Wenn Wind und Sonne nichts liefern, wird das Wasser benutzt, um Turbinen anzutreiben. Deutschland ist allerdings topologisch nicht in der Lage, die benötigte Menge an Pumpspeichieranlagen zu liefern. ^[26]

Wie sehen sie die Zukunft für ihr Projekt?

Seit einem Jahr sind wir ein kommerzielles Unternehmen. ^[27] Wir haben 75 Aktionäre und ein halbes Dutzend Gross-Investoren. Eine erste Investitionsrunde 2020-2021 brachte 4,3 Mio. Euro. In der nächsten Runde wollen wir 40 Mio. Euro einnehmen und ein Labor aufbauen, in dem man den Reaktor bauen kann. Es könnte natürlich auch schneller gehen, wenn die nötigen Mittel zusammen kommen. Kanada bietet günstige Bedingungen für Entwicklungen in der Kernenergie. Wir sind dort bei den Behörden willkommen, im Gegensatz zu hier in Deutschland. Auch die USA sind offen für neue Entwicklungen in der Kerntechnik.

OK, der Prototyp entsteht also in Kanada?

Es kann auch sein, dass sich in Deutschland was ändert. Auch Polen kommt infrage. Im Moment konzentrieren wir uns aber auf Kanada.

Und das Labor in Polen, nutzen sie das auch noch?

Polen will grundsätzlich [in die Kernkraft] einsteigen. Das ist schwierig, weil es noch nie einen kommerziellen Reaktor betrieben hat. Es verfügt allerdings über eine Forschungseinrichtung in Warschau, in der ein Versuchsreaktor mit dem Namen „Maria“ läuft. Es besitzt auch die nötigen Lizenzen. Wenn es Ernst machen will, sind wir gerne dabei.

In Europa ist Kernenergie wieder in der Agenda. Sie zählt zur „grünen Energie“. ^[28] Diese Kröte müssen die deutschen Politiker noch schlucken.

Quellen und Hinweise

[1] <https://www.youtube.com/watch?v=-a9zMIew4z0>

[2] Unter „Energie“ kann man sich „gespeicherte oder bereits geleistete Arbeit“ vorstellen. Die beiden Größen haben auch die gleiche Einheit: Joule (J) oder Watt-Sekunde (Ws).

[3] „Modularität (auch Baustein- oder Baukastenprinzip) ist die Aufteilung eines Ganzen in Teile, die als Module, Komponenten, Bauelemente, Baugruppen oder Bausteine bezeichnet werden. Bei geeigneter Form und Funktion können sie zusammengefügt werden oder über entsprechende Schnittstellen interagieren.“ (Wikipedia)

Diese Bausteine können irgendwo (zentral) angefertigt und dann an einem anderen Orte zusammengebaut werden.

[4] Es kommt zur nuklearen Katastrophe, wenn die Kühlung nicht mehr reicht oder ausfällt.

[5] Betriebstemperatur um die 1'000 °C.

[6] „Das für die Herstellung der Brennelemente in Kernkraftwerken benötigte Uran(IV)-oxid wird überwiegend aus Uran(VI)-fluorid hergestellt.“ (Wikipedia)

[7] „Überkritisches Wasser (auch superkritisches Wasser oder scH_2O , von englisch supercritical) ist Wasser in einem fluiden Zustand über seiner kritischen Temperatur und seinem kritischen Druck – also jenseits des kritischen Punktes. Oberhalb des kritischen Punktes ist eine Unterscheidung, ob ein Stoff flüssig oder gasförmig ist, nicht möglich, er ist dicht wie eine Flüssigkeit, hat aber dieselbe Viskosität wie ein Gas. Um in den überkritischen Zustand zu gelangen, muss das Wasser dazu mindestens eine Temperatur von 374,12 °C und einen Druck von mindestens 22,1 MPa (221 bar[...]) – also rund den 218-fachen normalen Luftdruck – haben.“ (Wikipedia)

[8] Ein Kilogramm Uran ist ein Würfel von 52.19 cm³ und einer Kantenlänge von 3.74 cm. Es liefert eine thermische Energie von ungefähr 24 GWh.

<https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/kernspaltung-2001>

[9] „Das Anwachsen einer Kettenreaktion wird dadurch unterbunden, dass die meisten Neutronen von dem in den Steuerstäben enthaltenen Material (z. B. Bor) absorbiert werden, so dass der Multiplikationsfaktor k unter 1 liegt.“ (Wikipedia)

In einer Atombombe dagegen vermehren sich die Neutronen unkontrolliert respektive ungebremst.

[10] Dahinter steckt natürlich auch die Angst der Menschen. Man hat sie ihnen eingejagt, indem etwa die US-Amerikaner nichts Gescheiteres taten, als ein paar Bomben zu bauen und damit ihre Macht zu demonstrieren. Fazit: Die Menschheit muss noch lernen, mit den gewaltigen Kräften, die bei Kernspaltungen frei werden, friedlich umzugehen.

[11] Die Schweiz ist auch dabei. Dass das Volk das will, kann man noch einigermaßen verstehen. Von den zuständigen Behörden, dem Bundesrat und dem eidgenössischen Parlament, müsste man allerdings mehr Verstand erwarten.

[12] „Gravitation, Elektromagnetismus, schwache Wechselwirkung und starke Wechselwirkung werden auch als die vier Grundkräfte der Physik oder als Naturkräfte bezeichnet.“ (Wikipedia)

[13] „Der Druckwasserreaktor (DWR; englisch pressurized water reactor, PWR) ist ein Kernreaktor-Typ, bei dem Wasser als Moderator und Kühlmittel dient. Der Betriebsdruck des Wassers wird anders als beim Siedewasserreaktor so hoch gewählt, dass es bei der vorgesehenen Betriebstemperatur nicht siedet.“ (Wikipedia)

[14] „Frankreich hat seit Jahren den höchsten prozentualen Anteil an mit Kernenergie erzeugtem Strom weltweit.[...] 2019 stammten ca. 72 % des in Frankreich produzierten Stroms aus Atomkraftwerken (2016: 403 TWh (brutto) von 556 TWh[...][...], 2019: 377,4 TWh von 520,5 TWh[...]). Am gesamten Energiemix, also an der im Land verbrauchten Primärenergie für alle Sektoren, d. h. Verkehr, Wärme und Strom, hatte Kernenergie einen Anteil von 37 %.[...] Die Stand 2022 insgesamt 56 in Frankreich betriebenen Kernreaktoren haben eine installierte elektrische Gesamtleistung von ca. 61 GW.“ (Wikipedia)

[15] Angaben dazu fehlen.

[16] „Strahlentherapie (auch Radiotherapie) oder Strahlenbehandlung ist die medizinische Anwendung von ionisierender Strahlung auf den Menschen und auf Tiere, um Krankheiten zu heilen oder deren Fortschreiten zu verzögern. Die Strahlung kann aus Geräten oder aus radioaktiven Präparaten stammen. Fachgebiete für diese spezielle Anwendung von Strahlung heißen Strahlenheilkunde und Radioonkologie.“ (Wikipedia)

[17] „sich auf längere Zeit stark auswirkend“ (Wikipedia).

[18] „Als Spaltprodukte werden die durch Kernspaltung entstehenden Stoffe bezeichnet. Sie entstehen in größeren Mengen in Kernreaktoren. Einige der in Spaltprodukten enthaltenen Radionuklide haben nützliche Anwendungen, aber für die Hauptmenge ist eine sichere Entsorgung wichtig. Einige Spaltprodukte sind stabil, andere wiederum zerfallen mit sehr kurzer Halbwertszeit zu stabilen Isotopen. Für einige der verbliebenen

langlebigen Spaltprodukte ist die Transmutation als Möglichkeit der dauerhaften Unschädlichmachung bereits im Labormaßstab erprobt, wird jedoch (Stand 2022) großtechnisch weltweit nicht eingesetzt.“ (Wikipedia)

„Die Transmutation (aus dem lateinischen transmutatio: Verwandlung), auch Kernumwandlung[...] sowie Elementumwandlung[...] oder kurz Umwandlung[...] genannt, ist die Veränderung eines chemischen Elementes in ein anderes. Im Kern des Atoms verändert sich dabei die Protonenzahl.“ (Wikipedia)

Einige dieser Spaltprodukte: Cäsium, Technetium, Krypton, Strontium, Iod, Ruthenium, Rhodium, Palladium.

[19] „Schutzziel: Da Radioaktivität niemals auf Null zurückgeht, muss ein Vergleichsmaßstab herangezogen werden, um festzulegen, wie lange Atommüll sicher von der Biosphäre abgesondert bleiben muss. Bei der Einlagerung in tiefe geologische Formationen ist der allgemein akzeptierte Vergleichsmaßstab die Radioaktivität natürlicher Uranvorkommen. Je nach Art der betrachteten Uranlagerstätte kann ein längerer oder kürzerer Isolationszeitraum notwendig erscheinen. In Deutschland ist die Anforderung auf eine Million Jahre hinaufgesetzt worden...“ (Wikipedia)

[20] Der DFR soll auch in der Lage sein, ^{238}U und sogar den bereits vorhandenen Atom-„Müll“ zu nutzen. <https://www.youtube.com/watch?v=aRkNChZ2puo> Um Minute 37.

„Deshalb kann der Reaktor – zusammen mit der Dual-Fluid-Recyclinganlage – jedes spaltbare Material vollständig verwerten, auch Thorium, Natur-Uran oder aufbereiteten Atommüll.“ Götz Ruprecht, „Millionenfach mehr Energie“, WELTWOCHEN GRÜN vom 16. Februar 2023.

[21] Unter Anreicherung versteht man die Technik, aus dem natürlich vorkommenden Gemisch aus ^{238}U und ^{235}U das mit der Massenzahl 235 anzureichern, denn nur das war bisher spaltbar.

[22] „The IAEA is the world's centre for cooperation in the nuclear field and seeks to promote the safe, secure and peaceful use of nuclear technologies.“ <https://www.iaea.org>

[23] Gravimetrische Energiedichte MJ/kg

Stärkste Sprengstoffe	7
Restmüll	8–11
Braunkohle	11,3
Wasserstoff (flüssig)	13,2
Holz (lufttrocken)	16,8
Holzpellets,-briketts	18
Braunkohle (Brikett)	19,6
Methanol	19,7
Ammoniak (flüssig)	22,5
Ethanol	26,7
Kohlenstoff	32,8
Steinkohle	34
Benzin und Rohöl	40–42
Diesel, Heizöl leicht	42
Kerosin	43,1
Propan (flüssig)	46,3
Methan (sww. Erdgas)	50
Wasserstoff 1 Bar	120
Atomarer Wasserstoff	216
Kernspaltung Natururan	$6.48 \cdot 10^5$ (=648'000)
Kernspaltung ^{235}U	$7.939 \cdot 10^7$ (=79'390'000)
Kernspaltung ^{232}Th	$7.942 \cdot 10^7$ (=79'420'000)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Energiedichte>

[24] Energie kann nicht hergestellt und auch nicht erneuert, sondern nur gewonnen werden. Falls etwas erneuert werden kann, sind dies die Energieträger.

[25] „Eigentlich müsste die Windkraft in Deutschland dringend ausgebaut werden. Stattdessen droht vielen Windkraftanlagen der Abriss: Denn nach dem Auslaufen der EEG-Förderung können sie nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden. Was tun?“ <https://www.deutschlandfunkkultur.de/windenergie-rueckbau-flaute-100.html>

[26] In der Schweiz ist der Heimatschutz dagegen. Zudem ist sie bis weit in die Täler hinauf bewohnt, und die ungezügelte Zuwanderung verschärft auch dieses Problem.

[27] <https://dual-fluid.com/de/wir-sind-ein-kanadisches-unternehmen/>
<https://dual-fluid.com/de/about-us/>

[28] Kernenergie ist „grüne Energie“. <https://www.nzz.ch/wirtschaft/umstrittene-taxonomie-das-eu-parlament-stuetzt-die-kommission-und-erklaert-erdgas-und-atomkraft-fuer-gruen-ld.1692336?reduced=true>

[29] www.vups.ch „Klimawandel für Laien“

[30] <https://youtu.be/wRdYrLeXrJA> Energiewende gescheitert