

Eine strahlende Zukunft für das Klima der Erde

30.5.2023

Bei der Volksabstimmung über die Inbetriebnahme des Kernkraftwerks in Zwentendorf im Jahr 1978 habe ich mit „Nein“ votiert [1]. Zu diesem Zeitpunkt war mein einziges, fachlich begründbares Argument die Lage des Kraftwerks: Es liegt nur 30 km westlich von Wien an der Donau. Jede radioaktive Emission des Kraftwerks in die Donau oder in die, von Westwinden beherrschte Atmosphäre hätte Wien in weniger als 1 Stunde erreichen können. Für mich als Bewohner der Metropole eine äußerst beunruhigende Vorstellung. Ich gebe heute zu, dass ich bei einem anderen, weniger exponierten Standort möglicherweise für die Inbetriebnahme gestimmt hätte. In der Zwischenzeit hatte ich Gelegenheit mein Wissen über die Aspekte der zivilen Nutzung von Kernkraft umfassend zu ergänzen. Meine persönliche Schlussfolgerung ist, dass dieser Ansatz aus vielen Gründen und definitiv abzulehnen ist. Umso deprimierender empfinde ich derzeit den geringen Widerstand selbst „grüner“ Kreise gegen das erneute Aufleben dieser Form der Elektrizitätsversorgung. Mit alter Technik und dem Versprechen das Klima zu retten tritt die Atomindustrie zu ihrem „Come-Back“ an. Die Technik, die jetzt unter dem Namen *Small Modular Reaktor*, SMR vermarktet werden soll kommt seit den 1950er Jahren im militärischen Schiffsbau zum Einsatz und treibt die Mehrzahl der heutigen U-Boote und Flugzeugträger an [2]. Obwohl die Technik auch für die zivile Schifffahrt attraktiv wäre wurden nur wenige Versuche zur Entwicklung unternommen [2]. Mit Ausnahme von Eisbrechern erwiesen sich atomgetriebene Handelsschiffe als unrentabel und wurden entweder abgewrackt oder auf, mit Schweröl befeuerte Diesellaggregate umgerüstet. Als Grund für den wirtschaftlichen Misserfolg nennt [2] die Weigerung der Versicherungsgesellschaften das Risiko bei Zwischenfällen zu übernehmen. Ein durchaus bemerkenswerte Beurteilung der möglichen Risiken durch professionelle Fachleute. Der SMR für den Kraftwerksbau an Land basiert auf ähnlich kleinen Reaktoreinheiten wie in der Schifffahrt. Die Nennkapazität soll höchstens 300 MW_{el} sein. Die Einheiten zur Errichtung des Kraftwerks sollen ähnlich einem Fertigteilhaus in Kleinserien bereits in der Fabrik vorgefertigt werden. Im Vergleich zu den heutigen großen „Maßlösungen“ für Kernkraftwerke soll dadurch die Bauzeit deutlich reduziert und die Errichtungskosten beträchtlich gesenkt werden. Die Kapazität dieses „kleinen“ Kernkraftwerks wäre damit etwa gleich groß mit jener des Donaukraftwerks Greifenstein mit 293 MW_{el} [3]. Die, je Jahr generierte elektrische Energie entspricht etwa 3 % des gegenwärtigen Bedarfs in Österreich. Aus diesem Vergleich mag abgeschätzt werden wie viele dieser SMR Kernkraftwerke in Österreich zukünftig zu errichten wären und welche Sicherheitsrisiken sich daraus ergeben können. Erhöhte Radioaktivität ist eines der Risiken. Radioaktive Strahlung schädigt jedenfalls biologische Zellen. Ein Umstand den die Nuklearmedizin bei der Behandlung von Krebskrankheiten erfolgreich nützt.

Radioaktivität bezeichnet den von selbst ablaufenden irreversiblen Zerfall bestimmter Atomkerne. Während des Zerfalls wird radioaktive Strahlung abgestrahlt. Radioaktiver Zerfall und damit radioaktive Strahlung kommen in der Natur überall auf der Erde vor. Etwa 4 Milliarden Tonnen radioaktiven Urans sind in den Ozeanen gelöst [4]. Das ist die 60 000 fache Masse des globalen,

jährlichen Uranbergbaus. An nahezu jedem Ort der Erde tritt das radioaktive Gas Radon aus der Erde in die Atmosphäre aus [5]. Jedes Lebewesen ist daher unvermeidlich einer natürlichen radioaktiven Strahlenbelastung ausgesetzt. Als Folge haben alle Lebewesen in ihrem evolutionären Werdegang in sehr engen Grenzen eine Resistenz gegen Strahlenschäden entwickelt. Die Grenzen unterscheiden sich bei verschiedenen Arten sehr stark [6]. Auch innerhalb einer Spezies kann es zu erheblichen individuellen Unterschieden kommen. So erkrankten einige Menschen die einer erhöhten Radonbelastung ausgesetzt sind an Lungenkrebs andere jedoch nicht [7]. Im Umgang mit Radioaktivität ergeben sich für den Menschen zwei schwerwiegende Probleme:

- Zum einen kennt er die Grenzen seiner persönlichen Widerstandsfähigkeit nicht.
- Zum anderen besitzt er keine Sensorik um radioaktive Strahlung wahrzunehmen.

Soweit stimmt das Gesagte auch für die Bestrahlung von ultraviolettem Licht des natürlichen Sonnenlichts. Ist der Mensch intensiver Sonnenstrahlung mit einem hohen Anteil an unsichtbaren ultravioletten Licht ausgesetzt so reagieren die geschädigten Hautzellen sehr rasch mit den bekannten und leicht erkennbaren Symptomen eines Sonnenbrands. Ultraviolette Strahlung kann die menschliche Haut nicht durchdringen und dadurch auch keine inneren Organe schädigen. Im Unterschied zur ultravioletten kann radioaktive Strahlung sehr tief in den menschlichen Körper eindringen. Erschwerend kommt hinzu, dass radioaktives Gas oder radioaktiver Feinstaub über Atmung und Verdauung aufgenommen werden können und die Einwirkung der radioaktiven Strahlung innerhalb des Körpers stattfindet. Im gravierendstem Fall baut sich radioaktive Substanz in das Gewebe ein und verweilt für lange Zeit im Körper. Ein bekanntes Beispiel dafür ist radioaktives Jod das sich in der Schilddrüse sammeln kann. Symptome einer, den Organismus schädigenden radioaktiven Belastung entwickeln sich langsam und werden erst sehr spät erkannt. Letztlich bleibt dem Menschen keinerlei Möglichkeit die radioaktiven Verseuchung frühzeitig zu erkennen um geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen. Die große Verzögerung zwischen einer Strahlenbelastung und dem Sichtbarwerden einer Erkrankung erschwert zudem den, wissenschaftlich fundierten Nachweis eines ursächlichen Zusammenhangs.

Als uneingeschränkte Empfehlung bleibt daher nur das konsequente Bemühen sich möglichst wenig radioaktiver Strahlung auszusetzen. Der Regelbetrieb eines Kernkraftwerks mag dieser Forderung nicht entgegenstehen. Ein Argument, das von den Befürwortern der Kernkraft unermüdlich hervorgehoben wird. Unerwähnt bleibt, dass im Betrieb von Kernkraftwerken Störfälle unvermeidlich auftreten. Ebenso wenig wird angesprochen, dass der nukleare Brennstab im Reaktor nur ein Glied im gesamten Verfahrensablauf ist. Da die Nutzung der Kernenergie zur Stromgeneration keinem regenerativem Ablauf folgt sondern auf einem, im Wortsinn zerstörerischen Prozess des Atomkerns beruht muss eine seriöse Betrachtung der potentiellen Strahlenbelastung den vollständigen Ablauf von der Wiege bis zur Bahre oder vom Uranbergbau bis zur finalen Entsorgung des Atommülls umfassen. Jeder einzelne Bearbeitungsschritt und jeder Transport von Zwischenprodukten und Abfall beinhaltet ein hohes Gefahrenpotential der radioaktiven Verseuchung:

Kommerzielle Unternehmen fördern Uranerz mit einer mittleren Konzentration von 0,1 % [8]. Das

bedeutet, dass ein Kernkraftwerk¹ mit 300 MW_{el} während seiner Nutzungsdauer rund 1500 t Uranerz benötigt. Bei dem Abbau dieser Masse entstehen etwa 1,5 Millionen t Gesteinsabfall der vor Ort deponiert wird. Dieser Abfall besteht sowohl aus mehr oder weniger grobem Gestein als auch aus Feinstaub der in die Luft verfrachtet werden kann. Der Inhalt des Abfalls ist sowohl toxisch als auch radioaktiv. Eine verantwortungsbewusste Deponierung muss daher sicherstellen, dass weder Luft noch Erdreich und Grundwasser kontaminiert werden können. Diesbezügliche Altlasten der ehemaligen Sowjetunion in Kirgistan schränken die Lebensqualität der ortsansässigen Bevölkerung auch heute noch massiv ein. Sie werden daher teilweise mit großem finanziellem Aufwand saniert [9]. Unter dem Eindruck der, durch den Bergbau verursachten schweren Verwüstungen hat Kirgistan den Uranbergbau mittlerweile vollständig eingestellt.

Vier der gegenwärtig 10 größten Uranförderstätten liegen in Kasachstan [8]. Alleine dieser Staat trug 2021 etwa zu 1/3 der weltweiten Uranförderung bei [10]. Laut Transparency International rangiert das Land im aktuellen Korruptionsindex an 108. Stelle von 180 Staaten [11]. Auch das, für die französische Atomindustrie wichtige Niger ist ein bedeutender Uranerz Exporteur der in diesem Korruptionsindex den 124. Platz belegt. Der, von [Claus Biegert](#) 2009 in der Zeitschrift Natur+Kosmos² veröffentlichte Artikel „Mörderisches Uran“ beschreibt die menschenunwürdige Situation der Bergarbeiter in den Minen des Niger anschaulich und erschütternd. Neben den ökologischen Folgen des Uranabbaus stellt sich zudem die Frage ob es für die wirtschaftliche Entwicklung in Europa klug ist die eigene Energieversorgung vom Import aus politisch unsicheren Staaten abhängig zu machen. Geht man von der gegenwärtigen Nachfrage an Uranerz aus so werden die bekannten Uranlagerstätten spätestens im Jahr 2100 erschöpft sein.

Das geschürfte Uranerz muss anschließend aufbereitet werden [12]. Das erfordert technisch aufwendige Verfahren mit der extrem giftigen Substanz Uranhexafluorid. Eine Abschätzung des energetischen Bedarfs dieser „Veredlung“ des Rohprodukts, des natürlichen Urans ist im Abschnitt „Example“ von [13] gegeben. Da das Verfahren der Anreicherung mit dem Uranisotop U235 sowohl für zivile als auch für militärische Zwecke ident ist überrascht es wenig, dass sich die Aufbereitungsanlagen fast ausschließlich in Staaten mit eigener nuklearer Militärproduktion befinden. Alle Werke zur Aufbereitung stehen unter der Aufsicht der IAEA [14]. Der Prozess der Anreicherung resultiert in einer großen Masse zwar schwach radioaktivem dafür aber giftigem Sondermülls. Für das beispielhafte SMR mit 300 MW_{el} müssen die benötigten 1500 t natürliches Uranerz zunächst zu den atomaren Aufbereitungsanlagen transportiert werden. Etwa von Niger nach Frankreich. Hier entstehen dann die benötigten Brennelemente mit einer Masse von 150 t. Der Rest von 1350 t bildet den Abfall der nur in geringem Grad weiter nutzbar ist. Der überwiegende Teil wird entsorgt. In Spezialbehältern wird er zu Sondermülldeponien gebracht. Die, mit radioaktivem U235 angereicherten Brennelemente werden über Land durch, zum Teil dicht besiedeltem Gebiet zum Kernkraftwerk befördert. Generell ist der Transport von radioaktivem Material ein oft unbeachteter und daher unterschätzter Bestandteil in der Versorgungskette von Kernkraftwerken [15]. Lediglich das Kernkraftwerk und die damit verbundenen Sicherheitsaspekte werden von einer

1 Angenommen wird eine Laufzeit des Kraftwerks von 30 Jahren bei der Verwendung von 4% mit U235 angereichertem Material.

2 Die Zeitschrift Natur+Kosmos wurde eingestellt. Daher existieren weder Archiv noch der genannte Artikel als archivierter Beitrag im Internet.

breiten Öffentlichkeit als Problem wahrgenommen und diskutiert. Verglichen mit den verschiedenen Anlagen der Atomindustrie birgt der Transport die meisten Risiken. In allen Werken der Atomindustrie liegen sowohl Sicherheitskonzept als auch dessen rigorose Umsetzung in der Verantwortung des Betreibers. Dem hingegen liegt beim Transport von radioaktivem Material die Verantwortung bei verschiedenen Stellen mit höchst unterschiedlichen Aufgaben und den sich daraus ergebenden Prioritäten. Die Verkehrsinfrastruktur etwa ist nationale Kompetenz und orientiert sich an den zivilen Erfordernissen der Bevölkerung. Gut gepflegte Straßen- und Bahnnetze finden sich in Bereichen mit hoher Siedlungs- und Verkehrsdichte. Untergeordnete Verkehrswege werden vernachlässigt und befinden sich mitunter in einem schlechten Zustand. Schlecht gewartete Brücken können dann im Extremfall und unvorhergesehen auch zusammenbrechen. Die Verkehrswege werden von vielen Akteuren zeitgleich mit einem radioaktivem Sondertransport genutzt. Unfälle mit Beteiligung eines Sondertransports können daher nicht verhindert werden und sind absehbar.

Beginnend mit der Planung hat der sichere Betrieb eines Kernkraftwerks höchsten Stellenwert. Hinderlich für die bestmögliche Umsetzung erweist sich leider eine gewisse Betriebsblindheit und unkritische Technikgläubigkeit der Verantwortlichen. Die beiden bekannten schweren Reaktorkatastrophen demonstrieren eindrucksvoll die, nachfolgend genannten unvermeidbaren Schwachstellen bei der Entwicklung jedes Sicherheitskonzepts:

- Dass eine denkbare Situation eintreten kann. Im Fall von *Fukushima* [16] bedachte das Sicherheitskonzept des Kernkraftwerks Erdbeben sehr wohl. Die getroffenen Maßnahmen konnten das Kraftwerk während des Erdbebens tatsächlich kontrolliert und sicher abschalten. Ein schwerer Tsunami wurde jedoch in der Planung nicht bedacht. Genau dieses Ereignis trat jedoch als Folge des Erdbebens ein. Die Wasserfront überschwemmte alle nach dem Störfall angelaufenen Aggregate die in der Folge ausfielen und dadurch erst die nukleare Katastrophe auslösten.
- Dass menschliches Handeln selbst die besten Sicherheitsmechanismen aushebeln kann. Menschliche Fehlentscheidungen waren die Ursache der Reaktorkatastrophe von *Tschernobyl* [17]. Die Gründe menschlichen Fehlverhaltens sind vielschichtig, beginnend bei der Ignoranz über das Unwissen bis zu einem psychischen Ausnahmezustand. Erschwerend kann ein negativer „Lerneffekt“ stattfinden weil Fehlentscheidungen folgenlos bleiben können und nicht zwingend in einem Desaster enden. Eine gewisse Nachlässigkeit im Alltagsbetrieb kann dann zu einem Zusammentreffen mehrerer unglücklicher Umstände führen. Erst deren Resultat hat dann katastrophale Konsequenzen die auch die beste Sicherheitstechnik nicht mehr verhindern kann. Als simples und bekanntes Beispiel seien hier Brandschutztüren genannt. Das ist eine einfache und effektive Einrichtung um die Ausbreitung von Bränden zu verhindern. Solange sie durchgängig geschlossen bleiben. Da das oftmalige Öffnen der Türen im Normalbetrieb als lästig empfunden wird wird der Schließmechanismus häufig von den Beschäftigten wider besseren Wissens blockiert. Eine Fehlentscheidung die meist keine negative Konsequenz hat. Erst im Brandfall tritt die Katastrophe ein.

Im Fall der Errichtung eines Kernkraftwerks verhindern zudem wirtschaftliche Interessen eine größtmögliche Absicherung bei einem Störfall. Hätte die Minimierung des Risikos die behauptete oberste Priorität dann müssten Kernkraftwerke ausschließlich an unzugänglichen und menschenleeren Orten aufgestellt werden um mögliche Folgeschäden eines Störfalls gering zu halten. In der Praxis hingegen werden Kernkraftwerke genau dort platziert wo ein großer Bedarf an Elektrizität besteht. Also in dicht besiedeltes Gebiet. Auch Zwentendorf wurde seinerzeit nahe dem Großraum von Wien errichtet. Verwunderlich ist daher, dass Befürworter der SMR Anlagen genau diese Nähe zum Konsumenten positiv hervorheben: Diese Anlagen sollen überall dort aufgestellt werden wo Bedarf an elektrischer Energie besteht. Damit bewirbt man eine großflächige Verteilung von zahlreichen radioaktiven Störquellen im dichten Siedlungsgebiet. Da die Anzahl der Störfälle direkt mit der Anzahl der, in Betrieb befindlichen Kraftwerksanlagen skaliert vergrößert sich für eine Region mit vielen SMR anstelle eines großen Kernkraftwerks das Risiko einer erhöhten radioaktiven Belastung im Störfall deutlich. Auch die Gefahr von menschlichen Fehlentscheidungen verringert sich keineswegs wenn für jedes einzelne Kraftwerk eine vollständige und entsprechend qualifizierte Bedienmannschaft angestellt wird. Letztlich steht auch die Absicht einer Fertigteilverproduktion von SMR einem individuell an den Standort angepassten Sicherheitssystem entgegen. Die Anforderungen an eine Anlage die von möglichen Erdbeben bedroht wird sind andere als für eine Anlage die durch Hochwasser gefährdet ist.

Für den Betrieb eines Kernkraftwerks wird bereits in der Planung ein Ablaufdatum festgelegt. Das hat technische Gründe. Weil viele Komponenten des Reaktors einer extrem hohen Belastung ausgesetzt waren und nicht ausgetauscht werden können muss das Kraftwerk stillgelegt werden. Am Ende der vorgesehenen Laufzeit wird das Kraftwerk vollständig abgebaut und alle Teile werden dekontaminiert und entsorgt [18]. Beim privaten Konsum spricht man in diesem Fall von einem, zu recht geschmähten Wegwerf- oder Einwegprodukt. Errichtung und Rückbau sind sowohl aus energetischer Sicht als auch wegen der monetären Belastung aufwendig und entsprechend teuer. Für den Betreiber verbleibt daher nur eine feststehende maximale Zeitspanne in dem das Kraftwerk sowohl elektrische Energie generiert als auch gewinnbringend arbeitet. Das bedingt einen möglichst uneingeschränkten durchgehenden Betrieb am Anschlag der Nennkapazität. Sowohl Abschaltungen als auch ein reduzierter Betrieb verteuern die, in der Laufzeit generierten Kilowattstunden. Dieser Umstand ist eine „Spezialität“ eines Kernkraftwerks. Keine andere Kraftwerksart hat ein vorprogrammiertes Enddatum. Niemand denkt etwa daran eines der über 60 Jahre alten österreichischen Donaukraftwerke abzureißen. Sie arbeiten weiterhin zuverlässig und gewinnbringend. Erfahrungsgemäß können Flusskraftwerke über 100 Jahre betrieben werden. Sobald deren Investitionskosten abgeschrieben sind werden die Erzeugungskosten der Kilowattstunde erheblich geringer und damit der Erlös aus dem Verkauf größer. Für den Betreiber ein höchst attraktiver Effekt. Im Vergleich dazu steht ein Kernkraftwerksbetreiber unter dem Druck innerhalb der festgelegten Zeitspanne möglichst viele Einnahmen zu generieren. Die Konsequenz dieses Drucks ist eine aggressive Vermarktungspolitik. Da ein Kernkraftwerk nicht der aktuellen Nachfrage an elektrischer Energie entsprechend betrieben wird muss die Nachfrage des Kunden in Zeiten des geringen Bedarfs mittels Werbestrategien massiv gesteigert werden. Diese Absicht steht im klaren Gegensatz zu der Intention aus Umweltschutzgründen den Bedarf an Energie generell zu reduzieren. Die verbreitete Nutzung von Kernkraftwerken führt daher zwangsläufig zu dem

unerwünschten *Rebound Effekt* [19], dass mehr statt weniger elektrische Energie nachgefragt wird. Fällt die Laufzeit eines Kernkraftwerk wegen schwerer technischer Mängel oder aus politischen Gründen kürzer als geplant aus kann das zu einem Defizit von Energie- und finanzieller Bilanz führen.

Eine einfache statistische Auswertung für die, weltweit 207 bisher dauerhaft stillgelegten Kernkraftwerken ergibt eine mittlere Laufzeit von knapp 30 Jahren (28.5 ± 13.3) Jahren [20]. Der Grund für die Stilllegung blieb dabei unberücksichtigt. In China, das zur Zeit sehr stark in den Ausbau von Kernkraftwerksanlagen investiert betrug im Jahr 2021 die Auslastung gemittelt über 52 Reaktoren knapp 90 % der Nennkapazität ($88.6 \% \pm 14.8 \%$) [21]. Zum Vergleich sei die, über das Jahr gemittelte Auslastung des Donaukraftwerks Greifenstein erwähnt, 68 % [3].

Während das Kernkraftwerk in Betrieb ist werden periodisch jedes Jahr ein Teil der radioaktiven Brennelemente erneuert. Ausgediente Brennelemente bleiben dann zum Abkühlen für einige Jahre am Reaktorgelände bevor sie zu einem Zwischenlager transportiert werden können [22]. Schließlich soll der gesamte anfallende radioaktive Müll für Jahrtausende an einem „sicheren“ Ort endgelagert werden. Bis heute gibt es weltweit kein einziges Endlager. Wobei ich mir die Frage stelle ob es in einer dünnen Gesteinskruste, die auf einem Ozean aus flüssiger Lava schwankend treibt überhaupt einen Ort geben kann der die hohen Anforderungen an ein sicheres Endlager erfüllt. Sicher ist, dass mit der Zunahme von Kernkraftwerken immer mehr und immer häufiger radioaktives Material über eine, dafür keineswegs vorgesehene Verkehrsinfrastruktur transportiert werden muss. Für das fiktive 300 MW_{el} SMR müsste während seiner Laufzeit jedes Jahr 5 t an Brennelementen angeliefert werden. Die gleiche Menge an hochradioaktivem Atommüll würde abtransportiert. Bei der angedachten großen Zahl von SMR wären dann Unfälle bei denen radioaktives Material in die Umwelt gelangt unausweichlich. Im Fall eines derartigen Unfalls wäre dann der Zivilschutz gefordert. Wie gut dieser auf die Situation vorbereitet wäre ist höchst fragwürdig. Geeignete Vorkehrungen liegen nicht mehr länger in der Verantwortung des Kernkraftwerkbetreibers. Maßnahmen im öffentlichen Zivilschutz basieren mittlerweile sehr stark auf komplexen elektronischen Komponenten wie etwa dem Smartphone. Diese Geräte reagieren jedoch sehr empfindlich auf radioaktive Strahlung. Funktionsstörungen bis hin zum vollständigen Ausfall sind möglich.

Zusammengefasst:

- Der Mensch kann den elementaren Vorgang des radioaktiven Zerfalls nicht beeinflussen. Weder kann dieser verzögert, beschleunigt oder gestoppt werden. Die einzige Vorkehrung zum Schutz des Menschen vor radioaktiver Strahlung bleibt eine geeignete Verwahrung des radioaktiven Materials.
- Alle mit dem Betrieb eines Kernkraftwerk verbundenen Tätigkeiten fördern die Verteilung und Freisetzung von radioaktivem Material in der Umwelt.
- Das führt in vielen Lebens- und Siedlungsräumen zu einer erhöhten und gesundheitsgefährdenden Belastung durch radioaktive Strahlung.
- Die biologischen Auswirkungen einer erhöhten radioaktiven Strahlung sind bisher

wissenschaftlich nur bruchstückhaft nachgewiesen.

Bibliografie:

- [1] „Volksabstimmung in Österreich über die Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes Zwentendorf“ Wikipediaeintrag vom 16.4.2023 online unter https://de.wikipedia.org/wiki/Volksabstimmung_in_%C3%96sterreich_%C3%BCber_die_Inbetriebnahme_des_Kernkraftwerkes_Zwentendorf
- [2] „Nuclear-Powered Ships“, Internetseite der World Nuclear Association online unter <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx>
- [3] Angaben des Kraftwerkseigentümers online unter <https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/unsere-kraftwerke/greifenstein>
- [4] „Uranium from seawater – Infinite resource or improbable aspiration?“ K. Dungan et. al., 2017, online unter <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.04.016>
- [5] Natural Radioactivity Digital Atlas der Europäischen Union, online abrufbar unter <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Digital-Atlas/Indoor-radon-AM/Indoor-radon-concentration>
- [6] „Radioresistance“ Wikipediaeintrag vom 28.1.2023 online unter <https://en.wikipedia.org/wiki/Radioresistance>
- [7] „Radon“ Informationsseite der International Atomic Energy Agency online unter <https://www.iaea.org/topics/radiation-protection/radon>
- [8] „Uranium Mining Overview“ der World Nuclear Association online unter <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx>
- [9] „Kyrgyzstan (Mailuu-Suu) – Legacy Uranium Dumps“ Internetseite von Pure Earth online abrufbar unter <https://www.pureearth.org/project/mailuu-suu-legacy-uranium-dumps-2/>
- [10] „Uranium Exports by Country“, D. Workman von World's Top Exports online unter <https://www.worldstopexports.com/uranium-exports-by-country/>
- [11] „Corruption Perceptions Index“ von Transparency International online unter <https://www.transparency.org/en/cpi/2021>
- [12] „Uranium Enrichment“, der World Nuclear Association online unter <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment.aspx>
- [13] „Separative work units“, Wikipediaeintrag von 23.3.2022 online unter https://en.wikipedia.org/wiki/Separative_work_units
- [14] Startseite der Internationalen Atomenergie Agentur, IAEA <https://www.iaea.org/>

- [15] „Transport of Radioactive Material“, der World Nuclear Association online unter <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/transport-of-nuclear-materials/transport-of-radioactive-materials.aspx>
- [16] „Zehn Jahre nach Fukushima (1/6): Das führte zur Katastrophe 2011“, Seite des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats, ENSI, online unter <https://www.ensi.ch/de/2021/02/04/zehn-jahre-nach-fukushima-1-6-das-fuehrte-zur-katastrophe-2011/>
- [17] „Der Unfall in Tschernobyl“, der kernenergie.ch online unter <https://www.kernenergie.ch/de/tschernobyl- content---1--1105.html>
- [18] „Decommissioning Nuclear Facilities“, der World Nuclear Association online unter <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities.aspx>
- [19] „Consumption and the Rebound Effect“, von Edgar G. Hertwich in Journal of Industrial Ecology, 2005, online unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1162/1088198054084635>
- [20] „List of commercial nuclear reactors“ Wikipediaeintrag vom 26.5.2023 online unter https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_commercial_nuclear_reactors
- [21] „Nuclear Reactors in China“, der World Nuclear Association online unter <https://www.world-nuclear.org/country/default.aspx/China>
- [22] „Brennstoffkreislauf“, der kernenergie.ch online unter <https://www.kernenergie.ch/de/brennstoffkreislauf- content---1--1088.html>