



Sachstand

Zur Förderung der Kernfusionstechnologie in Großbritannien

Zur Förderung der Kernfusionstechnologie in Großbritannien

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 003/23
Abschluss der Arbeit: 28. März 2023
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung
und Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Das US-amerikanische Fusionsexperiment (Dezember 2022)	6
3.	Zur Förderung der Fusionstechnologie in Großbritannien	7
4.	Ausgewählte Dokumente zu Kernfusion der Informationswebsite des britischen Government Digital Service (gov.uk) bzw. der britischen Atomenergiebehörde UKAEA	8
4.1.	2017: Ankündigung des Austritts aus EURATOM	8
4.2.	Oktober 2019: Spherical Tokamak for Energy Production (STEP)	9
4.3.	November 2020: Analyse der finanziellen und wirtschaftlichen Auswirkungen der UKAEA-Fusionsforschung 2009-2019	9
4.4.	November 2020: Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution	10
4.5.	Dezember 2020: Energy White Paper	10
4.6.	Mai 2021: Bericht des Regulatory Horizons Council	10
4.7.	Oktober 2021: Consultation and Strategy of the UK Government on Fusion energy	11
4.8.	Juni 2022: Beratungsergebnis zur Regulierung der Fusionsenergie	13
4.9.	Oktober 2022: Standortfestlegung für STEP (Spherical Tokamak for Energy Production)	14
4.10.	Februar 2023: Entwicklung des Tokamak ST80-HTS von Tokamak Energy in Culham	14
5.	Briefing Paper der House of Commons Library zu „New Nuclear Power“	14
6.	Für die Europäische Kommission erstellte Studie: Study on the Applicability of the Regulatory Framework for Nuclear Facilities to Fusion Facilities	15

1. Einleitung

Seit einiger Zeit wird das Potenzial von Kernfusionstechnologie für die Energieversorgung in den Medien diskutiert. Allerdings ist die Technologie noch nicht marktreif und es ist derzeit nicht absehbar, wann sie kommerziell nutzbar sein wird.¹

Seit Jahrzehnten werden Forschungsansätze weltweit an unterschiedlichen Standorten durchgeführt. Zuletzt hatten Medien von wissenschaftlichen Erfolgen auf dem Weg in Richtung eines Einsatzes von Kernfusion zur Energieproduktion berichtet. Gleichzeitig warnen allerdings Physiker davor, anzunehmen, dass die Technik kurzfristig eine alternative wirtschaftlich einsetzbare Energiequelle darstelle. Selbst wenn sich verschiedene nach wie vor bestehende wissenschaftlich-technische Probleme in Kürze beheben ließen, sei von einer Einspeisung ins Stromnetz kurzfristig nicht auszugehen, so die Einschätzung von Wissenschaftlern.² Langfristig gesehen besteht die Hoffnung, dass durch den Einsatz von Fusionstechnologie eine zusätzliche und vor allem emissionsfreie Energiequelle wirtschaftlich nutzbar wird. In Europa wird an unterschiedlichen Standorten an der Technologie geforscht, ein bedeutender Standort ist dabei Großbritannien. Von zentraler Bedeutung ist dabei die britische Atomenergiebehörde, United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA), die sich auf britische und europäische Forschungsprogramme zur Fusionsenergie in Culham, Oxfordshire, konzentriert. Sie führt im Auftrag der britischen Regierung Fusionsenergieforschung durch und beaufsichtigt das Fusionsprogramm des Landes.

Zu bedeutenden Projekten zählen die Versuchsanlage **JET (Joint European Torus)** und die Experimentalanordnung **MAST (Mega Ampere Spherical Tokamak)** bzw. MAST Upgrade. Zudem entwickelt die UKAEA ein eigenes Design für ein Fusionskraftwerk und plant den Bau des Demonstrationskraftwerks **STEP (Spherical Tokamak for Energy Production)**.

Das **Demonstrationskraftwerk STEP** soll bis 2040 gebaut werden und verfolgt das Ziel zu zeigen, dass Fusionsenergie zur Stromerzeugung für das britische Stromnetz genutzt werden kann. Dabei

1 Siehe beispielsweise: Fraunhofer Gesellschaft: Historischer Durchbruch in der Fusionsforschung: Laser haben die Kernfusion gezündet! Pressemeldung vom 13.12.2022. <https://www.ilt.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/2022/12-13-durchbruch-fusionsforschung.html>.

Originalzitat: „Allerdings ist die kontrollierte Fusion zur Energieerzeugung technisch äußerst anspruchsvoll; die Lösung der verbleibenden Herausforderungen und der Bau des ersten Fusionsdemonstrators werden eindeutig mehr als ein Jahrzehnt in Anspruch nehmen. Daher wird sie kurz- und mittelfristig nicht zu einer beschleunigten Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen. Prof. Häfner, Beauftragter für Fusionsforschung der Fraunhofer-Gesellschaft, fügt hinzu: `Die Kernfusion ist eine Investition mit hohem Risiko und hoher Rendite und – wenn sie erfolgreich ist – der Heilige Gral für die Erlangung von Energiesouveränität und die langfristige Deckung des weltweiten Energiebedarfs. Jetzt ist es an der Zeit, die Segel zu setzen, um die Fusionsenergie ans Netz zu bringen, eine Reise, die sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken wird. Vorausgesetzt, die Welt ist bereit, Investitionen zu tätigen und aufrechtzuerhalten.“

2 Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) (2019). „Kernfusion Stand & Perspektiven“: https://www.ipp.mpg.de/46293/fusion_d.pdf.

Siehe auch ein kritischer Artikel in „Erneuerbare Energien“ vom 14. Dezember 2022: <https://www.erneuerbareenergien.de/energiemarkt/energiemaerkte-weltweit/kommentar-kernfusion-verschlingt-milliarden-ohne-energie-zu-liefern>.

sieht die britische Regierung in der Etablierung der Fusionsenergie einen Beitrag zur Klimaneutralität des Landes und einen Motor für das Wirtschaftswachstum. Der Standort für das Kraftwerk STEP war am 3. Oktober 2022 von der britischen Regierung bekannt gegeben worden und liegt in West Burton, Nottinghamshire. Für die erste Phase des STEP Projekts stellt die britische Regierung 220 Millionen britische Pfund an Finanzmitteln zur Verfügung. Zur Umsetzung des britischen Fusionsprogramms gab der britische Wissenschaftsminister George Freeman am 6. Februar 2023 die Schaffung einer neuen Kapitalgesellschaft mit dem Namen UK Industrial Fusion Solutions durch die britische Regierung bekannt. UK Industrial Fusion Solutions wurde am 27. Januar 2023 gegründet. Die britische Technologie-Nachrichtenseite „The Register“ berichtete am 6. Februar 2023, Ian Chapman und Timothy Bestwick seien als Geschäftsführer³ geführt.⁴ Die Pressemeldung der britischen Regierung vom 6. Februar 2023 erwähnt die Ankündigung baldiger Rekrutierungsmaßnahmen, die Geschäftsführer werden hier nicht genannt.⁵

In der seit 1983 in Culham, Oxfordshire, betriebenen **Versuchsanlage Joint European Torus (JET)** wurde im Februar 2022 durch Kernfusion mit Deuterium und Tritium erstmals bedeutend mehr Fusionsenergie freigesetzt als dies in Vorversuchen der Fall war. Dieses Experiment gilt auch als Test für das internationale ITER Projekt⁶. Allerdings wurde dabei wie bislang in allen experimentellen Anordnungen mehr Energie aufgewendet als gewonnen.⁷

Im Juni 2021 kündigte das kanadische Unternehmen General Fusion an, dass es im Rahmen einer öffentlich-privaten Partnerschaft mit der britischen Regierung eine Fusions-Demonstrationsanlage errichten werde, die 70 % der Größe erreiche, die für ein kommerzielles Kraftwerk benötigt werde.⁸ Die britische Atomenergiebehörde, UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority), unterzeichnete im Januar 2023 eine Vereinbarung mit First Light Fusion⁹ über die Planung und den Bau einer Einrichtung zur Unterbringung eines Nettoenergiegewinn-Demonstrators, in Culham.

Diese aktuellen Entwicklungen rund um Kernfusionsexperimente in Großbritannien fußen auf einer seit mehreren Jahren fortgeschriebenen britischen Fusionsstrategie im Rahmen verschiedener Kernkraft-Ansätze. Da dies in den Medien in den vergangenen Monaten vielfach aufgegriffen wurde, wird im Folgenden zunächst auf das US-amerikanische Fusionsexperiment im Dezember

3 Originalzitat: „Industrial Fusion Solutions was incorporated on January 27 as a private limited company, according to details filed at Companies House, with two directors listed: Ian Chapman and Timothy Bestwick.“

4 https://www.theregister.com/2023/02/06/step_fusion_private_firm/.

5 <https://www.gov.uk/government/news/uk-takes-major-step-towards-near-limitless-low-carbon-energy>.

6 Einleitende Informationen siehe: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-02/ITER_Factsheet_the%20iter%20project_DE.pdf, <https://www.iter.org/proj/inafewlines>.

7 <https://www.mpg.de/18239857/kernfusion-jet-weltrekord>.

8 <https://www.science.org/content/article/plans-unveiled-private-uk-fusion-reactor-powered-smoke-rings-and-pneumatic-pistons>.

9 First Light Fusion ist ein seit 2011 existierendes Energieunternehmen, das sich auf die Erforschung der Energieerzeugung durch Fusion konzentriert. <https://firstlightfusion.com/>.

2022 eingegangen, sodann die britischen fusionstechnologischen Maßnahmen skizziert und abschließend auf eine für die Europäische Kommission erstellte ländervergleichende Studie zur Anwendbarkeit des bereits bestehenden Rechtsrahmens für Kernanlagen auf Fusionsanlagen eingegangen.

Dabei sei betont, dass technologische und wissenschaftliche Aspekte ausdrücklich nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind. Allgemeinverständliche (deutschsprachige) Einführungen in die Technologie finden sich auf den Seiten verschiedener Forschungseinrichtungen, beispielsweise eine gemeinsame Einführungsschrift, „Kernfusion“, des Forschungszentrums Jülich (FZJ), des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK) und des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP)¹⁰ oder Informationen auf den Internetseiten des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik¹¹. Zudem bieten die Internetseiten des Konsortiums EUROfusion¹² umfangreiches Material zur Fusionsforschung. Fusionsforschungseinrichtungen aus den Mitgliedstaaten der Europäischen Union und der Schweiz unterzeichneten 2014 ein Abkommen, um die europäische Zusammenarbeit in der Fusionsforschung zu festigen, und gründeten hiermit das Europäische Konsortium EUROfusion. Derzeit werden durch EUROfusion Aktivitäten des Euratom-Programms der Europäischen Kommission in den EU-Mitgliedstaaten unterstützt. Die Schweiz, Norwegen und das Vereinigte Königreich beteiligen sich mit ihren nationalen Fusionsbudgets. Im Netzwerk sind 31 Forschungseinrichtungen sowie ca. 162 angeschlossene Einrichtungen (z.B. Universitäten und Unternehmen) vertreten.¹³

2. Das US-amerikanische Fusionsexperiment (Dezember 2022)

Am 5. Dezember 2022 machte ein US-amerikanisches Experiment Schlagzeilen: In einem Kernfusionsexperiment war es am Lawrence Livermore National Laboratory in Livermore, USA, erstmals gelungen, eine größere Energiemenge freizusetzen, als diejenige, die in das Plasma selbst geflossen war, in dem sie ausgelöst wurde. Hierfür wurden mit Lasern Kügelchen aus den Wasserstoff-Isotopen Deuterium und Tritium bestrahlt und ein Verschmelzen zu einem Heliumkern ausgelöst.

Es ist allerdings einschränkend zu beachten, dass bei Betrachtung des **gesamten Energieerzeugungsprozesses dieses Experiment nicht im Bereich der Netto-Energiegewinnung liegt**. Für die Kernfusionsforschung ist dieses Ergebnis dennoch von großer Bedeutung, demonstriert allerdings auch, dass der Weg bis zu einem wirtschaftlichen Einsatz noch weit ist.

Grundlegend dafür, dass die Kernfusion als Stromerzeugungsoption genutzt werden kann, sind insbesondere folgende Faktoren: Wie bereits erwähnt, muss die gesamte Energiebilanz der durch Kernfusion gewonnenen Energie positiv sein. Im Zusammenhang mit wissenschaftlichen Experimenten - wie auch in dem US-amerikanischen Experiment - wird zumeist die Energiebilanz des

10 <https://www.fusion.kit.edu/downloads/Kernfusion.pdf>.

11 <https://www.ipp.mpg.de/ippcms/de/pr/fusion21/kernfusion/index>.

12 <https://euro-fusion.org/>.

13 Die Mitglieder sind auf den Seiten von EUROfusion einsehbar: <https://euro-fusion.org/eurofusion/>.

Plasmas selbst angegeben. Dies bedeutet, dass Strom, der für Laser und den gesamten Prozess aufgebracht werden muss, nicht mitbilanziert wird. In dem vorliegenden US-amerikanischen Experiment bezifferten die Wissenschaftler allein die vom Laser für die Zündung der Fusion aufgenommene Energiemenge mit rund 300 Megajoule (MJ). Bei der Fusion wurden rund 2,9 bis 3 MJ freigesetzt. Außerdem wird bei Fusionsexperimenten zumeist keine elektrische Energie erzeugt, sondern Wärmeenergie. Wandelt man diese (thermische Energie) in elektrische Energie um, kommt es zu einem Energieverlust, der dazu führt, dass nur 30 bis 50 Prozent der thermischen Energie als Strom genutzt werden.¹⁴

Auf weitere Einschränkungen bei der Interpretation des US-amerikanischen Experiments und der Einschätzung, inwiefern Fusion als nutzbare Energiequelle in der Zukunft einsetzbar sein wird, geht eine Expertenbefragung des Science Media Centers vom 13. Dezember 2022 ein.¹⁵

3. Zur Förderung der Fusionstechnologie in Großbritannien

Die Fusionsforschung begann in Großbritannien bereits in den 1940er Jahren mit Arbeiten an verschiedenen Universitäten, wie dem Imperial College London und der Oxford University. Die Förderung von Fusionstechnologie und ihre Entwicklung im Rahmen der in den 1950er Jahren gegründeten Atombehörde UKAEA reicht insbesondere mit der Planung des Joint European Torus (JET) in Culham in Großbritannien bis in die 1970er Jahre zurück. Im Oktober 2022 wurde der Standort des neuen Demonstrationskraftwerks (STEP Prototyp) festgelegt, mit dessen Betrieb gezeigt werden soll, dass Fusionsenergie zur Stromerzeugung für das britische Stromnetz genutzt werden kann. Da im Zusammenhang mit der Planung von STEP laut regierungsberatender Experteneinschätzung eine umfassende Befragung verschiedener Akteure und Betroffener als notwendig erachtet wurde, veranlasste die britische Regierung Ende 2021 eine allgemeine Befragung („Consultation“), die bis Juni 2022 ausgewertet wurde. In der Auswertung wird betont, dass der Fusionstechnologieprozess weiter eng verfolgt und der Regulierungsrahmen ggf. angepasst werden müsse, da es sich um eine in Entwicklung befindliche Technologie handle. Der von der Regierung abgeleitete Regulierungsbedarf beziehe sich daher auf einen Zeithorizont von maximal 20-30 Jahren.¹⁶

14 Informationen basieren auf der Darstellung des Science Media Centers: Rapid Reaction „Möglicher Durchbruch bei der Fusionsforschung“, vom 13. Dezember 2022, <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/rapid-reaction/details/news/moeglicher-durchbruch-bei-der-fusionsforschung/>.

15 <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/rapid-reaction/details/news/moeglicher-durchbruch-bei-der-fusionsforschung/>.

16 Seite 12 in: Secretary of State for Business, Energy and Industrial Strategy: Towards Fusion Energy The UK Government's proposals for a regulatory framework for fusion energy; October 2021. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1032848/towards-fusion-energy-uk-government-proposals-regulatory-framework-fusion-energy.pdf.

Darstellungen zur Geschichte der Fusionstechnologie, insbesondere der britischen Forschung, finden sich auf den Internetseiten der UKAEA¹⁷ sowie auf den Internetseiten von EUROfusion¹⁸.

Im Folgenden wird eine Auswahl von Dokumenten vorgestellt, die auf der Informationswebsite der britischen Regierung „gov.uk“ oder der britischen Atomenergiebehörde UKAEA abrufbar sind, und im Zeitraum von 2017-2023 als Dokumente der Kategorien „News and Communications“, „Research and Statistics“ sowie „Policy Papers and Consultations“ zum Thema Kernfusion eingestellt wurden. Hiermit wird der politische Prozess in Großbritannien zur Kernfusionstechnologieforschung seit 2017 umrissen.

4. Ausgewählte Dokumente zu Kernfusion der Informationswebsite des britischen Government Digital Service (gov.uk) bzw. der britischen Atomenergiebehörde UKAEA

4.1. 2017: Ankündigung des Austritts aus EURATOM

Die Europäische Atomgemeinschaft (EAG, heute EURATOM) beschloss 1973 ein gemeinsames Forschungsvorhaben zur Realisierung der Kernfusion. 1977 wurde als Ort hierfür Culham in Großbritannien festgelegt. Im Jahr 1983 konnte die **Versuchsanlage Joint European Torus (JET)** seinen Betrieb aufnehmen. Als die britische Regierung 2017 seinen **Austritt aus der Europäischen Atomgemeinschaft EURATOM** ankündigte¹⁹, mussten Regelungen für den Weiterbetrieb von JET gefunden werden. Die britische Regierung betonte ihre Absicht, auch über das Ausscheiden aus EURATOM hinaus die Zusammenarbeit im Forschungssektor der Kernfusion zu unterstützen. Dies geschehe insbesondere in Form der weiteren Unterstützung des JET-Projekts.

In einer Pressemitteilung des britischen „Department for Business, Energy & Industrial Strategy“ vom 27. Juni 2017 wird Ian Chapman, CEO der britischen Atomenergiebehörde (United Kingdom Atomic Energy Authority, UKAEA), zitiert, ITER sei das größte wissenschaftliche Unterfangen, das die Menschheit je unternommen habe, und JET sei dabei der beste Ort der Welt, um sich auf den erfolgreichen Betrieb von ITER vorzubereiten. Daher freue sich die UKAEA, dass sich die britische Regierung verpflichte, JET weiterhin zu unterstützen.²⁰ Eine Konkretisierung der Förderungsmaßnahmen im Kernfusions-Forschungssektor erfolgte im selben Jahr. In einer Pressemitteilung des britischen „Department for Business, Energy & Industrial Strategy“ vom 7. Dezember 2017 wird bekannt gegeben, dass man neben verschiedenen Maßnahmen und Ausgaben im Rahmen des Nuclear Innovation Programmes weitere 86 Millionen britische Pfund für die Fusions-

17 <https://ccfe.ukaea.uk/about-ccfe/history/>.

18 <https://euro-fusion.org/fusion/history-of-fusion/>.

19 Siehe hierzu auch: <https://www.kooperation-international.de/aktuelles/nachrichten/detail/info/brexit-grossbritannien-verlaesst-europaeische-atomgemeinschaft-euratom/> vom 6. Februar 2017.

20 <https://www.gov.uk/government/news/government-commits-to-continue-funding-its-share-of-europes-flagship-uk-based-nuclear-fusion-research-facility>.

forschung vorsehe, um eine nationale Fusionstechnologieplattform am von der UKAEA betriebenen Culham Science Centre²¹ einzurichten. Hiermit solle ein Beitrag geleistet werden, die weltweit führende Fusionsforschungs- und Entwicklungsfähigkeit des Vereinigten Königreichs zu stärken und es britischen Unternehmen zu ermöglichen, sich um weitere internationale Aufträge für Fusionstechnologien im Wert von bis zu 1 Milliarde britische Pfund zu bewerben.²²

4.2. Oktober 2019: Spherical Tokamak for Energy Production (STEP)

Das Spherical Tokamak for Energy Production (STEP) - Projekt startete mit einem 2019 zugesagten Fördervolumen von 220 Mio. britischen Pfund zur Entwicklung über 5 Jahre.²³ Die Planung sollte bis 2024 abgeschlossen sein. Diese umfasst neben dem konzeptionellen Design auch eine Abschätzung des potenziellen Marktes.²⁴

4.3. November 2020: Analyse der finanziellen und wirtschaftlichen Auswirkungen der UKAEA-Fusionsforschung 2009-2019

Am 24. November 2020 wird in einer Pressemitteilung der Atomenergiebehörde UKAEA bekannt gegeben, dass sich die Direktinvestitionen der britischen Regierung im Bereich der Fusionsenergie für die britische Wirtschaft innerhalb der zurückliegenden 10 Jahre auf insgesamt 1,4 Mrd. britische Pfund beliefen. Dabei wurden jährlich rund 4.000 Arbeitsplätze geschaffen. Diese Daten stützen sich auf eine Studie, die vom Wirtschaftsberatungsunternehmen London Economics durchgeführt wurde. Sie hatten **die finanziellen und wirtschaftlichen Auswirkungen der öffentlichen Investitionen des Vereinigten Königreichs in die Fusionsforschung** der UKAEA von 2009 bis 2019 untersucht.²⁵ Die Studie macht keine Aussagen zum zukünftigen Nutzen der Fusionsforschung in Großbritannien, sondern analysiert vielmehr die Kosten und wirtschaftlichen Auswirkungen der britischen Investitionen in UKAEA-Fusionsforschung in der zurückliegenden Phase. Die Rendite der Investitionen der britischen Regierung in UKAEA werden dabei auf 3,7 Mio. bis 4,1 Mio. britische Pfund (Bruttowertschöpfung) für die britische Wirtschaft geschätzt.²⁶

21 <https://culham.org.uk/>.

22 <https://www.gov.uk/government/news/government-to-support-development-of-next-generation-nuclear-technology>.

23 <https://www.gov.uk/government/news/uk-to-take-a-big-step-to-fusion-electricity>.

24 Vgl hierzu: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/893053/CD-STEP-00750_Procurement_Plan_Schedule.pdf.

25 <https://www.gov.uk/government/news/government-investment-in-fusion-energy-boosts-british-economy-by-14-billion>.

26 Die Studie ist im Internet unter: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/937633/impact-uk-investment-fusion-research.pdf verfügbar.

4.4. November 2020: Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution

Im November 2020 wurde der 10-Punkte Plan der Regierung für eine grüne industrielle Revolution veröffentlicht.²⁷ Hierin wird betont, dass die Regierung anstrebe, das erste Land weltweit zu sein, das die Kommerzialisierung der Fusionsenergie-technologie umsetze. Hierzu seien bereits 222 Millionen Pfund für das STEP-Programm bereitgestellt worden, um den ersten kommerziellen Fusionsreaktor bis 2040 zu bauen. Insgesamt 184 Millionen Pfund seien für neue Fusions-technologieeinrichtungen, die Infrastruktur und Lehrstellen vorgesehen.

4.5. Dezember 2020: Energy White Paper

Das im Dezember 2020 veröffentlichte Energy White Paper der Regierung²⁸ legt dar, wie das Vereinigte Königreich sein Energiesystem sanieren und bis 2050 Netto-Null-Emissionen erreichen will. Eine Komponente hierbei soll die Einführung der Fusionstechnologie (bis 2040) sein. Die Regierung habe sich bereits zu einer finanziellen Unterstützung von insgesamt rund 400 Mio. Pfund verpflichtet.

4.6. Mai 2021: Bericht des Regulatory Horizons Council

Der Regulatory Horizons Council (RHC) ist ein unabhängiges Expertengremium, das die Auswirkungen technologischer Innovationen identifiziert und die britische Regierung berät. Am 31. Mai 2021 hat der RHC einen Bericht zu Fusionsenergie vorgelegt.²⁹ Dieser Bericht enthält mehrere Empfehlungen dazu, wie das Vereinigte Königreich einen innovationsfreundlichen, langfristigen Regulierungsrahmen gestalten kann, um die schnelle und sichere Einführung der Fusionsenergie zu unterstützen.

Der Bericht konzentriert sich auf Regulierungsansätze im Rahmen des STEP Projekts. Wie auch beim Einsatz anderer Technologien, gilt es, einige Gefahrenquellen zu beachten. Festgehalten wird, dass diese zwar existierten, allerdings ein geringeres Risiko darstellten als dies bei der Kernspaltung der Fall sei. Laut Einschätzungen der Internationalen Atomenergiebehörde (International Atomic Energy Agency - IAEA) sei ein Nuklearunfall ausgeschlossen.³⁰ Auch wenn kein hochradioaktiver Abfall im Fusionsprozess produziert werde, kämen radioaktive Ausgangsmaterialien zum Einsatz: In einem Fusionsreaktor werde auch Tritium innerhalb der Anlage produziert und verbraucht. Tritium ist ein Betastrahler und radioaktiv, allerdings mit einer kurzen Halbwertszeit (rund 12 Jahre). Maßgeblich für die Regulierungen von Fusion in Großbritannien sind derzeit die Health and Safety Executive (HSE), die Environment Agency (EA) sowie weitere

27 <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>.

28 <https://www.gov.uk/government/publications/energy-white-paper-powering-our-net-zero-future>.

29 https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1009392/rhc-report-on-fusion-energy.pdf.

30 Originalzitat: „Can fusion cause a nuclear accident? No, because fusion energy production is not based on a chain reaction, as is fission.“ (<https://www.iaea.org/topics/energy/fusion/faqs#:~:text=No%2C%20because%20fusion%20energy%20production,chain%20reaction%2C%20as%20is%20fission>)

dezentrale Verwaltungen. Diese Regulierungsansätze werden vom RHC als angemessen beurteilt. Dahingegen sind für Belange der Sicherheit der Kernspaltung das Office for Nuclear Regulation (ONR) zuständig. **Weiterhin stellt der RHC fest, dass es zwar Änderungsbedarf - möglicherweise einschließlich gesetzlicher Vorgaben - geben werde, allerdings erfordere der Projektansatz STEP keine anderen regulatorischen Ansätze als diejenigen, die bereits existierten.** EA und HSE böten einen verhältnismäßigen Rahmen zur technologiegerechten Regulierung von STEP.³¹ Weitergehend empfiehlt der RHC die Durchführung umfassender öffentlicher Befragungen, auch um den regulatorischen Rahmen abschätzen zu können. Zusätzlich könne hierdurch ein breiteres öffentliches Verständnis für Fusion erreicht werden. Die Befragung sollte auch Hinweise zu notwendigen regulatorischen Änderungen, Gesetzesänderungen etc. abfragen.

Auf diese Empfehlungen antworteten sowohl die damalige Wissenschaftsministerin (Amanda Solloway) als auch der damalige Staatssekretär für Wirtschaft, Energie und Industriestrategie (Rt Hon Kwasi Kwarteng) am 1. Juni 2021.³² Die Ministerin betonte, die Regierung stimme mit dem RHC darin überein, dass die im Vergleich zur Kernspaltung geringere Gefahr der Fusionstechnik ein wichtiger Faktor hinsichtlich des noch zu definierenden Regulierungsrahmens sei. Auch sei es wichtig, die Gefahren des Fusionsprozesses eingehend zu kennen. Allerdings bestehe hier noch Ungewissheit, da die Technologie noch nicht voll entwickelt sei. Dies bedeute, dass die Regierung sich noch nicht endgültig zu den Empfehlungen des RHC äußern könne.

Diese Befragungs-Empfehlung des RHC³³ wurde im selben Jahr aufgegriffen. Im Oktober 2021 wurden Vorschläge der britischen Regierung für einen Regulierungsrahmen zur Fusionsenergie publiziert. Hierin findet sich der Aufruf zu einer umfassenden Befragung (Consultation), gerichtet an die Öffentlichkeit, Industrie, Hochschulen und andere Fusionsakteure (Dauer: 1. Oktober 2021 bis 24. Dezember 2021).³⁴

4.7. Oktober 2021: Consultation and Strategy of the UK Government on Fusion energy

Im Oktober 2021 publizierte die britische Regierung zwei zentrale Papiere zur Fusionsenergie:

(1) Towards Fusion Energy: The UK Government's Fusion Strategy³⁵

In diesem Strategiepapier wird die Fusionsstrategie der britischen Regierung dargestellt. Ziel ist es, im Bereich der Fusionsenergie international, wissenschaftlich und kommerziell eine führende

31 Seite 8 in: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1009392/rhc-report-on-fusion-energy.pdf.

32 <https://www.gov.uk/government/publications/government-response-to-the-regulatory-horizons-councils-report-on-fusion-energy>.

33 https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1009392/rhc-report-on-fusion-energy.pdf.

34 https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1032848/towards-fusion-energy-uk-government-proposals-regulatory-framework-fusion-energy.pdf.

35 https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1022540/towards-fusion-energy-uk-government-fusion-strategy.pdf.

Rolle einzunehmen. Fusionstechnologie sollte auch einen Beitrag zur Begegnung des Klimawandels darstellen und internationale Anstrengungen, CO₂-abhängige Energiequellen einzuschränken, unterstützen. Das bedeutet, die britischen Anstrengungen verfolgen das Ziel, die Fusions-technologie dahingehend einzusetzen, eine nachhaltige, kohlenstoffarme Grundlastenergie für den Energiemarkt anzubieten.

Die Fusionsambitionen des Vereinigten Königreichs wurden im „Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution“ und im „2020 Energy White Paper“ festgeschrieben. Die „UK Government’s Fusion Strategy“ konkretisiert diese Ambitionen. Dabei werden zwei Kernziele formuliert:

1. Durch den Bau eines Prototyp-Fusionskraftwerks, der Energie ins Netz bringen kann, soll die kommerzielle Realisierbarkeit der Kernfusion belegt werden.
2. Es soll ein weltweit führender Fusionsindustrieexportmarkt aufgebaut werden.

Die Rolle der UK-Regierung in diesem Kontext wird dabei wie folgt beschrieben:

Grundlegend sei, dass die Regierung geeignete Bedingungen für die UKAEA und für private Fusions-technologie-Unternehmen schaffe. Obwohl es bislang noch eine Reihe technischer Herausforderungen gebe, um Fusionsenergie tatsächlich zu produzieren, sollte nach Ansicht der britischen Regierung bereits jetzt die Kommerzialisierung in Angriff genommen werden. Dies schließe aber insbesondere auch die Gewinnung des wissenschaftlich ausgebildeten Personals ein, d.h. es müssten weltweit führende Arbeitskräfte gewonnen und hierfür geeignete Konditionen angeboten werden. Dabei sei es entscheidend, dass die Maßnahmen ein gutes „Preis-Leistungs-Verhältnis“ böten. Hierzu sei eine geeignete Innovationspolitik notwendig. Zudem werde ein Monitoring/Evaluationssystem für die Fusionsprogramme des Vereinigten Königreichs entwickelt.

Rechtliche Anpassungsschritte sind nicht Gegenstand des britischen Strategiepapiers. Vielmehr soll der Rahmen für die im Folgenden dargestellte Konsultation der Regierung zur Zukunft der Kernfusion aufgezeigt werden. Diese wurde zusammen mit der Strategie veröffentlicht.

- (2) Towards Fusion Energy: The UK Government’s proposals for a regulatory framework for fusion energy

Zentrale Überlegungen in dem Papier³⁶ betreffen die Themenbereiche, ob der bestehende Regulierungsrahmen für die Fusion für einen **Zeithorizont von 20-30 Jahren** angemessen und „geeignet“ ist und ob bestehende aufsichtsrechtliche Bestimmungen geändert und neue Bestimmungen eingeführt werden sollten, um sicherzustellen, dass Gefahren und Risiken wirksam begegnet werden könne. Hierbei stellt sich die Frage, wie sich in der Zukunft der Regulierungsrahmen und betroffene Politikbereiche parallel zur Technologie entwickeln sollten.

36 Department for Business, Energy & Industrial Strategy Towards Fusion Energy: The UK Government’s proposals for a regulatory framework for fusion energy; Oktober 2021, ISBN 978-1-5286-2915-7; https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1032848/towards-fusion-energy-uk-government-proposals-regulatory-framework-fusion-energy.pdf.

In einem Kapitel wird die derzeit bestehende rechtliche Lage dargestellt. Bestehende Fusionsanlagen werden derzeit nicht als „nuklear“ definiert. Dies bedeutet, dass Nuklear-Regulierungen im Bereich des Fusionsregulierungsrahmens keine Anwendung fänden. Die Environment Agency (EA) und die Health and Safety Executive (HSE) regeln derzeit Fusionsforschung und -entwicklung in England (lediglich in England gibt es derzeit Fusionstechnologieanlagen) als „radioactive substances activity“. Die EA und die HSE regulieren die Fusion mit einem sog. „goal-setting regulatory approach“³⁷. Derzeit geltende Hauptvorschriften für Fusionsforschung und -entwicklung in England sowie die für deren Durchsetzung zuständigen Aufsichtsbehörden werden in einer Tabelle zusammenfassend aufgelistet.³⁸

4.8. Juni 2022: Beratungsergebnis zur Regulierung der Fusionsenergie

Im Juni 2022 werden sowohl die Antwort der Regierung auf die Befragung und die damit verbundenen Regierungsentscheidungen als auch eine Zusammenstellung der Antworten selbst vom Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS) veröffentlicht.³⁹

Auf den Befragungsauftrag hin wurden 58 schriftliche Antworten eingereicht⁴⁰. Zentrale Ergebnisse betreffen folgende Punkte:

- Mehrheitlich wurde der deutliche Unterschied zwischen traditioneller Kernkraft und Fusionstechnik hervorgehoben. Dabei komme es bei der Fusion nicht zu einer Kettenreaktion, es bestehe kein Risiko einer Kernschmelze und radioaktive Abfälle der Kategorie „hochradioaktiv“ fielen nicht an. Ein Teil der Befragten hält allerdings den Ansatz der Regierung, regulatorische Verhältnismäßigkeit über hypothetische Unfallszenarien zu bestimmen, für nicht ausreichend, um alle technischen Risiken adäquat abzudecken. Die Regierung gibt hierbei zu bedenken, dass angesichts der Tatsache, dass der Fusionssektor Gegenstand von Forschung ist, Informationen hierzu begrenzt seien. Auf Basis der Befragung sieht die Regierung keine Notwendigkeit aufgrund der Gefahrenlage zum derzeitigen Zeitpunkt eine Regulierungsänderung vorzunehmen.
- Aus der Befragung geht hervor, dass es notwendig sei, weiterhin den regulatorischen Rahmen fortlaufend zu bewerten. Verschiedene Befragte - insbesondere Fusionstechnikentwickler - geben zu bedenken, dass der Vorschlag, eine vollständige Überprüfung des Regulierungsrahmens alle zehn Jahre durchzuführen, zu Unsicherheiten führen könne. Dies könne die Entwicklung und den Einsatz der Fusionstechnologie untergraben und die Arbeit der beteiligten Unternehmen und Einrichtungen behindern. Die Regierung konstatiert, dass

37 Allgemeine regulatorische Maßnahmen sollen von Behörden festgelegt werden. Dies umfasst Grundsätze (principles), Ergebnisse und Standards, die erreicht werden müssen und behördlich kontrolliert werden. Dies unterscheidet sich von dem Ansatz, bei dem spezifische Maßnahmen von vorneherein als zulässig oder nicht zulässig deklariert werden müssen.

38 Ebd., Seite 40f.

39 <https://www.gov.uk/government/consultations/towards-fusion-energy-proposals-for-a-regulatory-framework>.

40 9 Antworten aus der Industrie, 9 private, 8 akademische, 6 von F&E-Organisationen, 6 von Fusionsenergieunternehmen, 5 aus der Kategorie „regulator“, 5 NGOs, 4 von lokalen Behörden, 3 von Branchenverbänden sowie 3 Unbekannte.

es nicht notwendig sei, eine umfassende formelle Überprüfung alle zehn Jahre vorzunehmen. Vielmehr seien die derzeitigen Regulierungsbehörden verantwortlich für alle Prototypen von Fusionsenergieanlagen, die derzeit im Vereinigten Königreich geplant seien.

- Die Regierung wird das Energiesicherheitsgesetz verwenden, um den „Nuclear Installations Act (1965) (NIA65)“ dahingehend zu ändern, dass explizit Fusionsenergieanlagen von den Regulierungsvorgaben gemäß NIA65 ausgeschlossen sind.
- Zusammen mit Umweltexperten, Arbeits- und Sicherheitsexperten, regulatorisch Verantwortlichen und den relevanten Industriebereichen erarbeitet die Regierung ein Arbeitsprogramm zur weiteren Ausgestaltung der erforderlichen regulatorischen Maßnahmen.

Ebenfalls im Juni 2022 unterzeichnen die britische Atomenergiebehörde (UKAEA) und Commonwealth Fusion Systems (CFS)⁴¹ ein transatlantisches Abkommen zur Förderung der kommerziellen Fusionsenergie.⁴² Das fünfjährige Kooperationsrahmenabkommen legt die Bedingungen fest, darunter gemeinsame Arbeitsprojekte des US-amerikanischen CFS und UKAEA zur Weiterentwicklung von Fusionsenergie und verwandten Technologien.

4.9. Oktober 2022: Standortfestlegung für STEP (Spherical Tokamak for Energy Production)

Am 3. Oktober 2022 gibt die Regierung bekannt, dass der Kraftwerksstandort West Burton in Nottinghamshire als Standort für „STEP“ (Spherical Tokamak for Energy Production) ausgewählt wurde. Der Prototyp eines britischen Fusionskraftwerks soll bis 2040 gebaut werden.⁴³

4.10. Februar 2023: Entwicklung des Tokamak ST80-HTS von Tokamak Energy in Culham

Die britische Atomenergiebehörde (UKAEA) gibt bekannt, am Culham Centre for Fusion Energy (CCFE) in Oxfordshire einen Fusionsenergie-Prototyp mit kraftwerksrelevanter Magnettechnologie von Tokamak Energy bauen zu lassen.⁴⁴

5. Briefing Paper der House of Commons Library zu „New Nuclear Power“

Im Februar 2021 wurde ein Hintergrundpapier der House of Commons Library mit dem Titel „New Nuclear Power“ veröffentlicht.⁴⁵ Hierin wird überblicksartig der Entwicklungsstand im Bereich der Kernenergie - sowohl konventioneller Kernenergie als auch neuer Konzepte, wie Kernfusion inklusive Fragen der Abfallentsorgung - zusammengefasst. Die verschiedenen Regierungen

41 <https://cfs.energy/>.

42 <https://www.gov.uk/government/news/ukaea-and-commonwealth-fusion-systems-sign-agreement-to-advance-fusion-energy>.

43 <https://www.gov.uk/government/news/site-of-uks-first-fusion-energy-plant-selected>.

44 <https://www.gov.uk/government/news/tokamak-energys-fusion-prototype-to-be-built-at-ukaecas-campus>.

45 <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/CBP-8176/CBP-8176.pdf>.

hatten in den vergangenen Jahren Kernenergie verschiedener Bereiche einschließlich der dazugehörigen Forschung unterstützt: Unter dem Premierminister des Vereinigten Königreichs David Cameron (2010-2016) waren verschiedene Initiativen und Finanzmittel für fortschrittliche Reaktoren⁴⁶ angekündigt worden (u.a. sind hier auch Fusionstechnologien angesiedelt, allerdings ebenso zahlreiche spaltungsbasierte Technologien), darunter 250 Millionen Pfund für die Entwicklung. Unter Premierministerin Theresa May (2016-2019) wurde im Rahmen der Industriestrategie die Unterstützung für die Kernenergie insgesamt angekündigt. Die Regierung Johnson (2019-2022) hatte darüber hinaus die Förderung fortgeschrittener Kernenergiekonzepte einschließlich der Fusionstechnologie im Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution⁴⁷ und im Energy White Paper⁴⁸ festgeschrieben.

Ein Kapitel des Hintergrundpapiers widmet sich dem Thema der Fusionstechnologie⁴⁹. Hier werden die Beteiligung von Großbritannien sowohl an ITER als auch die Finanzierung von JET, die National Fusion Technology Platform und STEP kurz dargestellt.

6. Für die Europäische Kommission erstellte Studie: Study on the Applicability of the Regulatory Framework for Nuclear Facilities to Fusion Facilities

Im Dezember 2021 veröffentlichte die Europäische Kommission eine von der Gesellschaft für Anlagen- u. Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH und dem Karlsruher Institut für Technologie: KIT durchgeführte Studie (contract 356842-ENER-D4-2020-64) zur Anwendbarkeit von Regulierungsrahmen für Nuklearanlagen inkl. Fusionsanlagen im internationalen Vergleich.⁵⁰

Diese enthält zunächst einen Überblick über internationale Ansätze zur Fusionsregulierung und bestehenden Sicherheitsanforderungen an Fusionsanlagen. **Erwartungsgemäß stellt sich heraus, dass derzeit kein Land über eine dezidierte und spezifische Regulierung hinsichtlich der Rahmenbedingungen für Fusionsanlagen verfügt.** Des Weiteren wurden Hauptunterschiede zwischen Fusions- und Spaltungsanlagen identifiziert. Es wird betont, dass sich die Fusionstechnologie in der Entwicklung befinde, daher würden verschiedene technische Lösungen diskutiert. Es werden Sicherheitsanforderungen für fusionsspezifische Systeme abgeleitet. Die Internationale Atomenergiebehörde IAEA hatte im Mai 2021 eine Publikation zur Fusionsenergie herausgege-

46 Diese umfassen eine Reihe verschiedener Technologien. Siehe hierzu: <https://www.gov.uk/government/publications/advanced-nuclear-technologies/advanced-nuclear-technologies>.

47 <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>.

48 <https://www.gov.uk/government/publications/energy-white-paper-powering-our-net-zero-future>.

49 Kapitel 4.7, Seite 29ff.

50 European Commission, Directorate-General for Energy, Study on the applicability of the regulatory framework for nuclear facilities to fusion facilities: towards a specific regulatory framework for fusion facilities: final report, Publications Office of the European Union, 2022, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e1579af9-8d44-11ec-8c40-01aa75ed71a1/language-en>.

ben, in der sich ein Kapitel auch der Frage der Sicherheit spezifisch bei der Anwendung von Fusionstechnik widmet.⁵¹ Hierin wird angekündigt, eine den IAEA-Sicherheitsstandards SSR-4 äquivalente Publikation für Fusionstechnik zu entwickeln.

Bislang basieren - so die für die Europäische Kommission erstellte Studie⁵² - Handhabungen im Bereich der Fusionstechnik in erster Linie auf Erfahrungen im Zusammenhang mit Kernspaltungsanlagen. In der Studie werden Ansätze in verschiedenen Ländern ausgewertet, unter anderem enthält diese Analyse auch Großbritannien. Dabei wurde die Relevanz dieser Ansätze für zukünftige Fusionsanlagen bewertet und die Lücken in der Übertragbarkeit der bestehenden Ansätze auf zukünftige Fusionsanlagen aufgezeigt.

Im Hinblick auf Großbritannien wird festgestellt:

Das Vereinigte Königreich verfüge über keinen spezifischen Regulierungsrahmen für Fusionsanlagen. Die bestehenden experimentellen Fusionsanlagen in Culham seien nicht als Nuklearstandorte zugelassen. Ähnlich wie andere nicht nuklear zugelassene Standorte, beispielsweise industrielle Großanwender, Universitäten, Krankenhäuser, Forschungseinrichtungen, werde hier verfahren. Die zuständige Regulierungsbehörde sei demzufolge auch nicht das Office for Nuclear Regulation (ONR), sondern die Health and Safety Executive (HSE) und die Environment Agency (EA). Unter Verweis auf eine im November 2020 abgehaltene Konferenz von IAEA und ITER⁵³ wenden die Betreiber der Fusionsanlagen (z.B. JET) in Culham einen abgestuften Nuklear-Sicherheitsansatz an. Hierdurch soll das Risiko als „As Low As Reasonably Achievable“ bzw. „As Low As Reasonably Practicable“ eingestuft werden. Die einschlägigen Sicherheitsnormen der UKAEA, die hier Anwendung fänden, entsprächen denjenigen, die für einen Standort gälten, der gemäß Kernanlagengesetz 1965 genehmigt worden sei. Es würden die „Safety Assessment Principles (SAPs)“ der Health and Safety Executive (HSE) aus dem Jahr 1992 angewandt. Diese seien durch interne UKAEA Standards ergänzt worden. Neben anderen Gesundheits- und Sicherheitsvorschriften unterliege JET auch den „Ionising Radiations Regulations 1985“ und dem „Radioactive Substances Act 1993 (RSA93)“. Demnach würden die Genehmigungs- und Entsorgungsfragen durch die Environment Agency (EA) geregelt. Weitere tangierende Regulierungen sind „The Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2016“ und „The Ionising Radiations Regulations 2017“.

Die Autoren der Studie schlagen vor, auch künftige Fusionsanlagen aller Größenordnungen nicht als kerntechnische Anlagen, sondern als Anlagen mit Tätigkeiten mit radioaktiven Stoffen zu regulieren. Der derzeitige Rechtsrahmen solle beibehalten und weiterentwickelt werden. Dies würde bedeuten, dass in England die Regulierung von Fusionsanlagen weiterhin in der Zuständigkeit der Environment Agency (EA) und der Health and Safety Executive (HSE) liegen würde. Die Betreiber von Fusionsanlagen müssten keine Genehmigung für einen Nuklearstandort einholen, sodass Fusionsanlagen nicht an einem Nuklearstandort stehen müssten, der vom Office for

51 <https://www.iaea.org/sites/default/files/fusionenergy.pdf>.

52 <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e1579af9-8d44-11ec-8c40-01aa75ed71a1/language-en>.

53 Health and Safety Executive, A Review of the Current Regulatory Framework for Fusion in the UK, Joint IAEA-ITER Technical Meeting on Safety and Radiological Protection for Fusion, 17-19th Nov 2020.

Nuclear Regulation (ONR) reguliert werde. Da allerdings nach wie vor Unwägbarkeiten bestünden, behalte sich die britische Regierung die Möglichkeit vor, den Regulierungsrahmen für Fusionsanlagen zu ändern, wenn die Entscheidung für ein Fusionsdesign in der Zukunft ein wesentlich höheres Maß an radiologischer Gefährdung mit sich bringe. Zudem solle die Entscheidung regelmäßig überprüft werden.

* * *