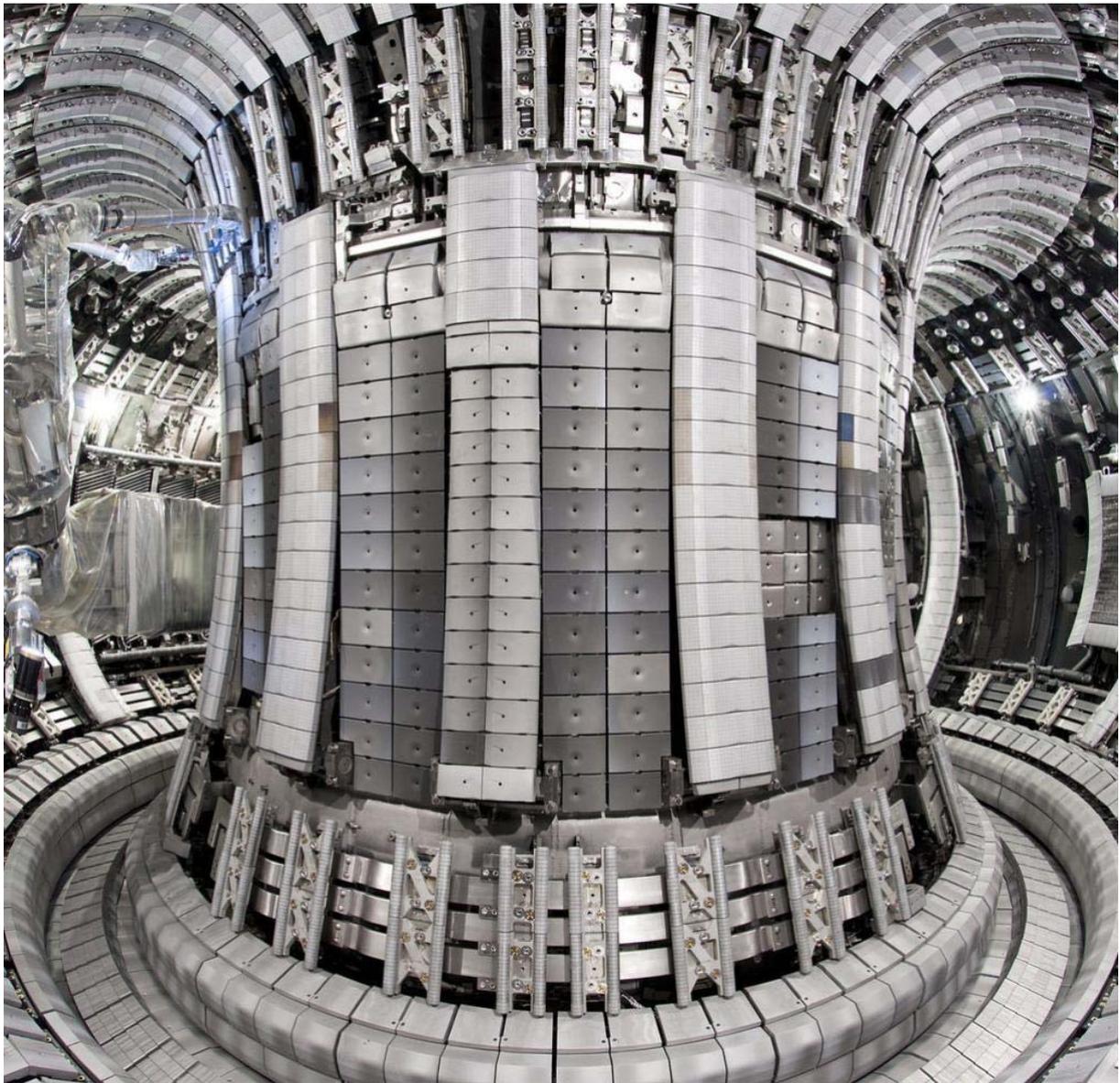


Modul „Die moderne, intelligente Stadt – SMART
CITY – Lernen von den Biologen“

Thema: „Kernfusion – Energiequelle der Zukunft?“



[1]

Name: Male Arimond

Matrikelnummer: 2349830

Datum: 24.10.2019

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Grundlagen.....	4
2.1. Kernfusion in der Natur.....	4
2.2. Kernfusionsreaktionen.....	5
2.3. Technische Voraussetzungen für die Kernfusion.....	6
2.4. Typen der Kernfusionsreaktoren.....	6
3. Diskussion: Vor- und Nachteile der Kernfusion.....	7
4. Fazit.....	10
5. Literatur.....	11

1. Einleitung

Atmung, Wasser, Nahrung, Schlaf, Homöostase und Fortpflanzung. Dies ist, laut dem US-amerikanischen Psychologen Abraham Maslow, die Definition unserer Grundbedürfnisse. An der Spitze der von ihm entworfenen Bedürfnispyramide steht die Selbstverwirklichung, welche mit der Erreichung des Wohlstands gleichgesetzt wird.^[2] Der moderne Wohlstand jedoch, gemessen an dem erwirtschafteten Einkommen pro Kopf, steht im direkten Verhältnis zu unserem Stromverbrauch. Laut einer Studie des Umweltbundesamts zeigt sich, dass je höher das Bruttosozialprodukt pro Kopf ist, desto höher auch der Konsum und der daraus resultierende Verbrauch von Energieressourcen.^[3]

Ein Wachstum dieses Bedarfs ist jedoch nicht nur in den wohlhabenderen westlichen Ländern zu sehen, sondern viel stärker ausgeprägt auch in den Schwellenländern, wie zum Beispiel in der Volksrepublik China. Pro Jahr baut China ein Gigawatt an zusätzlicher Stromerzeugung hinzu. Gegensätzlich zu diesem gesteigerten Wunsch nach Wohlstand steht jedoch das Vorhandensein der Ressourcen, welche diesen Wunsch erfüllen könnten.

Neben Kohle gewinnen vor allem Öl und Erdgas an Bedeutung, wobei derzeit etwa 85% des weltweiten Energieverbrauchs auf fossile Brennstoffe entfallen. Hierbei besteht allerdings das Problem der erhöhten Emission bei der Energiegewinnung, sowie der determinierten Verfügbarkeit an fossilen Brennstoffen, deren Abbau zu zusätzlichen Emissionen führt. Dies zeigt sich vor allem in dem Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, welche seit Beginn der Industrialisierung von 280 ppm auf 405 ppm gestiegen ist, es sich also um eine Steigerung der Konzentration um 45% handelt. Diese zusätzlichen 125 ppm CO₂ haben eine Heizwirkung von 2 Watt pro Quadratmeter Erdoberfläche, was bereits genug ist, um bis heute die globale Temperatur um rund 1 °C anzuheben. Folgen dessen zeigen sich im Anstieg des Meeresspiegels, sowie dem Verlust der Artenvielfalt.^[4]

Wie ist es nun also möglich diese beiden Prozesse zu vereinbaren, um dem Menschen das Grundbedürfnis der Selbstverwirklichung, welches im direkten Zusammenhang zu dem Energieverbrauch steht, zu vereinbaren?

Ansätze zur Lösung bestehen in der Nutzung der Sonnenenergie, welche jedoch nicht ausreichend Energie liefert, um die exponentiell wachsende Weltbevölkerung zu versorgen. Ein weiterer Lösungsansatz besteht in der Kernspaltung. Ihr Vorteil besteht in der effizienten Energiegewinnung, welche in der Lage wäre einen Großteil der Menschen mit Strom zu versorgen. Auf der anderen Seite birgt sie jedoch durch das Auslösen einer Kettenreaktion zur Energiegewinnung im Reaktor, die Gefahr einer Kernschmelze, falls es zu einem

unerwarteten Ausfall der Reaktorkühlung kommen würde. Eine Folge dessen ist das Austreten radioaktiven Materials, was dazu führen würde, dass sowohl für die Menschen, als auch für Tiere das betroffene Gebiet nicht mehr Besiedlungsfähig wäre. Beispielshaft ist hier das Kernkraftwerk in Tschernobyl zu nennen, dessen Kernschmelze zu den schwersten nuklearen Unfällen gehört.

Alle bisher genannten Wege zur Energiegewinnung könnten also jeweils nur eines der genannten Bedingungen für eine effiziente und umweltfreundliche Ressource erfüllen.

Wie jedoch steht es um die Kernfusion, welche oftmals als „saubere“ Energie bezeichnet wird und zu einer Revolution der Energiewelt führen soll.

Könnte sie wirklich als Energiequelle der Zukunft dienen?

2. Grundlagen

2.1. Kernfusion in der Natur

Die Sonne ist eine Plasmakugel, welche im Wesentlichen aus Wasserstoff und Helium besteht und das Zentrum unseres Sonnensystems bildet. Ihre Strahlung ist die Grundvoraussetzung für die Entwicklung des irdischen Lebens. Die Hälfte ihrer gesamten Masse konzentriert sich so sehr in ihr Inneres, dass sie nur etwa 1,5% des gesamten Sonnenvolumens ausmacht. Somit herrscht in ihrem Zentrum ein Druck von etwa 200 Millionen bar und eine Temperatur von 15 Millionen Kelvin.

Um die zuvor genannte Strahlung erzeugen zu können, benötigt sie, wie jeder andere Stern auch, eine Energiequelle. Grundvoraussetzung dieser Quelle ist der extrem hohe Druck und die hohen Temperaturen, die zur Erzeugung des Plasmas führen. Dadurch ist es möglich, dass sich vier Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern fusionieren. Pro Kilogramm erzeugtes Helium werden dabei etwa 630 Terajoule Energie frei. Ein Kernkraftwerk hingegen muss etwa eine Woche lang durchgehend arbeiten, um dieselbe Energiemenge erzeugen zu können.

[5]

Folgernd dessen handelt es sich bei den Kernfusionsreaktoren also um nichts anderes als ein irdisches Sonnenfeuer.

2.2. Kernfusionsreaktionen

Wie im vorherigen Teil beschrieben, fusionieren in einem Stern vier Wasserstoffkerne miteinander zu einem Helium Kern. Auf Grund der erhöhten Energieausbeute wird jedoch kein Wasserstoff, sondern dessen Isotope Deuterium und Tritium verwendet.

Deuterium besitzt zusätzlich ein weiteres Neutron und ist somit doppelt so schwer wie ein Wasserstoffatom. Außerdem kommt Deuterium, mit einem relativen Anteil von 0,016% natürlich in Wasser vor. Damit beträgt dessen Konzentration im Meerwasser 34 Gramm pro Kubikmeter. Sein Energiegehalt ist außerdem so groß, dass es möglich ist aus einem Liter Meerwasser genauso viel Energie zu gewinnen, wie aus 250 Litern Erdöl.

Im Gegensatz zu Deuterium handelt es sich bei Tritium um ein instabiles Wasserstoffisotop mit einem Proton und zwei Neutronen. Da es natürlich kaum vorkommt wird es durch Neutroneneinfang aus Lithiumisotopen hergestellt. Seine Halbwertszeit beträgt 12,32 Jahre.

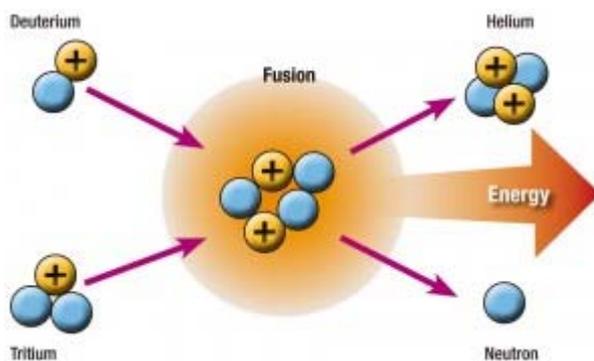


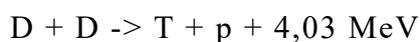
Abbildung 1: Fusionschema von Deuterium und Tritium^[6]

In der Abbildung 1 ist die Fusionsreaktion zwischen den Wasserstoffisotopen Deuterium und Tritium dargestellt:



Bei der Fusion der beiden Kerne entstehen also ein Helium. Des Weiteren wird ein Neutron und 17,6 MeV Energie freigesetzt.

Neben dieser Hauptreaktion zwischen Deuterium und Tritium, kommt es zusätzlich auch noch zur Fusion zwischen zwei Deuterium Kernen:



Hierbei entsteht ein Tritium, sowie zusätzlich ein Proton und eine Energie von 4,03 MeV. Das entstandene Tritium kann nun wieder mit einem Deuterium fusionieren.^[7]

2.3. Technische Voraussetzungen für die Kernfusion

In der Sonne herrscht eine Temperatur von etwa 15 Millionen Kelvin, sowie ein Druck von 200 Millionen bar. Diese Bedingungen ermöglichen eine erfolgreiche Fusion zwischen den Wasserstoffkernen.

Da es mit den gegenwärtigen Forschungen noch nicht möglich ist, so einen hohen Druck zu erzeugen und diesen stand zu halten, wird eine erhöhte Temperatur um das 10-fache innerhalb des Reaktors benötigt, um das Plasma erzeugen zu können. Somit muss eine Temperatur von 150 Millionen Kelvin herrschen.

Des Weiteren wird dadurch ein ringförmiges Magnetfeld benötigt, welches das Plasma innerhalb des Reaktors einschließen kann, da kein derzeit bekanntes Material auf längerer Sicht bei diesen Temperaturen bestehen könnte. Es wird zwischen folgenden zwei Arten unterschieden, wie das Magnetfeld erzeugt wird:

Bei dem einen Heizofen wird das Magnetfeld lediglich durch äußere Spulen erzeugt. Reaktortypen dieser Art werden als Stellaratoren bezeichnet. Bei dem zweiten Typus, dem Tokamak, fungiert das Plasma selber als eine innere Spule und leitet den Strom, wodurch das Magnetfeld erzeugt werden kann. Es handelt sich hierbei also um Wechselstrom, welcher durch eine Pulsung in einem Rhythmus von etwa zwei Stunden erzeugt werden kann.

Neben dem Magnetfeld sind auch die Größe, sowie der Durchmesser sehr wichtig für eine effiziente Energiegewinnung mittels Fusionsreaktoren. So steigt die aus dem Reaktor gewonnene Energie mit einer Potenz von 10^7 gegenüber dem Durchmesser des Reaktors.^[7]

2.4. Typen der Kernfusionsreaktoren

Wie zuvor beschrieben wird in der Kernfusionsforschung zwischen zwei Grundprinzipien unterschieden, dem Tokamak und dem Stellarator.

Während der Tokamak eine Pulsung benötigt um das Plasma zu erzeugen, wäre der Stellarator für den Dauerbetrieb geeignet. Dessen Nachteil allerdings besteht darin, dass die Anbringung der geforderten Magnetspulen sehr aufwendig ist und momentan keine Lösung gefunden wurde, um das Plasma so zu erhalten, sodass eine positive Energieeffizienz entstehen würde. Durch eine neue Innenverkleidung, bei der es sich um Kachelsteine aus Graphit handelt, ist es dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik jedoch gelungen mit ihrem Stellarator „Wendelstein 7-X“ einen neuen Weltrekord aufzustellen. So konnten sie im Jahr 2017 ein Plasma für insgesamt 26 Sekunden erzeugen.^[8]

Bei dem Standort Garching arbeitet das Institut auch noch mit dem anderen Typus, dem „ASDEX Upgrade“. Dieser ging bereits im Jahr 1991 in Betrieb und bietet die Grundforschung für das aktuelle Großprojekt „ITER“.

Bei ITER handelt es sich um einen internationalen Experimentalreaktor, wobei Europa, Japan, die USA, die russische Föderation, sowie China, Süd-Korea und Indien gemeinsam zeigen möchten, dass es physikalisch möglich ist, durch die Kernverschmelzung Energie zu gewinnen. Ziel ist eine Fusionsleistung von 500 Mega Watt, was einen Gewinn der zehnfach zugeführten Energiemenge beträgt, welche für das Aufheizen des Plasmas benötigt wird.

3. Diskussion: Vor- und Nachteile der Kernfusion

Auch bei der Kernfusion handelt es sich um Atomenergie, die gleich mit radioaktiven Abfall und einer Gefahr durch die Kernschmelze assoziiert wird. Welche Gefahr jedoch birgt die Kernfusion?

Kommt es zu einer Verschmelzung zwischen zwei Atomen, so werden Neutronen ausgestrahlt. Dies führt dazu, dass die Heizöfen selber radioaktiv werden und anfangen zu strahlen. Es sind also nicht die Heizstäbe, wie bei der Fission, sondern die Heizöfen selber, welche zu dem sogenannten „radioaktiven Müll“ werden. Während Uran allerdings eine Halbwertszeit von 703 Millionen Jahren besitzt, sind die Öfen bereits nach 50 Jahren abgestrahlt. Als Lösungsansatz, um diesen Zeitraum zu überdauern, möchte man während dieser Zeitperiode einen zweiten Heizofen bauen. Dies bietet die Möglichkeit beide Öfen abwechselnd in einem Intervall von 50 Jahren zu betreiben, so dass das zuvor genannte radioaktive Material abstrahlen kann. Das eigentliche Endprodukt der Kernfusion ist Helium, welches im Vergleich zu dem Endprodukt der Kernspaltung nicht radioaktiv ist. Schlussfolgernd dessen zeigt sich, dass es möglich ist durch die Fusion eine „saubere Energie“ zu schaffen.

Durch die extrem hohen Temperaturen, welche für die Erzeugung des Plasmas nötig sind, wird jedoch auch eine extrem hohe Energie benötigt. So muss auf der einen Seite ein Magnetfeld erzeugt werden, welches in der Lage ist das Plasma zu halten und auf der anderen Seite muss dieses vorgeheizt werden, damit es zu einer Fusion kommen kann. Umgerechnet beträgt dieser Energiebetrag etwa 50 Megawatt. Um diese investierte Energie wieder zu gewinnen, muss das Plasma, je nach Größe des Reaktors, für einen gewissen Zeitraum bestehen, was derzeit noch nicht gelungen ist.

Auf der anderen Seite zeigt sich durch die Fusion jedoch auch eine extrem hohe Effizienz im direkten Vergleich zu Kohle oder anderen Energiequellen. So wird, um dieselbe Energie wie aus 1g Wasserstoff zu erzeugen, etwa 10 Millionen Gramm Kohle benötigt. Dieser Brennstoff wäre also um das 10 Millionen fache effektiver als Kohle.

Was wäre jedoch mit der Gefahr einer Kernschmelze? Könnte es bei der Kernfusion überhaupt so weit kommen? Bei der Kernspaltung handelt es sich um Brennstäbe, an denen ein radiokativer Stoff (meist Uran) zerfällt. Dieser Vorgang führt dazu, dass Neutronen ausgestrahlt werden, welche durch Wasser gebremst werden können und nun wieder einen weiteren Urankern spalten. Folge dessen ist eine Kettenreaktion, welche mit Hilfe des Moderators Wasser gezielt fortgeführt werden kann. Kommt es allerdings zu einem Abschalten des Reaktor-Kühl Systems, so steigen die Temperaturen durch die sich weiter fortpflanzende Reaktion in den Brennstäben. Nicht nur das radioaktive Material, sondern auch die Brennstab-Umhüllung schmelzen.^[9] Bei der Fusionsreaktion hingegen, würde bei einem Stromausfall das Magnetfeld zerfallen. Dies hätte zur Folge, dass das Plasma nun die Wände des Heizofen berühren würde und diese dadurch erhitzt. Durch diesen Vorgang wird dem Plasma Energie entzogen, wodurch es zerfallen würde. Das größte Risiko bei einem unkontrollierten Ausfallen der Systeme bestände also darin, dass die Innenverkleidung der Öfen beschädigt werden würde, während außen herum nichts austreten könne. Der Vorteil der Kernfusion besteht also eindeutig in einem viel geringeren Gefahrenpotential gegenüber der Kernspaltung.

Falls es jedoch trotzdem auf einem Weg dazu käme, dass Tritium austrete, so würde auch bei diesem Prozess radioaktives Material freigesetzt werden. Auf Grund seiner hohen Ähnlichkeit zu Wasserstoff würde anstatt des Wasserstoffatoms Tritium an dessen Stelle bei Kontakt in den Körper eingebaut werden. Dies hätte zur Folge, dass es im Körper zur Strahlung käme und somit gefährlich für uns wäre. Jedoch beträgt die Halbwertszeit von Tritium in unserem Körper etwa zwei Wochen, so dass es im direkten Vergleich zu Uran wesentlich schneller abgebaut werden könnte.

Wie in dem Abschnitt der Kernfusionsgrundlagen beschrieben, handelt es sich bei der irdischen Fusion um eine Fusion zwischen Deuterium und Tritium. Diese Isotope werden zu einem aus Wasser und zum anderen aus Lithium, welches in der Erdkruste vorhanden ist, gewonnen. Klarer Vorteil bei den verwendeten Edukten besteht also darin, dass diese Stoffe für jedes Land zugänglich wären und sich die Rohstoffe, wie zum Beispiel Öl oder Kohle, nicht nur auf bestimmte Gebiete beschränken. Dadurch wäre die Möglichkeit geboten, dass

einzelne Länder nicht von den Vorkommen anderer abhängig wären, da sie selber über die benötigten Rohstoffe ihrer Energiegewinnung verfügen könnten.

Dessen gegenüber stehen jedoch Projekte, wie beispielsweise ITER in der Kritik. Sie werden bezeichnet als „Geldverbrennungsmaschine der Physik“^[10] und auch der Physiker „Sebastien Balibar“, bezeichnet diese Projekt als „Fusionsmythos“.^[11]

Basis dieser Kritiken beruhen zu einem in den Investitionen, welche für ITER benötigt werden und bereits wurden und zum anderen in der Zeitspanne, welche zwischen Forschung und endgültigem Anschluss an ein Stromnetz liegt.

In einem Interview mit der der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ erklärt der Physiker „Hartmut Zohm“, dass sich die Kosten, welche zunächst eingeplant waren, bereits verdreifacht haben. So sind diese von fünf Milliarden Euro auf 15 Milliarden Euro gestiegen. Und auch die Inbetriebnahme hat sich um 9 Jahre verschoben. Vorgesehen ist diese für das Jahr 2016 gewesen, nun wird davon ausgegangen, dass sie frühestens im Jahr 2025 möglich sei. Außerdem handelt es sich bei ITER lediglich um ein Forschungsprojekt, welches niemals an ein Stromnetz angeschlossen werden wird. Laut der aktuellen „Energy Roadmap“ wird es erst im Jahr 2050 dazu kommen, dass ein Fusionskraftwerk an das Stromnetz angeschlossen werden kann. Balibar ist der Meinung, dass es sich bei ITER zwar um ein sehr tolles, jedoch viel zu komplexes und langfristiges Projekt handle. Er sagt, dass wir, um das Problem des Klimawandels zu bekämpfen sofort aufhören müssten fossile Brennstoffe zu verwenden. Die Fusionsforschung sei jedoch laut aktuellem Stand noch viel zu komplex und bei erster Inbetriebnahme sei es bereits zu spät, um noch etwa gegen die Erderwärmung auszurichten.

Er ist der Meinung, dass es besser wäre, statt so viel Geld in die Forschung noch nicht realisierbarer Projekte zu stecken, auf bereits bekannte klimafreundliche Energieressourcen, wie Windkraft oder Solarenergie zurück zu greifen und diese weiterhin zu fördern.^[11]

Weiteres Risiko besteht auch in der Investition des Projekts ITER. Diese basiert auf der Zusammenarbeit von insgesamt sieben gleichberechtigter Partner, was im Umkehrschluss bedeutet, dass die Zusammenarbeit gleichzeitig auch auf Vertrauen zwischen den unterschiedlichen Partnern basiert und somit abhängig von der Regierung der jeweiligen Ländern ist. So sind die USA auf Grund des damaligen Präsidenten bereits 1998 und 2003 vorübergehend aus dem Projekt ausgestiegen. Mit Sätzen wie „In the beautiful Midwest, windchill temperatures are reaching minus 60 degrees, the coldest ever recorded. In coming days, expected to get even colder. People can't last outside even for minutes. What the hell is

going on with Global Warming? Please come back fast, we need you!“^[12] des aktuellen Präsidenten der vereinigten Staaten, lässt sich drauf schließen, dass weniger in erneuerbare Energien investiert wird und die Gefahr eines erneuten Austritts aus dem Projekt ITER besteht.

Die Frage besteht also weiterhin: Sollte man wirklich all diese Risiken eingehen und weiter in die Fusionsforschung investieren oder wirklich eher auf bekannte Energieressourcen zurückgreifen und diese weiterfördern?

4. Fazit

Antwort auf diese Fragestellung bietet meiner Meinung nach der Generaldirektor des Projekts ITER „Bernard Bigot“. Er sagt, dass gemessen an den Ergebnissen, welche durch die Fusionsforschung erreichbar wären, die Investitionen für das Projekt lächerlich sein.^[13]

Jedoch bin ich auch der Meinung, dass es nicht das Ziel sein sollte, sich auf ein Projekt zu beschränken und lediglich in die Fusionsforschung zu investieren. Es ist wichtig mehrere Energiequellen zu besitzen, so dass es nicht zu einer Abhängigkeit von einer einzigen Ressource kommt. Auf der anderen Seite stimme ich jedoch auch dem Physiker Balibar zu, dass es nötig ist so schnell wie möglich auf fossile Brennstoffe zu verzichten. Bereits jetzt kam es zu einem Anstieg der globalen Temperaturen um $1,5^{\circ}\text{C}$, was sowohl dazu führte, dass der Lebensraum von Tieren und aber auch von uns selber zerstört wurde. Ich denke wir sollten jede Möglichkeit nutzen um weiter in die Forschung erneuerbarer Energien zu investieren. Auch wenn ein Risiko durch den Austritt anderer Staaten oder durch eine lange Zeitspanne besteht, sollte dieses Risiko nicht ein Grund sein, um von der Forschung abzulassen. Mit Entdeckung des Flüssigtreibstoffs schaffte man es schließlich auch durch weitere Forschung auf den Mond zu fliegen.

Ich bin jedoch auch der Meinung, dass letztendlich die Wahl der Ressource nicht nur von der Regierung, sondern auch von der Bevölkerung und der damit verbundenen Wahl der ausgewählten Energienutzung abhängt. Fördern wir weiterhin die fossilen Brennstoffe oder greifen wir bereits jetzt auf einen anderen Stromanbieter zurück und fördern diesen damit?

Die Kernfusion ist zum Einem ein klimafreundlicher Weg Energie zu gewinnen und birgt zum anderen nicht die Gefahr durch ihre Endlichkeit irgendwann als Ressource auszugehen.

Allein durch die aktuellen Klimaentwicklungen, welche auf der ökologischen Ebene immer akuter werden, denke ich, dass Kernfusion unsere Energiequelle der Zukunft ist und weiter in dessen Forschung investiert werden sollte.

5. Literatur

- [1] <https://www.welt.de/img/wissenschaft/mobile105229312/3792502567-ci1021-w1024/Sonnenfeuer-ak-031111-DW-Wissenschaft-Culham-jpg.jpg>, zuletzt aufgerufen am 24.10.2019
- [2] Vgl. Abraham Maslow, *Cases in Personality and Abnormal Psychology*. Brooklyn College Press, New York 1938
- [3] statistisches Bundesamt: Datenreport 2018
- [4] Stefan Rahmstorf, „der globale CO₂ Anstieg“, 29.07.2017
<https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/der-globale-co2-anstieg-die-fakten-und-die-bauernfaengertricks/>, zuletzt aufgerufen am 24.10.2019
- [5] Dr. R. Brodbeck, „Die Sonne“, Lexikon der Astronomie, Verlag: Spektrum akademischer Verlag (1999), Auflage 8, S. 319
<https://lexikon.astronomie.info/sonne/index.html>, zuletzt aufgerufen am 28.10.2019
- [6] <https://kernenergie.technology/was-ist-kernenergie/kernfusion#kernfusionsreaktionen>, zuletzt aufgerufen am 03.11.2019
- [7] Kirsten Haupt, „Fusion machines – Searching for the perfect shape“, 11.06.2018
<https://www.iter.org/newsline/-/3037>, zuletzt aufgerufen am 03.11.2019
- [8] Isabelle Michel, „Magnetic configuration effects on the Wendelstein 7-X stellarator“
https://www.ipp.mpg.de/de/aktuelles/presse/pi/2018/04_18, zuletzt aufgerufen am 24.12.2019
- [9] Dr. R. Paschotta „Kernspaltung“, RP-Energie Lexikon, 21.02.2011
<https://www.energie-lexikon.info/kernspaltung.html>, zuletzt aufgerufen am 28.12.2019
- [10] Patrick Illinger, „Projekt ITER-Die Geldverbrennungsmaschine der Physik“, Süddeutsche Zeitung

<https://www.sueddeutsche.de/wissen/projekt-iter-der-milliardenofen-1.3205447>, zuletzt aufgerufen am 30.12.2019

[11] Sebastien Balibar, „der Fusionsmythos“, 14.05.2007

<https://www.project-syndicate.org/commentary/the-fusion-myth/german?barrier=accesspaylog>, zuletzt aufgerufen am 30.12.2019

[12] Donald J. Trump, 29.01.2019

<https://www.tagesspiegel.de/politik/us-praesident-trump-spottet-ueber-und-erderwaermung/23921288.html>

[13] Bernard Bigo, „Königsweg Kernfusion?“, FUTUREMAG-ARTE

<https://www.youtube.com/watch?v=9Si7LQRE31Y>, zuletzt aufgerufen am 30.12.2019