

Geologische Tiefenlagerung radioaktiven Abfalls in der Schweiz

Gesellschaftlicher Umgang mit aktuellen Umweltrisiken



Jean Albani
Luis Paravicini
Fabian Schrag
Thorbjörn Höllwarth
Lionel Peer
Denis Buckingham

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	3
Relevanz.....	3
Medienpräsenz	4
Beschreibung des Risikos	5
Kernkraftwerke	5
Positiver Nutzen.....	6
Geologische Tiefenlager und deren Risiko für die Gesellschaft	7
Was verursacht Radioaktivität im Körper.....	8
Gesellschaftlicher Umgang.....	8
Der gesellschaftliche Umgang mit nuklearem Abfall in Bezug auf Politik.....	8
Der gesellschaftliche Umgang mit nuklearem Abfall in Bezug auf die Bevölkerung.....	11
Medien.....	12
Diskussion und Bewertung.....	13
Vergleich mit ähnlichen Methoden der Entsorgung und deren Risiken	13
Verklapperung von radioaktiven Fässern im Meer	13
Lagerung in Frachtern & U-Booten	15
Wiederaufbereitungsanlagen und deren Entsorgung von radioaktivem Abwasser	15
Entsorgung im Weltall.....	16
Endlagerung in der Antarktis	16
Szenario für die zukünftige Entwicklung	17
Kernfusion – Die Sonne auf der Erde	17
Persönliche Interpretation und Einschätzung	18
Fazit	19
Literaturverzeichnis.....	20
Abbildungsverzeichnis.....	22

Einleitung

Der Schweizer Strommix 2017

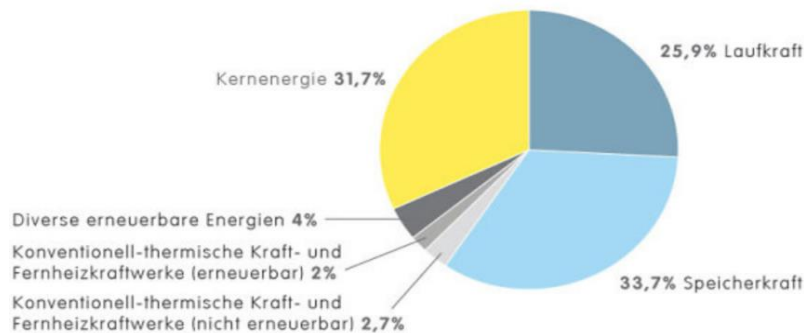


Abbildung 2: Strommix aus der Steckdose

Relevanz

Im heutigen Zeitalter kann sich kaum jemand ein Leben ohne Strom vorstellen. Die Waschmaschine würde sich nicht mehr drehen, das Handy nur ein Stück Metall und Plastik, selbst der Fernseher würde nur matt das eigene Spiegelbild reflektieren. Für uns wurde der elektrische Strom essentiell für ein bequemes Alltagsleben.

Doch dieses Privileg hat seinen Preis. Im Durchschnitt stammt der Strom aus der Steckdose zu 25.9 Prozent von Wasserkraftwerken von Flüssen, zu 33.7 Prozent von Wasserkraftwerken von Stauseen und zu 31.7 Prozent von Kernkraftwerken. Der Rest von weiteren diversen erneuerbaren Energien, Abfallverbrennung und nicht erneuerbaren thermischen Fernheizkraftwerken. So gesehen denkt man sich, dass der grösste Teil von Wasserkraftwerken stammt und nur ein kleinerer Teil von der Kernenergie. Hierbei vergisst man, dass mit der Kernenergie die Stauseen mit zum grössten Teil aufgefüllt werden. Dies bedeutet, dass effektiv 50 bis 60 Prozent unseres Stromes ursprünglich von der Kernkraft herführen. Zusätzlich führen im Winter, wo wir am meisten Energie brauchen, weder die Flüsse viel Wasser, noch gibt es viel Sonne. Wir sind momentan von dieser Ressource abhängig. Das Pendant dazu, fossile Brennstoffe, wie als Beispiel Kohlekraftwerke, wurden schon 1962 aus umwelttechnischen Gründen in der Abstimmung abgelehnt. Und diese Energie hat seinen Preis. Bis heute hat man noch keinen permanenten Lagerort für die radioaktiven Abfälle gefunden, die sowohl für Mensch und Natur schädlich sind. Die Problematik: Die Abfälle bleiben schätzungsweise für weiter 500 tausend Jahre ein Umweltrisiko. Und niemand will diese gefährlichen Substanzen irgendwo in Nachbars Garten vergraben.

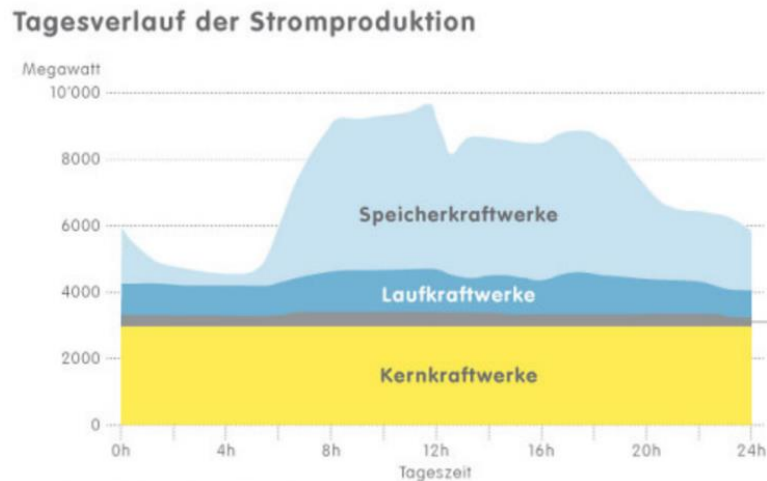


Abbildung 3: Produzierter Strom im Verlauf eines Tages (ohne Verbrauch)

Medienpräsenz

Im Zusammenhang mit der Tiefenlagerung radioaktiven Abfällen steht stets auch die Frage wie lange die momentanen Kernkraftwerke noch betrieben werden können. Das ist einleuchtend, denn sobald die stillgelegten Kraftwerke abgebaut werden, fällt viel mehr radioaktiver Abfall an. Mit der am 21. Mai 2017 angenommenen Energiestrategie, sollte der Atomausstieg bis zum Jahre 2050 abgeschlossen sein. Dies übt einen Druck auf die Atombranche aus, den gefährlichen Abfall schnellstmöglich richtig zu entsorgen. Da niemand diesen Atom Müll vor der eigenen Haustüre haben will, bleibt diese Frage stets im Hintergrund: Wohin mit diesem Abfall? Anhand der Suchanfragen auf Google über die letzten 15 Jahre kann man erkennen, dass das Interesse der Schweizer an diesem Thema immer weiter nachlässt, jedoch nie verschwindet, was sich in der Anzahl der Medienmeldungen spiegelt. Begonnen hat die Ära der Kernenergie zwischen 1960 und 1969, jedoch kam dort bereits der erste Rückschlag in Lucens, mit einem Reaktorunfall 1969. (Schell, 21.1.2019) Die Schweiz war trotz des Rückschlages euphorisch überzeugt von den unbegrenzten Möglichkeiten der Atomenergie. Zwischen 1969 und 1984 wurden die Atomkraftwerke Beznau I (1969), Beznau II (1971), Mühleberg (1972) Gösgen (1979) und Leibstadt (1984), allesamt mit ausländischen Reaktoren in Betrieb genommen. Die Schweiz wurde zum Atomstaat. Dann passierte die Katastrophe: 26. April 1986, die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl. (Crease, 3.4.2019) Geschockt vom Gefahrenpotential der schweizerischen AKWs gab es auf einmal Widerstand gegen die zuvor hochgepriesene Atomenergie. Es gab viele Proteste, vor allem auch wegen dem Atom Müll, den man damals einfach exportierte. Man wollte keine weiteren AKWs, weshalb die AKWs Graben und Kaiseraugst aufgegeben wurden. (Hägler, 9.4.2015)

1990 gibt der Bundesrat nach und ein zehnjähriges Moratorium wird eingeführt, dies bedeutet zehn Jahre kein neues Atomkraftwerk. Immer hatte man noch keinen guten Plan, wo man den Atommüll lagert. Darauf folgend steigt die Angst vor der Atomenergie, bis man schlussendlich sich für den Ausstieg einigte und dies unter anderem, da man den Atommüll als immer gefährlicher ansieht (Atomstrategie 2050). Nun wo das erste AKW, das AKW Mühleberg, 2019 eingestellt wurde und es bis 2034 abgebaut wird, muss für Unmengen an radioaktiven Müll ein Endlagerungsort gefunden werden. Die Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) ist vom Bund beauftragt eben diesen Lagerplatz zu finden und die Gesellschaft über den Fortschritt dieser Suche stetig zu informieren.

Abbildung 4 zeigt die Suchanfragen auf Google nach radioaktivem Müll/Nagra und spiegelt damit das Interesse der Gesellschaft über die letzten 15 Jahre für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.

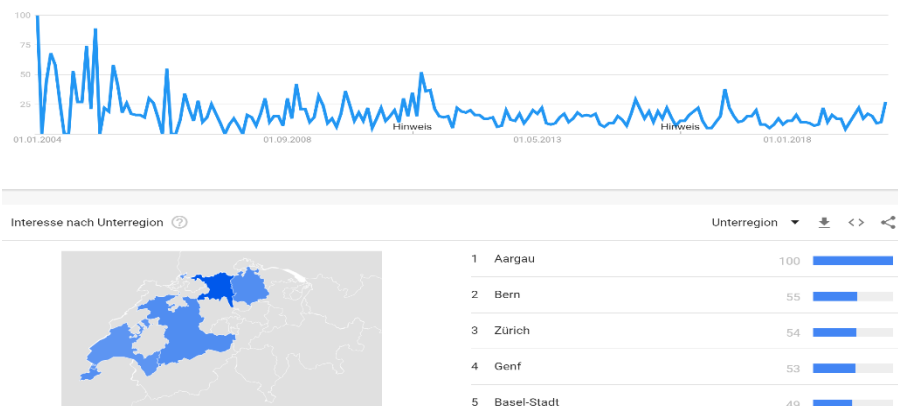


Abbildung 4: Suchanfragen Google nach radioaktivem Müll/Nagra 2004-2019 (Google Trends)

Beschreibung des Risikos

Um über Tiefenlager sprechen zu können muss man sich zuerst mal einen Überblick der Technik verschaffen, welche die Notwendigkeit dieser Lager hervorruft. Die Atomkraftwerke. Seit dem 17 Juli 1969 erzeugt die Schweiz elektrische Energie für die Bevölkerung mittels der Kernspaltungs-Technologie. Doch wie funktionieren diese Kraftwerke? Und noch viel wichtiger: Wie werden die allseits bekannten radioaktiven Abfälle in der Schweiz sicher entsorgt?

Kernkraftwerke

Prinzipiell kann man bei Kernkraftwerken die Erzeugung der elektrischen Energie in verschiedene Prozesse unterteilen. Anfangs wird mittels Kernspaltung (Fission) im Kernreaktor Wärme erzeugt. Dieser Reaktor ist umgeben von einem Medium, meistens Wasser, welches

die generierte Energie in einem geschlossenen Kreislauf weitertransportiert. In einem zweiten Schritt wird, durch das erhitzte Medium, Wasser zum Verdampfen gebracht. Dieser Dampf betreibt dann eine Dampfturbine und erzeugt so den Strom, analog zu Gas- und Kohlekraftwerken.

Herzstück des Kernkraftwerks jedoch auch Herzstück des Problems, das mit der Fissionsenergie in Verbindung gebracht wird, Radioaktive Abfälle, ist der Kernreaktor. Die Kernspaltung findet in diesem Teil des Kraftwerkes statt. In sogenannten Brennelementen befindet sich Material, wie zum Beispiel Uranisotop 235, in Form von «Pellets». («Lern Helfer», o.J.) Sobald man diese Brennelemente mit Neutronen bombardiert, beginnen die Atome darin sich zu spalten. Die dadurch entweichende Energie erhitzen die Brennelemente, diese wiederum erhitzen das Medium und der Kreislauf für die Gewinnung der elektrischen Energie hat begonnen. Nachdem die Brennelemente «durchgebrannt» sind, müssen sie ersetzt werden.

Die übrig gebliebenen Atome und Isotope in den verbrauchten Brennelementen sind hoch radioaktiv und müssen dementsprechend entsorgt werden. Für die Zukunft ist vorgesehen, dass diese in Tiefenlagern entsorgt werden.

Positiver Nutzen

Die Kernkraftwerke besitzen eine Reihe an Vorteilen, die nicht zu unterschätzen sind. So ist beispielsweise die Energiedichte eines solchen Kraftwerkes im Verhältnis zu anderen Kraftwerken enorm hoch. («9 Fragen zu Kernkraftwerken», o.J.) Will heissen, um mittels Kernspaltung elektrische Energie zu gewinnen, ist es nicht nötig, Unmengen an Ressourcen aus der Natur zu verspeisen (Kohle – Gaskraftwerke) oder riesige Flächen zu überdecken, um ansatzweise gleich viel Strom zu produzieren. Oder wie es der ehemalige Präsident der ETH, Ralph Eichler einst veranschaulichte: «Um 1,2 GW Nennleistung aus den Kernkraftwerken Beznau und Mühleberg zu ersetzen, bräuchten wir 600 riesige Windturbinen von je 5 MW Leistung. Oder wir müssten während 10 Jahren jeden Tag 600 Meter Autobahnfläche mit Solarzellen bestücken. Zugleich wären 20'000 Batterien in der Grösse eines Schiffcontainers notwendig, um Energie für die Zeiten wenig Sonnenstrahlung zu speichern.» («Ralph Eichler», o.J.).

Ein weiterer wesentlicher Vorteil gegenüber Kohle- und Gaskraftwerken ist, dass keine Emission von CO₂ stattfindet und in dieser Hinsicht ökologischer ist.

Mit Bezug auf Wind- und Photovoltaikanlagen kann argumentiert werden, dass Kernkraftwerke gleichmässig über den ganzen Tag hinweg Strom produzieren können (Lüdecke H.J, Ruprecht G., Huke A., 10.11.2015, 9 Fragen zu Kernkraftwerken).

Geologische Tiefenlager und deren Risiko für die Gesellschaft

In der Schweiz ist die Entsorgung der Radioaktiven Abfälle gesetzlich durch das Kernenergiegesetz (KEG) geregelt. Es schreibt vor, dass die Radioaktiven Abfälle in geologischen Tiefenlagern entsorgt werden müssen. Ironischerweise gibt es bis heute noch kein einziges solches Lager in der Schweiz. Bis anhin werden diese noch in Zwischenlagern gelagert. Doch wie soll ein solches Tiefenlager in Zukunft aussehen?

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) charakterisiert ein solches Lager folgend. «Ein geologisches Tiefenlager ist eine Anlage im geologischen Untergrund, die verschlossen werden kann, sofern der dauernde Schutz von Mensch und Umwelt durch passive Barrieren sichergestellt wird.» Weiter schreibt es «Ein geologisches Tiefenlager umfasst mehrfache und verschiedenartige technische und natürliche Barrieren. Diese Barrieren sollen den Einschluss und die Rückhaltung der Abfälle bewerkstelligen.» («Geologische Tiefenlager», o.J.).

Schön und gut, solange das Lager gut versiegelt ist. Jedoch was unternehmen, wenn, nachdem das Lager bereits verschlossen wurde, bemerkt wird, dass es ein Leck hat? Wie bemerkt man dieses überhaupt? Wie verhindert man dann, dass die Radioaktivität ins Grundwasser versickert? Wie kann man die Abfälle in so einem Fall wieder bergen? In dem Forschungsbericht «Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung radioaktiver Abfälle», der vom Bundesamt für Energie in Auftrag gegeben wurde, kamen die Autoren zum Schluss, dass eben dieses Risiko, dass das Tiefenlager ein unentdecktes Leck hat, am grössten für die Gesellschaft ist. («Forschungsbericht», 2013)

Ein weiteres Risiko, das durch den Bericht hervorgehoben wird, ist das «unbeabsichtigte Eindringen». Was passiert, wenn Bohrungen das Lager touchieren oder gar beschädigen. Wie muss man dann handeln damit die Umgebung nicht massiv kontaminiert wird?

Klar, in der Gegenwart, in der Zeit, in welcher ein solches Lager potenziell gebaut wird, erscheinen diese Szenarien eher nicht plausibel. Jedoch muss man sich der Tatsache bewusst sein, dass diese Lager Jahrtausende bestehen müssen und dann ist es durchaus vorstellbar,

dass diese, in der tiefe liegenden Lager, in Vergessenheit geraten könnten. Vor allem mit der heutigen Einstellung, dass keine permanente Überwachung der Lager vorgesehen ist.

Was verursacht Radioaktivität im Körper

Radioaktive Strahlung zählt zu der Gruppe der ionisierenden Strahlung. («Radioaktivität und Röntgenstrahlung», o.J.) Atome, die einer solchen Strahlung ausgesetzt sind, verlieren ihre Ladungsneutralität, da Elektronen aus den Atomen bewegt werden. Die geladenen Atome interagieren danach mit anderen geladenen Atomen und versuchen so wieder ihre Neutralität zu erhalten.

Beim Menschen führen diese Interaktionen der geladenen Atome zu Veränderungen der Zellen. Je nachdem wie stark und welche Bereiche der Zellen der Strahlung ausgesetzt waren, sind die Auswirkungen anders. Schwerwiegende Schäden sind beispielsweise zu erwarten, wenn die DNA betroffen ist. («Radioaktivität und Röntgenstrahlung», o.J.) Wenn der ganze Körper intensiver, radioaktiver Strahlung ausgesetzt ist, kann dies bis hin zum Tode führen. Jedoch können auch kleinere Dosen langfristige Konsequenzen für die Gesundheit des Menschen bedeuten. Sollten daher kleinere Mengen an radioaktiven Stoffen, beispielsweise im Grundwasser, vorhanden sein, so könnten die Folgen erst viel später entdeckt werden. Des Weiteren könnten zukünftige Generationen die beschädigte DNA erben.

Gesellschaftlicher Umgang

Der gesellschaftliche Umgang mit nuklearem Abfall in Bezug auf Politik

Die Liste der Gesetze in Bezug auf Kernenergie in der Schweiz ist lang. Die rechtlichen Grundlagen für die Kernenergiepolitik entstanden im Jahr 1946. Das erste Kernkraftwerk, Beznau 1, wurde 1969 in Betrieb genommen. (Bundesamt für Energie BFE, Kernenergie, 12.07.2016)

Es gab seither etliche Revisionen. Neue Gesetze wurden eingeführt, alte wurden überarbeitet. Dies lässt sich durch den rasenden technischen Fortschritt erklären, welcher in den letzten 50 Jahren stattgefunden hat und des Weiteren auch durch prägende Vorkommnisse in der Welt. Das Thema Kernenergie wurde emotional politisiert. Es gab insgesamt sechs Volksinitiativen von denen jedoch letztendlich nur eine angenommen wurde. (Swissvotes: Liste der Abstimmungen, Universität Bern, 2019)

Wir behandeln nun verschiedene politische Stationen in der Vergangenheit, welche zur jetzigen Gesetzeslage geführt haben. Dabei fokussieren wir uns auf den Bereich der Entsorgung von radioaktivem Abfall.

Als initialer Zeitpunkt eignet sich der 6. Oktober 1978. Dort legte der Gesetzgeber in einem Bundesbeschluss zum Atomgesetz grundlegende Anforderungen für das Erbauen neuer Kernkraftwerke fest. Neu wird ein Bau erst bewilligt, wenn die dauernde und sichere Entsorgung und Endlagerung der dort entstandenen radioaktiven Abfälle gewährleistet ist. (ENSI, Geschichte der Entsorgung, 2019)

Die 1972 gegründete Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) wurde von den Kernkraftwerk Betreibern aufgefordert, diesen Entsorgungsnachweis zu erbringen. Um zu überprüfen, ob die Nagra alle gesetzlichen Anforderungen erfüllt, wurde eine unabhängige Aufsichtsbehörde gegründet. Sie nennt sich das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat, kurz ENSI. (Broschüre «Geologische Tiefenlager: Radioaktive Abfälle sicher entsorgen», 2013)

Währenddem nach möglichen Lösungen für die Entsorgung radioaktiver Abfälle gesucht wird, geschehen einige Ereignisse, welche prägend sind für die Zukunft des Atomstroms. Zum Beispiel hat die Atomkatastrophe von Tschernobyl 1986 dafür gesorgt, dass die Einstellung der Bevölkerung gegenüber der Sicherheit von Kernkraftwerken kritischer wurde. Man sah, was radioaktive Strahlung anrichten kann. Angesichts des massiven Widerstandes reagiert der Bund und beendet zwei Jahre später den Bau der vorgesehenen AKW-Projekten Kaiseraugst und Graben. Das Thema Atomstrom ist heiss diskutiert und es gab mehrere Volksabstimmungen. 1990 kam die Initiative «Stoppt den Bau von Kernkraftwerken» an die Urne und wurde mit 54.5% angenommen. Diese verbietet den Bau von neuen Atomkraftwerken für 10 Jahre. Das Erdbeben in Fukushima und die damit verbundene Atomkatastrophe im Jahr 2011 ist ein weiteres Ereignis, welches die Politik stark beeinflusste. Noch im selben Jahr spricht sich der Bundesrat für einen längerfristigen Atomausstieg aus. (Wikipedia: Kernenergie in der Schweiz) (Swissvotes: Liste der Abstimmungen, Universität Bern, 2019)

Das Entsorgungsproblem bleibt bestehen. Es müssen weiterhin Lösungen für die Endlagerung von radioaktivem Abfall ausgearbeitet werden. Es wurden verschiedene Entsorgungskonzepte wie Versenken der Abfälle im Meer, Lager an der Erdoberfläche oder Abfälle mit Raketen ins All schiessen geprüft, die Expertengruppe für Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle

(EKRA) kam jedoch zum Schluss, dass sich nur der Bau eines geologischen Tiefenlagers eignet. Die geologischen Tiefenlager erfüllen das Ziel des langfristigen Schutzes von Mensch und Umwelt am besten. Der Sicherheitsaspekt überwiegt und bestimmt deshalb primär die Standortauswahl. (Broschüre «Geologische Tiefenlager: Radioaktive Abfälle sicher entsorgen», 2013)

Um die Standortsuche für solche geologische Tiefenlager voranzutreiben, verabschiedet der Bundesrat im Jahr 2008 den «Sachplan geologische Tiefenlager». In diesem Sachplan wird festgelegt, wie in der Schweiz mögliche Standorte für geologische Tiefenlager ausgewählt werden. Der Sachplan teilt die Standortauswahl in drei Etappen auf:

Etappe 1: Auswahl von geologischen Standortgebieten

Etappe 2: Auswahl von mindestens zwei Standorten

Etappe 3: Standortwahl

Die erste und zweite Etappe sind bereits abgeschlossen (Stand 2019). Der Bundesrat hat entschieden, dass die Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Längern, und Zürich Nordost in der dritten Etappe genauer untersucht werden sollen. (Bundesamt für Energie BFE, Sachplan geologische Tiefenlager, 2017) (Medienmitteilung, Bundesrat, Standortsuche für geologische Tiefenlager, 2018)

Im Kernenergiegesetz und in der Kernenergieverordnung sind alle Anforderungen, welche ein geologisches Tiefenlager erfüllen muss, aufgeführt. Was jetzt noch ansteht ist die konkrete Standortwahl. Die Nagra wird Standorte vorschlagen, welche dann erneut von der ENSI und von weiteren Fachstellen des Bundes geprüft werden. Schlussendlich hat jedoch das Schweizer Volk das letzte Wort zur Standortwahl. Die drei Etappen zusammen sollen ungefähr 14 Jahre dauern. (Broschüre «Geologische Tiefenlager: Radioaktive Abfälle sicher entsorgen», 2013) Es ist interessant zu sehen wie dynamisch die Politik im Umgang mit Kernenergie ist. Politische Entscheidungen werden stark beeinflusst von prägenden Ereignissen ausserhalb der Schweiz. Mit dem durch Atomkraftwerke entstehenden radioaktiven Abfall hat man sich erst spät befasst. Man hatte das Problem mit dem Abfall relativ früh erkannt, eine mögliche Lösung dazu wurde jedoch vergleichsweise spät politisiert. Man lässt sich Zeit, was den Vorteil hat, dass der Bau der Lager stets mit dem Knowhow aus Technik und Wirtschaft angepasst werden können. Dies ist sehr wichtig, denn diese Abfälle können für Mensch und Umwelt noch über tausende von Jahren eine Bedrohung darstellen. Mögliche Entscheidungen können signifikante Auswirkungen haben auf das Leben zukünftiger Generationen.

Der gesellschaftliche Umgang mit nuklearem Abfall in Bezug auf die Bevölkerung

Die Entsorgung des radioaktiven Abfalls ist ein aktuelles Thema in der Schweiz, welches auch in den Medien thematisiert wird. Zudem ist die Bevölkerung direkt von den geologischen Tiefenlagern betroffen. Niemand will radioaktiven Abfall vor seiner Haustür. Deshalb ist die Standortsuche eine grosse Herausforderung, welche von der Nagra (Der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle), unter den Richtlinien des ENSI (Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat) in Angriff genommen wird. Die Anwohner gewisser Standorte sind teils verunsichert, verängstigt und verärgert. Nicht nur der nukleare Abfall, sondern auch die Gefahren, welche die Bohrungen und Ausbauten der Tiefenlager mit sich bringen, machen der Bevölkerung zu schaffen. (Fritschi M., 22.11.2018, Nagra versucht Anwohnern die Angst zu nehmen)

In Bülach ZH führt die Nagra schon seit dem 15. April 2019 Bohrungen durch, um ein besseres Bild des geologischen Untergrunds zu erzielen. Die Bevölkerung von Bülach ist zum grössten Teil beunruhigt und besorgt über diese Bohrungen. Auch wenn es, auf der anderen Seite, für viele ein Anliegen ist, dass das Landschaftsbild durch die Arbeiten der Nagra nicht gestört wird, sind die meisten wegen der radioaktiven Strahlungen besorgt. Das Vertrauen der Bevölkerung in die Nagra fehlt, obwohl die Nagra grosse Anstrengungen macht, um das Volk mit ihrer Arbeit und den Bohrungen vertraut zu machen. Die Bohrungsstätten können besichtigt werden, von der Besucher-Plattform hat man einen guten Überblick über die gesamte Anlage und kann sich anhand von ausgestellten Infotafeln informieren. Ein weiterer Besorgnispunkt der Bevölkerung ist der Lärm, der bei der Errichtung des Bohrplatzes entsteht, und der, des daraus folgenden Verkehrs. David Kaufmann, ein Einwohner Bülachs, fordert als Entschädigung eine Steuersenkung von Bülach. Überraschenderweise ist jedoch nicht die gesamte Bevölkerung von Bülach besorgt um die Bohrungen. Kurt Suter, beispielsweise, hat sein eigenes Land mit Freude zur Verfügung gestellt, damit die Nagra dort Probebohrungen durchführen konnte. Neben den besorgten Anwohnern, und denen, welche die Bohrungen als kein Problem betrachten, gibt es noch eine Teilgruppe, welche sich keine Gedanken darüber macht, weil das Tiefenlager noch «Zukunftsmusik» sei. Tatsächlich wird das Tiefenlager erst gebaut, falls das Land die richtigen Bedingungen aufzeigt und somit geeignet ist.

(Hämmerli R., 16.04.2019, So tief kann der Atommüll keinen Schaden anrichten)

Medien

Auch wenn die Medien über das Vorhaben der Nagra informieren und sie selbst sehr offen mit ihren Plänen umgeht, wirken die Ansichten uneinheitlich.

Ein wichtiges Anliegen der Nagra ist, alle nötigen Informationen, über den Prozess ihrer Standortsuche und über die Etappen, die nötig sind, um ein Tiefenlager zu errichten, der Bevölkerung übersichtlich zur Verfügung zu stellen. Falls sich irgendjemand über das Thema radioaktiver Müll oder Tiefenlager in der Schweiz informieren will oder eine allgemeine Fragen zu diesem Thema besitzt, kann man ganz einfach ihre Webseite zugreifen und auf Deutsch, Französisch oder Englisch verschiedene Artikel, Broschüren und sogar ein 3-minütiges Video anschauen, um alle Aspekte des Tiefenlagerprozesses zu verstehen. Falls irgendwelche Fragen nicht beantwortet werden können, stellt die Nagra Kontaktpersonen zu Verfügung, welche per E-Mail und Telefon 24 Stunden am Tag erreichbar sind. Auf der Website kann man auch den aktuellen Stand, der schon begonnenen Bohrungen mitverfolgen. Die vielen Bilder und Videos, die auch vorhanden sind, helfen der Bevölkerung zur Visualisierung der Anlagen. Jeder einzelne Bohrplatz ist ausführlich fotografiert und gefilmt worden.

Die Nagra wird in vielen Zeitungen thematisiert und durch Anpreisen positiv dargestellt, obwohl die Recherche auch einige negative Kommentare ergeben hat. Wie zum Beispiel Heiner Keller, der in einem selbstverfassten Text (Keller H., 01.10.2018, Endlager für Atommüll Schweiz: Kritik an Nagra und BFE), folgendes über die Nagra sagt: «Es besteht kein Zweifel: Die Fachspezialisten und die Medienbeauftragten haben das Sachplanverfahren und die korrekte Abwicklung der Auswahl des sichersten Ortes für den Atommüll nicht im Griff», «Die unkritischen Medien verbreiten, wie gewohnt, beschönigende Medienmitteilung ohne inhaltliche Prüfung und Kommentar.» Die Medien berichten nicht nur über das Vorhaben der Nagra, sondern thematisieren auch die Meinung der Bevölkerung, auch jene, die eine negative Einstellung gegenüber der nuklearen Energie und ihre Abfälle haben. Beispielsweise die Artikel des Tagblatts und der Neuen Zürcher Zeitung (NZZ), die über Demonstrationen berichten, welche im Zürcher Weinland und in Nidwalden stattfinden, um nukleare Abfälle in der Schweiz zu bekämpfen.

(Aschwanden E., 04.06.2018, Nidwalden will den Atommüll-Fluch endlich loswerden)

(Burtscher M., 22.08.2018, Atomare Abfälle: Tiefenlager-Pläne wecken nur wenig Widerstand im Zürcher Weinland)

Mit wenigen Ausnahmen sind die Anliegen der Nagra und Tiefenlager im Allgemeinen von der Schweizer Bevölkerung, als eine angemessene Lösung zum Problem radioaktiven Abfalls angesehen.

Diskussion und Bewertung

In den folgenden Abschnitten werden auf ähnliche Entsorgungsmethoden eingegangen, deren Risiken erläutert und anhand dessen unsere aktuelle Lösung in der Schweiz der geologischen Tiefenlager bewertet.

Vergleich mit ähnlichen Methoden der Entsorgung und deren Risiken

Neben der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle gibt es noch andere Methoden, über die man diskutierte, die eingestellt wurden oder heute noch praktiziert werden. Auf eben diese wird im Folgenden näher eingegangen.

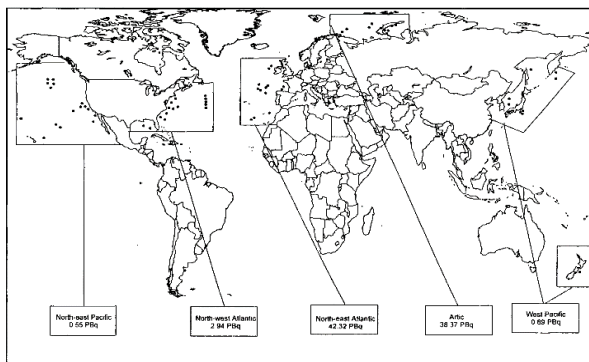


Abbildung 6: Verklapperung radioaktiven Abfalls, weltweit



Abbildung 5: Entsorgung radioaktiven Abfalls ins Meer

Verklapperung von radioaktiven Fässern im Meer

Das Prinzip der Verklapperung beschreibt die Entsorgung von Abfall in verschiedensten Gewässern – in unserem Fall Atommüll in Form von Fässern.

Jahrelang wurden versiegelte und teils unversiegelte Fässer mit radioaktivem Material im Meer «verklappert», bis dies im Jahre 1993 (in Kraft seit 1994) von der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO) verboten wurde – zumindest für radioaktive Feststoffe. (Wikipedia: Radioaktiver Abfall) Über einen Zeitraum von ca. 50 Jahren sind dadurch mehr als 100'000 Tonnen in ca. 222'000 Behältern radioaktives Material allein im Atlantik und dem Ärmelkanal entsorgt worden. Dabei belegt Russland/Sowjetunion den ersten Platz mit 44.8%, gefolgt von Grossbritannien mit 41.4% und mit der Schweiz auf dem dritten Platz mit 5.2%.

Verteilt man die Ränge hier aber nach der gemessenen Strahlung im Nordatlantik, belegt die Schweiz mit 9.8% den zweiten Platz nach Grossbritannien mit 77.5%. (Stalder, 11.11.2019)

Von 1969 bis 1982 entsorgte die Schweiz laut dem Inventar der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) insgesamt 5'321 Tonnen in 7'420 Behältern schwach- und mittelaktive Abfälle «verpackt in Metallfässer, eingegossen in Beton oder Bitumen» im Nordatlantik (siehe Abb. 8), bis man zu dem Schluss kam, diese Art der Entsorgung sei unkontrollierbar und nicht nachhaltig. Dabei hielt sich die Schweiz die «Verklapperung im Meer» weiterhin noch als Option, bis der Bundesrat im Jahr 1992 dies endgültig fallen liess. (Stalder, 11.11.2019)



Abbildung 7: Stark zersetztes Fass, nur 100m in der Tiefe

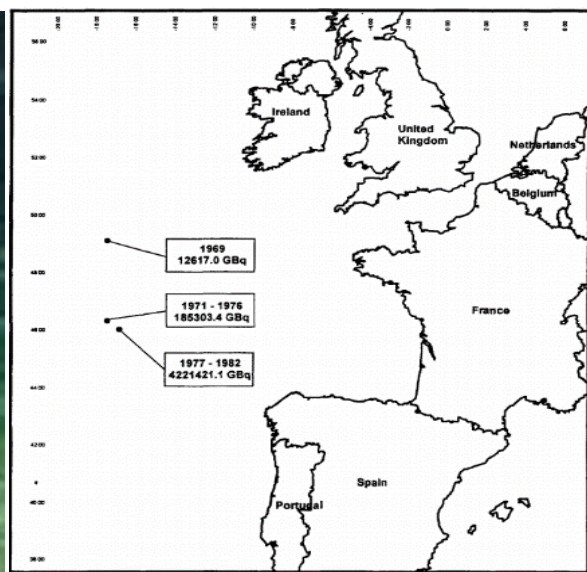


Abbildung 7: Standorte schweizerischer Entsorgung von SMA

Die Fässer wurden dabei teilweise mit dem Ziel einer schnellen Zersetzung und folgender Verdünnung im Salzwasser konstruiert. Ein solcher Prozess ist mitten im Meer bei einer Tiefe von ca. 4'000 Metern relativ ungefährlich, da die Biosphäre nur geringfügig tangiert wird.

Anders sieht es in seichterem Gewässer, wie zum Beispiel im Ärmelkanal, aus: Dort wurden im Jahre 2013 von Greenpeace Fässer britischer Atommüllentsorgung in einer Tiefe von rund 100 Metern gefunden, die schon sehr stark zersetzt waren (siehe Abb. 7). Der Fluss des Ärmelkanals sorgte dabei über die Jahre durch Verteilung der radioaktiven Substanzen für eine Kontamination des umliegenden Gewässers.

Wie vielfältig die Auswirkungen der radioaktiven Substanzen im Meereswasser sind, weiss man bis heute noch nicht ganz genau. Eine erhöhte Konzentration der Radioaktivität bei Meereslebewesen konnte jedoch festgestellt werden. Somit wurde bewiesen, dass die

Entsorgung im Ärmelkanal in der Biosphäre angekommen ist, was Auswirkungen auf diverse Nahrungskettenkreisläufe hat und laut Greenpeace zu einer Strahlenbelastung der Bevölkerung führt.

Eine Bergung der von der Schweiz versenkten Behälter kommt für die Schweiz aber nicht in Frage. Das ENSI begründet dies damit, dass von der Schweiz nur schwaches bis mittleres radioaktives Material (SMA) mit tiefen Halbwertszeiten bei ca. 4'000 Metern versenkt wurde und heute dadurch nur eine geringe Belastung für die Umwelt bestünde. (Stalder, 11.11.2019)

Lagerung in Frachtern & U-Booten

Nicht nur radioaktive Fässer, sogar U-Boote und ganze Frachter mit radioaktiver Ladung sind überall auf der Welt einfach so abgestellt worden. Im arktischen Meer soll Russland (resp. Sowjetunion) «drei Atom-U-Boote, 14 Atomreaktoren von solchen U-Booten und Eisbrechern (zum Teil samt Brennstäben), 17'000 Container und 19 Frachter mit radioaktiven Abfällen versenkt» haben. (Tagesanzeiger, 25.04.2013)

Da sich auch diese in der Biosphäre befinden, sind die Auswirkungen in etwa ähnlich wie bei den Fässern voll Atom Müll, die in verschiedensten Gewässern verklappert wurden. (Tagesanzeiger, 25.04.2013)

Wiederaufbereitungsanlagen und deren Entsorgung von radioaktivem Abwasser

Unter anderem wird auch heute noch die Strategie der Wiederaufbereitung von Atom Müll verfolgt. Dabei werden abgebrannte Brennstäbe «auf chemischem Wege wiederaufgearbeitet, d. h. in radioaktive Abfallstoffe (Atom Müll) und wiederverwendbares spaltbares Material (insbesondere Uran, Plutonium)» getrennt. (Wikipedia: Wiederaufbereitung) Eine ideale Lösung ist dies aber nicht, da das Volumen des radioaktiven Abfalls vervielfacht wird und in erster Linie der günstigen Produktion von waffenfähigem Plutonium dient. Dies ist unter anderem auch ein Hauptgrund, weshalb dieses Vorgehen stark kritisiert wird. (Schweizerische Energie-Stiftung, o.J.)

Zwei dieser Wiederaufbereitungsanlagen stehen in La Hague (FR) und Sellafield (GB), wo über 3 bis 4 Kilometer lange Rohre «der gleiche Müll, der früher noch spektakulär unter Widerstand von Greenpeace ins Meer gekippt wurde, ohne die unangenehmen Begleiterscheinungen von Demonstrationen unter Wasser ins Meer gepumpt» wird. (Schweizerische Energie-Stiftung, o.J.)

Auch hier sind mögliche Auswirkungen nur schwer messbar und ähneln denjenigen der Verklapperung im Meer. Jedoch konnte man feststellen, dass um La Hague und Sellafield, wo bis dato täglich immer noch Millionen von Litern radioaktives Abwasser legal ins Meer geleitet wird, «mehr Kinder an Leukämie als im nationalen Durchschnitt» erkranken. (Kappenberg 23.04.2013) Dass diese Art der Entsorgung heute noch legal ist, liegt daran, dass im Jahre 1993 lediglich die Entsorgung von radioaktiven Feststoffkörpern ins Meer verboten wurde.

Entsorgung im Weltall

Tatsächlich gab es auch Pläne, den Atommüll mittels Raketen ins Weltall zu schiessen. Dabei dachte man an Lagerungen auf Asteroiden und Planeten oder daran, die Raketen auf direktem Weg in die Sonne zu schiessen. Schnell kam man aber zum Schluss, dass das bei 12'000 Tonnen anfallenden radioaktiven Materials pro Jahr diese Lösung zu kostenintensiv sei, da täglich 6 Raketen starten müssten, um diesen zu beseitigen.

Folgen eines Fehlstarts oder Abschiessen der Rakete durch Dritte könnten dabei ausserdem gravierende Ausmasse annehmen, welche Millionen von Menschen und Tieren betreffen würden. «Auch ballistische und bodengestützte Antriebsmethoden» wurden diskutiert, aber aufgrund fehlender Technologie noch nicht umgesetzt. (Wikipedia: Radioaktiver Abfall)

Endlagerung in der Antarktis

Eine Endlagerung in der Antarktis ist prinzipiell möglich und trennt den radioaktiven Abfall sehr gut von der Biosphäre, wurde aber im Antarktisvertrag von 1959 verboten (Ratifizierungsdatum). Gründe dafür sind unter anderem die starken Wärmeentwicklungen, die die Lagerumgebung negativ beeinträchtigen aber auch unvorhergesehene Unfälle oder Lecks im fragilen Ökosystem der Antarktis. (Wikipedia: Radioaktiver Abfall)

Artikel 5: Nukleare Explosionen oder Entsorgung radioaktiven Abfalls sind verboten.

(Wikipedia: Antarktis-Vertrag, in Kraft seit 1961)

Szenario für die zukünftige Entwicklung

Kernfusion – Die Sonne auf der Erde

Grosses Entwicklungspotential besteht im Vergleich zu der Kernspaltung (-fission) im Bereich der Kernfusion, wo zwei leichte Atome zu einem schweren Atom fusionieren und Energie abgeben. Dabei kommen Deuterium und Tritium, Isotope von Wasserstoff, zum Einsatz, wobei Tritium eine Halbwertszeit von 12.3 Jahren hat, während es bei Plutonium oder Uran mehrere tausend Jahre sind – ein Zeitraum, der für den Mensch gar nicht mehr greifbar, geschweige denn kontrollierbar ist. Ausserdem sind die Rohstoffe Deuterium und Tritium im Gegensatz zu Plutonium oder Uran im Überfluss vorhanden.

Auch hier wird radioaktiver Abfall erzeugt – vergleichsweise mit einem Kernreaktor etwa in gleichen Mengen aber vor allem schwächerer, sofern man «für die Fusion spezielle, niedrig-aktivierbare Materialien» verwendet. Auch kann ca. 60 bis 70% des Abfalls nach 100 Jahren rezykliert und wiederverwendet werden. Auf eine Endlagerung von Abfällen aus der Kernfusion könnte deshalb verzichtet werden. (IPP, o.J.)

Ein weiterer Vorteil eines Kernfusionsreaktor ist, dass er aus physikalischen Gründen nicht ausser Kontrolle geraten kann, da er mit dem radioaktiven Brennstoff Tritium betrieben wird. Eine aufschaukelnde Kettenreaktion wie bei der Kernspaltung ist dadurch ausgeschlossen, da der gesamte Prozess bei ausfallender Kühlung zum Erliegen kommt. Ein Super-GAU wie in Tschernobyl (1986) oder Fukushima (2011) wäre somit unmöglich. (Scinexx, 26.03.2000)

Bis der Strom aus Kernfusion ans kommerzielle Netz geht, werden aber wahrscheinlich noch ein paar Jahre vergehen. Am 9. November 1991 gelang es Forschern erstmals, eine kontrollierte Kernfusion für zwei Sekunden in einem Experimentalreaktor JET (Joint European Torus) ablaufen zu lassen. Seitdem ist die Forschung in diesem Gebiet stark intensiviert worden. Ein Nachfolger des JET, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) genannt, ist seit 2007 in Cadarache (FR) im Bau. Der Zeitplan sieht voraus, dass 2025 das erste Wasserstoffplasma erzeugt werden soll, bevor erst 2035 auf Tritium umgestiegen werden soll. Gründe dafür sind noch offene Fragen zur Plasmaphysik, die erforscht werden sollen, bevor das umliegende Material durch Einsatz von Wasserstoffisotopen aktiviert wird. (Wikipedia: ITER)

Das deutsche Bundesforschungsministerium teilt in einer Publikation mit, Strom aus Fusionsreaktoren «voraussichtlich erst nach 2050 verfügbar» sein wird. (BMWi, September 2018)

Die Tageszeitung «Handelsblatt» schreibt dazu: «Frühestens 2055 könne der Kraftwerksprototyp Demo, der auf ITER folgen soll, tatsächlich Strom ins Netz einspeisen.» (Olk 14.01.2019)

Anders sieht das das amerikanische Unternehmen Commonwealth Fusion Systems. Mit einem Tokamak-Reaktor wollen sie, nachdem sie 2025 eine erfolgreiche Kernfusion demonstrieren werden, 2033 ans Netz gehen.

Ähnliche Ziele hat das Unternehmen Tokamak Energy: Ihr ultimatives Ziel ist eine Netzeinspeisung mittels eines Fusionsreaktors im Jahre 2030. (Ball, 09.08.2019)

Persönliche Interpretation und Einschätzung

Vergleicht man nun die verschiedenen Möglichkeiten der Entsorgung wird einem schnell klar, dass die Endlagerung radioaktiven Abfalls in geologischen Tiefenlager wohl die sicherste von allen ist. Dass Widerstand von den Bewohnern umliegender Gebiete kommt, ist selbstverständlich, muss aber zum Wohl aller in Kauf genommen werden. Unserer Meinung nach lohnt sich die Investition in GTLs nach wie vor. Da es bis zur kommerziellen Nutzung von Kernfusionsenergie wahrscheinlich noch viele Jahre dauern wird, und die noch heute produzierten radioaktiven Abfälle bis dann noch nicht abgeklungen sind, werden sie auch dann noch vonnöten sein.

Die richtige Standortsuche hat dabei eine essenzielle Bedeutung, da die GTLs mehrere tausend Jahre überdauern müssen und dabei vor verschiedensten äusseren und inneren Einwirkungen geschützt sein müssen.

Einen hohen Stellenwert dabei hat auch die Transparenz nach aussen. Unter anderem ist wichtig, einen nahen Kontakt zu interessierten und teils noch unsicheren Bewohnern zu pflegen, um ein möglichst gutes, positives Bewusstsein bei der Bevölkerung zu erzielen.

Fazit

- Mittels Kernenergie kann man grosse Mengen an elektrischen Strom gewinnen.
- Wir sind mit der momentanen Energielösung vom atomaren Strom abhängig.
- Das Interesse der Bevölkerung für die Lagerung atomaren Abfalls lässt nach.
- Radioaktive Abfälle zu entsorgen ist aufwändig und ein langwieriger Prozess.
- Alternativlösungen bergen Risiken für Mensch und Umwelt.
- Die Tiefenlagerung radioaktiven Abfalls wird generell von den Schweizern befürwortet.
- Die Nagra und ENSI versuchen die Bevölkerung bestmöglich zu informieren.
- Geologische Tiefenlager sind im Vergleich mit anderen Entsorgungsmöglichkeiten sehr sicher.
- Aufgrund bisher entstandener radioaktiver Abfälle werden auch zum Zeitpunkt einer kommerzialisierten Einführung von Kernfusionsenergie GTL's benötigt.
- Kernfusion soll uns die Möglichkeit bieten, höhere Energieerträge mit vergleichsweise weniger stark strahlendem Abfall zu gewinnen.

Literaturverzeichnis

- Stalder (2.10.2019.) Abgerufen am 8.11.2019 von <https://www.nzz.ch/schweiz/kernkraftwerke-sollen-60-jahre-laufen-ld.1512560>
- Schell (21.1.2019). Abgerufen am 8.11.2019, von <https://www.nzz.ch/schweiz/atomunfall-von-lucens-explosion-und-kernschmelze-vor-50-jahren-ld.1451643>
- Crease (3.4.2019). Abgerufen am 8.11.2019, von <https://www.nytimes.com/2019/04/03/books/review/adam-higginbotham-midnight-in-chernobyl.html>
- Hägler (9.5.2019). Abgerufen am 8.11.2019, von <https://www.aargauerzeitung.ch/aargau/fricktal/40-jahre-seit-kaiseraugst-tausende-demonstrierten-1975-gegen-neues-akw-129018240>
- Lern Helfer (o.J.). Abgerufen am 5.11.2019, von <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/kernkraftwerk>
- Lüdecke H.J, Ruprecht G., Huke A., 10.11.2015, 9 Fragen zu Kernkraftwerken, Abgerufen am 5.11.2019, von https://www.eike-klima-energie.eu/wp-content/uploads/2016/07/9_Fragen_zu_Kernkraftwerken_10Nov_2015.pdf
- Ralph Eichler, Kernenergie in der Schweiz. (o.J.), Abgerufen am 4.11.2019, von https://www.win-swiss.ch/htm/die_schweizer_kernkraftwerke.htm
- Geologische Tiefenlager (o.J.) Abgerufen 5.11.2019, von <https://www.ensi.ch/de/aufsicht/entsorgung/geologische-tiefenlager/>
- Forschungsbericht: Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung radioaktiver Abfälle Basel, 22. März 2013 <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/30104.pdf>
- Radioaktivität und Röntgenstrahlung (o.J.), Abgerufen 5.11.2019, von <https://www.krebsinformationsdienst.de/vorbeugung/risiken/radioaktivitaet-und-roentgenstrahlen.php>
- Markus Fritschi. Abgerufen 5.11.2019, von <https://www.srf.ch/news/schweiz/tiefbohrungen-fuer-endlager-nagra-versucht-anwohnern-die-angst-zu-nehmen>
- Rachel Hämmerli. Abgerufen 5.11.2019, von <https://www.blick.ch/news/schweiz/zuerich/das-sagen-die-bewohner-zum-moeglichen-endlager-in-buelach-zh-so-tief-kann-der-atommuell-keinen-schaden-anrichten-id15274839.html>
- Heiner Keller. Abgerufen 5.11.2019, von https://www.g20.ch/images/03_PDF/Nagra-beginnt-Bohrungen-vor-Phase-3-des-Sachplans_01-10-18.pdf
- Erich Aschwanden. Abgerufen 5.11.2019, von <https://www.nzz.ch/schweiz/nidwalden-will-den-atommuell-fluch-endlich-los-werden-ld.1390074>
- Michel Burtscher. Abgerufen 5.11.2019, von <https://www.tagblatt.ch/schweiz/ein-wenig-widerstand-im-weinland-ld.1046830>
- Bundesamt für Energie BFE, Kernenergie, 12.07.2016. Abgerufen 10.11.19, von <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/kernenergie.html>
- Swissvotes: Liste der Abstimmungen, Universität Bern, 2019. Abgerufen 10.11.19, von

<https://swissvotes.ch/page/home>

- Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Geschichte der Entsorgung, 2019, Abgerufen am 10.11.2019, von
- <https://www.ensi.ch/de/aufsicht/entsorgung/geologische-tiefenlager/geschichte-der-entsorgung/>
- Broschüre «Geologische Tiefenlager: Radioaktive Abfälle sicher entsorgen», 2013, Abgerufen am 10.11.2019, von
<https://www.ensi.ch/de/dokumente/broschuere-geologische-tiefenlager-radioaktive-abfaelle-sicher-entsorgen/>
- Wikipedia: Kernenergie in der Schweiz, Abgerufen 10.11.2019, von
https://de.wikipedia.org/wiki/Kernenergie_in_der_Schweiz
- Bundesamt für Energie BFE, Sachplan geologische Tiefenlager, 2017, Abgerufen am 10.11.2019, von
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/kernenergie/radioaktive-abfaelle/sachplan-geologische-tiefenlager.html>
- Medienmitteilung, Bundesrat, Standortsuche für geologische Tiefenlager, 2018, Abgerufen am 10.11.2019, von
<https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-73052.html>
- Wikipedia: Radioaktiver Abfall, Abgerufen am 11.11.2019, von
https://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktiver_Abfall
- Kappenberger (23.4.2013). Abgerufen am 11.11.2019, von
<https://www.freitag.de/autoren/david-kappenberger/aus-den-agen-aus-dem-sinn>
- Stalder (11.11.2019). Abgerufen am 16.11.2019, von
<https://www.nzz.ch/schweiz/schweizer-atommuell-klappe-auf-und-ins-meer-damit-lid.1486453>
- Wikipedia: Antarktis-Vertrag, Abgerufen am 11.11.2019, von
<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19590251/index.html#a5>
- International Atomic Energy Agency (IAEA), Publikation, 1999, Abgerufen am 11.11.2019, von https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1105_prn.pdf
- Tagesanzeiger (25.4.2013). Abgerufen am 11.11.2019, von
<https://www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/Schweizer-Atomsuenden-auf-dem-Meeresboden/story/27007216>
- ARD, Arte (23.4.2013), Abgerufen am 16.11.2019, von
https://programm.ard.de/TV/arte/versenkt-und-vergessen/eid_287249744132179
- Wikipedia: Wiederaufbereitung. Abgerufen am 11.11.2019, von
<https://de.wikipedia.org/wiki/Wiederaufarbeitung>
- Schweizer Energie-Stiftung, Abgerufen am 11.11.2019, von
<https://www.energiestiftung.ch/atomenergie-atommuell.html>
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik IPP, Abgerufen am 11.11.2019, von
<https://www.ipp.mpg.de/2641049/faq9>
- Scinexx das Wissensmagazin, Abgerufen am 11.11.2019, von
<https://www.scinexx.de/dossierartikel/kernfusion-eine-saubere-energie/>

- Wikipedia: ITER, Abgerufen am 11.11.2019, von <https://de.wikipedia.org/wiki/ITER>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Abgerufen am 11.11.2019, von https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/7-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- Handelsblatt, Abgerufen am 11.11.2019, von <https://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/energie-strom-aus-kernfusion-soll-die-energiwelt-revolutionieren/23863638.html?tick%E2%80%A6>
- Science Focus, Abgerufen am 11.11.2019, von <https://www.sciencefocus.com/future-technology/meet-the-renegades-building-a-nuclear-fusion-reactor-in-your-neighbourhood/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 (Titelbild): ZWILAG Würenlingen, Konditionierte Fässer warten auf ihre Endlagerung in einem GTL (Quelle: Abgerufen von https://www.20min.ch/schweiz/zuerich/story/Brand-Alarm-in-Atommuell-Lager-24000687?httpredirect)	1
Abbildung 2: Strommix aus der Steckdose (Quelle: Abgerufen von https://www.kernenergie.ch/de/schweizer-strommix-_content---1--1069.htm)	3
Abbildung 3: Produzierter Strom im Verlauf eines Tages (ohne Verbrauch) (Quelle: Abgerufen von https://www.kernenergie.ch/de/schweizer-strommix-_content---1--1069.html)	4
Abbildung 4: Suchanfragen Google nach radioaktivem Müll/Nagra 2004-2019 (Google Trends).....	5
Abbildung 5: Verklapperung radioaktiven Abfalls, weltweit (Quelle: Abgerufen von https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1105_prn.pdf)	13
Abbildung 6: Entsorgung radioaktiven Abfalls ins Meer (Quelle: Abgerufen von https://www.freitag.de/autoren/david-kappenberg/aus-den-auge-n-aus-dem-sinn)	13
Abbildung 7: Stark zersetztes Fass, nur 100m in der Tiefe (Quelle: NZZ/Greenpeace).....	14
Abbildung 8: Standorte schweizerischer Entsorgung von SMA (Quelle: Abgerufen von https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1105_prn.pdf)	14

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Geologische Tiefenlagerung radioaktiven Abfalls in der Schweiz

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Albani
Paraviani
Höllwarth
Buckingham
Schräg

Vorname(n):

Jean
Luc
Thorbjörn
Denis
Fabian

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

14.11.2019 Zürich

Unterschrift(en)

Jean Luc
Thorbjörn
Buckingham
Schräg

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Geologische Tiefenlagerung radioaktiven Abfalls in der Schweiz

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Peer

Vorname(n):

Lionel

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

14.11.2019, Zürich

Unterschrift(en)

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.