



Fachstellungnahme zum Bericht des Joint Research Centre der Europäischen Kommission *„Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 (“Taxonomy Regulation”)”*

Unter besonderer Berücksichtigung der Kriterien­eignung für
die Aufnahme der Kernenergie in die EU-Taxonomie

**Fachstellungnahme
zum Bericht
des Joint Research Centre
der Europäischen Kommission
„Technical assessment of nuclear
energy with respect to the
'do no significant harm' criteria
of Regulation (EU) 2020/852
(‘Taxonomy Regulation’)”**

Impressum

**Bundesamt
für die Sicherheit
der nuklearen Entsorgung
(BASE)**

Wegelystraße 8
10623 Berlin

Telefon: 030 184321-0
Internet: www.base.bund.de

Stand: Juni 2021 - redaktionell überarbeitet im September 2021

urn:nbn:de:0221-2021080227829

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | 5 |
| 1 Anlass und Hintergrund, Ziel, Vorgehensweise und Aufbau der Fachstellungnahme | 7 |
| 1.1 Anlass und Hintergrund der Fachstellungnahme | 7 |
| 1.2 Ziel der Fachstellungnahme | 8 |
| 1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Fachstellungnahme | 9 |
| 2 Kritische Betrachtung der Methodik des JRC – DNSH-Kriterien und Nutzung der Kernenergie | 11 |
| 2.1 Prüfungsmaßstab des JRC bei der Bewertung der DNSH-Kriterien | 11 |
| 2.2 Ausgelassene umweltrelevante Aspekte der Kernenergienutzung und der Entsorgung radioaktiver Abfälle bei der Bewertung der DNSH-Kriterien im JRC-Bericht | 14 |
| 2.2.1 Unfälle | 14 |
| 2.2.2 Ungewissheiten | 16 |
| 2.2.3 Forschung und Entwicklung | 17 |
| 2.2.4 Sicherung | 18 |
| 2.2.5 Langfristiger Informations- und Wissenserhalt unter Berücksichtigung von Human Intrusion | 19 |
| 2.3 Zur Methodik des JRC | 20 |
| 2.3.1 Vorgehensweise und Aufbau des JRC-Berichts | 20 |
| 2.3.2 Ausgewogenheit der Darstellung, Daten- und Quellenauswahl | 21 |
| 3 Kriterium 1 der Taxonomie-Verordnung – Beitrag zum Klimaschutz | 23 |
| 3.1 Kernkraftwerke | 23 |
| 3.1.1 Beitrag der Kernkraftwerke zum Klimaschutz im JRC-Bericht | 23 |
| 3.1.2 Prognose der Kernenergienutzung im JRC-Bericht | 24 |
| 3.2 Analyse des Beitrags von Small Modular Reactors zum Klimaschutz im JRC-Bericht | 26 |
| 4 Kriterium 2 der Taxonomie-Verordnung – DNSH-Kriterien: Vom Uranabbau bis zum Kraftwerksbetrieb und -rückbau | 29 |
| 4.1 Uranabbau und -verarbeitung | 29 |
| 4.2 Umwandlung in Uranhexafluorid | 31 |
| 4.3 Urananreicherung, Herstellung von Urandioxid-Brennelementen, Wiederaufbereitung, Herstellung von Mischoxid-Brennelementen | 32 |
| 4.4 Kernkraftwerksbetrieb | 33 |
| 4.5 Rückbau der Kernkraftwerke | 35 |
| 4.6 Ionisierende Strahlung und ihre Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt während aller Lebenszyklusphasen (bis auf Entsorgung und Transporte) | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 5 Kriterium 2 der Taxonomie-Verordnung – DNSH-Kriterien: Entsorgung, Transporte, Forschung und Entwicklung | 37 |
| 5.1 Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle | 37 |
| 5.2 Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle | 39 |
| 5.3 Endlagerung hochradioaktiver Abfälle | 43 |
| 5.4 Transporte | 48 |
| 5.5 Forschung und Entwicklung | 48 |

| | |
|--|-----------|
| 6 Künftige und weitere Kriterien der Taxonomie-Verordnung – weitere Nachhaltigkeitsziele und Mindeststandards | 52 |
| 6.1 „Berücksichtigung künftiger Generationen“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ bei der Endlagerung | 53 |
| 6.2 Langfristiger Informations- und Wissenserhalt zur Endlagerung | 55 |
| 6.3 Proliferation | 56 |
| 6.4 Uranabbau – bergbauspezifische Anforderungen an nachhaltigen Bergbau | 57 |

| | |
|----------------------|-----------|
| Verzeichnisse | 58 |
| Abkürzungen | 58 |
| Literatur / Quellen | 59 |

| | |
|--|-----------|
| Anhang | 66 |
| Tabellarische Auswertung des JRC-Berichts | |

Zusammenfassung

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) unter Beteiligung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) den Bericht des Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Union (EU) „Technical assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')“ dahingehend geprüft, ob das JRC eine vollständige und nachvollziehbare technische Expertise zur möglichen Taxonomie-Fähigkeit der Nutzung der Kernspaltung zur Erzeugung von Energie (im Folgenden: Kernenergienutzung) vorgelegt hat.

Die Taxonomie-Verordnung definiert Kriterien, die bestimmen, ob eine Wirtschaftstätigkeit (und damit eine Investition in diese Tätigkeit) als ökologisch nachhaltig gilt. Das JRC, die Forschungsstelle der EU, kommt in seinem Bericht im März 2021 zum Ergebnis, dass nach seiner Auffassung auch für die Kernenergienutzung die Voraussetzungen für eine Aufnahme in die EU-Taxonomie im Hinblick auf die „Do No Significant Harm“ (DNSH)-Kriterien gegeben sind. Die Technical Expert Group (TEG) hatte die Aufnahme der Kernenergienutzung in die EU-Taxonomie zuvor noch nicht empfohlen und der EU-Kommission eine nähere Prüfung der DNSH-Kriterien nahegelegt.

Vorliegende Fachstellungnahme kommt zum Ergebnis, dass im JRC-BERICHT Schlussfolgerungen getroffen wurden, deren fachliche Herleitung an zahlreichen Stellen nicht nachvollzogen werden kann. Darüber hinaus wurden Themenbereiche mit hoher Umweltrelevanz im JRC-BERICHT nur sehr reduziert dargestellt bzw. ausgespart. So werden die Auswirkungen schwerer Unfälle – die es in den vergangenen Jahrzehnten der Nutzung dieser Energieform bereits mehrfach gegeben hat – auf die Umwelt nicht in die Bewertung der Taxonomie-Fähigkeit der Kernenergienutzung einbezogen. Dadurch stellt sich die Frage, ob das JRC einen zu engen Betrachtungsmaßstab wählt. Der genannte sowie weitere in dieser Fachstellungnahme aufgeführte Aspekte legen diesen Schluss nahe.

Ferner zeigt die vorliegende Fachstellungnahme auf, dass das JRC Themen zwar anreißt, diese dann allerdings nicht weiter berücksichtigt, obwohl sie in die Bewertung der Nachhaltigkeit der Kernenergienutzung einzubeziehen sind. Die Notwendigkeit, diese zu berücksichtigen, ergibt sich teilweise daraus, dass Auswirkungen auf die weiteren Umweltziele der Taxonomie-Verordnung bei einer umfassenderen Betrachtung zu erwarten sind oder zumindest nicht ausgeschlossen werden können. In anderen Fällen ergibt sie sich daraus, dass sich die Taxonomie-Verordnung in ihrem Nachhaltigkeitsverständnis auf den

UN-Ansatz der Agenda 2030 bezieht, die etwa auch die Ziele „Berücksichtigung künftiger Generationen“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ enthält. Eine Nachhaltigkeit, insbesondere auch für künftige Generationen, kann nur gewährleistet werden, wenn frühzeitig versucht wird, eine Akzeptanz in der Bevölkerung zu erreichen und den adäquaten Umgang künftiger Generationen mit der Kernenergienutzung und deren Hinterlassenschaften bzw. Abfällen zu ermöglichen und einen langfristigen Informations- und Wissenserhalt sicherzustellen. Prinzipiell ist festzustellen, dass das Problem der Entsorgung radioaktiver Abfälle bereits durch frühere Generationen auf heute verschoben wurde und zwangsläufig vielen weiteren Generationen „erhalten bleiben“ wird. Das vom JRC beschriebene Prinzip der (Zitat) „no undue burdens for future generations“ (Seiten 205 ff.) ist damit bereits (nicht heilbar) verletzt, die DNSH-Hürde bereits verletzt. Die Erzeugung großer Mengen gefährlicher Abfälle wird über Jahrzehnte ohne existierende und wirksame Entsorgungslösung fortgesetzt. Das JRC sagt selbst, dass die primäre und beste Strategie des Waste Management ist, radioaktive Abfälle erst gar nicht zu erzeugen. Diese Bewertung wird jedoch im Bericht nicht konsequent angewendet.

Der JRC-BERICHT betrachtet die Folgen und Risiken der Kernenergienutzung für Mensch und Umwelt sowie für nachfolgende Generationen nur unvollständig oder spart diese in seiner Bewertung aus. Soweit er sie behandelt, werden die Grundsätze wissenschaftlichen Arbeitens zum Teil nicht korrekt berücksichtigt. Der JRC-BERICHT liefert somit einen unvollständigen Beitrag, mit dem die Nachhaltigkeit der Kernenergienutzung nicht umfassend bewertet werden kann.

1 Anlass und Hintergrund, Ziel, Vorgehensweise und Aufbau der Fachstellungnahme

1.1 Anlass und Hintergrund der Fachstellungnahme

Das Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Union (EU) hat im März 2021 den Bericht „Technical assessment of nuclear energy with respect to the ‘do no significant harm’ criteria of Regulation (EU) 2020/852 (‘Taxonomy Regulation’)“ vorgelegt. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) am 20. April 2021 um eine wissenschaftliche Auswertung des JRC-BERICHTS unter Berücksichtigung der „Do No Significant Harm“-Kriterien der Taxonomie-Verordnung gebeten. Erbeten wurde eine Fachstellungnahme, die prüft, ob das JRC eine vollständige, nachvollziehbare und unabhängige technische Expertise zur möglichen Taxonomie-Fähigkeit von Nuklearenergie für die EU Kommission vorgelegt hat. Die vorliegende Fachstellungnahme fasst das Ergebnis der Auswertung zusammen. Für einzelne Fragestellungen hat das BASE das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hinzugezogen.

Das BMU ist für die Bundesrepublik Deutschland das für Fragen des Klimaschutzes, des Umweltschutzes und der nuklearen Sicherheit zuständige Ministerium. BASE und BfS sind wissenschaftlich-technische Fachbehörden, die Forschungstätigkeiten im Rahmen ihrer gesetzlichen Aufgaben durchführen. Im Zuständigkeitsbereich des BASE liegen ferner Aufsicht und Genehmigung von Endlagern und die Aufsicht über das derzeit in der Bundesrepublik Deutschland laufende Standortauswahlverfahren für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle. Zudem ist es Träger der Öffentlichkeitsbeteiligung im Standortauswahlverfahren. Darüber hinaus ist das BASE u. a. die Genehmigungsbehörde für Zwischenlager und Transporte von hochradioaktiven Abfällen.

Ausgangspunkt der Fachstellungnahme von BASE und BfS ist die Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088 (ABl. L 198/13) – kurz: Taxonomie-Verordnung. Die Taxonomie-Verordnung definiert Kriterien, die bestimmen, ob eine Wirtschaftstätigkeit (und damit eine Investition in diese Tätigkeit) als ökologisch nachhaltig gilt. Zu diesen Kriterien gehört, dass eine Wirtschaftstätigkeit einen Beitrag zu einem der in der Taxonomie-Verordnung in Artikel 9 genannten

Umweltziele Klimaschutz, Anpassung an den Klimawandel, nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen, Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung oder Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme leistet, ohne gleichzeitig ein anderes dieser Umweltziele erheblich zu beeinträchtigen, vgl. Art. 17 Taxonomie-Verordnung („do no significant harm“, kurz DNSH).

Die Verordnung wird durch delegierte Rechtsakte der Europäischen Kommission (EU-Kommission) konkretisiert. In diesen delegierten Rechtsakten legt die EU-Kommission sog. technische Bewertungskriterien fest, welche die Kriterien der Taxonomie-Verordnung auf einzelne Wirtschaftstätigkeiten herunterbrechen. Nur wenn eine Wirtschaftstätigkeit auch die für sie geltenden technischen Bewertungskriterien erfüllt, gilt sie als ökologisch nachhaltig. Die EU-Kommission hat am 21. April 2021 den Entwurf eines delegierten Rechtsakts vorgelegt, in dem Wirtschaftstätigkeiten aufgelistet sind, die aufgrund ihres Beitrags zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel als nachhaltig gelten. Die Kernenergie ist darin bisher nicht als ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeit aufgenommen.

Der Entwurf des delegierten Rechtsakts baut auf den Empfehlungen der sog. Technical Expert Group (TEG) auf. Diese hatte die Kommission ins Leben gerufen, um sich bei der Umsetzung des „Action Plan: Financing Sustainable Growth“ vom 8. März 2018 beraten zu lassen – u. a. auch bei der Vorbereitung der Taxonomie-Verordnung. In ihrem Bericht vom 9. März 2020 „Taxonomy: Final report of the TEG on Sustainable Finance“ bzw. in dessen Anhang kommt die TEG zum Ergebnis, dass die Kernenergie zwar einen wesentlichen Beitrag zum Umweltziel Klimaschutz leistet, erhebliche Beeinträchtigungen für andere Umweltziele aber nicht ausgeschlossen werden könnten. Begründet wird das im Wesentlichen mit den offenen Fragen bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle, insbesondere dem Mangel an empirischen Daten zu einer sicheren Entsorgung durch Endlagerung. Die TEG hatte die Aufnahme der Kernenergienutzung in die EU-Taxonomie daher zum damaligen Zeitpunkt nicht empfohlen und eine vertiefte Prüfung der DNSH-Kriterien empfohlen (TEG, 2020b).

Vor diesem Hintergrund ist die derzeit auf europäischer Ebene laufende Diskussion zu betrachten, ob die Nutzung der Kernenergie in die Taxonomie aufgenommen werden soll. Unklar ist insbesondere, ob die Kernenergienutzung die DNSH-Kriterien erfüllt. Anknüpfend an die von der TEG offengelassenen Fragen hat die EU-Kommission die gemeinsame Forschungsstelle der EU, das JRC, um eine Prüfung gebeten, ob die Kernenergie die Voraussetzungen für eine Aufnahme in die Taxonomie erfüllt und welche technischen Bewertungskriterien anzuwenden wären. Das JRC hat seinen Bericht im März 2021 vorgelegt und kommt zum Ergebnis, dass die Voraussetzungen für eine Aufnahme der Kernenergie in die EU-Taxonomie erfüllt seien.

1.2 Ziel der Fachstellungnahme

Ziel der Auswertung des JRC-BERICHTS durch BASE und BfS ist es, festzustellen, ob das JRC die Taxonomie-Fähigkeit der Kernenergienutzung argumentativ vollständig und nachvollziehbar bewertet – insbesondere im Hinblick auf die DNSH-Kriterien der Taxonomie-Verordnung. Des Weiteren hat das BMU um Prüfung der Unabhängigkeit der Expertise des JRC gebeten. Ob das JRC unabhängig gearbeitet hat, ergibt sich im Rahmen dieser Stellungnahme aus der Prüfung der Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Argumente des JRC. Der Fokus der Prüfung liegt auf den Themen nukleare Sicherheit, Strahlenschutz sowie

nukleare Entsorgungsfragen. Grundlegende Leitfragen waren, ob die Vorgehensweise des JRC der guten wissenschaftlichen Praxis entspricht und ob das JRC der EU-Kommission eine vollständige und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlage vorgelegt hat.

Eine solche Prüfung des JRC-BERICHTS ist aus mehreren Gründen geboten:

- Voraussetzung für eine tragfähige Klassifizierung ist, dass die Tatsachengrundlage insbesondere zu möglichen erheblichen Beeinträchtigungen von Umweltzielen durch eine Wirtschaftstätigkeit (DNSH-Kriterien) vollständig und nachvollziehbar ermittelt wurde (vgl. auch JRC-BERICHT Teil A 1.3.2.3, S. 22 sowie 5.3, S. 192).
- Die Taxonomie-Verordnung selbst fordert gemäß Art. 19 Abs. 1 Buchst. f von der EU-Kommission, technische Bewertungskriterien festzulegen, die sich auf schlüssige wissenschaftliche Erkenntnisse stützen. Aus Erwägungsgrund (40) geht hervor, dass die Risiken einer Wirtschaftstätigkeit anhand einer wissenschaftlichen Bewertung zu bestimmen sind. Die Kriterien müssen nach Art. 19 Abs. 1 Buchst. g Taxonomie-Verordnung die Umweltauswirkungen des gesamten Lebenszyklus einer Wirtschaftstätigkeit berücksichtigen.

Die vorliegende Fachstellungnahme zur Auswertung des JRC-BERICHTS bildet somit eine Grundlage für die anstehenden fachlichen Diskussionen mit der EU-Kommission im Hinblick auf das Verfahren zur Taxierung und zum Erlass der delegierten Rechtsakte.

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Fachstellungnahme

Die Fachstellungnahme wurde von einer abteilungsübergreifenden Arbeitsgruppe des BASE und BfS erstellt. Das BfS zeichnet dabei verantwortlich für die Aspekte des Strahlenschutzes. Das BASE deckt die Themen nukleare Sicherheit und Entsorgung ab. In der Bearbeitung musste konstatiert werden, dass der JRC-BERICHT richtigerweise auch zu einigen Themenfeldern Bezug nimmt, die in der Fachstellungnahme des BASE nicht vertieft betrachtet werden konnten, da die bundesdeutsche Zuständigkeit bei anderen Behörden als BASE und BfS liegt. Es handelt sich hierbei in erster Linie um die folgenden Kapitel des JRC-BERICHTS:

A 3.2.3 DNSH to the sustainable use and protection of water and marine resources

A 3.2.5 DNSH to pollution prevention and control

A 3.2.6 DNSH to the protection and restoration of biodiversity and ecosystems

Die zuständige Behörde für die Fragestellungen zu den Umweltgütern ist das Umweltbundesamt (UBA).

Tabellarische Auswertung und Textteil

Der Textteil der Fachstellungnahme gründet auf einer Gegenüberstellung von Aussagen des JRC-BERICHTS mit der Prüfung dieser Aussagen auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit in Tabellenform. Die tabellarische Auswertung der im JRC-BERICHT durch BASE und BfS identifizierten Lücken bzw. Schwachstellen ist dieser Fassung als Anhang beigefügt. Die zuvor veröffentlichte Fassung enthielt den Anhang aus redaktionellen Gründen noch nicht. Das Literaturverzeichnis umfasst die in der tabellarischen Auswertung genutzten Quellen.

Die Hauptaussagen zu Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit des JRC-BERICHTS, die sich aus der gewählten Form der Auswertung ableiten lassen, sind in den

folgenden Kapiteln dieser Fachstellungnahme zusammenfassend dargestellt. Die Fachstellungnahme ist als eigenständiges, für sich sprechendes Dokument angelegt. Vorgenannte tabellarische Auswertung wird die Argumentation weiter unterfüttern und das Vorgehen des BASE verdeutlichen.

Hauptaussagen der Auswertung des JRC-BERICHTS in tabellarischer Form

Festgestellt wurde, dass das JRC umweltrelevante Aspekte der Kernenergienutzung nur knapp behandelt bzw. in der Bewertung nicht berücksichtigt. Dabei legt das JRC nicht explizit dar, ob und inwiefern dieses Vorgehen von der Taxonomie-Verordnung gestützt wird. Letztlich stellt sich die Frage, ob das JRC einen zu engen Betrachtungsmaßstab wählt.

Die Auswertung hat ferner ergeben, dass die fachliche Stringenz und Ausgewogenheit der Vorgehensweise des JRC bei der Prüfung der DNSH-Kriterien zu hinterfragen ist. Einzelne Inhalte bzw. Stationen des Lebenszyklus der Kernenergienutzung wurden nicht vollständig und ausreichend bewertet.

Gliederung des Textteils der Fachstellungnahme

Entsprechend dieser Prüfergebnisse beginnt der Textteil mit einer kritischen Auseinandersetzung mit den nicht oder nur knapp berücksichtigten Themen im JRC-BERICHT. Weitere übergeordnete methodische Fragen zur Prüfung der DNSH-Kriterien durch das JRC werden angesprochen (dazu Kapitel 2 dieser Fachstellungnahme). Es folgt die kritische Würdigung des JRC-BERICHTS insbesondere in Bezug auf die DNSH-Kriterien – nicht jedoch, ohne kurz die Ausführungen des JRC zum Kriterium des Beitrags zum Klimaschutz zu würdigen (vgl. Kapitel 3). Die Darstellung der DNSH-Kriterien folgt – angelehnt an den JRC-BERICHT in Teil A 3.3 und Teil B – den Lebenszyklusphasen der Kernenergienutzung, wobei sich ein Kapitel den Phasen der Energiegewinnung und dem Kraftwerksbetrieb einschließlich Rückbau (vgl. Kapitel 4) und ein Kapitel der Entsorgungsproblematik widmet (vgl. Kapitel 5).

In den Kapiteln 3 bis 5 dieser Fachstellungnahme erfolgt vor allem die Auseinandersetzung mit den vom JRC herangezogenen fachwissenschaftlichen Grundlagen zu den Kriterien der Taxonomie-Verordnung im Hinblick auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit. Bei der Prüfung des JRC-BERICHTS wurden Grundsätze der guten wissenschaftlichen Praxis, wie sie z. B. die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) in ihren „Leitlinien zur guten wissenschaftlichen Praxis“ definiert (DFG, 2019), als Basis der wissenschaftlichen Würdigung herangezogen. Außerdem werden die Folgerungen des JRC aus den fachwissenschaftlichen Grundlagen für die technischen Bewertungskriterien (technical screening criteria – TSC) betrachtet, wo diese als problematisch aufgefallen sind.

Zur Binnengliederung der Unterkapitel wurden Unterüberschriften verwendet. Wo erforderlich, kennzeichnen **fette, gelb unterlegte Unterüberschriften** jeweils die Ausführungen zu den fachwissenschaftlichen Ausführungen des JRC einerseits und zu den vom JRC entwickelten TSC andererseits. **Unterstrichene Überschriften** werden – bereits in diesem Unterkapitel – für einzelne Unterthemen verwendet.

Kapitel 6 gibt schließlich einen Ausblick auf Aspekte der Kernenergienutzung, die zwar nicht im Zuge einer JRC-Prüfung, aber der Mindestziele nach Art. 18 Taxonomie-Verordnung bzw. weiterer (künftig zu definierender) Nachhaltigkeitsziele und damit für eine umfassende Prüfung der Nachhaltigkeit relevant sind.

2

Kritische Betrachtung der Methodik des JRC – DNSH-Kriterien und Nutzung der Kernenergie

Der JRC-BERICHT bezieht Aspekte der Kernenergienutzung, die zu erheblichen Beeinträchtigungen von Umweltzielen führen bzw. solche verhindern helfen können, nicht in die Bewertung der Taxonomie-Fähigkeit der Kernenergienutzung ein (dazu nachfolgend Kapitel 2.2 dieser Fachstellungnahme). Der Grund hierfür lässt sich nicht unmittelbar nachvollziehen, weil das JRC den Prüfungs- bzw. Bewertungsrahmen für die Bewertung der DNSH-Kriterien nicht an zentraler Stelle reflektiert. Fraglich ist insofern, ob das JRC einen zu engen Betrachtungsrahmen wählt oder ob die Nichteinbeziehung sonstiger Aspekte von der Taxonomie-Verordnung gestützt wird (dazu 2.1). Die Methodik des JRC entspricht im Übrigen nicht in vollem Umfang den Anforderungen an eine wissenschaftliche Bewertung, welche die Taxonomie-Verordnung aber fordert. Sie ist z. B. bzgl. fachlicher Stringenz und Quellenauswahl zu hinterfragen (dazu 2.3).

2.1

Prüfungsmaßstab des JRC bei der Bewertung der DNSH-Kriterien

Prüfungsmaßstab des JRC

Das JRC thematisiert einige wesentliche Themen der Kernenergienutzung. Schwere Unfälle beim Kraftwerksbetrieb (dazu JRC-BERICHT, Teil A 3.5, S. 175 ff.) führen zweifelsohne zu erheblichen Umweltauswirkungen. Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (kurz: SEWD; dazu JRC-BERICHT, Teil A 3.3.5.1.5, S. 109) können ebenfalls zu Umweltauswirkungen führen. Langfristiger Informations- und Wissenserhalt (dazu JRC-BERICHT, Teil B 1.2, S. 205 ff.) ist erforderlich, um nachfolgende Generationen über die Endlager zu informieren und so auch vor Schäden durch ionisierende Strahlung zu bewahren. Forschung und Entwicklung (dazu JRC-BERICHT, Teil B 6) sind angesichts nach wie vor offener Fragen vor allem hinsichtlich der Endlagerung unabdingbar. Der JRC-BERICHT erörtert diese Themen zwar, jedoch nicht in der gebotenen fachlichen Tiefe. Außerdem bezieht das JRC die Themen nicht in die Bewertung der DNSH-Kriterien ein bzw. stellt keine Verbindung zur Taxonomie-Verordnung her.

Erforderlich für eine technische-wissenschaftliche Untersuchung der Taxonomie-fähigkeit der Kernenergienutzung wäre, auf der Grundlage der Taxonomie-Verordnung einen Untersuchungsrahmen bzw. Prüfungsmaßstab zu entwickeln, welche Aspekte der Kernenergienutzung in die Prüfung der DNSH-Kriterien

einzu beziehen sind. Das leistet das JRC nicht in ausreichendem Maße. Die o.g. Themen werden in der Folge nicht ausreichend beleuchtet und ihre Bewertungsrelevanz ist nicht nachvollziehbar:

Das JRC erachtet die DNSH-Kriterien für Tätigkeiten im Bereich der Kernkraft als erfüllt, wenn die regulatorischen Anforderungen – insbesondere an den Safety Case und die Umweltverträglichkeit – eingehalten sind. Das wird im JRC-BERICHT an mehreren Stellen deutlich (vgl. nur JRC-BERICHT, Executive Summary, S. 7, erster und zweiter Anstrich; S. 8, erster, achter und zehnter Anstrich; Teil A 1.3.2.3, S. 22 f. sowie Teil A 5.1, S. 190 f.; Annex 1), ohne dass an zentraler Stelle ein Prüfungsmaßstab entwickelt wird.

Die Herangehensweise des JRC bringt mit sich, dass der Nachweis der ökologischen Nachhaltigkeit letztlich im Rahmen von Genehmigungs- oder Zulassungsverfahren für die jeweilige Aktivität erbracht wird bzw. werden soll. Für die Endlagerung werden Fallbeispiele (Finnland, Schweden, Frankreich) angeführt, nach denen eine sichere Endlagerung unter obigen Voraussetzungen möglich erscheint. Entsprechend basieren dann die TSC darauf, ob diese Regeln und Richtlinien existieren und in Zulassungs- und Genehmigungsverfahren abgearbeitet wurden (vgl. auch JRC-BERICHT Teil A 5.2, S. 191). Ist das der Fall, wären dem JRC zufolge die Kernenergienutzung und die Endlagerung als Teil des Kernenergie-Lifecycles vereinbar mit den DNSH-Kriterien.

Vorgaben der Taxonomie-Verordnung und Vorgehensweise der TEG

Das JRC lehnt sich mit dieser Vorgehensweise an die TEG an. Die TEG fordert von einer Wirtschaftstätigkeit, dass sie jedenfalls („at minimum“) mit den umweltrechtlichen Vorschriften der EU vereinbar ist (TEG 2020b, S. 33).

Die Taxonomie-Verordnung selbst stützt zwar dieses Vorgehen der TEG und das daran angelehnte Vorgehen des JRC. Denn aus den Erwägungsgründen (26) bis (30) und (40) der Taxonomie-Verordnung geht hervor, dass die Umweltziele im Lichte der einschlägigen Rechtsvorschriften des Unionsrechts auszulegen sind und dass die Einhaltung von Unionsrecht die Mindestanforderung für die DNSH-Konformität einer Wirtschaftstätigkeit darstellt. Überdies verweist Erwägungsgrund (40) auf Art. 191 AEUV und formuliert, dass das Vorsorgeprinzip gilt, wenn „sich ein Risiko nicht mit hinreichender Sicherheit anhand einer wissenschaftlichen Bewertung bestimmen“ lässt.

Die Taxonomie-Verordnung legt damit nahe, dass sämtliche Risiken einer Wirtschaftstätigkeit einer gründlichen, wissenschaftlichen Betrachtung bedürfen, Ungewissheiten sauber zu benennen sind und die Nichtberücksichtigung von Risiken bei der Bewertung einer Wirtschaftstätigkeit anhand der DNSH-Kriterien einer vertieften Begründung bedarf – nicht zuletzt, um dem Vorsorgeprinzip Genüge zu tun. Diese Anforderungen reflektiert das JRC nicht. Der Diskussion, ob im Fall der Kernenergienutzung für die Bewertung der DNSH-Kriterien ein über die regulatorischen Anforderungen hinausreichender Prüfungs- und Bewertungsrahmen angezeigt ist, stellt sich das JRC dementsprechend nicht. Folge ist zum einen, dass umweltrelevante Aspekte der Kernenergienutzung nicht in die Bewertung einbezogen werden. Zum anderen erkennt das JRC nicht an, dass der Verweis auf die regulatorischen Anforderungen allein zu kurz greift, um die DNSH-Kriterien im Hinblick auf die Umweltziele bewerten zu können.

Einige der vom JRC adressierten Aspekte wie der Schutz der nachfolgenden Generationen weisen zwar über die Umweltziele der Taxonomie-Verordnung hinaus. Im JRC-BERICHT fehlt allerdings eine Reflektion, ob und inwiefern dieser (und weitere) Aspekte in eine Prüfung einer in weiterem Sinne zu verstehenden DNSH-Hürde einzu beziehen wären. Diese Fachstellungnahme betrachtet auch solche Aspekte in Kapitel 6.

Weitere Gründe für einen erweiterten Betrachtungsrahmen

Dass der Betrachtungsrahmen bzw. Prüfungsmaßstab für die DNSH-Kriterien nicht nur von den regulatorischen Anforderungen gesetzt wird, legen auch die gesamtgesellschaftlichen Implikationen und Folgen der Nutzung der Kernenergie nahe:

Bezüglich geplanter Aktivitäten fehlen im JRC-BERICHT die indirekten Folgen der Kerntechnik, die sich nicht durch die effektive Dosis oder die Aktivitätskonzentration von Radon-222 (Rn-222) in der Atemluft (oder daraus abgeleitete Größen) quantifizieren lassen. Hierzu zählt insbesondere der Aufwand, der durch mangelnde individuelle und gesellschaftliche Akzeptanz und die damit verbundenen gesellschaftlichen Kosten der Kerntechnik und des Kernbrennstoffkreislaufs entsteht. In Deutschland reicht das Spektrum hier von der Planung und Genehmigung kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen (z. B. Erkundung des Salzstocks Gorleben, Planung der Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf) über den Betrieb kerntechnischer Anlagen und Einrichtungen (z. B. Kernkraftwerke) bis hin zur Entlassung geringfügig radioaktiven Materials, das z. B. beim Abbau von Kernkraftwerken anfällt, aus der atomrechtlichen Überwachung (Freigabe).

Auch in Bezug auf die Schadensfolgen eines schweren nuklearen Unfalls greift die JRC-Studie viel zu kurz, da sie sämtliche nichtradiologische Folgewirkungen ausblendet. Hierbei geht es nicht nur um psychosoziale Folgeerkrankungen, die sehr wohl – sogar auch in Todesfallzahlen – nachweisbar sind (Hayakawa, 2016), sondern auch um gesellschaftliche Folgen wie den massiven Verlust von Lebensqualität, sozialem Zusammenhalt der Gesellschaft und ökonomischer Prosperität sowie um die fehlende Perspektive, in den betroffenen Gebieten in absehbarer Zeit zur Normalität zurückzukehren (Bromet und Havenaar, 2007; Hasegawa et al., 2015; Shigemura et al., 2020).

Insgesamt ergeben sich zum Beispiel in Deutschland aus den heftigen gesellschaftlichen Diskussionen um die Risiken der Kerntechnik und die Risiken verbunden mit der Zwischen- und Endlagerung radioaktiver Abfälle im Vergleich zu anderen Technologien der Energiegewinnung hohe gesellschaftliche Kosten, auf die der JRC-BERICHT nicht eingeht. Diese gesellschaftlichen Kosten entstehen, wenn sich die Kernenergie nicht „reibungsfrei“ in den gesellschaftlichen Kontext einfügt, sondern – wie in Deutschland – jahrzehntelang äußerst kontrovers diskutiert wird, Widerstände hervorruft, Protestaktionen veranlasst, Vertrauen in den Staat allgemein, in die Politik und in die handelnden Behörden zerstört und zu Verzögerungen bei der Planung und Umsetzung von Vorhaben führt.

Oftmals muss großer Aufwand betrieben werden, um die Kernenergie als Hochrisikotechnologie „gesellschaftsfähig“ zu machen, um gesellschaftliches Vertrauen und Akzeptanz zu erhöhen. Dieser Aufwand und die volkswirtschaftlichen Folgekosten sollten als inhärente Kosten bei den Betrachtungen der Vergleiche mit anderen Energiequellen mit einbezogen werden.

Folgen der engen Betrachtungsweise des JRC

Aus dem Umstand, dass das JRC der Frage des Prüfungsmaßstabs zu wenig Aufmerksamkeit widmet, folgt, dass umweltrelevante Aspekte der Kernenergienutzung zwar erörtert, aber nicht in die Bewertung einbezogen werden und dass das JRC nicht reflektiert, ob die Taxonomie-Verordnung dieses Vorgehen stützt (dazu nachfolgend Kapitel 2.2 dieser Fachstellungnahme). Weitere Nachhaltigkeitsaspekte wie die Berücksichtigung künftiger Generationen werden ebenfalls nicht ausreichend gewürdigt, obwohl auch die Taxonomie-Verordnung das nahelegt (dazu Kapitel 6 dieser Fachstellungnahme). Im Folgenden wird auch auf diese Feststellungen Bezug genommen, soweit der Prüfungsmaßstab als problematisch aufgefallen ist.

2.2 Ausgelassene umweltrelevante Aspekte der Kernenergienutzung und der Entsorgung radioaktiver Abfälle bei der Bewertung der DNSH-Kriterien im JRC-Bericht

2.2.1 Unfälle

Schwere Unfälle werden vom JRC zwar erörtert (JRC-BERICHT, Teil A 3.5, S. 175 ff. und 4.3, S. 186 f.), jedoch nicht in die Bewertung der DNSH-Kriterien einbezogen (vgl. JRC-BERICHT, Executive Summary, S. 10, vierter Anstrich).

Die JRC leitet diese Vorgehensweise allenfalls implizit aus der Taxonomie-Verordnung und den Ausarbeitungen der TEG (TEG, 2020a) und deren technischen Bewertungskriterien (TEG, 2020b) ab. Die Ausarbeitungen der TEG und die darauf aufbauenden technischen Bewertungskriterien sehen die Berücksichtigung von schweren Unfällen auch in keiner der sonst bewerteten Wirtschaftstätigkeiten vor. Dies zugrunde gelegt, stellen die Ausführungen des JRC in Bezug zu Unfällen eine Ergänzung zum Gesamtüberblick über die Folgen der Kernenergienutzung dar, sind aber für das JRC nicht bewertungsrelevant.

Es ist jedoch fraglich, ob die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Energieträgern Aspekte von auslegungsüberschreitenden Ereignissen ausblenden darf. So kann es beim Betrieb von Kernkraftwerken über die im JRC-BERICHT dargestellten potenziellen Umweltauswirkungen durch die genehmigte Ableitung von radioaktiven Stoffen oder die Nutzung von Kühlwasser hinaus durch schwere Unfälle zu erheblich größeren Umweltauswirkungen kommen, insbesondere durch unkontrollierte Freisetzungen radioaktiver Stoffe. Die kern-technischen Regelwerke sehen zwar zur Vermeidung solcher Freisetzungen durch Störfälle ein gestaffeltes Sicherheitskonzept vor (WENRA, 2014; BMUB, 2015). Unfallbedingte Freisetzungen bleiben jedoch grundsätzlich möglich (dazu Kapitel 4.4 dieser Fachstellungnahme) und haben sich in den vergangenen Jahrzehnten bereits mehrfach ereignet.

Die damit verbundenen Umweltauswirkungen werden infolge des Bewertungsansatzes des JRC im JRC-BERICHT nicht näher betrachtet. Das JRC beschränkt sich bei der Darstellung von Unfallfolgen im Wesentlichen auf die Betrachtung von menschlichen Todesopfern. Folgen schwerer Unfälle z. B. im Hinblick auf Gesundheit, Klimaschutz, Biodiversität, Boden- und Gewässerschutz etc. bleiben unberücksichtigt. Die Auslegungsstörfälle überschreitenden Ereignisse werden im Regelwerk mit der sog. Sicherheitsebene 4 zwar berücksichtigt, indem Maßnahmen zur Minderung des Unfallrisikos vorgesehen sind. Wie sich die trotzdem möglichen unfallbedingten Freisetzungen auf die Umweltziele auswirken, prüft das JRC aber nicht.

Bei der Betrachtung der menschlichen Todesopfer fällt auf, dass der Vergleich der Opferzahlen aus kerntechnischen Unfällen mit jenen aus Unfällen anderer Energieträger nur unter Angabe von Punktwerten und ohne Darstellung der Ungewissheiten erfolgt. Wenn man z. B. Kennzahlen wie die durchschnittliche Letalität pro erzeugter TWh für Kernenergie- und fossile Energieerzeugung vergleicht (JRC-BERICHT, Teil A, Abb. 3.5–1, S. 176), sollten hierbei die bzgl. Eintrittswahrscheinlichkeiten und zeitlichen Verläufen sehr unterschiedlichen Ausprägungen letaler Auswirkungen der unterschiedlichen Energieträger bei

Wahl des Maßstabs bedacht und dargestellt werden. So treten bei fossiler Energieerzeugung die letalen Auswirkungen praktisch kontinuierlich auf. Über den Beitrag fossiler Energieerzeugung zum Klimawandel hinaus gibt es dabei eine zusätzliche, in die Zukunft gerichtete Komponente. Hingegen kann es bei der Kernenergienutzung zu seltenen, aber gravierenden Unfallereignissen kommen. Auch geht von der Kernenergienutzung durch die Erzeugung radioaktiver Abfälle ein über die Nutzungsdauer der Anlagen selbst zeitlich weit hinausgehendes Risiko aus. Ausgeblendet werden auch psychosoziale Folgeerkrankungen von Unfällen, die sehr wohl auch in Todesfallzahlen nachweisbar sind (Hayakawa, 2016) (vgl. oben Kapitel 2.1). Unfallfolgen unterscheiden sich also bei den verschiedenen Formen der Energieerzeugung. Im Übrigen ist zu berücksichtigen, dass Ereignisse mit Aktivitätsfreisetzung sich auch in der Phase von Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken sowie in den weitaus längeren Zeiträumen bei der Einlagerung radioaktiven Materials ereignen können. Das wird im JRC-BERICHT nicht näher thematisiert.

Grundlage der Diskussion schwerer Unfälle im JRC-BERICHT ist die probabilistische Sicherheitsanalyse Stufe 3, die neben der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Unfalls und der damit verbundenen Freisetzung von Radionukliden auch die Umweltauswirkungen umfasst. Anzumerken ist, dass im Gegensatz zu Schadenshäufigkeiten bei anderen Energieformen für nukleare Unfälle angenommene bzw. abgeschätzte Wahrscheinlichkeiten von den internationalen Notfallschutz-Experten diskutiert werden. Damit werden Wahrscheinlichkeiten mit Häufigkeiten verglichen, was konzeptionell fragwürdig ist. Die Problematik bei der Bewertung des Risikos in der Einheit Todesfälle pro GWh bei schweren nuklearen Unfällen liegt in deren Seltenheit in Verbindung mit den gravierenden Folgen. Der Vergleich in Abbildung 3.5-1 des JRC-BERICHTS ist insofern irreführend, als hier eine Vergleichszahl als Produkt zweier Zahlen ermittelt wird, die als Grenzfälle des jeweiligen Modells einmal extrem klein und einmal extrem groß sind. Das Produkt einer (unsicheren) extrem kleinen Zahl und einer (unsicheren) extrem großen Zahl ist nur wenig aussagekräftig.

Die Schadenshäufigkeit berücksichtigt nur bekannte Risiken, nicht die unbekanntes („known unknowns“ versus „unknown unknowns“). Nach der Katastrophe von Fukushima ist in Deutschland eine Begründung für die weitere Nutzung der Kernenergie mit Verweis auf eine geringe Wahrscheinlichkeit („Restrisiko“) nicht konsensfähig bzw. wird von einer breiten Mehrheit in Politik, Gesellschaft und Wissenschaft abgelehnt, da die Risikoabschätzung selbst mit einer nicht quantifizierten Ungewissheit behaftet ist.

Bei der Planung des radiologischen Notfallschutzes in Deutschland wurden folgerichtig z. B. bei der Ausweitung der Planungsradien explizit alle Szenarien eingeschlossen, die physikalisch möglich sind: „Was denkbar ist, darauf muss man sich auch vorbereiten“ (in Anlehnung an SSK, 2015). Entsprechende Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) folgen auch dieser Logik. Letztlich beruht der beschleunigte Ausstiegsbeschluss der Bundesregierung vom Sommer 2011 genau auf dieser Sichtweise. Diese Argumentationslinie wird im Bericht des JRC ausgeblendet.

Festzuhalten ist: Schwere Unfälle in Kernkraftwerken können unzweifelhaft zu erheblichen Beeinträchtigungen von Umweltzielen führen, wobei die Schadensfolgen von Unfällen im Vergleich zu anderen Wirtschaftstätigkeiten besonders gravierend sein und sich weit über nationale Grenzen hinaus erstrecken können. Überdies herrscht in der politisch-gesellschaftlichen Diskussion nicht nur in den EU-Mitgliedstaaten Uneinigkeit, ob dieses Risiko akzeptabel ist. Vor diesem Hintergrund ist der Verweis auf den regulatorischen Rahmen unbefriedigend, weil dieser schwere Unfälle nicht ausreichend berücksichtigt.

Ob der vom JRC gewählte Betrachtungsrahmen sich aus der Taxonomie-Verordnung ergibt oder ob diese nicht vielmehr einen weiteren Betrachtungsrahmen zulässt bzw. gebietet, geht aus dem JRC-BERICHT nicht hervor. Der Verweis der Taxonomie-Verordnung auf das Vorsorgeprinzip und das daraus folgende Erfordernis, sämtliche Umweltrisiken zu betrachten, sprechen eher für einen solchen weiteren Betrachtungsrahmen (vgl. dazu Kapitel 2.1 dieser Fachstellungnahme).

Die geltende Taxonomie-Verordnung gebietet bereits einen weiteren Betrachtungsrahmen, der die Umweltfolgen von Unfällen berücksichtigt. Zugleich ist auf Folgendes hinzuweisen: Diskussionen zur Notwendigkeit der Festlegung von prinzipiell ausgeschlossenen Aktivitäten in der Taxonomie-Verordnung werden, da sie a priori die DNSH-Kriterien nicht erfüllen, bereits in verschiedenen Organisationen geführt; die Diskussionen zeigen die prinzipielle Bedeutung dieser Frage (siehe hierzu z. B. NABU, 2021).

Die Taxonomie-Verordnung wäre auch für eine ergänzende regulatorische Entscheidung speziell zum Ausschluss der Kernenergienutzung durchaus offen. So hält sie bereits eine spezifische Ausnahme in Form des Artikels 19 Abs. 3 Taxonomie-Verordnung bereit, wenn auch ohne Bezug zu Schadensereignissen. Die Nutzung fester fossiler Brennstoffe zur Stromerzeugung wird darin ausgeschlossen. Dies könnte aufgrund des spezifischen Unfallrisikos ähnlich für die Kernenergienutzung geregelt werden.

2.2.2 Ungewissheiten

Unberücksichtigt bleiben aufgrund des Prüfungsmaßstabs des JRC Ungewissheiten, die sich auch angesichts spezifizierter regulatorischer Anforderungen – d. h. des gesetzlichen und untergesetzlichen Regelwerks – nicht ausräumen lassen.

Die Thematik Ungewissheiten spielt im Zusammenhang mit der Sicherheitsaussage von Endlagern eine wesentliche Rolle. Allerdings ist dieses Thema im JRC-BERICHT z. B. in Teil B 6, S. 277 ff. nicht ausreichend gewürdigt worden. So gibt es eine Reihe von Ungewissheiten, die nicht weiter reduziert bzw. aufgelöst werden können. Ein Beispiel hierfür sind die Auswirkungen zukünftiger Kaltzeiten, deren Auftreten in Deutschland innerhalb der nächsten eine Millionen Jahre zwar als gesichert angesehen werden kann, eine „exakte“ zeitliche Vorhersage mit einer genauen Lokalisierung von möglichen Inlandsvergletscherungen ist jedoch nicht möglich (GRS, 2018). Neben den Ungewissheiten z. B. zu zukünftigen Klimaentwicklungen sind vor allem auch diejenigen Ungewissheiten verbunden mit dem zukünftigen Handeln von Mensch und Gesellschaft sowie des sozialen Verhaltens zu nennen. Hier zeigt die nicht auszuschließende Möglichkeit eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens in ein Endlager die Grenzen hinsichtlich einer sicherheitstechnischen Bewertung über lange Zeiträume auf (vgl. hierzu auch unten die Ausführungen zu langfristigem Informations- und Wissenserhalt, vor allem im Hinblick auf Human Intrusion). Ungewissheiten betreffen auch die möglichen Beeinträchtigungen von Umweltzielen z. B. im Rahmen der Endlagerung, wenn es um die Robustheit von Barrieren geht (näher dazu unter Kapitel 5.3 dieser Fachstellungnahme).

Ferner vernachlässigt die Auffassung des JRC, die Sicherheit von Endlagern für die zugrunde gelegten Isolationszeiträume der Abfälle von der Umwelt sei generell uneingeschränkt gegeben (JRC-BERICHT, Teil B 5.1, S. 244, S. 246 und S. 247 sowie Teil B 5.2.2, S. 250 und Teil B 5.2.4, S. 260), die Faktenlage, dass innerhalb und außerhalb der Länder, die ein oder mehrere Endlager für radioaktive Abfälle vorsehen, unterschiedliche Endlagerkonzeptionen, Standorte mit unterschiedlichen topografischen und geologischen Randbedingungen, Sicherheits- und Bewertungskonzepten und nationalen regulatorischen Sicherheitsanforderungen vorliegen (Charlier, 2019).

Im Prinzip ist jedes Endlager ein Unikat, das aufgrund der genannten unterschiedlichen Rahmenbedingungen einer individuellen Sicherheitsbeurteilung bedarf. Die Sicherheitsbeurteilung liegt dabei in der Verantwortung des jeweiligen Landes, in dem das Endlager errichtet wird. Die Grundlage für die Sicherheitsbeurteilung bilden die jeweiligen Gesetze und Verordnungen sowie untergesetzliches Regelwerk. Hierbei bestehen sicherlich Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern hinsichtlich des rechtlichen Rahmens (GRS, 2009). Letztendlich wird sich, wenn auch nicht grundlegend, aber im Detail, ein unterschiedliches Sicherheitsniveau ergeben.

Darüber hinaus liegen in den einzelnen Ländern nicht gleiche geologische Voraussetzungen vor (Charlier, 2019; GRS, 2009). So gibt es Länder, die hinsichtlich ihrer Lage eine vielseitige Geologie besitzen und wiederum andere Länder, bei denen die Wahl z. B. für ein Wirtsgestein, das das Endlager aufnehmen soll, mehr oder weniger vorgegeben ist (siehe hierzu auch Infoplattform des BASE: https://www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Loesungen-anderer-Laender/loesungen-anderer-laender_node.html). Die Auswahl des Wirtsgesteins ist jedoch mitbestimmend für die Ausgestaltung und Konzeption des Endlagers sowie des unterliegenden Sicherheitskonzepts. Hierdurch verschiebt sich möglicherweise auch die Interessenslage von schwerpunktmäßig zu erforschenden Aspekten für eine sichere Endlagerung. Auch wenn zum Schluss alle Aspekte beleuchtet und das Endlagersystem als genehmigungsfähig angesehen wird, verbleiben Ungewissheiten, die sich nicht auflösen lassen.

Aus den genannten Gründen wird ersichtlich, dass die Frage nach der sicheren Endlagerung hochradioaktiver Abfälle zwar ein gemeinsames europäisches Thema ist, jedoch die Umsetzung und die Wege für eine Umsetzung in den Mitgliedsstaaten sehr vielschichtig sein können. Zudem räumt der Verweis auf regulatorische Anforderungen gewisse Ungewissheiten nicht aus. Daher ist der Ansatz einer allgemeinen Feststellung, dass die Frage nach der sicheren Endlagerung hochradioaktiver Abfälle auch mit Blick auf die Nachhaltigkeit gelöst ist, wenn die jeweiligen zugrunde liegenden nationalen und internationalen regulatorischen Vorgaben bezüglich der Sicherheit eingehalten werden und für die Zukunft auch unverändert Bestand haben, nicht von der notwendigen wissenschaftlichen Sorgfaltspflicht getragen.

2.2.3 Forschung und Entwicklung

Auch der enorme Aufwand in der Forschung, der in der Vergangenheit, aktuell und auch noch zukünftig betrieben wurde bzw. wird, macht die Komplexität der mit der Sicherheit eines Endlagersystems einhergehenden Fragestellung deutlich. Eine Vielzahl konzeptioneller Fragen und fachlicher Details sind noch zu klären. Möglicherweise lassen sich einige Fragestellungen nicht vollständig auflösen und bleiben mit Ungewissheiten behaftet.

Es fällt auf, dass der JRC-BERICHT das Thema Forschung und Entwicklung zwar behandelt, eine explizite Verbindung zur Taxonomie-Verordnung wird jedoch nicht hergestellt. Durch Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden unklare Zusammenhänge beleuchtet und offene Fragestellungen untersucht. Das betrifft Fragen der Endlagerung in besonderem Maße. Dieser letzte Teil des Lebenszyklus der Kernenergienutzung ist bislang nicht umfassend ausentwickelt, was sich alleine daran zeigt, dass sieben Jahrzehnte nach Beginn der Kernenergienutzung noch kein Endlager für hochradioaktive Abfälle weltweit in Betrieb ist. Im Gegensatz zu anderen Technologien dienen Forschung und Entwicklung hier auch nicht der Verbesserung bereits vorhandener Technologien, sondern der Entwicklung des letzten Abschnitts des Lebenszyklus einer Technologie. Das wird im JRC-BERICHT nicht explizit dargestellt. Würde es dargestellt werden, müsste auch konstatiert werden, dass dieser Bestandteil des Lebenszyklus der

Kernenergienutzung noch nicht abschließend bekannt und daher auch bislang nicht analysierbar oder evaluierbar ist. Aufgrund dessen ist hier eine DNSH-Analyse mit besonderen Herausforderungen verbunden (vgl. auch TEG 2020b, S. 210). Umso wichtiger wäre es hier, Forschung und Entwicklung in die Bewertung mit einzubeziehen. Forschung und Entwicklung stellen Maßnahmen dar, mit der mögliche erhebliche Beeinträchtigungen von Umweltzielen im Sinne der Taxonomie-Verordnung besser eingeschätzt und ggf. verhindert werden können. Denkbar wäre, technische Bewertungskriterien zu Anforderungen an Forschungsprogramme zur Beantwortung offener Fragen und zur Schließung von Unklarheiten zu entwickeln.

Die Ausführungen des JRC zum Thema Forschung und Entwicklung werden auch in Kapitel 5.5 dieser Fachstellungnahme kritisch gewürdigt.

2.2.4 Sicherung

Auch beim Thema Sicherung greift der Verweis auf die regulatorischen Anforderungen zu kurz. Der vorliegende Bericht des JRC beschränkt sich zum Thema Sicherung (Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter, kurz: SEWD) auf eine sehr stark verkürzte Darstellung, die sich überdies auf wenige Teilaspekte bezieht (z. B. JRC-BERICHT, Teil A 3.3.5.1.5, S. 109).

Dies ist vor dem Hintergrund der Bedeutung dieses Themenfeldes für eine Gesamtdarstellung unzureichend. Denn das unbefugte und missbräuchliche Einwirken Dritter auf eine kerntechnische Anlage oder Einrichtung kann zu erheblichen Beeinträchtigungen von Mensch und Umwelt und damit der Umweltziele führen.

Festzuhalten ist, dass die Abschätzung des Risikos von SEWD maßgeblich vom Willen Dritter und deren krimineller Energie abhängig ist. Dieses Willenselement führt dazu, dass die Bestimmung eines Risikos der Bevölkerung infolge von SEWD grundlegend anders als im Gebiet der Sicherheit ausgestaltet ist. Während im Bereich der Sicherheit den zu unterstellenden Störfallszenarien technisch-wissenschaftliche Erkenntnisse zugrunde liegen, entzieht sich im Bereich der Sicherung die Ermittlung von Szenarien, die dem Schutz einer kerntechnischen Anlage oder Einrichtung gegen SEWD zugrunde gelegt sind, einer technisch-naturwissenschaftlichen Deduktion. Die Ermittlung von zu unterstellenden SEWD-Szenarien basiert vielmehr auf fachlichen Wertungen der zuständigen Behörden auf Basis objektiver Erkenntnisse. Die diesbezüglichen Betrachtungen werden in stetig zu aktualisierende Einschätzungen zur aktuellen Gefahrenlage übersetzt (BMU, 2012).

Gerade im Bereich der Zwischenlagerung bedeutet dies aufgrund der in diesem Fall notwendigen langjährigen Lagerung, dass nur in begrenztem Maßstab Aussagen über die zukünftige Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen und damit zu einem Aspekt des Strahlenschutzes getroffen werden können. Zwar wird durch internationale Vereinbarungen und Anforderungen (CPPNM, IAEA Security Series) aktuell ein Rahmen definiert, jedoch ist davon auszugehen, dass nur bei einer kontinuierlichen sowie anlassbezogenen Überprüfung der Gefahrenlage und einer ggf. daraus resultierenden Anpassung/Optimierung von bestehenden Sicherungsmaßnahmen eine dauerhafte Sicherung garantiert werden kann. Mit absoluter Sicherheit kann auch hier der großflächige Austrag von radioaktiven Stoffen nicht ausgeschlossen werden, der mit den oben genannten weitreichenden Konsequenzen einhergehen würde.

Vor diesem Hintergrund erscheint eine verkürzte Betrachtung wie in dem angegebenen Kapitel des JRC-BERICHTS als nicht ausreichend, um die vielfältigen und komplexen Szenarien und die damit verbundenen Gefahren durch den Missbrauch radioaktiven Materials in Gänze zu würdigen.

2.2.5 Langfristiger Informations- und Wissenserhalt unter Berücksichtigung von Human Intrusion

Die Bedeutung von langfristigem Informations- und Wissenserhalt wird im JRC-BERICHT nicht gewürdigt bzw. nicht erkannt. Wenngleich Dokumentenerhalt („preservation of records“) als Zitat aus Artikel 17 der Joint Convention (IAEA, 1997) im JRC-BERICHT (Teil B 1.2, S. 206) erwähnt ist, bleibt die Thematik im Übrigen weitgehend unberücksichtigt. Sie fehlt insbesondere in Zusammenhang mit den Grundprinzipien der geologischen Endlagerung – ein Zusammenhang, der von der ICRP (ICRP, 2013) und der OECD/NEA (OECD, 2014) hergestellt wird.

Eine Bewertungsrelevanz ergibt sich jedoch bei näherer Betrachtung. Generell können das zukünftige menschliche Verhalten und Handeln nicht vorhergesagt werden (NAS, 1995; Seitz et al., 2016). Aus diesem Grund ist ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen (Human Intrusion, kurz: HI) in ein Endlager bei Verlust der Kenntnis über den Endlagerstandort auch nicht ausgeschlossen (ICRP, 2013). Im Eintrittsfall des Ereignisses HI kann trotz der Umsetzung technischer Maßnahmen das Risiko der Strahlenexposition des Menschen und einer Kontamination der Umwelt nicht ausgeschlossen werden. Neben HI sind auch weitere zukünftige menschliche Aktivitäten am Standort mit einzubeziehen. Solche Aktivitäten unterscheiden sich von HI dahingehend, dass kein direktes Eindringen damit verbunden ist, sondern eine mögliche indirekte Einflussnahme durch z. B. Veränderung der Grundwassersituation am Endlagerstandort. Im Rahmen des IAEA Vorhabens HIDRA sind eine Vielzahl von Maßnahmen aufgestellt und thematisiert worden (Seitz et al., 2016).

Daher sind Maßnahmen zum langfristigen Informations- und Wissenserhalt erforderlich. Sie helfen, über möglichst lange Zeiträume Strahlenexposition z. B. durch HI zu verhindern (vgl. ICRP, 2013, S. 6 f.; OECD, 2014). Dementsprechend müssten solche Maßnahmen in die technischen Bewertungskriterien – die auch die Vermeidung und Minderung von Umweltauswirkungen sicherstellen sollen (vgl. JRC-BERICHT, Teil A 1.3.2.2, S. 22) – aufgenommen werden. Das ist unterblieben, obwohl das JRC erkannt hat, dass HI vorgebeugt werden muss (JRC-BERICHT Teil B 5.1, S. 246, 5.2.1, dort letzter Absatz S. 250).

Selbst wenn man jedoch Maßnahmen zum langfristigen Informations- und Wissenserhalt in die TSC aufnimmt, bleibt ein gewisses, letztlich nur schwer reduzierbares Risiko bestehen. Letztendlich können keine sicheren Prognosen getroffen werden, ob bei Wissensverlust über das Endlager die vorgesehenen Maßnahmen gegen HI bzw. Botschaften auch entsprechend bemerkt und verstanden werden. So werden etwa Archivierung und Installation von Markern international kontrovers diskutiert. Hierin wird durchaus auch die Gefahr gesehen, dass zukünftige Generationen davon eher angezogen und sich zum weiteren Vordringen ermutigt sehen (OECD, 1995; Seitz et al., 2016). Die verbleibenden Ungewissheiten werden im JRC-BERICHT nicht berücksichtigt.

Darüber hinaus unterstreicht die OECD/NEA ein weiteres Ziel von langfristigem Informations- und Wissenserhalt – zukünftigen Generationen die Möglichkeit offenzuhalten, informierte Entscheidungen zu treffen – und bezeichnet dies als Bestandteil eines verantwortlichen, ethisch richtigen und nachhaltigen Abfallmanagements (OECD, 2014). Auf das Thema wird in Kapitel 6.2 dieser Fachstellungnahme ausführlicher eingegangen.

2.3 Zur Methodik des JRC

Aufgefallen bei der Prüfung des JRC-BERICHTS ist ferner, dass die Vorgehensweise des JRC nicht durchweg stringent und nachvollziehbar, zudem in Teilen fachlich unausgewogen ist.

2.3.1 Vorgehensweise und Aufbau des JRC-Berichts

Die in Teil A 1.2, S. 17 und 1.3, S. 18 des JRC-BERICHTS beschriebenen Vorgehensweise umfasst drei Schritte:

1. Bewertung des Beitrags zum Klimaschutz (vgl. JRC-BERICHT, Teil A 3.2.1, S. 35 ff. und 3.2.2., S. 39 ff.)
2. Life cycle assessment und Ermittlung der Umweltauswirkungen der Kernenergienutzung (vgl. JRC-BERICHT, Teil A 2, 3.2.3 bis 3.2.6, sowie, 3.3) verbunden mit einer Gesamtbewertung, ob die Nachhaltigkeitsziele gefährdet werden (mit Fokus auf den Umweltzielen, vgl. JRC-BERICHT, Teil A 4, S 181 ff. und Teil B mit Annex 2, 5 und 6) und
3. Entwicklung von TSC, bei deren Erfüllung die Aktivität als nachhaltig gesehen wird (JRC-BERICHT, Teil A 5, S. 190 ff. mit Annex 3 und 4).

Schritt 1 und 2 werden im JRC-BERICHT detailliert beschrieben. Das JRC sieht Schritt 2 als Grundlage für die Bewertung der DNSH-Kriterien an. Es formuliert insoweit: „The criteria applied in the DNSH assessment must be based on an adequate and thorough analysis of the potential environmental impacts of the economic activity under investigation, in order to ensure that the conditions for its acceptance/rejection will be defined appropriately.“ (JRC-BERICHT, Teil A 1.3.2.3, S. 22; vgl. auch Teil A 5.3, S. 192) Gemessen an diesem Anspruch fällt auf, dass etliche umweltrelevante Aspekte nicht betrachtet wurden (vgl. oben Kapitel 2.2). Auch die vom JRC betrachteten Aspekte halten nicht in vollem Umfang der Prüfung auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit stand (dazu Kapitel 3 bis 5).

Die in Schritt 3 entwickelten TSC verbleiben im Stadium des Entwurfs. Angeboten werden nur TSC für ausgewählte Phasen des Lebenszyklus (vgl. JRC-BERICHT, Teil A 5.1, S. 190 f.). Die Methode wurde in Bezug auf die Endlagerung bewusst nicht zu Ende geführt. Die angebotenen TSC sind überdies zu allgemein gehalten. Das JRC gibt keine Quellen für die TSC an und blendet Ungewissheiten hinsichtlich der Implementierung und Langzeitwirkungen aus (näher dazu in Kapitel 5.3 dieser Fachstellungnahme, dort Unterüberschrift „Technische Bewertungskriterien“). Damit erlaubt das Vorgehen des JRC keine ganzheitliche Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit der nuklearen Energieerzeugung. Soweit TSC entworfen werden, werden die für die tiefengeologische Endlagerung hochradioaktiver Abfälle entwickelten TSC als abdeckend für schwach- und mittelradioaktive Abfälle angesehen. Dabei werden schwachradioaktive Abfälle (im Sinne von very low-level waste) und langlebige schwach- und mittelradioaktive Abfälle aber nicht betrachtet und die unterschiedlichen Anforderungen an oberflächennahe und geologische Endlager übergangen (näher dazu Kapitel 5.2 dieser Fachstellungnahme, dort Unterüberschrift „Technische Bewertungskriterien“).

Der Aufbau des JRC-BERICHTS ist so gestaltet, dass Teil B die Basis für die in Teil A 3.3.8 durchgeführten Auswertungen der Umweltauswirkungen von Zwischen- und Endlagerung liefern soll. Teil B steht jedoch weitgehend für sich und es werden nur wenige tatsächliche Bezüge von Teil A zu Teil B hergestellt. Es ist daher nicht klar, welche Aussagen in Teil A durch welches präsentierte Wissen in Teil B gestützt werden sollen.

Insbesondere fällt auf, dass ein Abschnitt mit Schlussfolgerungen fehlt, insbesondere hinsichtlich der Schlussfolgerungen des Teils B für Teil A des JRC-BERICHTS. Ein solcher Abschnitt sollte die herausgearbeiteten Hauptpunkte der Untersuchung enthalten, welche offenen Fragen/Themen bestehen und welche Empfehlungen rückblickend auf die identifizierten Hauptpunkte gegeben werden können. Das JRC sollte in diesem Abschnitt auch kritisch bewerten, ob der Bericht den Auftrag – die Terms of Reference – erfüllt hat bzw. ob der Auftrag erfüllbar war. Folglich erscheint die Untersuchung nicht abgeschlossen.

Die Key Findings der Executive Summary beziehen sich nur punktuell auf die Analysen und Bewertungen in Teil A und die Wissensbasis in Teil B. Sie können so nicht zurückverfolgt werden und erscheinen als eine Sammlung von isolierten Feststellungen, für die nur unzureichende Verknüpfungen zum Bericht geliefert werden.

2.3.2 Ausgewogenheit der Darstellung, Daten- und Quellenauswahl

Die in dem Bericht zusammengetragenen Aspekte sind in der präsentierten Form nur eingeschränkt als adäquate Grundlage für Entscheidungen zur Taxonomie geeignet. Faktisch sind sie in großen Teilen nachvollziehbar, jedoch bevorzugt die Auswahl der einzelnen Fakten eine positive Sichtweise der Nachhaltigkeit der Kernenergienutzung und der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Der Auswahl fehlt fast vollständig eine ausgewogene Gegenüberstellung von kritischen Argumenten und einer Auseinandersetzung mit diesen. Diese Unvollständigkeit und Einseitigkeit zieht sich durch den gesamten Bericht und ist nicht nur in einigen Details zu beobachten. Zum Beispiel findet der JRC-BERICHT „Musterbeispiele“ für die Bewältigung problematischer Folgen von Wirtschaftstätigkeiten des Kernenergie-Lebenszyklus, unterschlägt aber, dass diese Folgen nicht umfassend oder nur verzögert bewältigt wurden (zum Uranabbau Kapitel 4.1, zur Asse Kapitel 5.2 dieser Fachstellungnahme).

Darüber hinaus enthält der Bericht an vielen Stellen unbegründete Verallgemeinerungen. So werden Zitate bzw. Quellen oftmals nur summarisch für längere Absätze oder ganze Seiten genannt (vgl. JRC-BERICHT, Teil B 6.2, S. 277 ff.). Hier entsteht der Eindruck, dass für die getätigten Aussagen nicht die Originalquellen zu Rate gezogen wurden. Das widerspricht gängigen Standards guter wissenschaftlicher Praxis (DFG, 2019). Aus einzelnen, ausgewählten Beispielen werden Schlussfolgerungen gezogen und eine globale Gültigkeit unterstellt. Dies wird stillschweigend getan und ist somit für LeserInnen schwer erkennbar. Beispielsweise werden im Executive Summary des JRC-BERICHTS (JRC-BERICHT, Executive Summary, S. 8, dritter Anstrich) Parallelen zwischen der Realisierbarkeit der Entsorgung anderer „Abfälle“ (CO₂) in tiefen geologischen Formationen und der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen (HLW) gezogen. Es fehlt aber eine entsprechende fachliche Analyse im Bericht, die Übertragbarkeit wird somit entgegen dem in der Zusammenfassung erweckten Eindruck nicht geprüft. In Annex 1 werden lediglich die rechtlichen Anforderungen an die Entsorgung von CO₂ bzw. radioaktiven Abfällen verglichen. Auf das völlig unterschiedliche Gefährdungspotenzial insbesondere über sehr lange Zeiträume wird nicht eingegangen. Ein weiteres Beispiel ist die Betrachtung von Kraftwerken der neuen Generation. Das sieht darüber hinweg, dass in Europa fast ausschließlich ältere Reaktoren in Betrieb sind und für mindestens die nächsten Jahrzehnte die stromerzeugenden Reaktorflotten weiterhin dominieren werden.

Auch bei der Auswahl der Quellen fällt auf, dass diese nicht immer ausgewogen ist. Der Bericht nutzt eine breite Wissensbasis, wie sie in den IAEA- und OECD/NEA-Dokumenten dargestellt wird. Gesetze, Richtlinien, aber auch Forschungsstrategien (EURAD) werden angeführt. Eine große Anzahl von Berichten von

Betreibern oder Vorhabenträgern wird zur Untermauerung und Illustration des Stands von Wissenschaft und Technik genutzt und um Stellungnahmen der Regulatoren und Regierungen ergänzt. Es werden allerdings nur sehr wenige publizierte Beurteilungen aus Fachzeitschriften (peer-reviewed journals) herangezogen. Argumente aus eher kritischen wissenschaftlichen Ausarbeitungen bzw. NGOs werden nicht erwähnt bzw. diskutiert.

Insgesamt erscheint auch die im JRC-BERICHT herangezogene Daten- bzw. Bezugsgrundlage als unausgewogen. So wird beispielsweise der Anteil der Kernenergie zur Elektrizitätserzeugung in der EU, der als Ausgangspunkt der Analyse des JRC sowohl zum Taxonomie-Kriterium des Beitrags zum Klimaschutz als auch der DNSH-Kriterien herangezogen wird, zu übermäßig angesetzt (vgl. hierzu Kapitel 3.1.2 dieser Fachstellungnahme). Weiterhin wird als Grundlage für die Bewertung der DNSH-Kriterien im Wesentlichen der Normalbetrieb bei Anlagen und Tätigkeiten im nuklearen Entsorgungsbereich betrachtet. Eine Einbeziehung der Umweltfolgen von auslegungsüberschreitenden Ereignissen in die Analyse erfolgt nicht (vgl. hierzu Kapitel 2.1, 2.2.1, 4.4, 5.3). Außerdem wird bezüglich schwach radioaktiver Abfälle (low-level waste, kurz: LLW) die oberflächennahe Endlagerung als üblicher Entsorgungsweg betrachtet. Dass eine Reihe von Ländern, für LLW oder auch alle Arten radioaktiver Abfälle ausschließlich eine geologische Endlagerung vorsehen, bleibt unberücksichtigt (vgl. hierzu Kapitel 5.2). Darüber hinaus liegt der Fokus ausschließlich auf Ländern mit groß angelegten Kernenergieprogrammen. Eine Berücksichtigung von wirtschaftlich weniger weit entwickelten Ländern erfolgte nicht (vgl. hierzu Kapitel 5.3).

Die genannten und weitere Beispiele für die hier formulierte Kritik werden im Folgenden aufgegriffen und weiter ausgeführt.

3

Kriterium 1 der Taxonomie-Verordnung – Beitrag zum Klimaschutz

In diesem Kapitel wird der Beitrag der Kernenergienutzung zum Klimaschutz (Ziele 1 und 2 der Taxonomie-Verordnung) betrachtet. Die fachlichen Aussagen des JRC-BERICHTS werden hierzu hinsichtlich der Elektrizitätserzeugung in Kernkraftwerken (dazu Kapitel 3.1) und mittels in der Entwicklung sich befindender Technologien wie Small Modular Reactors (dazu Kapitel 3.2) kritisch gewürdigt.

Festzustellen ist u. a., dass der Beitrag der Kernkraftwerke zu Treibhausgasemissionen im JRC-BERICHT sehr positiv dargestellt wird. Bezogen auf die im JRC-BERICHT dargestellte Prognose der Weiterentwicklung der Kernenergienutzung an der Stromerzeugung in der EU kann festgestellt werden, dass diese ebenfalls deutlich zu optimistisch dargestellt ist.

Bezogen auf den Beitrag sog. Small Modular Reactors (SMR) zum Klimaschutz werden die bislang nicht vorhandene Marktreife und die bislang noch offenen Fragen zu Sicherheit, Transport, Rückbau und Entsorgung in Zusammenhang mit diesem Reaktortyp im JRC-BERICHT nicht diskutiert.

3.1 Kernkraftwerke

In Teil A 3.2.1, S. 35 ff. und 3.2.2, S. 39 ff. des JRC-BERICHTS erfolgt eine Bewertung der Kernenergienutzung im Hinblick auf ihren Beitrag zum Klimaschutz gem. Art. 10 Abs. 1 Taxonomie-Verordnung. Diese Bewertung stützt sich auf eine vergleichende Betrachtung des Beitrags zum Klimaschutz der Kernenergieerzeugung im Verhältnis zu anderen Energieerzeugungsoptionen im JRC-BERICHT, Teil A 3.2.2, S. 39 ff. (dazu nachfolgend Kapitel 3.1.1 dieser Fachstellungnahme). Ihr zugrunde liegt eine sehr optimistische Prognose der Kernenergienutzung in der EU in Teil A 3.2.1, S. 35 ff. des JRC-BERICHTS (dazu Kapitel 3.1.2).

3.1.1 Beitrag der Kernkraftwerke zum Klimaschutz im JRC-Bericht

In Teil A 3.2.2 des JRC-BERICHTS erfolgt eine Auswertung der Kernenergienutzung bezüglich ihres Beitrags zum Klimaschutz. Für die angeführten Aussagen zu niedrigen Treibhausgasemissionen durch die Stromerzeugung mittels Kernenergie werden viele spezielle Fälle oder Sonderfälle dargestellt und ein verzerrender Eindruck vermittelt. An zahlreichen Stellen ist der JRC-BERICHT ungenau und verkürzt oder unterschlägt Aussagen, die in verwendeten Quellen getroffen werden.

Dadurch wird der Beitrag der Kernenergienutzung an den Treibhausgasemissionen sehr positiv dargestellt, insbesondere auch in Relation zum Grenzwert, der von der Technical Expert Group (TEG) im Taxonomy Report Technical Annex aktuell auf 100 gCO₂e/kWh gesetzt wird (TEG, 2020b). Allerdings weist die TEG im Gegensatz zum JRC-BERICHT deutlich darauf hin, dass dieser Grenzwert alle fünf Jahre gesenkt werden wird um – im Einklang mit den politischen Zielen – bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen (TEG, 2020b). Der JRC-BERICHT vermittelt so den Eindruck, dass der Grenzwert von 100 gCO₂e/kWh die nächsten 50 Jahre bestehen bleibt (JRC-BERICHT, Teil A 3.2.2, S. 40).

Ein weiteres Beispiel für verkürzte Aussagen im JRC-BERICHT und daraus resultierender optimistischer Darstellung der lebenszyklusbasierten Treibhausgasemissionen bei Nutzung der Kernenergie ist Abbildung 3.2-6 (JRC-BERICHT, Teil A 3.2.2, S. 40). Der JRC-BERICHT erwähnt nicht, dass die für die Abbildung herangezogene Literatur (WNA, 2011) viele Faktoren nennt, die zu den beobachteten Abweichungen bei den dargestellten Treibhausgasemissionen beitragen. Ein wichtiger Faktor laut WNA (WNA, 2011) ist u. a. die unterschiedliche Definition für „Lebenszyklus“ in den herangezogenen Publikationen. Einige der Publikationen berücksichtigten beim Lebenszyklus das Abfallmanagement und die Abfallbehandlung, andere nicht (WNA, 2011). Außerdem stammt die zitierte Veröffentlichung der WNA aus dem Jahr 2011 und ist damit schon verhältnismäßig alt. Sie weist z. B. darauf hin, dass die großen Abweichungen bei den Treibhausgasemissionen bei Solarenergie auf den bereits stattgefundenen, schnellen Weiterentwicklungen der Photovoltaikanlagen beruhen und dass mit weiterer Effizienzsteigerung zu rechnen ist.

3.1.2 Prognose der Kernenergienutzung im JRC-Bericht

Teil A 3.2.1, S. 35 ff. des JRC-BERICHTS gibt eine Abschätzung des Anteils der Kernenergienutzung an der globalen und der EU-Stromerzeugung, um mit dieser Abschätzung die auch zukünftig erwartete wesentliche Bedeutung der Kernenergienutzung in Europa zu unterstreichen.

Es ist festzuhalten, dass während bei anderen Themenbereichen (siehe Kapitel 2.1 und 2.2) der Eindruck entsteht, dass das JRC seinen Beobachtungsrahmen unnötig eng gewählt hat, das JRC hier über die für die Bewertung der Taxonomie-Kriterien notwendigen Aspekte deutlich hinausgeht. Eine Prognose zum Nutzungsanteil der Kernenergie in Europa ist zur Bewertung hinsichtlich der Taxonomie-Kriterien nicht erforderlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Aussagen in Teil A 3.2.1 des JRC-BERICHTS hinsichtlich der Weiterentwicklung der Kernenergieerzeugung an der Stromerzeugung in der EU deutlich zu optimistisch dargestellt sind. Die Prognose beruft sich im Wesentlichen auf den Artikel von Capros et al. (2018), welcher auf einer Modellrechnung basiert. Diese Modellrechnung wird ohne Einordnung und ohne die Angabe von Ungewissheiten übernommen. Die Prognose eines gleichbleibenden Anteils der Kernenergienutzung von 22% bis zum Jahr 2050 bei gleichzeitig steigender Gesamtstromproduktion setzt einen massiven Ausbau der Kernkraftwerke in Europa voraus. Bei aktuell nur vier in der EU in Bau befindlichen Kernkraftwerken und üblichen Bauzeiten für neue Kernkraftwerke von über 10 Jahren ist dieser erwartete massive Ausbau nicht ableitbar (IAEA, 2020b, S. 13 und IAEA 2020a, S. 18).

Des Weiteren betrachtet der Bericht als Datengrundlage noch die EU28, somit inklusive Großbritannien. Großbritannien ist am 31. Januar 2020 aus der Europäischen Union ausgetreten und hatte mit seinen zurzeit 15 in Betrieb befindlichen Reaktoren (8,9 GWe installierte Leistung) wesentlich zur installierten Kapazität in der EU beigetragen.

Die im JRC-BERICHT dargestellte Prognose würde neben Neubauten auch umfangreiche Nachrüstmaßnahmen an den alternden Kernkraftwerken in der EU voraussetzen: Die ersten Außerbetriebnahmen von Kernkraftwerken sind in der Abbildung 3.2–4 des JRC-BERICHTS erst ab dem Jahr 2040 verzeichnet. Dies würde eine Laufzeit aller in der EU in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke von ca. 60 Jahren voraussetzen, womit aufgrund aktuell bekannter Abschaltungen unter anderem in Deutschland nicht zu rechnen ist. Abbildung 3.2–4, S. 38 des JRC-BERICHTS, die die Weiterentwicklung der Kernenergienutzung in der EU basierend auf Neubauten und Laufzeitverlängerungen darstellt, ist in der angegebenen Quelle (Capros et al., 2018) nicht zu finden.

Die meisten der momentan in der EU betriebenen Kernkraftwerke sind über 30 Jahre alt, 66 der aktuell 106 in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke in der EU sind zwischen 30 und 40 Jahre alt, 26 Anlagen sogar über 40 Jahre. In den letzten 20 Jahren sind nur zwei neue Kernkraftwerke ans Netz gegangen (IAEA, 2021).

Ursprünglich waren die Kernkraftwerke für eine Betriebsdauer von 30 bis 40 Jahren konzipiert. Inwieweit tatsächlich – wie für die Prognose im JRC-BERICHT benötigt – eine Laufzeitverlängerung von Altanlagen von nationalen Behörden entsprechend der aktuellen Sicherheitsanforderungen genehmigt werden kann, ist ungewiss und hängt vom jeweiligen Anlagenzustand und dem jeweiligen nationalen Regelwerk ab. Nachrüstungen von zusätzlichen Sicherheitssystemen sind unter anderem aufgrund der baulichen Gegebenheiten nur bis zu einem begrenzten Umfang möglich (INRAG, 2021, S. 181). Zudem stellen sich Fragen der Alterung und Versprödung von Materialien und damit ihres langfristigen Verhaltens über den ursprünglichen Auslegungszeitraum hinaus.

Diese im JRC-BERICHT gewählte sehr positive Darstellung der Zukunftsaussichten der Kernenergie ist kritisch zu betrachten. Auch wenn diese Prognosen im engen Sinne keine Rolle für die Bewertung der Kernenergie nach den konkreten Umweltzielen der Taxonomie spielen können, so ist diese Darstellung des JRC aus fachlicher Sicht fragwürdig und deutet ggf. auf eine nicht ausreichende Unabhängigkeit hin. Zudem findet die Kernenergie in weiten Teilen der Gesellschaft nur schwer Akzeptanz und wird begleitet von langen Entwicklungszeiten (in demokratischen Gesellschaften 10–19 Jahre je Kraftwerk) (BMK, 2020, S. 4). Ein starker Ausbau der Kernenergie würde die Stilllegung von fossil befeuerten Kraftwerken verzögern, da letztere für diese Zeit noch in Betrieb bleiben und damit die Erreichung des Klimaziels erschweren. Man kann sogar argumentieren, dass Kernenergie aufgrund ihrer hohen Kapitalintensität den Einsatz anderer CO₂-emissionsarmer Alternativen insofern behindert, als dieses Kapital für den Ausbau alternativer Energiequellen wie Sonne, Wind und Wasser eingesetzt werden könnte (BMK, 2020, S. 4–5). Während die nukleare Stromerzeugung in der Stromerzeugungsphase historisch gesehen mit relativ geringen Treibhausgasemissionen verbunden war, wird der Großteil der Treibhausgasemissionen im nuklearen Brennstoffkreislauf in den der Anlage vor- und nachgelagerten Verarbeitungsstufen verursacht. Schätzungen zufolge verteilen sich die CO₂-Emissionen auf den Bau von Kernkraftwerken (12%), den Uranabbau und die Urananreicherung (38%), den Betrieb (17%), die Verarbeitung und Lagerung von Kernbrennstoff (15%) und die Stilllegungsaktivitäten des Kraftwerks (18%) (BMK, 2020, S. 6).

3.2

Analyse des Beitrags von Small Modular Reactors zum Klimaschutz im JRC-Bericht

Die Aussage, dass viele Länder wachsendes Interesse an SMRs zeigen, wird im JRC-BERICHT (Teil A 3.2.1, S. 38) ohne weitere Einordnung getroffen. Es fehlt insbesondere der Hinweis auf den aktuellen Entwicklungsstand und die nicht vorhandene Marktreife von SMRs.

Meist werden Reaktoren mit einer Leistung von bis zu 300 MWe unter dem Begriff SMR eingeordnet. Größtenteils befinden sich die weltweit unterschiedlichsten SMR-Konzepte auf der Ebene von Konzeptstudien. Bevor SMRs in einem Land der EU überhaupt technisch gebaut und in Betrieb genommen werden können, werden noch viele offene Fragen zu klären sein. Dies reicht von Fragen zu Sicherheit, Transport, Rückbau über Fragen zu Zwischen- und Endlagerung bis hin zu neuen Fragestellungen für die zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden. Die vielfach und häufig für SMRs postulierten Thesen hinsichtlich des Beitrags zur Bekämpfung der Gefahren des Klimawandels sowie hinsichtlich der niedrigeren Kosten und kürzeren Bauzeiten sind bestimmten wirtschaftlichen Interessenslagen, insbesondere von Herstellern, zuzuordnen und daher durchaus kritisch zu betrachten. Heutige neue Kernkraftwerke weisen elektrische Leistungen im Bereich von 1.000 – 1.600 MWe auf. SMR-Konzepte sehen dagegen geplante elektrische Leistungen von 1,5 – 300 MWe vor. Entsprechend wäre zur Bereitstellung derselben elektrischen Leistung eine um den Faktor 3–1000 größere Anzahl an Anlagen erforderlich. Anstelle von heute ca. 400 Reaktoren mit großer Leistung würde dies also den Bau von vielen tausend bis zehntausend SMR-Anlagen bedeuten (BASE, 2021; BMK, 2020). Eine aktuelle Produktionskostenrechnung unter Berücksichtigung von Skalen-, Massen- und Lerneffekten aus der Nuklearindustrie kommt weiterhin zu dem Ergebnis, dass eine vierstellige Zahl an SMR produziert werden müsste, bevor sich der Einstieg in die SMR-Produktion wirtschaftlich lohnen würde. Es ist somit nicht zu erwarten, dass auf absehbare Zeit der strukturelle Kostennachteil von Reaktoren mit kleiner Leistung durch Lern- bzw. Masseneffekte kompensiert werden kann (BASE, 2021).

Im JRC-BERICHT (Teil A 3.2.1, S. 38) fehlt auch eine Einordnung der vielfach erhobenen Behauptung, dass SMRs sicherer seien als herkömmliche Kernkraftwerke mit großer Leistung, da sie ein geringeres radioaktives Inventar aufweisen und verstärkt passive Sicherheitssysteme einsetzen. Verschiedene SMR-Konzepte postulieren vor diesem Hintergrund reduzierte Sicherheitsanforderungen, z. B. bezüglich des Redundanzgrads oder der Diversität. Bei einigen SMR-Konzepten wird gar ein Verzicht auf übliche Vorgaben zum anlageninternen und -externen Notfallschutz in Betracht gezogen, wie beispielsweise kleinere Planungsgebiete für den Notfallschutz bis hin zum Wegfall einer anlagenexternen Notfallschutzplanung. Die These des grundsätzlich erhöhten Sicherheitsniveaus eines SMRs ist nicht von vornherein nachgewiesen. Die Sicherheit einer konkreten Reaktoranlage ist von den sicherheitstechnischen Eigenschaften des individuellen Reaktors und deren funktioneller Wirksamkeit abhängig und muss – auch unter Einbeziehung des möglichen Ereignis- bzw. Störfallspektrums – sorgfältig analysiert werden. Im Rahmen einer solchen Analyse werden insbesondere Einwirkungen von außen bei SMRs in abgelegenen Regionen, bei SMRs zur Versorgung von Industrieanlagen oder bei seebasierten SMRs weitergehende Fragen aufwerfen (BASE, 2021). Hinsichtlich der anlagenexternen Notfallschutzplanung hat die Arbeitsgruppe zu den Planungsgebieten des SMR Regulators' Forum u. a. gefordert, dass gegebenenfalls auch für Anlagen zur Handhabung und Lagerung von Brennstoff außerhalb eines SMR-Geländes Planungsgebiete festgelegt werden müssten. Zudem sind besondere Betrachtungen erforderlich, wenn

Planungsgebiete von SMRs nahe an dicht besiedelte Zentren heranreichen (SMR Regulators' Forum, 2018). Die Arbeitsgruppe wies auch darauf hin, dass mögliche Quellterme gerade bei neuen technischen Designs schwer prognostizierbar sind und hierfür noch Methoden entwickelt werden müssten. Die Arbeitsgruppe Konstruktions- und Sicherheitsanalyse des SMR Regulators' Forum weist zudem darauf hin, dass Herausforderungen bei einem Unfall in einem SMR an einem Standort mit mehreren Modulen/Einheiten identifiziert und angemessene verfügbare Ressourcen (Personal und Ausrüstung) sowie Notfallstrategien nachgewiesen werden müssen (SMR Regulators' Forum, 2019). Es ist daher davon auszugehen, dass – anders als zum Teil von SMR-Entwicklern angegeben – für den anlagenexternen Notfallschutz bei SMRs Planungsgebiete nötig sind, die über das Anlagengelände hinausreichen. Letztendlich müssen die atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden entscheiden, wie die von SMR-Entwicklern propagierten Notfallschutzmaßnahmen tatsächlich auszugestalten sind (BASE, 2021).

Zuständige Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden, aber auch potentielle SMR-Produzenten und SMR-Betreiber stehen vor neuen Herausforderungen im Falle einer weltweiten Verbreitung von SMRs. Bisher liegen keine SMR-spezifischen nationalen oder internationalen Sicherheitsstandards vor. Internationale Sicherheitsstandards wären insbesondere dann eine Voraussetzung, wenn ein SMR von einem Staat, in dem der SMR hergestellt wird, in einen anderen Staat zur Nutzung geliefert wird. Dies wird besonders wichtig sein, wenn es sich bei dem „Nutzerstaat“ um einen Neueinsteiger handelt. Bei der Erstellung oder Anpassung der Regelwerke ist neben den zentralen Fragen der Auslegung und des sicheren Betriebs eines SMRs auch die regulatorische Herangehensweise zu Herstellung und Transport von SMRs, Zusammenbau von modularen Systemen, Handhabung und Transport von Brennstoffen und anderer Materialien sowie von abgebranntem Brennstoff und nuklearen Abfällen zu beachten. Auch Fragen der Sicherung und Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) müssen geklärt werden. Dies wird vor allem bei transportablen Kernkraftwerken besonders zu beachten sein (BASE, 2021).

Zusätzlich zur Klärung der regulatorischen Fragestellungen ist vor einem weltweiten Einsatz von SMRs auch die Haftung von Betreibern oder Herstellern im Falle von Unfällen zu betrachten. Bei der IAEA beschäftigt sich mit dieser Thematik die International Expert Group on Nuclear Liability (INLEX) und gab bereits Stellungnahmen zum Spezialfall eines schwimmenden Kernkraftwerks ab (IAEA, 2020c). International werden Haftungsfragen im Falle von SMRs jedoch weiterhin diskutiert (BASE, 2021).

Nicht zuletzt stellen sich beim Einsatz der SMRs auch Fragen hinsichtlich der Proliferation, d. h. der möglichen Weiterverbreitung von Kernwaffen sowie der notwendigen nuklearen Technologien oder spaltbaren Materialien für ihre Produktion. Um die Weiterverbreitung von Kernwaffen zu beenden, die Abrüstung voranzutreiben und für mehr globale Sicherheit zu sorgen, verpflichteten sich Mitgliedsstaaten des Atomwaffensperrvertrags (Vertrag über die Nichtverbreitung von Atomwaffen), spezielle Überwachungsmaßnahmen (Safeguards der IAEA) zu akzeptieren. Im Hinblick auf die bereits erwähnte theoretisch höhere Anzahl an SMRs an verschiedenen, teilweise sehr abgelegenen Standorten sowie die Verwendung von Brennstoffen mit höherer Anreicherung erhöhen sich auch die Risiken der Proliferation. Gleichzeitig steigt der Aufwand für die Überwachungsmaßnahmen, wenn eine große Anzahl von SMRs, spezielle Designs und regelmäßige Transporte von ganzen Kraftwerken oder austauschbaren Reaktorkernen überprüft werden müssen. Viele der Standardmethoden zur Spaltmaterialüberwachung passen nicht direkt auf die Besonderheiten von SMR-Konzepten (BASE 2021).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass hinsichtlich eines großflächigen Einsatzes von SMRs – der für einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz erforderlich wäre – noch viele Fragen offen sind, die im JRC-BERICHT nicht angesprochen werden. Bei diesen Fragen handelt es sich nicht nur um ungeklärte technische Fragestellungen, sondern vor allen Dingen um Fragen der Sicherheit, der Proliferation und der Haftung, die internationale Abstimmung und Regelungen erfordern.

4 Kriterium 2 der Taxonomie- Verordnung – DNSH- Kriterien: Vom Uranabbau bis zum Kraftwerksbetrieb und -rückbau

In diesem Kapitel werden die Produktionsschritte vom Abbau von Uran bis zur Stilllegung und dem Rückbau von Kernkraftwerken betrachtet. Die fachlich-wissenschaftlichen Aussagen des JRC werden im Hinblick auf Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit geprüft. Zur Binnengliederung der jeweiligen Unterkapitel wurden Zwischenüberschriften eingefügt. Unterstrichene Überschriften im Normaldruck gliedern den Text jeweils nach Unterthemen.

Herausgearbeitet werden insbesondere die mit dem Uranabbau verbundenen Probleme für Mensch und Umwelt (dazu nachfolgend Kapitel 4.1 dieser Fachstellungnahme). Darüber hinaus werden die Aussagen des JRC-BERICHTS zur Urananreicherung, zur Brennelementherstellung und zur Wiederaufbereitung einer kritischen Würdigung unterzogen (dazu Kapitel 4.3). Der JRC-BERICHT fokussiert sich auf den Regelbetrieb der Kernkraftwerke und nimmt hier Bezug insbesondere auf neue Kraftwerksgenerationen (dazu Kapitel 4.4). Dabei wird ausgeblendet, dass in Europa nahezu ausschließlich Reaktoren am Netz sind, die das Alter von 30 Jahren bereits überschritten haben und deren Sicherheits-einrichtungen damit nicht denen von Reaktoren der 3. Generation entsprechen. Die Stilllegung und der Rückbau von Kernkraftwerken werden im JRC-BERICHT dagegen zu oberflächlich behandelt (dazu Kapitel 4.5).

4.1 Uranabbau und -verarbeitung

Maßnahmen zur Minderung von Umweltfolgen

Der JRC-BERICHT ist im Bezug auf die Umweltfolgen der Urangewinnung in sich widersprüchlich: Zwar werden die Umweltrisiken des Uranbergbaus benannt (insbesondere JRC-BERICHT, Teil A 3.3.1.2, S. 67 ff.); aber schließlich wird konstatiert, dass diese mit geeigneten Maßnahmen eingedämmt werden können (insbesondere JRC-BERICHT, Teil A 3.3.1.5, S. 77 ff.). Geeignete Maßnahmen werden allerdings weder in diesem Zusammenhang noch im Zusammenhang mit der Bewertung der DNSH-Kriterien (JRC-BERICHT, Teil A 4.2, S. 182 ff.) oder der Entwicklung von TSC (JRC-BERICHT, Teil A 5.5, S. 195 f. mit Annex 4.2) in der notwendigen Tiefe diskutiert, noch wird deutlich gemacht, wie sie umgesetzt werden sollen. Es wird ebenfalls nicht aufgezeigt, wie die staatlichen Institutionen und regulierenden Behörden Einfluss auf die Uranbergbauindustrie nehmen könnten, besagte (und nicht näher definierte) geeignete Maßnahmen zur Erreichung der Umweltziele der EU-Taxonomie einzuhalten. Hier spielt eine wichtige Rolle, dass

die meisten Uranminen außerhalb der EU liegen – nur noch in der rumänischen Crucea-Mine wird auf EU-Territorium Uranerz abgebaut.

Kohle- und Uranbergbau im Vergleich

Der JRC-BERICHT vergleicht den Uranbergbau mit dem Kohlebergbau und kommt zu dem Schluss, dass Uranbergbau deutlich effektiver und „umweltfreundlicher“ sei als Kohlebergbau (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.1.1, S. 64 ff.). Während ca. 50.000 t weltweite Jahresproduktion von Uranerz zum Betrieb aller KKW's weltweit ausreicht, verbraucht ein einziges 1-GW-Kohlekraftwerk 9.000 t Kohle pro Tag. Dieses Argument ist jedoch sachlich nicht zu Ende gedacht: Ebenso wie die Kohleförderung kann auch der Uranabbau als nicht nachhaltig bezeichnet werden – unabhängig von den jeweiligen Fördermengen. Der JRC-BERICHT vermischt hier unzulässig die Vergleichsebenen: Beim Kohlebergbau handelt es sich um den Abbau von Kohlenwasserstoffen, beim Uranbergbau um den Abbau eines Erzes. Die Abbau- und Aufbereitungstechniken für beide Bodenschätze unterscheiden sich stark. Vor allem erzeugt Uranbergbau radioaktiven Abraum und erfordert ein deutlich teureres Abraum-Management als Kohlebergbau – gleich, ob man den Abbau von Steinkohle oder Braunkohle zum Vergleich heranzieht. In der Vergangenheit wurde der Umgang mit Bergbauhinterlassenschaften der Allgemeinheit überlassen. Ein Beispiel hierfür sind die Altstandorte in den thüringischen Uranbergbaugebieten. Darüber hinaus sind die hoffigsten Uranlagerstätten mittlerweile ausgebeutet und das Auffahren neuer Bergwerke wird teurer, da das geförderte Erz immer weniger spaltfähiges Material enthält (vgl. Le Monde diplomatique et al., 2019; OECD und IAEA, 2020).

In situ leaching

Bei den Gewinnungsmethoden von Uran fokussiert sich der JRC-BERICHT auf das in situ leaching (ISL; z. B. JRC-BERICHT, Teil A 3.3.1.1, S. 65–66). Hierbei handelt es sich um eine Bergbautechnik, die weniger oberflächliche Umweltschäden hervorruft als der konventionelle Bergbau und die daher scheinbar umweltverträglicher ist. Der Bericht bleibt in Bezug auf ISL allerdings sehr oberflächlich. Die Umweltrisiken, insbesondere die Grundwasserkontamination, werden zwar benannt, aber nicht im Detail und anhand von Fallbeispielen beschrieben. Dies müsste aber der Fall sein, wenn man dem Umweltziel „nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen“ gem. Art. 9 Buchst. c Taxonomie-Verordnung tatsächlich gerecht werden wollte. Negative Fälle mit ernststen Umweltschäden wie Königstein (Sachsen), Stráz pod Ralskem (Tschechien; Andel und Pribán, 1996) oder Devladovo (Ukraine; Molchanov et al., 1995) werden gar nicht erwähnt.

Dambruch von Church Rock

Ein weiteres Beispiel für die unpräzise und uneindeutige Behandlung von Umweltrisiken setzt sich bei der Beschreibung des Dambruchs von Church Rock fort (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.1.2.2, S. 70, Zeile 1 ff.). Hier wird – das einzige Mal im gesamten JRC-BERICHT – eine Bergbau-Havarie benannt und auch kurz quantitativ beschrieben. Bei Church Rock, einem Ort in New Mexico, USA (auf dem Land der Navajo Nation) brach am 16. Juli 1979 der Damm eines Bergschlammbeckens (SRIC, 2007). Bei dieser Tailingbecken-Havarie wurden mehr als 1.000 t radioaktiven Bergschlammes und ca. 360.000 m³ radioaktiv kontaminierten Wassers in den Puerco River gespült. Es handelt sich beim Church-Rock-Desaster bis heute um den Nuklearunfall in den USA mit den größten radioaktiven Freisetzung. Das umliegende Land und seine Bewohner leiden bis heute unter den Folgen der Havarie (Knutson, 2021). Die bis heute wirkenden Folgen der Havarie und des intensiven Uranbergbaus rund um Church Rock, nämlich gravierende Umwelt- und Gesundheitsschäden, werden im Report of the Church Rock Uranium Monitoring Project 2003–2007, herausgegeben vom Southwest Research and Information Center (SRIC), beschrieben. Im JRC-BERICHT hingegen werden die langfristigen, negativen Konsequenzen des Church-Rock-Desasters nicht benannt.

Sanierung von Uranbergbaustandorten – Beispiel Wismut

Der JRC-BERICHT beschreibt, wie aufgegebenen Uranbergbaustandorte saniert wurden, Abraum- und Aufbereitungshalden abgetragen und Tagebaurestlöcher verfüllt wurden. Als Musterbeispiel wird die Sanierung der Standorte der SDAG Wismut in Sachsen und Thüringen nach dem Ende der DDR 1990 genannt (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.1.2.1, S. 67, Zeile 7 ff.). Die Geschichte der Wismut-Rekultivierung und -Sanierung gestaltet sich allerdings komplizierter. Die Wismut GmbH (als Rechtsnachfolgerin der SDAG Wismut) war nach der Wiedervereinigung verpflichtet, die Bergbauflächen zu sanieren, die sich am 30. Mai 1990 im Besitz der SDAG Wismut befanden. Altstandorte in Thüringen waren daher bis 2019 zum großen Teil nicht saniert (Le Monde diplomatique u.a., 2019). Die Verwahrungsbauwerke von sanierten Gebieten und ihr radioaktiver Inhalt erfordern noch für viele Jahre eine stetige Überwachung. Fließ- und Grundwässer in Ostthüringen sind Kontaminationsgefahren ausgesetzt. Der JRC-BERICHT scheint zu suggerieren, dass auch massive Altlasten wie diese, welche jahrzehntelange Sanierungsmaßnahmen nach sich ziehen, nicht dazu führen, dass Umweltziele nicht eingehalten werden.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich zur Beschreibung und Bewertung des Uranbergbaus und der Uranaufbereitung im JRC-BERICHT konstatieren: Der Bericht benennt zwar die Risiken, die mit dem Uranbergbau und der Uranerzaufbereitung verbunden sind, beschreibt aber nur in ungenügender Weise die riskante Realität der Gewinnung von Uranerz und seiner Aufbereitung.

4.2 Umwandlung in Uranhexafluorid

Front-End, Brennelemente-Herstellung

Im Kontext der Herstellung von Brennelementen und der Aufbereitung von Natururan wird stets auf Kontaminationen mit kurzlebigen Radionukliden verwiesen (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.2.2.2, S. 85 f. und 3.3.5, S. 105 ff.). Auf die Bedeutung der in der Uran-Actinium- bzw. Uran-Radium-Zerfallsreihe gebildeten Radionuklide mit langen Halbwertszeiten (Pa-231: Halbwertszeit ~ 32.000 a; Th-230: Halbwertszeit ~ 75.000 a und Ra-226: Halbwertszeit ~ 1.600 a) wird nicht eingegangen. Gerade das Tochternuklid Ra 226 ist durch den Zerfall in die Tochter Rn-222 maßgeblich für alle gasförmigen Radioaktivitätsemissionen aus sämtlichen Uranprozessanlagen verantwortlich.

Radioaktives Inventar

Es wird argumentiert, dass bereits große Mengen des VLLW bzw. LLW geordnet beseitigt worden seien, ohne den konkreten Entsorgungsweg näher zu spezifizieren. Implizit kann damit evtl. auf die Umwidmung des abgereicherten Uranhexafluorids aus der Anreicherung geschlossen werden, welches formal als Edukt zur Synthese von Flusssäure betrachtet wird (vgl. JRC-BERICHT, Teil A 3.3.3.3, S. 99), aber im engeren Kreislaufwirtschaftsinne keiner stofflichen Wiederverwertung entspricht, da die zu entsorgende, radioaktive Schwermetallstoffmenge unverändert bleibt. Somit wäre dies lediglich eine „Entsorgung“ kraft eigener Definition des JRC-BERICHTS. Leider lässt der Bericht LeserInnen hierüber im Unklaren.

Ferner wird argumentiert, dass große Mengen flüssiger radioaktiver Abfälle außerhalb der EU (Russland, USA) aus militärischen Programmen entstammen und im Rahmen der Studie nicht weiter betrachtet werden. Dabei bleibt unerwähnt, dass z. B. die Slowakische Republik in der Vergangenheit abgebrannte Brennelemente

aus Leistungsreaktoren zur Wiederaufbereitung in die UdSSR bzw. die Russische Föderation verbracht hat (SLOV, 2017). Solche Exporte schlagen natürlich mit geringeren vorgehaltenen Schwermetallmassen zu Buche (vgl. JRC-BERICHT, Teil B 2.3, Abbildung 2.3–2., S. 218), erzeugen aber radioaktive Abwässer außerhalb der EU. Der JRC-BERICHT hätte bei Kenntnis des Exportes von Abfällen nach außerhalb der EU ihren „Abfallbilanzraum“ auf die jeweiligen Empfängerländer ausweiten müssen.

4.3 Urananreicherung, Herstellung von Urandioxid-Brennelementen, Wiederaufbereitung, Herstellung von Mischoxid-Brennelementen

Im JRC-BERICHT, Teil A 3.3.3 bis 3.3.6 werden die Prozessschritte der Urananreicherung, der Herstellung von Urandioxid-Brennelementen, der Wiederaufbereitung von Brennelementen sowie der Herstellung von Mischoxid-Brennelementen hinsichtlich ihrer Einflüsse auf die DNSH-Kriterien der Taxonomie-Verordnung untersucht. Diese Prozesse werden in den so genannten Ver- und Entsorgungsanlagen vollzogen. Die Prüfung des vorgelegten Berichts hat ähnliche Anmerkungen zu den benannten Kapiteln ergeben. Folglich wird nachfolgend eine zusammenfassende Betrachtung der Prozessschritte vollzogen.

Allgemeine Prüfergebnisse

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die vier Kapitel eine reine Betrachtung der technischen Prozessschritte darstellen und sicherheitstechnische Aspekte nicht in gebührendem Umfang und gebührender Tiefe betrachtet werden. Hierbei werden die notwendigen technischen Prozesse zur Herstellung und Wiederaufbereitung von Brennelementen beschrieben und die jeweiligen Auswirkungen auf die DNSH-Kriterien untersucht. Eine Berücksichtigung von weiteren Prozessschritten, wie beispielsweise dem Transport (siehe auch Kapitel 5.4) zwischen den Anlagen, erfolgt nicht. Durch Zwischenfälle beim Transport sind trotz der Einhaltung der gültigen Anforderungen des Gefahrgutrechts Freisetzungen radioaktiver Stoffe nicht vollständig auszuschließen. Da schwere Unfälle jenseits der Auslegungsanforderungen in der vom JRC angewendeten Methodik nicht betrachtet werden, hat dies keinen Einfluss auf die Bewertung der DNSH-Kriterien durch das JRC. Die Bedeutung dieser grundsätzlichen Frage wurde oben erläutert (s. Kapitel 2.1 und 2.2.1 dieser Fachstellungnahme).

Ebenfalls erfolgt keine Untersuchung der notwendigen stilllegungsrelevanten Maßnahmen für die Anlagen. Stilllegung und Rückbau stellen nicht nur besondere Anforderungen an das Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation, sondern auch an die spätere Zwischenlagerung und Endlagerung der anfallenden radioaktiven Stoffe.

Die Auswirkungen von möglichen auslegungsüberschreitenden Störfällen wurden im Rahmen des JRC-BERICHTS nicht betrachtet (siehe hierzu auch Kapitel 2.1 und 2.2.1 dieser Fachstellungnahme). Da die Konsequenzen aus einem schweren Unfall in einer der benannten Anlagentypen weitreichende Folgen für Mensch und Umwelt haben können, sollte dieser Aspekt stärker in die Nachhaltigkeitsbetrachtung einbezogen werden.

Wiederaufbereitung von Brennstoffen

Die Wiederaufbereitung von Brennstoffen (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.5, S. 105 ff.) wird im vorliegenden Bericht als Möglichkeit dargestellt, einen sogenannten geschlossenen

Brennstoffkreislauf zu realisieren. In Teil A 3.3.5, S. 105 ff. und, 5.6, S. 196 und sowie in Teil B 6.3, S. 280 ff. des JRC-BERICHTS wird diskutiert, inwiefern die Nutzung eines geschlossenen Brennstoffkreislaufs dazu führen könnte, die Größe eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle kleiner zu gestalten.

Beim „twice through cycle“ (im JRC Bericht auch als „partially closed fuel cycle“ bezeichnet) werden Uranoxid-Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren einmalig wiederaufbereitet. Dabei wird das darin enthaltene Plutonium und (teilweise) Uran zur Fertigung von Mischoxid(MOX)-Brennelementen verwendet. Diese werden erneut Leichtwasserreaktoren zugeführt. Nach der einmaligen Nutzung im Leichtwasserreaktor ist eine weitere Wiederaufbereitung der MOX-Brennelemente im „twice through cycle“ aufgrund technischer Problemstellungen (eine ungünstige Verschiebung des Plutonium-Nuklidvektors) nicht vorgesehen. Bei einem „vollständig geschlossenen Brennstoffkreislauf“ (im JRC-BERICHT „fully closed cycle“ genannt) könnten Brennelemente, die selbst aus der Wiederaufbereitung stammen, ebenfalls wiederaufbereitet werden (mehrfache Wiederaufbereitung). Ein „vollständig geschlossener Brennstoffkreislauf“ erfordert den Einsatz schneller Reaktoren.

Der JRC-BERICHT selbst geht nicht näher auf die Art der Implementierung des „vollständig geschlossenen Brennstoffkreislaufs“ ein. Es ist zu erwähnen, dass der Brennstoffkreislauf dahingehend nicht vollständig geschlossen ist, da auch hierbei Abfälle anfallen, die aus dem Kreislauf entfernt und einem Endlager zugeführt werden müssen. Ebenfalls muss dem Kreislauf auch neuer Brennstoff hinzugefügt werden (jedoch weniger als in einem offenen oder „teilweise geschlossenen“ Brennstoffkreislauf).

Im Bericht werden die einfache Wiederaufbereitung („twice through cycle“) und der Verzicht auf eine Wiederaufbereitung („open fuel cycle“) miteinander verglichen. Hierbei gibt der Bericht an, dass sich das Endlagervolumen um den Faktor 3,4 reduzieren ließe (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.5, S. 113). Diese Reduktion lässt sich in der zugrundeliegenden Quelle nur dadurch erreichen, dass größere Teile des Abfalls unberücksichtigt bleiben (der JRC-BERICHT stellt dies in einer Fußnote dar).

An einer anderen Stelle (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.5, S. 107) führt der Bericht aus, dass sich bei einem voll geschlossenen Brennstoffkreislauf die Endlagergröße um 40% reduzieren würde. Gemäß zuvor dargestellter Erläuterung sind jedoch bei einem vollständig geschlossenen Brennstoffkreislauf größere Reduktionen zu erwarten als bei der einmaligen Wiederaufbereitung. Insofern scheinen diese Aussagen im Widerspruch zu stehen. Inwiefern die Größe eines möglichen Endlagers überhaupt für die Bewertung im Sinne der EU-Taxonomie von Relevanz ist, wäre weiterführend zu prüfen.

4.4 Kernkraftwerksbetrieb

Im JRC-BERICHT wird an vielen Stellen lediglich der normale Betrieb betrachtet, Unfallszenarien werden hingegen nur im relativ kurzen Teil A 3.5 behandelt (siehe bereits Kapitel 2.1 und 2.2.1 und dieser Fachstellungnahme). Deren Betrachtung beschränkt sich auf die Letalität und vergleicht diese mit anderen Energieträgern, berücksichtigt dabei aber nicht die weiteren im Hinblick auf die Taxonomie relevanten Aspekte der Unfallrisiken. Aber insbesondere Unfälle beim Betrieb von Kernkraftwerken können zu unkontrollierten Freisetzungen radioaktiver Stoffe und somit zu erheblichen Umweltauswirkungen führen. Eine ganzheitliche Bewertung der Kernenergienutzung muss daher auch eine Risikobewertung hinsichtlich aller im Rahmen der EU-Taxonomie relevanten Umweltziele beinhalten und diese in

Bezug zu den von anderen Energieträgern ausgehenden Risiken im Bereich auslegungsüberschreitender Ereignisse setzen.

Nach dem Unfall von Fukushima wurden geltende Regelwerke überarbeitet – insbesondere die EU-Richtlinie 2009/71/EURATOM wurde hinsichtlich der anzustrebenden Sicherheitsziele und der an neu zu errichtende Kernkraftwerke anzulegenden Anforderungen durch die Änderungen mittels der Richtlinie 2014/87/EURATOM verschärft. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Unfälle mit Freisetzungen in Kernkraftwerken kategorisch ausgeschlossen sind. Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, bei Auslegung, Errichtung und Betrieb von Kernkraftwerken sich zum Ziel zu setzen, Unfälle zu vermeiden und im Fall eines Unfalls dessen Auswirkungen abzumildern. Die prinzipiell existierende Möglichkeit von Unfällen besteht aber weiterhin.

Der JRC-BERICHT zitiert weiter die WENRA Safety Objectives for New Nuclear Power Plants (siehe JRC-BERICHT, Teil A 3.3.7, S. 128 f.). Dies sind an die Auslegung neu zu errichtender Kernkraftwerke anzulegende Sicherheitsziele der WENRA für die Sicherheit neuer Reaktoren. Die veröffentlichten Positionen der WENRA stellen kein verbindliches Regelwerk, sondern eine freiwillige Selbstverpflichtung dar. Im o. g. heißt es als Forderung, dass für neu zu errichtende Kernkraftwerke Unfälle mit Kernschmelze, die zu frühen oder großen Freisetzungen führen, praktisch ausgeschlossen sein sollen. Hierzu sind zwei Dinge festzuhalten:

Auch wenn verschiedene Regelwerke vom „Ausschluss“ oder „praktischem Ausschluss“ bestimmter Ereignisse oder Unfallszenarien sprechen (vgl. EU-Richtlinie, Artikel 8a; WENRA, 2010), bedeutet dieser Terminus technicus nicht, dass diese Ereignisse kategorisch ausgeschlossen sind. Im probabilistischen Sinne bedeutet ein solcher „Ausschluss“, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses aufgrund der getroffenen Maßnahmen hinreichend klein ist. Die Verwendung dieser Regelwerksterminologie im JRC-BERICHT suggeriert allerdings, dass der „Ausschluss“ in einem kategorischen Sinne verstanden wird.

Die hier „ausgeschlossenen“ Szenarien zielen auch nicht darauf ab, Unfälle mit Freisetzungen zu vermeiden, sondern einzig darauf, Freisetzungen zu vermeiden, die bestimmten definierten Randbedingungen unterliegen (Ermöglichung von Zeit für die Umsetzung von anlagenexternen Notfallschutzmaßnahmen bzw. notwendige Schutzmaßnahmen für die Öffentlichkeit, die weder örtlich noch zeitlich begrenzt werden könnten).

Zum anderen ist der Wortlaut nicht in die EU-Richtlinie 2014/87/EURATOM übernommen. Die dort formulierten Sicherheitsziele gelten zudem für bereits existierende Kernkraftwerke nur als Bezugsgröße für die zeitgerechte Umsetzung von vernünftigerweise durchführbaren Sicherheitsverbesserungen in den Anlagen (EU-Richtlinie 2014/87/EURATOM).

Der JRC-BERICHT betrachtet in Teil A 3.5 sowohl Gen-II- als auch Gen-III-Reaktoren hinsichtlich ihrer Unfallrisiken. Dabei wird ein Schwerpunkt auf Kernkraftwerke der Generation III gelegt. Diese sind allerdings derzeit in Europa noch nicht in Betrieb, einzelne Reaktoren befinden sich in der Bauphase. Betrieben werden in Europa fast ausschließlich Reaktoren, die bereits älter als 30 Jahre sind.

Auch wenn europaweit immer wieder Nachrüstungen mit dem Ziel einer Erhöhung des Sicherheitsniveaus durchgeführt wurden – in großem Umfang zuletzt nach dem Unfall von Fukushima, unterscheiden sich die Auslegungsphilosophien der Kernkraftwerksgenerationen insbesondere auch hinsichtlich der Einstufung von Unfällen mit Kernschmelzen. Je nach Anlagendesign sind auch den Möglichkeiten für „vernünftigerweise durchführbare Sicherheitsverbesserungen“ (EU-Richtlinie 2014/87/EURATOM) Grenzen gesetzt.

4.5 Rückbau der Kernkraftwerke

Generell ist zu bemerken, dass dem Thema Stilllegung und Rückbau im JRC-BERICHT vergleichsweise wenig Platz eingeräumt wird. Dabei handelt es sich hier um einen sehr komplexen, herausfordernden und lange andauernden Prozess; dies gilt sowohl für den Rückbau von Kernkraftwerken als auch für Anlagen der Kernbrennstoffversorgung. Hier wäre eine ausführlichere und differenziertere Betrachtung angezeigt.

Bisher wurden weltweit einige Kernkraftwerke vollständig abgebaut und aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen (der Bericht spricht von „green field“, JRC-BERICHT, Teil A 3.3.7.1.4, S. 129). Es wird im Bericht korrekterweise angegeben, dass sich bei der Wahl der Rückbaustrategie weltweit eine Favorisierung der Strategie des sofortigen Rückbaus nach der Abschaltung (immediate dismantling) zeigt (IAEA, 2014a). Die zweite mögliche Strategie, Rückbau nach (zeitlich begrenztem) sicheren Einschluss (deferred dismantling), tritt wegen verschiedener Unabwägbarkeiten in den Hintergrund (IAEA, 2018). Dagegen wird der im Bericht als dritte Strategie angegebene dauerhafte Einschluss (entombment) von der IAEA nicht als Rückbaustrategie betrachtet und ist nur im Falle außergewöhnlicher Umstände (z. B. schwerer Unfälle) akzeptierbar (IAEA, 2014a). De facto handelt es sich bei entombment um eine dauerhafte Vor-Ort-Endlagerung von radioaktivem Abfall.

Der Lebenszyklus von Kernkraftwerken kann in mehrere Phasen unterteilt werden: Design- und Errichtungsphase, Betrieb, Stilllegung und Rückbau. Dies wird auch im JRC-BERICHT generell so gehandhabt, allerdings treten dabei auch Unstimmigkeiten auf, bei denen die Stilllegung der Betriebsphase zugeordnet wird. Die Zuordnung der Stilllegung zu einer übergeordneten Phase der Energieerzeugung (power generation phase) ist sachlich nicht nachvollziehbar, da ein Kernkraftwerk in Stilllegung Energie verbraucht. Die fehlerhafte Zuordnung führt zu Unklarheiten bei der Interpretation der nachfolgenden Ergebnisse:

Ein wesentlicher Punkt beim Rückbau eines Kernkraftwerks ist die Abfallbilanz, besonders mit Blick auf die Menge des radioaktiven Abfalls. Hierzu übernimmt der JRC-BERICHT in Teil B 2.1, S. 210 eine Tabelle (Tabelle 2.1–1) mit typischen jährlichen Abfallproduktionsraten, die aus dem IAEA-Dokument TECDOC 1817 (IAEA, 2017) entstammt. Die Zahlenangabe für „Power plant“ unter der Überschrift „Decommissioning of nuclear fuel cycle facilities“ ist im JRC-BERICHT mit einer Fußnote versehen, die in der IAEA-Quelle nicht vorhanden ist. Die Fußnote im JRC-BERICHT besagt, dass es sich um die Einheit m^3 per plant (1 GW) handle, in der IAEA-Quelle hingegen gilt die Angabe $\text{m}^3/\text{GW}\cdot\text{year}$, also eine jährliche Abfallproduktionsrate. Während im JRC-BERICHT also in Teil B 2.1 ein Abfallaufkommen aus der Stilllegung eines Kernkraftwerks von „375 m^3 per plant (1 GW)“ angegeben wird, bezieht sich die zugehörige IAEA-Quelle auf eine jährliche Abfallproduktionsrate. Das Abfallaufkommen aus der Stilllegung eines Kernkraftwerks wäre also je nach Abbaudauer deutlich höher anzusetzen als im JRC-BERICHT in Teil B 2.1 angegeben.

Eine weitere Ungenauigkeit ergibt sich bei der späteren Darstellung über die Endlagerung der radioaktiven Abfälle mit geringer Radioaktivität. Entgegen der im Bericht erwähnten Praxis in anderen Ländern betreibt z. B. Deutschland kein oberflächennahes Endlager. Auch schwach- und mittelradioaktiver Abfall, der nicht der Freigabe unterliegt, soll in Deutschland dauerhaft in ein tiefes geologisches Endlager verbracht werden (dazu auch Kapitel 5.2 dieser Fachstellungsname).

Aufgrund der Bedeutung des Rückbauprozesses im Lebenszyklus von Kernkraftanlagen und aufgrund des absehbar zunehmenden Informationsbedarfs über

seine Herausforderungen und Risiken sollte der Phase der Stilllegung und des Rückbaus auch im Rahmen der Überprüfung der DNSH-Kriterien ein höherer Stellenwert beigemessen werden.

4.6 Ionisierende Strahlung und ihre Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt während aller Lebenszyklusphasen (bis auf Entsorgung und Transporte)

Der JRC-BERICHT beschränkt sich in Teil A 3.4 („Impact of ionizing radiation on human health and the environment“) im Wesentlichen auf die Folgen ionisierender Strahlung auf Mensch (JRC-BERICHT, Teil A 3.4.1, S. 167 ff.) und Umwelt (JRC-BERICHT, Teil A 3.4.2, S. 173 ff.). Die Folgen der Emissionen nicht-radioaktiver Stoffe werden nur an einer Stelle (JRC-BERICHT, Teil A 3.4.3, dort Veröffentlichung [3.4-1]) betrachtet.

Die Größen, mit denen in Teil A 3.4 des JRC-BERICHTS die Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen quantifiziert wird, reichen von „Disability Adjusted Life Years“ (DALY) über Gesamtemissionen in Becquerel (Bq) bis hin zur effektiven Dosis in Millisievert (mSv) oder Mikrosievert (μ Sv). Aus wissenschaftlicher Sicht kann die Wirkung von Radionukliden auf den Menschen bei geringen Strahlenexpositionen nur durch die effektive Dosis oder bei Radon-222 (Rn-222) und seinen Folgeprodukten durch die Aktivitätskonzentration von Rn-222 in der Atemluft (oder durch daraus abgeleitete Größen) quantifiziert werden. Die pauschale Angabe, welche Aktivität insgesamt in die Umwelt freigesetzt wird, ist kein geeignetes Maß für die Wirkung auf den Menschen, da die Dynamik in der Umwelt sowie die Dosiskoeffizienten bei innerer Exposition und die Dosisleistungskoeffizienten bei äußerer Exposition vom jeweiligen Radionuklid abhängen.

Im Hinblick auf die Strahlenexposition des Menschen sind die in Teil A 3.4.1 des JRC-BERICHTS angegebenen Zahlenwerte plausibel. Es ist korrekt, dass die Strahlenexposition des Menschen infolge der zivilisatorischen Nutzung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung im Vergleich zur Strahlenexposition aus natürlichen Quellen und deren Schwankungsbreite gering ist. Es entspricht jedoch nicht dem aktuellen Stand im Strahlenschutz, bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen mittlere effektive Dosen pro Kopf der Bevölkerung anzugeben. Gemäß den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) ist die sogenannte „repräsentative Person“ im Sinne der ICRP zu betrachten eine Einzelperson der Bevölkerung, die aufgrund ihrer Lebensgewohnheiten einer erhöhten Strahlenexposition ausgesetzt ist.

5 Kriterium 2 der Taxonomie- Verordnung – DNSH- Kriterien: Entsorgung, Transporte, Forschung und Entwicklung

In diesem Kapitel wird der Themenkomplex Entsorgung von radioaktiven Abfällen betrachtet. Die fachlich-wissenschaftlichen Aussagen im JRC-BERICHT werden hierbei für die Themenfelder Zwischenlagerung (Kapitel 5.1 dieser Fachstellungnahme), Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle (Kapitel 5.2), Endlagerung hochradioaktiver Abfälle (Kapitel 5.3), Transport (Kapitel 5.4) und Forschung und Entwicklung (Kapitel 5.5) fachlich gewürdigt. Zur Binnengliederung der jeweiligen Unterkapitel wurden Zwischenüberschriften eingefügt.

Herausgearbeitet wird u. a. die Problematik, dass als Grundlage für die Bewertung der DNSH-Kriterien vielfach nur der Normalbetrieb bei Anlagen und Tätigkeiten im nuklearen Entsorgungsbereich diskutiert wird. Die nach einschlägigen Gesetzen und Regelwerken zu berücksichtigenden Störfälle und auslegungsüberschreitenden Ereignisse und deren möglicher Einfluss auf die DNSH-Kriterien werden jedoch nicht in die Bewertung des JRC-BERICHTS mit einbezogen.

Auch nimmt der JRC-BERICHT die Endlagerung von LLW in oberflächennahen Endlagern als die Standardoption an, berücksichtigt aber nicht, dass eine Reihe von Ländern für LLW oder auch alle Arten radioaktiver Abfälle ausschließlich eine geologische Endlagerung vorgesehen haben. Ob eine mögliche Freisetzung von Radionukliden am Ende des Betrachtungszeitraumes von Endlagern unterhalb einer (nationalen) gesetzlichen Geringfügigkeitsschwelle auch mit den DNSH-Kriterien konform ist, wird im JRC-BERICHT nicht erörtert.

Auch geht der JRC-BERICHT nicht ausreichend auf den Umstand ein, dass eine erfolgreiche tiefengeologische Endlagerung hochradioaktiver Abfälle inklusive des dauerhaften Verschlusses bisher weltweit noch nicht gelungen ist.

5.1 Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle

Grundsätzlich fehlt im JRC-BERICHT eine Ableitung der Erkenntnisse, die in der Executive Summary des JRC-BERICHTS in Bezug auf die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle aufgeführt sind. Hierdurch ist die Nachvollziehbarkeit der getätigten Schlussfolgerungen fraglich.

Die Darstellung des JRC-BERICHTS in Bezug auf die Zwischenlagerung

hochradioaktiver Abfälle beschränkt sich auf eine kurze Darstellung der üblichsten Zwischenlagerungsformen. Allerdings wird in Teil A 3.3.8.3, S. 156 ff. des JRC-BERICHTS de facto nur die Zwischenlagerung hochradioaktiver Stoffe angesprochen und zudem der Eindruck erweckt, dass zur Bewertung der Zwischenlagerung lediglich der Normalbetrieb ausschlaggebend sei.

Erst unter Berücksichtigung der durch das JRC entwickelten technischen Bewertungskriterien, dargestellt im JRC-BERICHT, Teil A, Annex 4, Ziffer 4, S. 366 ff. wird (implizit) deutlich, dass auch die nach den einschlägigen Gesetzen und Regelwerken zu berücksichtigenden Störfälle und auslegungsüberschreitende Ereignisse in die Bewertung der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle einzubeziehen sind.

Damit wird die Bewertung der Zwischenlagerung konsistent zu dem durch das JRC angesetzten Maßstab vorgenommen, was jedoch insgesamt aus fachlicher Sicht nicht ausreichend ist. Im Sinne des Restrisikos kann nicht ausgeschlossen werden, dass es durch Stör- und Unfälle bzw. durch sonstige Einwirkung Dritter (z. B. terroristische Angriffe) beim Betrieb von Zwischenlagern zu unkontrollierten Freisetzungen radioaktiver Stoffe und somit zu erheblichen Umweltauswirkungen kommen kann. Eine ganzheitliche Bewertung der Kernenergienutzung muss daher auch eine Risikobewertung hinsichtlich dieser Ereignisse umfassen (dazu Kapitel 2.1 und 2.2.1 dieser Fachstellungnahme).

Hinsichtlich der Lagervarianten für hochradioaktive Abfälle geht der JRC-BERICHT kurz auf die trockene und nasse Zwischenlagerung ein. Während in Deutschland zum Zwecke der Aufbewahrung bis zur Endlagerung ausschließlich die trockene Zwischenlagerung verwendet wird, wird ein großer Teil des weltweit vorliegenden abgebrannten Brennstoffs in Nasslagern aufbewahrt (IAEA, 1999). Es fehlt jedoch eine fachlich detaillierte Auseinandersetzung mit den spezifischen Sicherheitseigenschaften dieser Technologien. So sind Nasslager auf aktive Systeme zur Kühlung angewiesen. Im Falle von Einwirkungen von außen auf die Gebäudestrukturen fehlt bei den externen Nasslagern im Vergleich zur trockenen Zwischenlagerung die Sicherheitsebene der Behälterbarriere. Dies gilt nicht zuletzt für die durch den JRC-BERICHT genannte nasse Lagerung von abgebrannten MOX-Brennelementen, die auf weiterentwickelte Reaktorsysteme, eine Implementierung des sogenannten geschlossenen Brennstoffkreislaufs und Transmutation, warten würden. Da die erfolgreiche Einführung dieser Technologien jedoch ungewiss ist (vgl. Kapitel 3.1.1 und 5.5.), muss auch die dauerhafte Zwischenlagerung dieser hochradioaktiven Stoffe hinterfragt werden.

Die detaillierteren Darstellungen in Teil B 4.1, S. 181 f. und 4.2, S. 182 ff. des JRC-BERICHTS geben einen guten Überblick über die verschiedenen Zwischenlagerungstypen von schwach-, mittel- und hochradioaktiven Abfällen und den spezifischen Anforderungen, ohne jedoch ins Detail zu gehen. Umfangreichere Darstellungen – insbesondere zu den zu berücksichtigenden Ereignissen und den aus diesen resultierenden Auswirkungen – wären an dieser Stelle wünschenswert gewesen. Die implizite Schlussfolgerung des JRC, dass die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle im Vergleich zu anderen Aktivitäten der Nutzung der Kerntechnik nicht die bestimmende Aktivität im Hinblick auf die DNSH-Kriterien ist, bleibt insoweit unklar abgeleitet (siehe JRC-BERICHT, Teil A 4.2).

Die längerfristige bzw. verlängerte Zwischenlagerung thematisiert der JRC-BERICHT, ohne jedoch zu erörtern, ob die DNSH-Kriterien nach dem im JRC-BERICHT zugrunde gelegten Maßstab erfüllt sind (dazu Kapitel 2.1). Auch wenn es derzeit – insbesondere in Bezug auf die trockene Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle in Transport- und Lagerbehältern – keine Hinweise darauf gibt, dass eine verlängerte Zwischenlagerung sicherheitstechnisch nicht möglich ist, so ist die Berücksichtigung dieser Fragestellung von erheblichem Einfluss für den Entsorgungspfad, da die Zwischenlagerung die Überbrückung des Zeitraumes bis zur Endlagerung sicherstellen muss.

Aus der genehmigungsrechtlichen wie faktischen Tatsache, dass Zwischenlager nur für einen begrenzten Zeitraum in der zunächst genehmigten Form bestehen können, ergeben sich Implikationen für weitere Maßnahmen, die ggf. analog zu denen sind, die bei einer Konditionierung für eine Endlagerung nötig werden. In welchen Zeiträumen dies relevant wird, ist eine wichtige Frage der Forschung und Entwicklung. Auch dieses bleibt eine fachliche Leerstelle im JRC-BERICHT.

5.2 Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle

Hinsichtlich der Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle sind nicht nachvollziehbare oder unvollständige fachliche Aussagen des JRC aufgefallen. Gleiches gilt für die vom JRC entwickelten technischen Bewertungskriterien. Zur Untergliederung des Kapitels werden daher gelb unterlegte Überschriften für die Prüfung der fachwissenschaftlichen Ausführungen des JRC einerseits und der Folgerungen für die TSC andererseits verwendet. Unterstrichene Überschriften gliedern den Text innerhalb dieser Teile jeweils nach Unterthemen.

Fachliche Würdigung

Hinsichtlich der Endlagerung der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle werden eine Reihe von Aussagen im JRC-BERICHT ausgeführt, die fachlich nicht oder nur schwer nachzuvollziehen sind. Auf diese Aussagen wird im Folgenden Bezug genommen:

Fokus auf Endlagerung von schwachradioaktiven Abfällen in oberflächennahen Endlagern

An verschiedenen Stellen im JRC-BERICHT wird dargestellt (z. B. Teil B 5, S. 242), dass die Verbringung von schwachradioaktiven Abfällen (LLW – low-level waste) in oberflächennahen Endlagern erfolgt.

Diese Darstellung erweckt den Eindruck, dass die Endlagerung von LLW in Einrichtungen an der Oberfläche oder nahe der Oberfläche der übliche Entsorgungsweg ist. Es gibt durchaus eine Reihe von Ländern, die für LLW oder auch alle Arten radioaktiver Abfälle ausschließlich eine geologische Endlagerung vorgesehen haben (z. B. Schweiz, Finnland, Schweden und Deutschland) (KOM, 2015).

Zeitspanne und Materialverhalten

In Bezug auf den Isolationszeitraum wird dargelegt (JRC-BERICHT, Teil B 5.1, S. 244), dass die typische Zeitspanne für die Isolation von LLW in oberflächennahen Endlagern 300 Jahre beträgt. Weiterhin wird ausgeführt, dass bei dieser Zeitspanne das Materialverhalten der technischen Barrieren bekannt ist und prognostiziert werden kann und demzufolge die Barrieren als ausreichend verlässlich zu betrachten sind. Der JRC-BERICHT stellt nachvollziehbar dar, dass die oberflächennahen Endlager eine Reihe von unterschiedlichen Einlagerungskonzepten und unterschiedliche technische Einrichtungen und Komponenten umfassen. Die an die einzusetzenden Materialien zu stellenden Anforderungen sind unter Berücksichtigung z. B. der spezifischen Standortbedingungen, des einzulagernden Abfallspektrums, der klimatischen Bedingungen und weiterer allgemeiner Rahmenbedingungen anzupassen.

Die Aussage zum Isolationszeitraum von 300 Jahren wird allerdings nicht weiter ausgeführt und/oder mit Referenzen belegt. Insgesamt sind die Angaben zu den genannten Aspekten als eine Verallgemeinerung anzusehen. Denn der erforderliche Isolationszeitraum hängt vom jeweiligen Einlagerungskonzept, technischen Einrichtungen und den verwendeten Komponenten ab.

Zur Notwendigkeit von geologischen Endlagern für LLW und institutionelle Kontrolle

Die Aussage (JRC-BERICHT, Teil B 5.1, S. 244), dass keine Notwendigkeit besteht, LLW in geologische Endlager zu verbringen, ist nicht nachvollziehbar. Oberflächennahe Endlager werden im Vergleich zu geologischen Endlagern als anfälliger eingeschätzt gegenüber menschlichem Eindringen (IAEA, 2012). Aspekte wie Robustheit, Zugänglichkeit, Sicherung, Wissensverlust etc. sind auch hier bei der Sicherheitsbeurteilung zu berücksichtigen. Auch die für oberflächennahe Endlager üblicherweise vorgesehene institutionelle Kontrolle für einen Zeitraum von 300 Jahren kann nicht generell garantiert werden. Grund hierfür ist, dass für eine Prognose des menschlichen Verhaltens und des sozialen Handelns die wissenschaftliche Basis fehlt (NAS, 1995; AKS, 2008; Seitz et al., 2016).

Zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle hat die Kommission „Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe“ geschlussfolgert, dass aufgrund der unsicheren Prognose hinsichtlich gesellschaftlicher und politischer Entwicklungen, der Gefahr von Unfällen (zum Beispiel durch mangelnde Wartung) und Angriffen durch Krieg oder Terrorismus, der Proliferationsgefahr, des großen organisatorischen und finanziellen Aufwandes für zukünftige Generationen und klimatischer Unwägbarkeiten die langfristige Zwischenlagerung an oder nahe der Oberfläche keine annehmbare Option für den nachweisbar sicheren, langzeitigen Umgang mit radioaktiven Abfällen darstellt (KOM, 2016). Diese Schlussfolgerung zur langfristigen Zwischenlagerung von hochradioaktiven Abfällen an oder nahe der Oberfläche kann bzgl. der Vorhersagbarkeit der Entwicklung einer Anlage im Prinzip auch auf oberflächennahe Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle übertragen werden.

Handlungsbedarf bei Komplikationen

Im Rahmen der Ausführungen zu den Inhalten periodischer Sicherheitsüberprüfungen, ihrer Zuverlässigkeit und ihrem Beitrag zur Sicherheit oberflächennaher Anlagen erwähnt der JRC-BERICHT die in der Bundesrepublik Deutschland gelegene Schachanlage Asse II (JRC-BERICHT, Teil B 5.1, S. 249). Die Schachanlage wurde auf Grundlage des deutschen Bergrechts betrieben und sollte ursprünglich auch auf dessen Basis stillgelegt werden. Eine Langzeitsicherheitsanalyse oder ein Safety Case im atomrechtlichen Sinne wurde für die Asse II nicht durchgeführt. Der JRC-BERICHT führt das zwischen 1967 und 1978 für die Verbringung von schwach- und mittelradioaktiven Abfälle genutzte Salzbergwerk als Beispiel dafür an, dass eine erneute Sicherheitseinschätzung auf Grundlage des seit 2009 anzuwendenden Atomrechts zu der Entscheidung geführt hat, die eingelagerten Abfälle zurückzuholen, neu zu konditionieren und in einer anderen Anlage zu beseitigen.

Die Schachanlage Asse II kann in der Tat als Beispiel für die zweifelhafte Robustheit sicherheitstechnischer Mechanismen und Prozesse – hier allerdings für ein tiefengeologisches Endlager – gesehen werden. In diesem Zusammenhang erscheint es wichtig, darauf hinzuweisen, dass es keinen engen zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Erkennen der Sicherheitsprobleme und der Entscheidung zur Rückholung gab. Es lässt sich vielmehr feststellen, dass die Schwächen des alten Gewinnungsbergwerks bereits in den 1960er Jahren erkannt und Ende der 1970er/Anfang der 1980er Jahre einem breiteren Kreis staatlicher und nichtstaatlicher Akteure deutlich wurden (Möller, 2016). Insbesondere hydrogeologische Wirkungszusammenhänge und Fragen, die die längerfristige Standsicherheit betrafen, wurden anfänglich nur abschätzungsweise und mit eher geringer Intensität begleitend bearbeitet (Möller, 2016). Das Beispiel Asse II kann insofern auch für einen heute nicht mehr zulässigen Umgang mit Unsicherheiten und Ungewissheiten stehen (vgl. dazu auch Kapitel 2.2.2 dieser Fachstellungnahme). Die tiefergehende Analyse der Entscheidungsprozesse, die zur Nutzung der Schachanlage Asse II als Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle führten, zeigt, dass anfänglich mehrere, nicht unbedingt

sicherheitsgerichtete Gründe für die Einbeziehung des Bergwerks in die nukleare Entsorgung sprachen. Es waren vielmehr der niedrige Preis, die sofortige Verfügbarkeit, die Möglichkeit zur Erfüllung bestehender Einlagerungswünsche, die Durchführbarkeit verschiedener Versuche und die Möglichkeit, Zeit für die weiteren Planungen zu gewinnen. Es zeigt sich darüber hinaus, dass schließlich in dem Bestreben, der Kernenergie zum wirtschaftlichen Durchbruch zu verhelfen, Wirtschaftlichkeitsaspekte höher als Sicherheitsaspekte gewichtet wurden (Möller, 2009). In späteren Jahren trugen entsorgungs- und haushaltspolitische Erwägungen sowie die Konflikträchtigkeit des Handlungsfeldes dazu bei, dass staatliche Akteure mit den sicherheitstechnischen Defiziten der Schachanlage eher zurückhaltend umgingen. In dieser Perspektive ist Asse II möglicherweise kein deutscher Spezialfall, sondern ggf. auf andere Anlagen übertragbar, die in Zeiten vornehmlich wirtschaftlicher Nutzung angelegt und genehmigt wurden.

Letztlich unterstreicht das Beispiel Asse II die Wichtigkeit einer regelmäßigen, kritischen Sicherheitsüberprüfung nuklearer Entsorgungsanlagen und die Notwendigkeit, der Sicherheit Vorrang vor wirtschaftlichen Erwägungen einzuräumen. Das Beispiel zeigt darüber hinaus die enormen finanziellen und gesellschaftlichen Folgekosten von Fehlentscheidungen in der nuklearen Entsorgung auf. Die Tatsache, dass Anforderungen in Hinblick auf Rückholbarkeit und Bergbarkeit radioaktiver Abfälle inzwischen dem Stand von Wissenschaft und Technik in der nuklearen Endlagerung entsprechen, macht deutlich, dass solche Fehlentwicklungen oder -entscheidungen als Risikobestandteil der Kernenergie-nutzung angesehen werden müssen.

Maßnahmen gegen menschliches Eindringen (HI)

Den Ausführungen des JRC-BERICHTS zu den Maßnahmen gegen menschliches Eindringen in ein verschlossenes Endlager (HI) (JRC-BERICHT, Teil B 5.1, S. 246) wird im Wesentlichen gefolgt. Allerdings wird das Thema insgesamt nicht hinreichend im Hinblick auf die DNSH-Kriterien gewürdigt. Auf Kapitel 2.2.5 wird verwiesen.

Technische Bewertungskriterien

Lücke für VLLW und langlebige LLW und ILW

Im JRC-BERICHT (Teil A 5.7, S. 197) wird ausgeführt, dass die Endlagerung von LLW und kurzlebigen intermediate-level waste (ILW) im Vergleich zu high-level waste (HLW) weniger anspruchsvoll sei und daher die entwickelten TSC für die Zwischenlagerung und Endlagerung von HLW und bestrahlten Brennelementen die Endlagerung von LLW und kurzlebigen ILW abdecken.

Der kurzlebige LLW und ILW enthält nur geringe Mengen an langlebigen Radionukliden. Um als kurzlebig zu gelten, muss der Abfall die folgenden drei Kriterien erfüllen (IAEA, 2009; GRS, 2004):

- Halbwertszeit des Abfalls ist geringer als 30 Jahre,
- spezifische Aktivität der α -Strahler des Abfalls im gesamten Endlager ist geringer als 400 Bq/g und
- spezifische Aktivität der α -Strahler in Einzelbinden ist geringer als 4.000 Bq/g.

Zu den langlebigen LLW und ILW gehören Abfälle, die die o. g. Kriterien überschreiten und keine signifikante Wärmeproduktion haben. Diese Abfälle sind im JRC-BERICHT nicht explizit behandelt worden. Dabei handelt es sich um Abfälle, welche nicht aus der Energieerzeugung (also Industrie, Forschung, Medizin) stammen. Ein großer Anteil nuklearmedizinisch relevanter Isotope weist teils sehr lange Halbwertszeiten auf (z. B. Tc-99, Se-79). Durch das Ausblenden der Fragestellung für längerfristig aktiven Abfall aus dem LLW- oder ILW-Bereich wird hier ein wesentlicher Teil des potenziellen negativen Einflusses auf die Umgebung nicht behandelt.

Dies führt wiederum zu einem systematischen Unterschätzen der negativen Einflüsse der Kernenergienutzung auf die DNSH-Kriterien im direkten Vergleich mit anderen Energieerzeugungsformen.

Es drängt sich die Frage auf, welche TSC für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, die nicht unter die o. g. Abfallklassen fallen, gelten bzw. heranzuziehen sind. Dies sind beispielsweise very low-level waste (VLLW) und langlebiger LLW und ILW. Im JRC-BERICHT besteht für diese Abfallklassen hinsichtlich der TSC eine Lücke.

Unterschiede zwischen geologischen und oberflächennahen Endlagern

Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Ausführung und Konzeption bei geologischen Endlagern im Sinne der Robustheit von einer anderen Qualität sein wird als die bei oberflächennahen Endlagern, die gemäß dem JRC-BERICHT für LLW üblich sind (siehe JRC-BERICHT, Teil B 5.1, S. 244). So werden Einrichtungen für LLW, die oberflächennah angelegt sind, als anfälliger eingeschätzt gegenüber extremen externen Ereignissen und Prozessen (LLW, 2011), z. B. Naturphänomenen, Unfällen und anthropogenen Einwirkungen inklusive des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens (HI) (IAEA, 2012).

Ein weiterer Unterschied bezieht sich auf den allgemein geringeren Abstand oberflächennaher Endlager zu grundwasserleitenden Schichten gegenüber geologischen Endlagern. Dies kann bei oberflächennahen Endlagern im Falle einer Leckage im Vergleich zu einem geologischen Endlager ungünstigere Auswirkungen auf die Umwelt haben.

Weitere Unterschiede bestehen in Bezug auf das Ereignis HI, dass sowohl für oberflächennahe als auch geologische Endlager nicht ausgeschlossen werden kann. Allerdings sind die technischen Möglichkeiten von HI bei oberflächennahen Endlagern gegenüber geologischen Endlagern als technisch einfacher einzuschätzen, unter der Berücksichtigung, dass die vorgesehene institutionelle Kontrolle nicht über den gesamten vorgesehenen Isolationszeitraum gewährleistet werden kann (s. o.). Im Prinzip stellen daher die Möglichkeiten für ein Vordringen in Teufen, in denen geologische Endlager errichtet werden, eine Teilmenge der Möglichkeiten dar, die die Erfüllung der DNSH-Kriterien bei einer oberflächennahe Endlagereinrichtung beeinträchtigen können.

Eine separate Berücksichtigung von jeweils spezifischen TSC für die oberflächennahe Endlagerung und die geologische Endlagerung von radioaktiven Abfällen erscheint demnach fachlich geboten, wurde durch den JRC-BERICHT aber nicht vorgenommen.

Übertragbarkeit der TSC für HLW auf LLW

Im JRC-BERICHT (Teil A 3.3.8.9, S. 165 ff.) wird ausgeführt, dass Tätigkeiten, u. a. bezogen auf die Endlagerung von radioaktiven Abfällen, keine bedeutenden Schäden der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt hervorrufen. Voraussetzung dafür ist, dass die damit verbundenen industriellen Aktivitäten die TSC erfüllen.

Die TSC für die Zwischenlagerung und Endlagerung von HLW und bestrahlten Brennelementen sind im JRC-BERICHT unter dem Annex 4 dargestellt. In den TSC wird unter den DNSH u. a. ausgeführt, dass die Endlagereinrichtung den Einschluss der Abfälle und Isolierung von der Biosphäre sicherstellen muss. Das gilt auch für das Auftreten extremer Naturphänomene wie z. B. Erdbeben, Tornados, Flutung und den Verlust von technischen Barrieren.

Der JRC-BERICHT weist keine gesonderten TSC für LLW und ILW aus und stellt dar, dass die entwickelten TSC für HLW und bestrahlte Brennelemente als abdeckend zu betrachten sind (vgl. JRC-BERICHT, Teil A 5.7, S. 196 f.). Die Argumentation, die

zu dieser Schlussfolgerung führt, ist im JRC-BERICHT nicht vorhanden und die Aussage ist allgemein falsch. Legt man die TSC für HLW auch für LLW an, so bestehen Zweifel, ob die o. g. Voraussetzung der Einhaltung der TSC, z. B. unter der Berücksichtigung von extremen Naturphänomenen, umfassend gegeben ist. Der Grund hierfür besteht in möglichen Unterschieden bezüglich der Robustheit der für HLW und LLW jeweils vorgesehenen Endlagerung in geologischen bzw. oberflächennahen Endlagern.

Die im JRC-BERICHT getroffene dezidierte Schlussfolgerung für die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle in oberflächennahen Endlagern, dass hierdurch keine signifikanten Schäden der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt auftreten können, kann daher nicht nachvollzogen werden.

5.3 Endlagerung hochradioaktiver Abfälle

Hinsichtlich der Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle sind nicht nachvollziehbare oder unvollständige fachliche Aussagen des JRC aufgefallen. Gleiches gilt für die vom JRC entwickelten technischen Bewertungskriterien. Zur Untergliederung des Kapitels werden daher gelb unterlegte Überschriften für die Prüfung der fachwissenschaftlichen Ausführungen des JRC einerseits und der Folgerungen für die TSC andererseits verwendet. Unterstrichene Überschriften gliedern den Text innerhalb dieser Teile jeweils nach Unterthemen.

Vorangestellt ist die Tatsache festzuhalten, dass die Kernenergie schon seit einigen Jahrzehnten genutzt wird, weltweit aber immer noch kein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Betrieb ist, Lasten damit fortgesetzt auf nachfolgende Generationen abgewälzt und diese in ihrer Entscheidungsfreiheit eingeschränkt werden. Darauf wird in Kapitel 6 dieser Fachstellungnahme näher eingegangen.

Fachliche Würdigung

Allgemeine Prüfergebnisse

Der JRC-BERICHT enthält an vielen Stellen unbegründete Verallgemeinerungen. Aus einzelnen, ausgewählten Beispielen werden Schlussfolgerungen gezogen und eine globale Gültigkeit unterstellt. Für fachlich nicht im Detail befasste LeserInnen dürfte dies nur schwer oder gar nicht erkennbar sein. Beispielsweise wird in dem Bericht die Realisierbarkeit der Entsorgung anderer „Abfälle“ (CO₂) in tiefen geologischen Formationen auf die Endlagerung von HLW übertragen. Auf das völlig unterschiedliche Gefährdungspotenzial insbesondere über sehr lange Zeiträume wird jedoch nicht eingegangen (näher dazu unten).

Die Schlussfolgerungen in Teil A 3.3.8.9, S. 165 des JRC-BERICHTS, z. B. „The disposal [...] does not contribute (the results are zero or negligible) to those indicators representative of the impacts to the Taxonomy Regulation objectives“, werden durch die dargestellten Analysen und Diskussionen nur unzureichend gestützt. Basierend auf den Informationen in Teil A 3 des JRC-BERICHTS ist diese Aussage verfrüht und nicht ausreichend begründet. Die Ergebnisse der in Teil A 3 des JRC-BERICHTS beschriebenen Analysen werden nur im folgenden Kapitel (JRC-BERICHT, Teil A 4) gegenüber den Grundprinzipien und Zielen der Taxonomie erörtert (näher dazu unten).

Hinsichtlich der Quellenangaben fallen teilweise unvollständig beschriebene Referenzen für vorgestellte Angaben auf – zum Beispiel im Text auf Seite 217, Teil B 2.3 des JRC-BERICHTS zum Inventar abgebrannter Brennelemente in der EU, auf Seite 244, Teil B 5.1, Bild 5.1–1 zum erwähnten Zeitraum von 300 Jahren Isolation von

schwach radioaktiven Abfällen von der Biosphäre und der Öffentlichkeit und auf Seite 161, Teil A 3.3.8, Bild 3.3.8–9 zu den Details der Konstruktion des finnischen Endlagers.

Das JRC stellt die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle am Beispiel der Endlagerprojekte in Finnland und Frankreich als gelöstes Problem dar. Dabei wird weitgehend ausgeblendet, dass das finnische Endlager gerade erst im Bau ist und sich in Frankreich der Genehmigungsantrag der Betreibergesellschaft bereits mehrfach verzögerte. Von einer Betriebsaufnahme ist man in beiden Ländern noch einige Jahre entfernt. Erfolgreiche Betriebserfahrungen aus einem Endlager für hochradioaktive Abfälle gibt es faktisch nicht. Vielmehr haben viele Länder Erfahrungen mit gescheiterten Endlagerprojekten machen müssen.

Bewertung der Endlagersicherheit

Auf der Grundlage selektiver Ergebnisse von Endlagersicherheitsbewertungen aus Finnland, Schweden und Frankreich dokumentiert das JRC in Teil B 5.2, S. 249 ff. seines Berichts eine fragmentarische Bewertung der radiologischen Sicherheit geologischer Endlager. Diese Länder verfügen über die technischen und finanziellen Mittel, um eine Entsorgung der hochradioaktiven Abfälle in geologischen Endlagern durchzuführen. Die Fähigkeiten und die Bedürfnisse kleinerer Staaten, die möglicherweise auf externe Hilfe angewiesen sind, um ihre Endlagerfrage zu lösen, werden nicht erwähnt. Weiterhin beschränkt sich der Bericht auf nur zwei potenzielle Wirtsgesteine (Kristallin – Finnland und Schweden – und Tongestein – Frankreich). Andere mögliche Wirtsgesteine wie Salz fehlen. Unvollständig ist der Bericht auch dahingehend, dass, im Gegensatz zur Zwischenlagerung, nur die Zeit nach dem Verschluss des Endlagers betrachtet wird, d. h., die Bewertung der radiologischen Sicherheit für die Betriebsphase wird nicht erörtert. Darüber hinaus umfassen die diskutierten Sicherheitskriterien nur eine Auswahl der in der Regel notwendigen Anforderungen. Andere potenziell anwendbare Anforderungen werden nicht diskutiert.

Mangel an empirischen Daten

Auf Seite 243, Teil B 5 stellt der JRC-BERICHT richtigerweise fest: „[...] there is no empirical evidence generated by a radioactive waste disposal facility that has gone through all the three stages (pre-operational, operational, and post-closure) for the entire timeframe foreseen (up to a hundred thousand years for a deep geological repository).“ Darüber hinaus ist noch anzumerken, dass sich für HLW z. Z. weltweit nur ein Endlager in der Bauphase befindet.

Der JRC-BERICHT zeichnet in Teil B 5.2.3 ein vereinfachtes und sehr optimistisches Bild vom Prozess der Implementierung eines nationalen DGR (Deep Geological Repository). Die Beispiele für gescheiterte/gestoppte Programme der Vergangenheit (z. B. in Großbritannien, Deutschland, der Schweiz und den USA) werden nicht erwähnt. Idealerweise sollte in einem solchen Bericht zudem erörtert werden, dass es inhärente Risiken gibt, dass ein Entsorgungsprogramm aufgrund sozialer, technologischer, politischer oder wirtschaftlicher Probleme vollständig scheitern oder sich erheblich verzögern kann.

In Teil B 5 des JRC-BERICHTS heißt es: „[...] the safety of disposal during the post-closure phase is demonstrated by a robust and reliable process which confirms that dose or risk to the public are kept under all circumstances below the required limits.“ Da es für HLW noch kein genehmigtes Endlager mit einer Betriebsgenehmigung gibt, ist die Formulierung „is“ hier nicht korrekt. Die entsprechenden Bewertungen im Kontext eines Safety Case befinden sich derzeit bei den weiter voran geschrittenen HLW-Endlagerprojekten (Finnland, Schweden und Frankreich) noch in verschiedenen Genehmigungsprozessen, abhängig vom nationalen Regelwerk.

Fokus auf Normalbetrieb bei der Endlagerung und Ausblendung von Ungewissheiten

Die Rolle unerwarteter Ereignisse wird im JRC-BERICHT eingeschränkt und unvollständig diskutiert. Insbesondere für die Betriebsphase der geologischen Entsorgung zeigt der Bericht keine Konsequenzenanalyse potenzieller Unfälle. Dies ist insofern überraschend, als das bei der Bewertung des Lebenszyklus ein Hauptaspekt ist, ob eine Aktivität Bedrohungen erzeugt, die verhindert/gemindert werden können. Diese Auslassung wird als wichtiges Manko angesehen, da unerwartete Ereignisse per definitionem nicht vermeidbar sind und im Falle ihres Auftretens Unfälle oder Zwischenfälle erhebliche radioaktive Kontaminationen verursachen können (vgl. dazu auch Kapitel 2.1 und 2.2.1).

In Tabelle 3.3.8.3, S. 166 des JRC-BERICHTS wird die Bedeutung der Auswirkungen der Entsorgung radioaktiver Abfälle auf die Umweltziele gem. der TEG qualitativ bewertet. Dabei wird allen drei radiologischen Auswirkungen (Erzeugung fester radioaktiver Abfälle, Freisetzung gasförmiger Radionuklide und Freisetzung flüssiger Radionuklide) die niedrigste mögliche Bedeutung zugewiesen. Insbesondere in Bezug auf die radioaktive Freisetzung wird angegeben, dass die berechneten Freisetzungen während der Verschlussphase weit unter den zulässigen Grenzwerten liegen („Calculated releases during the closure phase well below authorised limits“). Dies ist eine Aussage, für die im vorliegenden Bericht keine ausreichenden Argumente vorliegen. Die Aussage lässt sowohl den Einfluss der großen inhärenten Ungewissheiten bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit als auch die potenziellen Risiken im Zusammenhang mit Betriebsunfällen außer Acht.

Unbeabsichtigtes menschliches Eindringen

Ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen wird im JRC-BERICHT nicht angemessen thematisiert. So wurde die nicht auszuschließende Möglichkeit eines solchen Ereignisses und damit verbundene radiologische Konsequenzen vor dem Hintergrund der erforderlichen langen Isolationszeiträume der radioaktiven Abfälle weder behandelt, noch bei der Beurteilung der TSC und DNSH-Kriterien entsprechend berücksichtigt. Auf Kapitel 2.2.2 und 2.2.5 dieser Fachstellungnahme wird verwiesen.

Nicht-radiologische Auswirkungen

Die Erörterung potenziell schädlicher, nicht-radiologischer Auswirkungen der geologischen Endlagerung abgebrannter Brennelemente und HLW (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.8.6, S. 162 f.) erfolgt auf der Grundlage einer Auswahl von Ergebnissen aus der schwedischen Umweltverträglichkeitsprüfung. Dabei wird implizit davon ausgegangen, dass dieses Dokument eine Bewertung enthält, die im Allgemeinen und für jede Art von Endlager an jedem Ort (z. B. Klima, Geographie, Biosphäre usw.) repräsentativ ist. Eine Begründung dieser Annahme wird nicht gegeben. Beispielsweise hängen die möglichen Auswirkungen auf die Wasserressourcen auch von den spezifischen Klima-, Landnutzungs- und hydrologischen Bedingungen ab (Öko, 2015). Dies steht im Zusammenhang mit dem bereits weiter oben beschriebenen Problem begrenzter praktischer Erfahrungen in Bezug auf den Betrieb eines geologischen Endlagers.

In Teil B 5, S. 336 ff. des JRC-BERICHTS stellt das JRC einen irreführenden Vergleich zwischen Carbon (Dioxide) Capture and Storage (CCS) und Entsorgung radioaktiver Abfälle an. Der Vergleich zwischen CCS mit der Endlagerung von radioaktivem Material ist jedoch nur bedingt möglich, da von der Tiefenlagerung von CO₂ eine andere Gefährdung ausgeht. Im Übrigen sind die technischen Konzepte beider Entsorgungsformen vollkommen unterschiedlich und gehen jeweils mit sehr spezifischen Anforderungen und Risiken einher. Daher sind Sicherheitsbestimmungen für die beiden Entsorgungen auch unterschiedlich (s. JRC-BERICHT, Executive Summary, S. 8, dritter Anstrich).

Barriersystem

Der JRC-BERICHT enthält stark vereinfachte Aussagen zur Zuverlässigkeit des Barriersystems, die zu grundlegenden Missverständnissen führen können, da zu ihrer Einordnung ein komplexes Fachwissen notwendig ist. Zum Beispiel heißt es in Teil B 5.2.2, S. 250 des JRC-BERICHTS lediglich: „Chemical and mechanical interactions between natural and engineered barriers will occur“, während nicht weiter ausgeführt wird, wie diese Wechselwirkungen aussehen werden. In ähnlicher Weise findet sich in der Executive Summary eine vereinfachte und maßgebliche Aussage: „The multi-barrier configuration of the repository prevents radioactive species from reaching the biosphere over the time span required. In the absence of releases of radioactive species to the accessible biosphere, there is neither radiological pollution nor degradation of healthy ecosystems, including water and marine environments.“ Dies ist eine stark vereinfachte und pauschalisierende Beschreibung. Die maximale Ausbreitung von Radionukliden muss auf ein vorher bestimmtes erwartbares Maß begrenzt werden (vgl. § 26 Abs. 2 StandAG). Eine potenzielle Freisetzung, die dieses regulatorische Maß unterschreitet, ist jedoch nicht auszuschließen („Geringfügigkeitskriterium“, § 4 EndlSiAnfV), sondern ist mit Blick auf die zu erwartenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt nach heutigen Maßstäben zu bewerten. Umso wichtiger ist es, dass im Safety Case des Endlagers überzeugend gezeigt wird, dass solche möglichen Freisetzungen unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen und damit kein inakzeptables Risiko für zukünftige Generationen darstellen. Ob diese (nationalen) gesetzlichen Grenzwerte auch mit den DNSH-Kriterien konform sind, wird im JRC-BERICHT nicht erörtert.

In Teil A, 3.3.8.5, S. 162 des JRC-BERICHTS wird eine zu vereinfachende und endgültige Aussage zur langfristigen Zuverlässigkeit des Barriersystems gemacht: „Long term post-closure safety will be achieved by means of a system of passive barriers [...]“ Hier werden Aussagen zur Langzeitsicherheit in der Nachverschlussphase ausgeführt, ohne mögliche relevante Entwicklungen, die einen Einfluss auf die Zuverlässigkeit eines Endlagers haben, zu beschreiben bzw. zu hinterfragen. Hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines Endlagers ist zu bemerken, dass entsprechende Aussagen immer relativ zu den jeweiligen zugrunde gelegten regulatorischen Anforderungen und Rahmenbedingungen zu betrachten sind. Dabei ist zu beachten, dass selbst bei sehr günstigen geologischen Verhältnissen, Ungewissheiten bestehen, die sich nicht ausräumen lassen (OECD, 1995 und OECD, 2012).

Radionuklidfreisetzungen

In Bezug auf mögliche Radionuklidfreisetzungen aus dem Endlager in die Biosphäre werden ungenaue Aussagen gemacht. Zum Beispiel: „No radiologically relevant release or impact to the public is expected [...]“ (JRC-BERICHT, Teil A 3.3.8.5, S. 161 – Betriebsphase) oder „and [radionuclides] will never exceed the limit below which they can cause no harm“ (JRC-BERICHT, Teil B 5, S. 241 – Phase nach dem Verschluss des Endlagers). In Bezug auf Ersteres ist die Aussage unvollständig und stark vereinfacht – die Risiken, die mit potenziellen Unfällen (z. B. Behälterabsturz, Feuer, Kritikalität) oder Missbrauch des spaltbaren Materials (z. B. Terroranschlag, Diebstahl usw.) verbunden sind, werden nicht bewertet, jedoch als abschließend bewertet dargestellt. Zudem scheint die Risikobewertung hier aus dem Zusammenhang gerissen, die Schlussfolgerungen fließen jedoch in die Gesamtbewertung ein. Die Argumentation wird zudem auch nicht durch Quellenangaben untermauert.

In Bezug auf Zweiteres gehen die in dem Bericht zitierten nationalen und internationalen Regelwerke bezüglich der Rückwirkungen der Endlagerungstätigkeit durch Endlagerung von HLW nicht von einem „Nullkriterium“, sondern einem „Geringfügigkeitskriterium“ aus. Auch geringere Dosiswerte als die 0,3 mS/y (vgl. z. B. § 99 Abs. 1 StrSchV) können gesundheitliche Schäden hervorrufen. Die Aussage im JRC-BERICHT „and will never exceed the limit below which they can cause

no harm“ ist daher widersprüchlich. Die Wirkung geringer Strahlendosen wird immer noch diskutiert. Die Argumentation sollte daher etwas vorsichtiger geführt werden. Eine gesundheitliche Schädigung ist so absolut nicht auszuschließen (ICRP, 2013; DoReMi, 2016).

In Teil A, 3.3.8, S. 165 des JRC-BERICHTS wird eine ungenaue und falsche Aussage gemacht: „The deep geological disposal facility aims at isolating and containing the radioactive waste until its radioactivity decays to harmless levels.“ Nach dem regulatorisch relevanten Zeitraum in Schweden (100.000 Jahre) ist der Abfall nach wie vor schädlich (JRC-BERICHT, Abbildung 2.4-1). Hier widerspricht der Bericht sich selbst.

Entsorgung radioaktiver Abfälle durch Verdünnung und Ableitung

In Teil B 3, S. 224 des JRC-BERICHTS heißt es: „For certain types of waste with a low concentration of activity, typically gaseous and liquid effluents the management strategy is its dilution and release to the environment.“ Der JRC-BERICHT befasst sich nicht weiter mit der Thematik und begründet dies wie folgt: „This is carried out under regulatory control following strict procedures ensuring that releases are below authorised limits, and it is outside the scope of this section.“ (JRC-BERICHT, Teil B 3, S. 224) Das JRC übersieht, dass dieser Entsorgungsweg z. B. in Deutschland verboten ist. § 61 Abs. 3 StrSchG untersagt die gezielte Verdünnung von radioaktiven Abfällen.

Nachverschlussphase

In Teil A 3.3.8.9, S. 167 des JRC-BERICHTS heißt es zusammenfassend: „In the light of the above analysis it can be concluded that activities related to the storage & disposal of technological & radioactive waste, as well as spent nuclear fuel do not pose significant harm to human health or to the environment.“ Diese Aussage wird von den in Teil A 3 des JRC-BERICHTS (und den folgenden Kapiteln) vorgestellten Diskussionen nicht unterstützt. Die Ergebnisse der in Teil A 3 beschriebenen Analysen werden im folgenden Kapitel (Teil A 4) anhand der Grundprinzipien und Ziele der Taxonomie erörtert. Es wird ausgeführt, dass vor dem Hintergrund einer Analyse der Schluss gezogen werden kann, dass Aktivitäten bezüglich der Lagerung und Endlagerung von konventionellen und radioaktiven Abfällen sowie bestrahlter Brennelemente keine signifikante Gefährdung der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt implizieren. Die in der Begründung angesprochene Analyse ist für die Nachverschlussphase von Endlagern nicht erkennbar. Die beispielhafte Ausführung von Vorgehensweisen in verschiedenen Ländern und die Darstellung von allgemeinen Ergebnissen ist hierfür nicht ausreichend, u. a. aufgrund der unterschiedlichen Standortsituationen, spezifischen Rahmenbedingungen wie Abfallspektrum, Endlagerkonzept, Sicherheitskonzept sowie regulatorischen Anforderungen.

Die genannte Schlussfolgerung lässt sich daher nicht eindeutig nachvollziehen. Darüber hinaus lassen die Anmerkungen zu der nicht auszuschließenden Möglichkeit des unbeabsichtigten menschlichen Eindringens und den damit verbundenen möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sowie weitere Ungewissheiten hinsichtlich der Entwicklung von Endlagern in der Nachverschlussphase eine derart dezidierte Schlussfolgerung nicht zu.

Technische Bewertungskriterien

Die Entwicklung der technischen Bewertungskriterien (TSC) ist nicht abgeschlossen. Im JRC-BERICHT wird in Teil A 5.1, S. 190 f. jedoch argumentiert, als wären diese vollständig, aber die entsprechenden Quellen, auch in Bezug auf internationale Erfahrungen, fehlen. Daher ist eine Anwendung der TSC für eine abschließende Bewertung der Taxonomie nicht möglich, zumindest aber problematisch.

Zur Bewertung der Langzeitfolgen der Endlagerung von HLW werden modellhafte Argumentationen und Nachweise aus projektspezifischen Safety Cases verwendet, was soweit dem Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Jedoch werden die damit verbundenen Annahmen und Anforderungen an das System stillschweigend als erfüllt angenommen, obwohl in der Implementierung wie auch in der Langzeitwirkung Ungewissheiten bestehen.

Die TSC werden trotz ihrer zentralen Bedeutung für die Methode nur sehr allgemein gehalten und erfordern weitere Spezifizierung (Beispiel: Dosiskriterien für radiologische Bewertung). Annex 1, Appendix E, Seite 369 f. des JRC-BERICHTS benennt noch weitere Anforderungen an die DNSH-Kriterien, insbesondere Aspekte der Finanzierung. Diese werden im Bericht gar nicht angesprochen. Das ist in der Binnenlogik des JRC-BERICHTS stimmig, fehlt jedoch bei einer übergeordneten Diskussion der Nachhaltigkeit.

5.4 Transporte

Der JRC-BERICHT geht in seiner Darstellung des life cycle assessments nicht auf den Aspekt der Transporte ein. Dies wäre für eine abschließende Gesamtdarstellung aller Aspekte der Kernkraft notwendig gewesen.

Alle Transporte radioaktiver Stoffe werden auf Basis international abgestimmter Regelwerke und unter Notwendigkeit einer entsprechenden Genehmigung durchgeführt. Nach dem vom JRC für die DNSH-Kriterien zugrunde gelegten Prüfungsmaßstab (vgl. kritisch dazu Kapitel 2.1 und 2.2 dieser Fachstellungnahme) dürften die DNSH-Kriterien auch insofern unproblematisch sein. Jedoch greift diese verengte Analyse, wie oben bereits mehrfach dargestellt, zu kurz. Beim Transport von radioaktiven Abfällen sind auslegungsüberschreitende Unfälle oder auslegungsüberschreitende sonstige Einwirkungen Dritter zwar sehr unwahrscheinlich, aber nicht vollständig auszuschließen; deswegen können die damit verbundenen Risiken auch durch eine Einhaltung internationaler Regelwerke nicht ausgeschlossen werden.

5.5 Forschung und Entwicklung

Hinsichtlich der Forschung und Entwicklung werden eine Reihe von Aussagen und Sachständen im JRC-BERICHT ausgeführt, die fachlich nicht nachvollziehbar sind bzw. deren Ableitungen fachlich nicht geteilt werden können. Allerdings lassen sich aus dem Text allgemeine Hinweise ableiten, die durchaus in einem Zusammenhang von Forschung und Entwicklung und der Taxonomie stehen. Auf diese allgemeinen Hinweise sowie die o. g. Aussagen wird im Folgenden Bezug genommen.

Allgemeine Prüfergebnisse

Es gibt im JRC-BERICHT nur wenige Querverweise zu Teil B 6 „Forschung und Entwicklung“ und umgekehrt von Teil B 6 zu den anderen Kapiteln des JRC-BERICHTS (siehe auch Kapitel 2.3.1 dieser Fachstellungnahme). Insbesondere der Bezug zu Teil A ist nicht dargestellt. Eine explizite Verbindung zu der Taxonomie wurde nicht hergestellt bzw. aufgezeigt (vgl. Kapitel 2.1). Ferner reflektiert das JRC nicht, dass der enorme Forschungsaufwand im Bereich Endlagerung die damit verbundenen Ungewissheiten unterstreicht und die Taxonomie-Fähigkeit der Kernenergienutzung in Frage stellt (siehe dazu Kapitel 2.2.3).

Zusammenhang zwischen Zwischenlagerung, Betriebsphase und Nachverschlussphase

Der JRC-BERICHT versäumt es auf einen Aspekt einzugehen, der in der Forschung aktuell eine wichtige Rolle spielt: der Zusammenhang zwischen Zwischenlagerung, Betriebsphase und Nachverschlussphase („Integrated Safety Case“) und die Relevanz des Zusammenhangs für die jeweilige Sicherheit auf der betreffenden Zeitskala (IAEA, 2016a; IAEA 2016b; IGSC, 2008; OECD/ NEA, 2016; GRS, 2020).

Übertragbarkeit der Funktionalität der Barrieren auf lange Zeiträume

Für die Endlagerung wird in den meisten Sicherheitskonzepten ein Multibarrierenkonzept zugrunde gelegt. Dieses Konzept baut auf eine mehr oder weniger ineinander verschachtelte Anzahl von technischen, geotechnischen und geologischen Barrieren auf. Die Funktionalität der einzelnen Barrieren muss demonstriert und für die jeweiligen vorgesehenen Zeiträume nachgewiesen werden. Insgesamt ist die Wirksamkeit des Gesamtsystems auch bei Ausfall einer oder mehrerer Einzelbarrieren zu belegen. Insbesondere der Nachweis der Funktionalität der technischen (z. B. Behälter) und geotechnischen Barrieren (z. B. Schachtverschluss) und die Übertragbarkeit auf lange Zeiträume stellt eine enorme Herausforderung dar. Allerdings wird dieser Aspekt bei technischen Barrieren im Vergleich zu geologischen Barrieren, bei denen teilweise Verknüpfungen zu natürlichen Analoga bestehen, die die Barrierenwirksamkeit über sehr lange Zeiträume untermauern, zum Teil kritisch gesehen (AkEnd, 2002; vgl. dazu KOM, 2015).

Umfang des Forschungsprogramms und Grundlagenforschung

Der im JRC-BERICHT ausgewiesene Umfang an Grundlagenforschung benennt ausschließlich Beispiele, die sich auf das Inventar beziehen. Der Aspekt der Grundlagenforschung, der sich mit Wirtsgesteinen beschäftigt, fehlt an dieser Stelle vollständig. Natürlich können hier nicht alle Aspekte der Grundlagenforschung genannt werden. Durch die kurze Darstellung werden deshalb wesentliche Themen nicht oder nur am Rande genannt (wie z. B. zu Ungewissheiten, menschlichen Aktivitäten inklusive Human Intrusion und Langzeitdokumentation).

Generell stellt sich die Frage, warum im Teil B 6 des JRC-BERICHTS zu „Forschung und Entwicklung“ ausschließlich Forschungsprogramme mit Fokus auf Europa behandelt werden. Wenigstens unter Teil B 6.1, S. 277 Einführung hätte man auch eine ausführlichere kritische Würdigung diesbezüglicher außereuropäischer Aktivitäten mit den dortigen Schwerpunktsetzungen erwarten dürfen. Die alleinige namentliche Erwähnung einiger Länder (z. B. JRC-BERICHT, Teil B 6.4.2, S. 286 „Such global partnerships with, e. g. with USA and Japan have been in existence for a long time“) ohne jegliche Angabe weiterführender Quellen erscheint nicht ausreichend.

Ungewissheiten

Es werden in Bezug auf den gegenwärtigen Forschungs- und Entwicklungsfokus u. a. Ungewissheiten angesprochen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass es eine Reihe von Ungewissheiten geben wird, die nicht weiter reduziert bzw. aufgelöst werden können (GRS, 2018). Hier muss frühzeitig Forschung und Entwicklung dazu angesetzt werden, wie man mit diesen Ungewissheiten umgehen will bzw. wie diesen Ungewissheiten Rechnung getragen werden soll (vgl. auch Kapitel 2.2.2 und 2.2.3 dieser Fachstellungnahme).

Forschung und Entwicklung, Stand von Wissenschaft und Technik

An verschiedenen Textpassagen im JRC-BERICHT wird deutlich (z. B. JRC-BERICHT, Teil B 6.2, S. 278 und Teil B 6.4.1, S. 283), dass nicht konsequent zwischen

- Forschung und Entwicklung,
- Stand von Wissenschaft und Technik unterschieden wird.

Der Stand von W&T ist für die Endlagerung entscheidend, z. B. § 19 Abs. 1 Satz 3 StandAG. Forschung und Entwicklung kann diesen Stand vorantreiben.

P&T und der sogenannte geschlossene Brennstoffkreislauf

Seit langem wird an der Frage geforscht, wie man durch geeignete Verfahren den vorhandenen und entstehenden radioaktiven Abfall in verschiedene Abfallströme auftrennen und durch kernphysikalische Umwandlungen in weniger langlebige Radionuklide überführt. Dieser Ansatz, der als Partitionierung und Transmutation (P&T) bezeichnet wird, bietet nach Auffassung des JRC-BERICHTS eine Reihe von Vorteilen. Jedoch sind die zugrunde liegenden Technologien nicht vorhanden. Ob und wann eine großtechnische Anwendungsreife vorliegen könnte, ist vollkommen offen. Die Rückstellung der Endlagerung und die Verbringung der Abfälle in oberflächennahe Langzeitlager, solange bis die P&T-Technologie eine für die großtechnische Umsetzung entsprechende Entwicklung erfahren hat, wäre eine Voraussetzung hierfür.

Die Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ hat dieses Thema eingehend fachlich diskutiert und kam insgesamt hinsichtlich des Themas Langzeitlagerung an oder nahe der Erdoberfläche zu dem folgenden Schluss (siehe auch Kapitel 5.2 dieser Fachstellungnahme):

„Die Kommission sieht in einer überwachten Dauerlagerung keine realistische Option für den nachweisbar sicheren, langzeitigen Umgang mit radioaktiven Abfällen. Eine aktive Verfolgung einer derartigen Strategie wird von der Kommission daher abgelehnt.“ (KOM, 2016)

Aus jüngster Zeit liegen Ergebnisse zu einem Untersuchungsvorhaben vor, dass sich mit unterschiedlichen Konzepten zur Partitionierung und Transmutation (P&T) von hochradioaktiven Abfällen beschäftigt hat. Das Ergebnis aus dieser Untersuchung zeigt eine Reihe von kritischen Aspekten gegenüber P&T auf, von denen einige im Folgenden beispielhaft aufgeführt werden (Frieß et al., 2021):

- Nach dem gegenwärtigen Stand von Wissenschaft und Technik erscheinen P&T-Programme nur für die Behandlung abgebrannter Brennstäbe aus Leistungsreaktoren, aber nicht für bereits verglaste Abfälle praktikabel.
- Ein P&T-Konzept verlangt nach einer Vielzahl von kerntechnischen Anlagen und ihrem langfristigen Betrieb. Sicherheitsrisiken durch den langfristigen Betrieb von kerntechnischen Anlagen in einem P&T-Programm müssten in Kauf genommen werden.
- Die für P&T notwendigen kerntechnischen Anlagen stehen im großtechnischen Maßstab nicht zur Verfügung.
- Viele Jahrzehnte an Forschungs- und Entwicklungsarbeit wären vor der Realisierung eines P&T-Programms notwendig.
- Es ist noch offen, ob der erforderliche technische Entwicklungsstand für eine großtechnische Umsetzung eines P&T-Programms erreicht werden kann.
- Es würde in jedem Fall ein Endlager für hochradioaktive Abfälle gebraucht.
- Es entstünden Proliferationsrisiken durch den langfristigen Betrieb von kerntechnischen Anlagen in einem P&T-Programm.

Aus der Liste an kritischen Merkmalen wird deutlich, dass mit der Forschung zu P&T auch die Möglichkeit verbunden ist, mit der originären Intention bzw. Zielsetzung dieses Ansatzes zu scheitern. Aber auch wenn diese Technologie in Zukunft einmal einsatzfähig wäre, dann resultieren durchaus andere Risiken, die gegen die Risiken einer Endlagerung ohne Berücksichtigung von P&T abzuwägen wären.

In Bezug auf die Ausnutzung des Brennstoffes wird im JRC-BERICHT, Teil 6.3, S. 280, sowie Executive Summary, Main Findings, S. 12–13, ausgeführt, dass „schnelle Reaktoren“ eine mehrfache Rezyklierung erlauben und am Ende der komplette Brennstoff ausgenutzt wird und ein zunehmend reduzierter Anteil langlebiger Nuklide (meist in Form von Minoren Aktiniden) im bestrahlten Brennstoff verbleibt. Hierzu ist anzumerken, dass bisher noch keine Minore Aktinide dem Brennstoff zugegeben werden. Insofern handelt es sich hier lediglich um eine Prognose. Unklar ist, bis zu welchem Umfang man Minore Aktinide dem

Brennstoff zugeben können wird, da sich diese negativ auf die Sicherheitseigenschaften des Brennstoffs (Kirchner et al., 2015) auswirken können.

Darüber hinaus wird im JRC-BERICHT in der Abbildung 6.3-1, S. 281 des JRC-BERICHTS der Beitrag von Minoren Aktiniden zur langfristigen Radiotoxizität bestrahlter Brennelemente dargestellt. Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass die Transmutation von Plutonium und Americium zu einer deutlichen Reduktion der Dosis führen würde. Nicht in dem Diagramm dargestellt sind die Spaltprodukte, die zumindest bei thermischen Reaktoren anfangs die Strahlung dominieren (Schwenk-Ferrero, 2013). Überdies zeigten Untersuchungen aus der Schweiz im Tongestein, dass langlebige Spaltprodukte im Tongestein eine recht hohe Mobilität im Erdreich haben und daher den größten Teil der in die Biosphäre freigesetzten Dosis ausmachen (NAGRA, 2002, S. 203).

Weiterhin wird im JRC-BERICHT aufgeführt, dass ein geschlossener Kernbrennstoffkreislauf den Vorteil einer erheblichen Reduzierung des Platzbedarfs für ein geologisches Endlager für HLW bietet. Hier ist zu ergänzen, dass neben dem Volumen die Nachzerfallswärme zum Zeitpunkt der Einlagerung relevant für die Größe des Endlagers wäre (KOM, 2016, S. 227). Auch würden zusätzliche schwach- und mittelradioaktive Abfälle erzeugt werden, die das Endlagervolumen erhöhen würden.

6

Künftige und weitere Kriterien der Taxonomie-Verordnung – weitere Nachhaltigkeitsziele und Mindeststandards

Der JRC-BERICHT thematisiert im Zusammenhang mit der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle neben den ökologischen Kriterien weitere für eine nachhaltige Entwicklung wichtige Aspekte. Insbesondere hebt der JRC-BERICHT die Berücksichtigung künftiger Generationen (JRC-BERICHT, Teil B 5.2.3.3, S. 258) und die Bedeutung partizipativer Entscheidungsfindung (JRC-BERICHT, Teil B 5.2.3.1, S. 254) bei der Endlagersuche hervor. Der JRC-BERICHT formuliert beide Aspekte als wichtige Anforderungen an die Endlagersuche. Die beiden Anforderungen „Berücksichtigung künftiger Generationen“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ werden im JRC-BERICHT aber nicht tiefer bezüglich z. B. der mit diesen Anforderungen verbundenen Herausforderungen bei der Suche nach einem Endlager für radioaktive Abfälle betrachtet. Der Bericht betont, dass es weltweit bisher kein Endlager für hochradioaktive Abfälle gibt (JRC-BERICHT, Teil A 1.1.1, S. 17), lässt aber offen, ob es dabei einen Zusammenhang zu den Herausforderungen „Berücksichtigung zukünftiger Generationen“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ gibt.

Das JRC hatte möglicherweise nicht den Auftrag, über die Prüfung der DNSH-Kriterien in Bezug auf die Umweltziele hinaus eine Prüfung der Nachhaltigkeit vorzunehmen. Hinzuweisen ist jedoch darauf, dass die TEG durchaus die Möglichkeit sieht, den Aspekt intergenerationelle Risiken in die Entwicklung von TSC bzgl. der DNSH-Kriterien zu den Umweltzielen einzubeziehen (TEG 2020b, S. 33). Auf die Vorgehensweise der TEG nimmt der JRC-BERICHT auch Bezug (JRC-BERICHT, Teil A 1.3.2.4, S. 23). Eine vertiefte Betrachtung der beiden Aspekte „Berücksichtigung künftiger Generationen“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ erfolgt im JRC-BERICHT aber nicht. Diese Betrachtung beider Aspekte ist jedoch wichtig, um die Nachhaltigkeit der Endlagerung radioaktiver Abfälle zu bewerten. Beide Aspekte stellen nach der Agenda 2030 der Vereinten Nationen eigenständige Nachhaltigkeitsziele dar (UN, 2015). Die Taxonomie-Verordnung, auf deren Basis das JRC seine Analyse durchführt, betrachtet die Agenda 2030 der Vereinten Nationen als Ziel der Europäischen Union – danach ist dieses Verständnis von Nachhaltigkeit umzusetzen und die Taxonomie-Verordnung will zukünftig auch über die ökologischen Kriterien hinaus weitere Kriterien für Nachhaltigkeit aus der Agenda 2030 in die Taxonomie-Verordnung einbeziehen (näher dazu Kapitel 6.1 dieser Fachstellungnahme). Die Notwendigkeit, technologische Risiken auch mit Blick auf künftige Generationen zu bewerten, zeigt auch der aktuelle Beschluss des Bundesverfassungsgerichts zum Klimaschutz (BVerfG, Beschluss vom 24.3.2021, Az. 1 BvR 2656/18, 1 BvR 96/20, 1 BvR 78/20, 1 BvR 288/20, 1 BvR 96/20, 1 BvR 78/20).

Auch das in diesem Kapitel fokussierte Thema des über Generationen andauernden langfristigen Informations- und Wissenserhalts zur Endlagerung berührt die Belange nachfolgender Generationen und muss aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten betrachtet werden (dazu Kapitel 6.2).

Unabhängig von der Endlagerung fordern das Problem der Proliferation (dazu Kapitel 6.3), welches im JRC-BERICHT nur sehr rudimentär in Bezug auf die Wiederaufarbeitung benannt ist, und der Uranabbau (dazu Kapitel 6.4) eine eigene Betrachtung der Themen intergenerationelle Gerechtigkeit und Beteiligung im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Kernenergienutzung.

Auch bei schweren Kernkraftwerksunfällen, bei denen große Mengen radioaktiver Stoffe in die Umwelt freigesetzt werden, ist die Generationengerechtigkeit ein wesentlicher Aspekt der Nachhaltigkeit. Das Beispiel Tschernobyl zeigt, dass die Bewältigung der Unfallfolgen auch zulasten künftiger Generationen geht – von den eingeschränkten oder fehlenden Nutzungsmöglichkeiten in den betroffenen Gebieten bis hin zum geplanten Rückbau des havarierten Reaktorblocks und der Endlagerung des geborgenen Kernbrennstoffs.

6.1 „Berücksichtigung künftiger Generationen“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ bei der Endlagerung

Die Taxonomie-Verordnung (Erwägungsgrund 2) bezieht sich in ihrem Nachhaltigkeitsverständnis auf den UN-Ansatz der Agenda 2030. Die beiden genannten Nachhaltigkeitsziele „Berücksichtigung künftiger Generationen“ und „partizipative Entscheidungsfindung“ sind zwar nicht in der EU-Taxonomie aufgeführt. Art. 26 Abs. 2 Buchst. b Taxonomie-Verordnung nimmt jedoch bereits in den Blick, dass der Anwendungsbereich der Taxonomie-Verordnung künftig ausgedehnt wird. So sollen künftig weitere Nachhaltigkeitsziele miteinbezogen werden.

Die Berücksichtigung künftiger Generationen und eine partizipative Entscheidungsfindung in einer Gesellschaft stellen in der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (UN, 2015) eigene Nachhaltigkeitsziele dar.

- Das Ziel Nr. 7 der Agenda 2030 formuliert auf Basis ihres Ziels von sozialer Nachhaltigkeit den Zugang für alle (d. h. auch zukünftiger Generationen) u. a. zu bezahlbarer Energieversorgung und setzt dabei auf erneuerbare Energien und Energieeffizienz.
- Das Ziel Nr. 16 der Agenda 2030 formuliert die Bedeutung einer friedlichen und inklusiven Gesellschaft für eine nachhaltige Entwicklung. Dazu gehören u. a. leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und transparente Institutionen und die Notwendigkeit, wie es in einem Unterziel formuliert ist, dafür zu sorgen, dass Entscheidungsfindung auf allen Ebenen bedarfsorientiert, inklusiv, partizipatorisch und repräsentativ erfolgt.

Diese beiden Nachhaltigkeitsziele werden im JRC-BERICHT nicht ausreichend im Hinblick auf die nukleare Entsorgung betrachtet, sind aber für die Bewertung der grundsätzlichen Fragestellung von Nachhaltigkeit, die auch in der Taxonomie-Verordnung angelegt ist, von Bedeutung.

Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten und zukünftiger Generationen im JRC-Bericht

Die Entwicklung und Umsetzung eines geologischen Entsorgungsprogramms/ Endlagersystems dauert Jahrzehnte und ist mit nur schwer kalkulierbaren Kosten verbunden. Die Überwachung nach der Schließung des Endlagers wird zusätzlich für mindestens weitere 100 Jahre fortgesetzt. Beispielsweise rechnet Frankreich alleine mit einer Betriebszeit des Endlagers von > 100 Jahren. In dieser langen Zeit müssen sich nachfolgende Generationen mit Problemen befassen, die von ihren Vorgänger-Generationen verursacht wurden.

Das Risiko der langfristigen und schlecht kalkulierbaren finanziellen Belastungen und Risiken (wie das Beispiel Schachanlage Asse II zeigt), welche die geologische Entsorgung für mehrere Generationen mit sich bringt, wird im JRC-BERICHT nicht ausreichend berücksichtigt. Der JRC-BERICHT formuliert selbst die Anforderung, dass die unangemessene Belastung zukünftiger Generationen zu vermeiden ist (z. B. JRC-BERICHT, Teil B 1.1, S. 201). Die geologische Endlagerung bleibt jedoch über einen langen Zeitraum von den Fragen abhängig, ob diese für das Problem nicht verantwortlichen Generationen z. B. im Fall von Kostenrisiken und damit verbundenen zusätzlichen Finanzierungsbedarfen bereit sein werden, sich an den Kosten zu beteiligen, und was z. B. passiert, wenn die Bereitschaft oder auch die Möglichkeit dazu nicht mehr besteht. Wie sollten Ausgaben in Krisenzeiten (z. B. einer globalen Gesundheits- oder Umweltkrise) priorisiert werden? Was ist, wenn die Finanzierung unterbrochen wird? In Anbetracht der Anforderung, die z. B. § 1 Abs. 2 S. 3 StandAG formuliert („Minimierung des Ressourcenbedarfs, der Kosten und der Risikobelastung, die an zukünftige Generationen weitergegeben werden“), kann davon ausgegangen werden, dass die mit der geologischen Endlagerung verbundenen Herausforderungen bereits jetzt gegen das Prinzip der Gleichheit zwischen den Generationen verstoßen haben. Insbesondere auch die Entwicklungs- und Implementierungskosten eines geologischen Endlagers sind im Allgemeinen über lange Zeiträume schwer vorhersehbar (BMU, 2015).

Der Bericht lässt eine vertiefte Analyse dieses Aspekts vermissen und zeichnet unter Ausblendung negativer Konsequenzen der Atomenergienutzung ein verzerrtes Bild insbesondere mit Blick auf den Aspekt Nachhaltigkeit und Generationengerechtigkeit.

Berücksichtigung der partizipativen Entscheidungsfindung in Gesellschaften im JRC-Bericht

Die Einbeziehung von Stakeholdern wird im JRC-BERICHT sehr stark vereinfacht und sehr optimistisch beschrieben. Beispielsweise werden NGOs bei der Beschreibung der Interessengruppen und ihrer Rolle bei der Entwicklung eines geologischen Endlagerprogramms nicht berücksichtigt (JRC-BERICHT, Teil B 5.2.3.1, S. 253–254). In Teil B 5.2.3.1, S. 254 des JRC-BERICHTS wird ausgeblendet, dass es möglich sein kann, dass es keinen Konsens der Stakeholder gibt. Die Problematik der Standortsuche wird dadurch ebenfalls vereinfacht und einseitig dargestellt. Auch steht an keiner Stelle zur Diskussion, dass – wo kein gesellschaftlicher Konsens zur Nutzung der Kernenergie besteht – diese Nutzung selbst bereits ein Blockadefaktor für die Lösung der Endlagerfrage darstellen kann – so zeigt es jedenfalls die Erfahrung in Deutschland. Der Atomausstieg und damit die Befriedung eines jahrzehntelangen gesellschaftspolitischen Konfliktfeldes war ein zentraler Faktor dafür, dass die Diskussion nach einem Standortauswahlverfahren wieder aufgenommen wurde und in einem breiten Konsens mündete.

In Bezug auf den Anspruch partizipativer Entscheidungsfindung in einer Gesellschaft benennt der Bericht verschiedene Anforderungen an die Endlagersuche (Rollenklarheit der Akteure – hier insbesondere Politik, Aufsicht und Betreiber, transparente und vertrauensvolle Einbindung aller relevanten Stakeholder durch offenen Dialog, breiter Konsens aller Stakeholder und der Öffentlichkeit etc.). Im

Bericht werden diese Anforderungen an einen partizipativen Prozess jedoch an keiner Stelle weiter konkretisiert und in Hinblick auf die Endlagerung analysiert.

Auch in vorgeschalteten Prozessschritten wie dem Uranabbau und der hiermit zusammenhängenden Betroffenheit indigener Völker (vgl. hierzu Kapitel 6.4 dieser Fachstellungnahme) wären partizipative Prozesse notwendig. Auch Artikel 18 der Taxonomie-Verordnung zum Mindestschutz (in diesem Fall der Menschenrechte) müsste in Bezug auf den Uranabbau stärker fokussiert werden.

Auch zu den drei Länderbeispielen Finnland, Schweden und Frankreich, die im Verfahren der Endlagersuche nach Darstellung des Berichts weit fortgeschritten sind, gibt es keine Bewertung/Einschätzung, ob die hier formulierten Anforderungen an die partizipative Entscheidungsfindung bei der Endlagersuche von diesen drei Ländern erfüllt werden. Dies wäre aber wichtig, um den Fortschritt dieser drei Länder auch in Hinblick auf die Frage der partizipativen Entscheidungsfindung bewerten zu können.

Diese Lücke im Bericht wird insbesondere dadurch unterstrichen, dass die wissenschaftlich-technischen Anforderungen an ein Endlager durchaus im Detail dargestellt und bewertet werden.

Fazit

Insgesamt kann konstatiert werden, dass im JRC-BERICHT die Betrachtung der Nachhaltigkeit nicht vollständig ist, sondern im Hinblick auf die Mindestziele und weitere Nachhaltigkeitsziele zu vervollständigen wäre. Der breite Nachhaltigkeitsansatz der Vereinten Nationen wird nicht aufgegriffen.

Diesen breiten Ansatz legt die Taxonomie-Verordnung zugrunde. Es ist deshalb sinnvoll, die Kernenergienutzung insgesamt und die Endlagerung radioaktiver Abfälle im Konkreten auch in Hinblick auf andere Nachhaltigkeitsziele wie die Berücksichtigung zukünftiger Generationen und die partizipative Einbindung in Gesellschaften bereits jetzt zu analysieren.

6.2 Langfristiger Informations- und Wissenserhalt zur Endlagerung

Langzeitdokumentation bzw. langfristiger Informations- und Wissenserhalt wird im JRC-BERICHT nur einmal als Zitat aus Artikel 17 der Joint Convention (JRC-BERICHT, Teil B 1.2, S. 206) genannt sowie einmal rudimentär in Teil B 5.2.3.3, S. 259 f. erwähnt. Dies wird seiner Bedeutung im Hinblick auf künftige Generationen nicht gerecht (siehe dazu auch Kapitel 2.1 und 6.1 dieser Fachstellungnahme).

Bis in die 1970er Jahre ist der Ansatz verfolgt worden, mit technischen Mitteln passiv zu verhindern, dass unbeabsichtigt in ein Endlager radioaktiver Abfälle nach Verschluss eingedrungen und damit dessen Integrität und Schutzwirkung beschädigt wird. In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Ansicht aber mehr und mehr weiterentwickelt, und heute lässt sich der internationale Diskussionsstand so zusammenfassen, dass durch langfristigen Informations- und Wissenserhalt über das Endlager (in ganz unterschiedlichen Formaten und Detailtiefen) nachfolgenden Generationen die Grundvoraussetzungen mitgegeben werden sollen, das Risiko eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens (Inadvertent Human Intrusion) zu reduzieren sowie eigenständig über den weiteren Umgang mit den radioaktiven Abfällen zu entscheiden. Zum Informations- und Wissenserhalt gehört auch die seit den 1980er Jahren vor allem in Deutschland unter dem Begriff „Atomsemiotik“ beforschte Frage der Nutzung

von Zeichen und Symbolen zur Übermittlung von Informationen über sehr lange Zeiträume. Ebenso zu dieser Thematik gehören die international diskutierte Möglichkeiten der Markierung von Endlagern und das Für und Wider der verschiedenen diskutierten Speichermedien.

Langfristiger Informations- und Wissenserhalt ist ein wichtiger Ergänzungsbau- stein im Hinblick auf die langfristige Sicherheit eines Endlagers (ICRP, 2013) und erfordert bereits in der Bau- und der Betriebsphase ein profundes Informations- management. In der sog. RK&M-Initiative (Records, Knowledge and Memory) der OECD/NEA wurde ein internationales Verständnis dafür entwickelt, wie im Hinblick auf zukünftige Generationen ein langfristiger Informations- und Wissenserhalt aussehen und bewerkstelligt werden könnte. Im Abschluss- bericht der Initiative (OECD, 2019) wird u. a. ein Werkzeugkasten von 35 „Mecha- nismen“ zum Informationserhalt vorgestellt – darunter bekannte Konzepte wie Markierungen und Archive, aber auch neue Konzepte wie der SER (Set of Essential Records) und das KIF (Key Information File) – mit deren Hilfe im nationalen und standortspezifischen Kontext eine umfassende Strategie entwickelt werden kann. Die OECD/NEA empfiehlt, Vorbereitungen für die Aufbewahrung von Informationen und Aufzeichnungen sowie für den langfristigen Wissenserhalt vorzunehmen, solange die Wichtigkeit des langfristigen Umgangs mit den er- zeugten radioaktiven Abfällen anerkannt ist und damit auch die für diesen Zweck notwendigen Finanzmittel verfügbar sind (OECD, 2014). Anforderungen wie diese werden im JRC-BERICHT nicht reflektiert.

6.3 Proliferation

Der JRC-BERICHT thematisiert das Risiko der Proliferation – also der Weiterver- breitung bzw. die Weitergabe von spaltbarem Material, Massenvernichtungs- waffen, ihren Bauplänen oder Trägersystemen – im Zusammenhang mit der zivilen Nutzung der Kernkraft nur sehr verkürzt. Diese Analyse reicht nicht aus, um Pro- liferation im Hinblick auf die DNSH-Kriterien bzgl. der Umweltziele zu würdigen, da sie ein erhebliches Risiko für praktisch alle Nachhaltigkeitsziele darstellt.

Die militärische und zivile Anwendung der Kernenergie sind historisch eng mit- einander verknüpft. Die Technologien zu ihrer jeweiligen Nutzung sind oftmals Dual-Use-Güter, können also im Prinzip sowohl für zivile als auch militärische Zwecke eingesetzt werden. Im Zuge der Nutzung der Kernenergie und der mit ihr verbundenen Brennstoffver- und Entsorgung ist daher ein aufwendiges Netz internationaler Kontrollen geschaffen worden, um das Risiko des militärischen Missbrauchs durch staatliche oder nicht-staatliche Akteure zu minimieren. Dies gilt insbesondere für spaltbares Material wie Uran-235 und Plutonium-239, das Anwendung in der Kernenergieerzeugung findet bzw. in Leistungsreaktoren erzeugt wird. Daneben gehen auch von anderen radioaktiven Stoffen durch Ent- wendung und missbräuchlichen Einsatz erhebliche Gefahren aus („schmutzige Bombe“).

Insbesondere die Kernbrennstoffherstellung (Urananreicherung) und die Wieder- aufarbeitung bestrahlter Kernbrennstoffe sind Prozesse, die für die Proliferation von besonderer Bedeutung sind: Die Technologien zur Urananreicherung können mit Modifikationen zur Erzeugung von hochangereichertem Uran zum Bau einer Nuklearwaffe verwendet werden. Bei der Wiederaufarbeitung wird Plutonium separiert, das für Kernwaffen eingesetzt werden kann. Auch wenn der Plutoniumvektor, der in Leistungsreaktoren erzeugt wird, aus physikalischer Sicht nicht die optimalen Eigenschaften für eine militärische Nutzung aufweist, ist er grundsätzlich zum Waffenbau geeignet (Mark, 1993; US DoE, 1994).

Die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung geht daher mit spezifischen Risiken der Proliferation einher. Da Nuklearwaffen ein in vielerlei Hinsicht singuläres Zerstörungspotential haben (Eisenbart, 2012), sollte die Frage der Nachhaltigkeit dieser Energieerzeugungsform diesen Aspekt nicht außer Acht lassen.

Die Ethikkommission „Sichere Energieversorgung“ der Bundesregierung hat hierzu 2011 festgehalten: „Die Proliferation [...] ist ein weitgehend ungelöstes Problem der Nutzung der Kernenergie. Durch die Vielzahl von Reaktoren und die Menge des spaltbaren Materials hat sich die Gefahr des kriminellen oder gar terroristischen Missbrauches vervielfacht. Völkerrechtliche Versuche, die Proliferation einzudämmen und zu kontrollieren, waren bisher nur begrenzt wirksam. Die Proliferation hat sich bisher als nicht wirksam zu regeln erwiesen. Es ist davon auszugehen, dass eine erfolgreiche und vollständige Vermeidung der Verbreitung von spaltbarem Material nur dann gelingen kann, wenn die Quellen letztlich selbst geschlossen werden und durch andere Energieträger ersetzt werden.“ (Ethik-Kommission, 2011)

6.4 Uranabbau – bergbauspezifische Anforderungen an nachhaltigen Bergbau

Der Begriff der Nachhaltigkeit, der eigentlich aus der Forstwirtschaft kommt und sich daher auf den nachwachsenden Rohstoff Holz bezieht, wird mittlerweile auch im Bergbau diskutiert, obwohl hier Bodenschätze abgebaut werden, die nicht nachwachsen können. Angesichts dieser Tatsache muss Nachhaltigkeit im Bergbau anders definiert werden. Die Diskussion darüber, was nachhaltiger oder grüner Bergbau ist, wird aktuell noch geführt (z. B. Gorman und Dzombak, 2018; Lahiry, 2017; Tyson, 2020). Gorman und Dzombak (2018) fokussieren sich auf die Notwendigkeit, die Nachhaltigkeit über den gesamten Nutzungskreislauf einer Bergbauoperation zu betrachten und bereits existierende Umweltregeln für Nachhaltigkeit anzuwenden. Das Taxonomie-Umweltziel Nr. 4 „Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, Abfallvermeidung und Recycling“ klingt hier an. Lahiry (2017) fordert eine starke Aufsicht durch Regierungsbehörden, um Nachhaltigkeit und verlässliche Umweltstandards durchzusetzen. Tyson (2020) betont, dass eine bergbauspezifische Form von Nachhaltigkeit erreicht werden kann, wenn alle Stakeholder gleichberechtigt und fair in den Definitionsprozess von Nachhaltigkeit (und ihrer Umsetzung) einbezogen werden.

Eine echte Auseinandersetzung mit dem Begriff „nachhaltiger Bergbau“ findet im JRC-BERICHT nicht statt (vgl. insbesondere JRC-BERICHT Teil A 3.3.1.4, S. 76 unten). Ob die Diskussion über nachhaltigen Bergbau Rückwirkungen auf die Prüfung der Umweltauswirkungen des Uranabbaus hat, wird nicht geprüft. Jedenfalls hat sie Bedeutung in Bezug auf andere Nachhaltigkeitsziele bzw. die Mindeststandards nach Art. 18 Taxonomie-Verordnung (vgl. auch BMK, 2020, S. 22).

Im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit müssten auch alle Akteure im Abbau- und Aufbereitungsprozess des Uranerzes benannt werden. Nicht erwähnt wird im Bericht beispielsweise der Einfluss auf die indigenen Völker, auf deren Land sich die meisten Uranminen befinden. Die Rechte dieser Menschen auf gerechte Teilhabe an allen Ressourcen (von sauberem Wasser über eine vernünftige Gesundheitsversorgung bis hin zur Eigentumsfrage am Rohstoff Uran) sind nicht berücksichtigt, müssten aber aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten in einem umfassenden Sinn bezüglich der Taxonomie ebenfalls berücksichtigt werden.

Verzeichnisse

Abkürzungen

| | | |
|---|---|--|
| AkEnd Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte | HAW high-active waste – s. auch HLW | SDAG Wismut Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft Wismut |
| AKS Arbeitskreis Szenarienentwicklung | HI Human Intrusion | SEWD Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter |
| ALARA as low as reasonably achievable | HLW high-level waste – oft auch als HAW bezeichnet | SMA schwach- und mittelradioaktive Abfälle |
| BASE Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung | IAEA International Atomic Energy Agency | SMR Small Modular Reactors |
| BfS Bundesamt für Strahlenschutz | ICRP International Commission on Radiological Protection | StandAG Standortauswahlgesetz |
| BMK Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Republik Österreich) | ILW intermediate-level waste | StrlSchV Strahlenschutzverordnung |
| BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit | INRAG International Risk Assessment Group | TEG Technical Expert Group on Sustainable Finance |
| BMUB Bundesministerium für Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit | ISL in situ leaching | TSC Technical Screening Criteria |
| CCPNM Convention on the Physical Protection of Nuclear Material | JRC Joint Research Centre | TWh Terrawattstunde |
| CO₂ Kohlenstoffdioxid | KKW Kernkraftwerke | UBA Umweltbundesamt |
| CSS Carbon Capture & Storage | KOM EU-Kommission | UCF unit capability factor |
| DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft | kWh Kilowattstunde | UN United Nations |
| DGR Deep Geological Repository | LCA life cycle assessment | UVP Umweltverträglichkeitsprüfung |
| DNSH do no significant harm | LLW low-level waste | VLLW very low-level waste |
| EAF energy availability factor (Energieverfügbarkeitsfaktor) | mSv Millisievert | W&T Wissenschaft und Technik |
| EU Europäische Union | MTO Mensch-Technik-Organisation | WAA Wiederaufarbeitungsanlage |
| EURAD European Joint Programme on Radioactive Waste Management | MWe Megawatt elektrisch | WENRA Western European Nuclear Regulators Association |
| Gen I, II, III Generationen der Kernkraftwerke | NEA Nuclear Energy Agency | |
| GRS Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit | NGO Non-Governmental Organisation | |
| | OECD Organisation for Economic Co-operation and Development | |
| | OECD-NEA Organisation for Economic Co-operation and Development – Nuclear Energy Agency | |
| | P&T Partitioning und Transmutation | |

Literatur / Quellen

A

Abdelouas, 2006

Abdelouas, A. (2006): Uranium mill tailings: geochemistry, mineralogy, and environmental impact. *Elements* 2.6 (2006): pp. 335–341.

Abu-Qare und Abou-Donia, 2002

Abu-Qare, A. W. und Abou-Donia, M. B. (2002). Depleted uranium—the growing concern. *Journal of Applied Toxicology: An International Journal*, 22(3), 149–152. DOI: 10.1002/jat.841.

AkEnd, 2002

Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlungen des AkEnd, Köln, 2002.

AKS, 2008

Arbeitskreis Szenarienentwicklung (AKS): Position of the Working Group on „Scenario Development“: Handling of human intrusion into a repository for radioactive waste in deep geological formations, Working Group on „Scenario Development“, atw 53. Jg. (2008), Heft 8/9 – August/September, 2008.

Akleyev et al., 2017

Akleyev, A. V., Krestiniana, L., Degteva, M. O. und Tolstykh, E. I. (2017): Consequences of the radiation accident at the Mayak production association in 1957 (the ‚Kyshtym Accident‘), *Journal of Radiological Protection*, 37, S. R19–R42, URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/aa7f8d/pdf>, letzter Zugriff: 06.05.2021.

Andel und Pribán, 1996

Andel, P. und Pribán, V. (1996): Environmental restoration of uranium mines and mills in the Czech Republic. In: Planning for environmental restoration of radioactively contaminated sites in central and eastern Europe, Vol.1: Identification and characterization of contaminated sites, IAEA-TECDOC-865, S. 113–135.

Arnold, 2014

Arnold, C. (2014): Once Upon a Mine: The Legacy of Uranium on the Navajo Nation. *Environ Health Perspective*, 122 (2): A44–A49. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.122-A44>

ASN, 2020

Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (2020): Rapport de L'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2019, Mai 2020, URL: <https://www.asn.fr/Informer/Publications/Rapports-de-l-ASN/La-surete-nucleaire-et-la-radio-protection-en-France-en-2019>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Ashley et al., 2017

Ashley, S. F., Vaughan, G. J., Nuttall, W. J., Thomas, P. J. und Higgins, N. A. (2017): Predicting the cost of the consequences of a large nuclear accident in the UK. *Process Safety and Environmental Protection*, 112, pp. 96–113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.032>.

B

BASE, 2019a

Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) (2019): Unsere Forschungsstrategie, Berlin.

BASE, 2019b

Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) (2019): Unsere Forschungsagenda, Berlin.

BASE, 2021

Pistner, C., Englert, M., Küppers, C., von Hirschhausen, C., Wealer, B., Steigerwald, B. und Donderer, R. (2021): Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung einer Anwendung von SMR-Konzepten (Small Modular Reactors), Wissenschaftliches Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), März 2021, urn:nbn:de:0221-2021030826028, URL: <https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/gutachten-small-modular-reactors.html>, letzter Zugriff: 25.05.2021.

Betti, 2003

Betti, M. (2003): Civil use of depleted uranium. *Journal of environmental radioactivity*, 64(2-3), 113–119. DOI: 10.1016/S0265-931X(02)00042-5.

BfS, 2005

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2005): Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Salzgitter, August 2005.

BfS, 2012

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2012): Endbericht zum Vorhaben FKZ: 3609S50002; Vergleichende Betrachtung der probabilistischen/stochastischen und deterministischen Modellierung von Expositionen im Hinblick auf die Belastbarkeit des Modellergebnisses und die Anforderungen an die Qualität der Eingangsdaten; BS-Projekt-Nr. 0903-01 (2012), Salzgitter.

BfS, 2021

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2021): Grenzwerte im Strahlenschutz, URL: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte_node.html, letzter Zugriff: 30.04.21.

BMK, 2020

Stagl, S. (2020): Die Taxonomie-Verordnung und Kernenergie unter Berücksichtigung der DNSH-Kriterien: eine Literaturstudie, im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), 2020, GZ 2020-0.417.529

BMU, 2012

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012): Grundsatzpapier zum Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter nach § 7 Abs. 2 Nr. 5 bzw. § 6 Abs. 2 Nr. 4 AtG, Bonn, August 2012.

BMU, 2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2015): Report on the cost and financing of the disposal of spent fuel and radioactive waste, August 2015.

BMU, 2020

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020): Report of the Federal Government for the Seventh Review Meeting in May 2021 on the fulfilment of the obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), August 2020.

BMUB, 2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015): Änderung der Bekanntmachung der Interpretation zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 22. November 2012 vom 03. März 2015. In: BANz, AT 30.03.2015 B3.

Bockisch et al., 2009

Bockisch, A., Gründwald, F. und Kotzerke, J. (2009): Radionuklidengpass: Ursachen und Lehren, *Nuklearmedizin* 2009; 48:55–57.

BOKU, 2021

Institut für Sicherheits- und Risikowissenschaften Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien (2021): Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung von Konzepten zu Partitionierungs- und Transmutationsanlagen für hochradioaktive Abfälle, Vorhaben 4720F50501, Wissenschaftliches Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), urn:nbn:de:0221-2021030826033, März 2021.

Bromet und Havenaar, 2007

Bromet, E. J. und Havenaar, J. M. (2007): Psychological and perceived health effects of the Chernobyl disaster: a 20-year review. *Health Phys.* 2007; 93:516–521.

Brugge et al., 2007

Brugge, D., de Lemos, J. L. und Bui, C. (2007): The Sequoyah Corporation Fuels Release and the Church Rock Spill: Unpublicized Nuclear Releases in American Indian Communities. *American Journal of Public Health.* 97 (9): 1595–1600. DOI:10.2105/AJPH.2006.103044.

BSU, 2015

Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung (BSU) (2015): Schwere Seeunfall, Brand auf dem ConRo-Frachtschiff ATLANTIC CARTIER am 1. Mai 2013 im Hamburger Hafen, Untersuchungsbericht 99/13, URL: http://www.bsu-bund.de/SharedDocs/pdf/DE/Unfallberichte/2015/UBericht_99_13.pdf?__blob=publicationFile, letzter Zugriff: 06.05.2021.

Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, 2013

Schriftliche Kleine Anfrage, Betr.: Auch Hexafluorid und Munition unter den Gefahrstoffen auf der brennenden Atlantic Cartier. Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, 20. Wahlperiode, Drucksache 20/8078 vom 28.05.2013, URL: https://www.buergerschaft-hh.de/partdok/dokument/40796/brand_auf_der_atlantic_cartier.pdf, letzter Zugriff: 27.05.2021.

C

Capros et al., 2018

Capros, P., Kannavou, M., Evangelopoulou, S., Petropoulos, A., Siskos P., Tasios, N., Zazias, G. und DeVita, A. (2018): Outlook of the EU energy system up to 2050: The case of scenarios prepared for European Commission's „clean energy for all Europeans“ package using the PRIMES model, Energy Strategy Reviews, Volume 22, S. 255–263, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211467X18300907>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Chartier, 2019

Chartier, F. (2019): Internationale Endlagerprojekte im Vergleich, Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET). In: Mining Report Glückauf 155 (2019) No. 5, 2019, Aachen.

CLEW, 2021

Clean Energy Wire (CLEW) (2021): Journalism for the energy transition. URL: www.cleanenergywire.org, letzter Zugriff: 04.05.2021.

Croff et al., 2000

Croff, A. G., Hightower, J. R., Lee, D. W., Michaels, G. E., Ranek, N. L. und Trabalka, J. R. (2000): Assessment of preferred depleted uranium disposal forms (No. ORNL/TM-2000/161). Oak Ridge National Lab., TN (US). DOI: <https://doi.org/10.2172/763230>.

D

DAEF, 2016

Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF) (2016): Kurzstellungnahme zur Veröffentlichung „Deformation-assisted fluid percolation in rock salt“ (2016). In: Science, 30. November 2015.

Deutscher Bundestag, 1990

Deutscher Bundestag (1990): 11. Wahlperiode, Drucksache 11/7537, Wiederaufbereitung deutscher atomarer Abfälle im Ausland, Antwort der Bundesregierung auf die Große Anfrage des Abgeordneten Dr. Daniels (Regensburg) und der Fraktion DIE GRÜNEN, 04.07.1990, URL: <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/11/075/1107537.pdf>, letzter Zugriff: 06.05.2021.

Deutscher Bundestag, 2017

Deutscher Bundestag (2017): 18. Wahlperiode, Drucksache 18/11398, Gesetzesentwurf der Fraktionen CDU/CSU, SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze, 07.03.2017, URL: <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/113/1811398.pdf>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

DFG, 2019

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (2019): Guidelines for Safeguarding Good Research Practice. Code of Conduct. September 2019, URL: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3923602>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

DIIS, 2021

Danish Institute for International Studies (DIIS); Global Governance, URL: <https://www.diis.dk/en/projects/governing-uranium>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

DIIS, 2015

Danish Institute for International Studies (DIIS) (2015) (Vestergaard, C., 2015): Governing uranium globally. DIIS Report 2015:09.

DoReMi, 2016

DoReMi (2016): Low Dose Research towards Multidisciplinary Integration. Final Publishable Summary Report (1 January 2010–31 December 2015), März 2016.

DTU, 2009

Danmarks Tekniske Universitet (DTU) (2009): Acceptance criteria in Denmark and the EU; Nijs Jan Duijm; Danmarks Tekniske Universitet Institut for Plantægning Innovation og Ledelse; Environmental Project No. 1269 (2009).

E

EC-JRC, 2014

European Commission – Joint Research Centre – PSC/Communication (EC-JRC) (2014): Management of spent nuclear fuel and its waste; Luxembourg, Halle (Saale): Publications Office of the European Union; EASAC Secretariat Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (JRC reference report, no. 23), URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:3:2-63689>, letzter Zugriff: 27.09.2021.

Eisenbart, 2012

Eisenbart, C. (2012): Die Singuläre Waffe. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

ESCIS, 1996

Einführung in die Risikoanalyse Systematik und Methoden; Expertenkommission für Sicherheit in der Chemischen Industrie der Schweiz (ESCIS) (1996–03), URL: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000354635>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Ethikkommission, 2011

Ethikkommission (2011): Deutschlands Energiewende – Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft. Ethikkommission Sichere Energieversorgung im Auftrag der Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel, Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 30.05.2011.

EU, 2008

Special Eurobarometer 297: Attitudes towards radioactive waste, URL: https://data.europa.eu/data/datasets/s681_69_1_ebs297?locale=en, letzter Zugriff: 18.05.2021.

EU, 2019

Europeans' attitudes on EU energy policy, URL: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2238>, letzter Zugriff: 18.05.2021.

EC, 2019

Europäische Kommission (EC) (2019): Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Energy prices and costs in Europe, COM(2019) 1, URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/epc_report_final_1.pdf, letzter Zugriff: 27.05.2021.

F

Frieß et al., 2021

Frieß, F., Arnold, N., Liebert, W., Müllner, N., Tweer, I. und Gufler, K. (2021): Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung von Konzepten zu Partitionierungs- und Transmutationsanlagen für hochradioaktive Abfälle. Wissenschaftliches Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), März 2021, urn:nbn:de:0221-2021030826028, URL: <https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/gutachten-partitionierung-und-transmutation.html>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

G

Gorman und Dzombak, 2018

Gorman M. R. und Dzombak, D. A. (2018): A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. Resources, Conservation and Recycling, 137, 281–291, URL: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

GRS, 2004

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) (2004): Die Klassifizierung radioaktiver Abfälle hinsichtlich der Endlagerung, GRS – 203, 2004.

GRS, 2009

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) (2009): Entwicklungen im Bereich von Regeln und Richtlinien im Hinblick auf Sicherheitsanforderungen bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen, GRS-A-3471, August 2009.

GRS, 2018

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) (2018): Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein Endlager in flach lagernden Salzformationen, Ergebnisse aus dem Vorhaben KOSINA, GRS – 495, 2018.

GRS, 2020

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) (2020): Bewertung der Abhängigkeiten zwischen dem sicheren Bau und Betrieb eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle und der Langzeitsicherheit. Synthese der Ergebnisse aus dem Vorhaben BASEL. GRS-617, 2020.

H

Hasegawa et al., 2015

Hasegawa A, Tanigawa K, Ohtsuru A, Yabe H, Maeda M. et al. (2015): From Hiroshima and Nagasaki to Fukushima – Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. The Lancet, Volume 386, Issue 9992, 1–7 August 2015, pp. 479–488, URL: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(15\)61106-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(15)61106-0/fulltext). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)61106-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)61106-0)

Hayakawa, 2016

Hayakawa, M. (2016): Increase in disaster-related deaths: risks and social impacts of evacuation. Annals of the ICRP, Volume 45, Issue 2_suppl, December 2016, pp. 123–128. DOI: 10.1177/0146645316666707. Epub 2016 Oct 4. PMID: 27703057.

Hirschberg et al., 2016

Hirschberg, S., Bauer, Ch., Burgherr, P., Cazzoli, E., Heck, T., Spada, M. und Treyer, K. (2016): Health effects of technologies for power generation: Contributions from normal operation, severe accidents and terrorist threat; Reliability Engineering and System Safety 145 (2016) 373–387.

Hoth et al., 2007

Hoth, P., Wirth, H., Reinhold, K., Bräuer, V., Krull, P. and Feldrappe, H. (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands – Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin/Hannover.

I

IAEA, 1997

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1997): Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Vienna, 1997.

IAEA, 1999

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1999): Survey of wet and dry spent fuel storage. IAEA-TECDOC-1100, Vienna, 1999.

IAEA, 2001

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2001): Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, IAEA, Vienna, 2001.

IAEA, 2009

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2009): Classification Of Radioactive Waste, General Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, Vienna, 2009.

IAEA, 2012

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012): The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste: Specific Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, IAEA, Vienna, 2012.

IAEA, 2014a

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014): Decommissioning of Facilities, General Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, Vienna, 2014.

IAEA, 2014b

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014): Radiation Protection and Safety of Radiation Source. GSR Part 3. IAEA, Vienna

IAEA, 2016a

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2016): Managing integration of post-closure safety and pre-closure activities in the Safety Case for Geological Disposal. Draft TECDOC, IAEA, Vienna, 2016.

IAEA, 2016b

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2016): GEOSAF II: Task Group on Operational Safety. Progress Report. IAEA, Vienna, 2016.

IAEA, 2017

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017): Selection of Technical Solutions for the Management of Radioactive Waste. TECDOC-1817. Vienna, 2017.

IAEA, 2018

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018): Lessons Learned from the Deferred Dismantling of Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Energy Series, NW-T-2.11, Vienna, 2018.

IAEA, 2019

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2019): Report of the integrated review-service for radioactive waste and spent fuel management, decommissioning and remediation (ARTEMIS), Mission to Germany, 22 september to 4 october 2019, URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/review-missions/final_artemis_report-germany.pdf, letzter Zugriff: 27.05.2021.

IAEA, 2020a

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020): Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050; Reference Data Series No. 1, IAEA, Vienna, 2020 Edition.

IAEA, 2020b

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020): Nuclear Power Reactors in the World, Reference Data Series No 2, IAEA, Vienna, 2020 Edition, URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-40_web.pdf, letzter Zugriff: 21.05.2021.

IAEA, 2020c

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020): Nuclear safety Review 2020, GC(64)/INF/3, September 2020, URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc64-inf3.pdf>, letzter Zugriff: 21.06.2021

IAEA, 2021

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021): Power Reactor Information System (PRIS), The Database on Nuclear Power Reactors, URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>, letzter Zugriff: 07.05.2021

IAEA, 2017

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017): HIDRA – The International Project On Inadvertent Human Intrusion in the context of Disposal of RadioActive Waste, 2017.

IAEA/HIDRA Phase I 2013–2015

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013–2015): Human Intrusion in the Context of Disposal of Radioactive Waste (HIDRA), URL: <https://www.iaea.org/topics/disposal/human-intrusion-in-the-context-of-disposal-of-radioactive-waste-hidra>, letzter Zugriff: 21.05.2021.

IAEA/HIDRA Phase II 2016–2018

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2016–2018): Intrusion in the Context of Disposal of Radioactive Waste (HIDRA), URL: <https://www.iaea.org/topics/disposal/human-intrusion-in-the-context-of-disposal-of-radioactive-waste-hidra>, letzter Zugriff: 21.05.2021.

ICRP, 2006

International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2006): Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP Publication 101a. Ann. ICRP 36 (3).

ICRP, 2007

International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2007): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).

ICRP, 2013

International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2013): Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3), 2013.

IGSC, 2008

Integration Group for the Safety Case (IGSC) (2008): Summary record of the topical session of 10th Meeting of the IGSC: Balancing Operational and Long-Term Safety Considerations. OECD Nuclear Energy Agency, Paris, 2008.

IGD-TP, 2020

Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform (IGD-TP) (2020): Vision 2040 – Strategic Research Agenda, IGD-TP 2020. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4059860>. Letzter Zugriff: 27.05.2021

INRAG, 2021

International Nuclear Risk Assessment Group (INRAG) (2021): Risiken von Laufzeitverlängerungen alter Atomkraftwerke, April 2021, Revision 4.

J

JRC, 2014

European commission – Joint Research Centre (JRC) – PSC/Communication (2014): Management of spent nuclear fuel and its waste. Luxembourg, Halle (Saale): Publications Office of the European Union; EASAC Secretariat Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (JRC reference report, no. 23), URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:3:2-63689>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

K

Kirchner et al., 2015

Kirchner, G., Englert, M., Pistner, C., Kallenbach-Herbert, B. und Neles, J. (2015): Gutachten „Transmutation“. Hg. v. Öko-Institut e. V., URL: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/gutachten-transmutation>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Knutson, 2021

Knutson, J.: Church Rock Uranium Mine Disaster. 21st Century Skills Library: Unnatural Disasters: Human Error, Design Flaws, and Bad Decisions.

KOM, 2015

Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (2015), Arbeitsgruppe 3: Unterlage der Niedersächsischen Landesregierung zum Themenkomplex „Naturwissenschaftliche Kriterien“ vom 11. Mai 2015, K-Drs./AG3–22, 2015.

KOM, 2016

Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe gemäß § 3 Standortauswahlgesetz (2016): Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe, URL: https://www.bundestag.de/resource/blob/434430/bb37b21b8e1e7e049ace5db6b2f949b2/drs_268-data.pdf, letzter Zugriff: 27.05.2021

KTA, 2017a

Kerntechnischer Ausschuss (KTA) (2017): Altersmanagement in Kernkraftwerken. Sicherheitstechnische Regel des KTA. KTA 1403. Fassung: 2017–11.

KTA, 2017b

Kerntechnischer Ausschuss (KTA) (2017): Integriertes Managementsystem zum sicheren Betrieb von Kernkraftwerken. Sicherheitstechnische Regel des KTA. KTA 1402. Fassung: 2017–11.

L

Lahiry, 2017

Lahiry, S. (2017): Can mining be sustainable? Two main pre-conditions for achieving sustainability are good governance and self-regulating mining enterprises, URL: <https://www.downtoearth.org.in/blog/mining/can-mining-be-sustainable--57683>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Lahoda und Franceschini, 2011

Lahoda, E. J. und Franceschini, F. (2011): Advanced Fuels for Future Light Water Reactors. Pittsburgh, PA Westinghouse Electric Company LLC, 2011.

Landesregierung Schleswig-Holstein, 2021a

Landesregierung Schleswig-Holstein (2021): Deponierung von freigegebenen Abfällen aus Kernkraftwerken. Land will Abfälle des KKW Brunsbüttel den Deponien Lübeck-Niemark und Johannistal zuweisen, URL: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/Presse/PI/2021/0121/210113_freigemessenerAbfall.html, letzter Zugriff: 05.05.2021.

Landesregierung Schleswig-Holstein, 2021b

Landesregierung Schleswig-Holstein (2021): Nächste Etappe beim Atomkraft-Rückbau, URL: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/_startseite/Artikel2021/I/210113_Deponien.html. Letzter Zugriff: 05.05.2021.

Lavrova und

Voitsekhovych, 2013

Lavrova, T. und Voitsekhovych, O. (2013): Radioecological assessment and remediation planning at the former uranium milling facilities at the Pridniпровsky Chemical Plant in Ukraine. Journal of Environmental Radioactivity, Volume 115, 2013, pp. 118–123, URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.06.011>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Le Monde diplomatique et al., 2019

Le Monde Diplomatique, Nuclear Free Future Foundation, Rosa Luxemburg Stiftung, Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (2019): Uranatlas – Daten und Fakten über den Rohstoff des Atomzeitalters. URL: www.rosalux.de/uranatlas, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Lenzen, 2008

Lenzen, M. (2008): Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review, Energy Conversion and Management 49, 2008, pp. 2178–2199.

LLW, 2011

LLW Repository Limited: The 2011 Environmental Safety Case – Assessment of Long-term radiological Impacts, URL: <https://web.archive.nationalarchives.gov.uk/20170412104738/http://llwrsite.com/wp-content/uploads/2016/03/L2-LLWR-ESC-R-11-10028-Assessment-of-Long-Term-Radiological-Impacts-MASTER-April-2011.pdf>, letzter Zugriff: 18.05.2021.

M

Maeda und Oe, 2017

Maeda, M. und Oe, M. (2017): Mental Health Consequences and Social Issues After the Fukushima Disaster. *Asia Pacific Journal of Public Health*, Volume 29, Issue 2, March 2017, pp. 36S-46S. DOI: <https://doi.org/10.1177/1010539516689695>

Mark, 1993

Mark, J. C. (1993): Explosive Properties of Reactor Grade Plutonium. *Science and Global Security*, 4:111-128.

Molchanov et al., 1995

Molchanov, A., Soroka, Y., Isayeva, N. und Mordberg, E. (1995): The State of Environment on Former Site of In-Situ Leaching of Uranium. In: Slate, S., Baker, R., Benda, G. (Eds.): *Proceedings of the Fifth International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation, ICEM 1995, Vol. 2 - Management of Low-Level Waste and Remediation of Contaminated Sites and Facilities*, ASME, pp. 1507-1510.

Möller, 2009

Möller, D. (2009): Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik Deutschland: Administrativ-politische Entscheidungsprozesse zwischen Wirtschaftlichkeit und Sicherheit, zwischen nationaler und internationaler Lösung, Frankfurt a. M.

Möller, 2016

Möller, D. (2016): Zur Geschichte des Endlagers Asse II (1964-2009) und ihrer heutigen Relevanz. In: Hocke, P. und Bechthold, E., Kuppler, S. (Hg.) (2016): *Rückholung der Nuklearabfälle aus dem früheren Forschungsbergwerk Asse II. Dokumentation einer Vortragsreihe am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) (mit Beiträgen von Detlev Möller, Beate Kallenbach-Herbert, Silvia Stumpf, Volker Metz)*. KIT Scientific Working Papers Nr. 47, S. 9-24, Karlsruhe, 2016.

N

NABU, 2021

Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e. V. (2021): *Sustainable Finance Introduction to the EU Taxonomy on Biodiversity and Ecosystems; Report on Behalf of Naturschutzbund Deutschland e. V.*, April 2021.

NAGRA, 2002

NAGRA – National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Hg.) (2002): *Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis)*. NAGRA – National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (TECHNICAL REPORT, 02-05).

NAS, 1995

National Academy of Sciences (NAS) (1995): *Technical bases for Yucca Mountain standards*. Committee on technical bases for Yucca Mountain standards, board on radioactive waste management, commission on geosciences, environment, and resources, national research council. National Academy Press. Washington D.C., 1995.

NUREG, 1997

Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts; NUREG/CR-6372 UCRL-ID-122160 Vol. 1; (1997).

O

OECD, 1995

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) (1995): *The Environmental and Ethical Basis of the Geological Disposal of Long-lived Radioactive Waste, Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee*, OECD, 1995.

OECD, 2011a

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) (2011): *The Supply of Medical Radioisotopes: The Path to Reliability*, OECD 2011, NEA Nr. 6985.

OECD, 2011

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) (2011): *Radioactive Waste Management Programmes in OECD/NEA Member Countries (United States, 2011)*, URL: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_33786/radioactive-waste-management-programmes-in-oecd/nea-member-countries-united-states, letzter Zugriff: 27.05.2021.

OECD, 2012

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) (2012): *Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste*. NEA Nr. 6923.

OECD, 2014

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) (2014): *Foundations and Guiding Principles for the Preservation of Records, Knowledge and Memory Across Generations: A Focus on the Post-closure Phase of Geological Repositories – A Collective Statement of the NEA Radioactive Waste Management Committee (RWMC)*, URL: www.oecd-nea.org/rwm/rkm/documents/flyer-A4-rkm-collective-statement-en-2014.pdf, letzter Zugriff: 27.05.2021.

OECD, 2019

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/ Nuclear Energy Agency (OECD/ NEA) (2019): *Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations – Final Report of the RK&M Initiative*, NEA Nr. 7421, URL: <https://www.oecd.org/publications/preservation-of-records-knowledge-and-memory-rk-m-across-generations-50292bbb-en.htm>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

OECD und IAEA, 2020

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/ Nuclear Energy Agency (OECD/ NEA) und International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020): *Uranium 2020, Resources, Production and Demand*, NEA Nr. 7551, URL: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_52716/world-s-uranium-resources-enough-for-the-foreseeable-future-say-nea-and-iaea-in-new-report; letzter Zugriff: 18.05.2021.

OECD/ NEA, 2016

Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/ Nuclear Energy Agency (NEA) (2016): *Joint NEA/IAEA workshop on operational safety of geological repositories*. Synopsis. NEA draft document, Paris 29.06. – 01.07.2016.

Öko, 2015

Öko-Institut und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) (2015): *Strategische Umweltprüfung zum Nationalen Entsorgungsprogramm, Umweltbericht für die Öffentlichkeitsbeteiligung*, Darmstadt/Köln, 2015.

P

Pistner et al., 2021

Pistner, C., Englert, M., Küppers, C., von Hirschhausen, C., Wealer, B., Steigerwald, B. und Donderer, R. (2021): *Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung einer Anwendung von SMR-Konzepten (Small Modular Reactors)*, Wissenschaftliches Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), März 2021, urn:nbn:de:0221-2021030826028, URL: <https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/gutachten-small-modular-reactors.html>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Poinssot et al., 2014

Poinssot, C., Bourg, S., Ouvrier, N., Combernoux, N., Rostaing, C., Vargas-Gonzalez, M. und Bruno, J. (2014): *Assessment of the environmental footprint of nuclear energy systems [4-2]. Comparison between closed and open fuel cycles*, *Energy* 69 (2014) 199-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.069>.

Priest, 2001

Priest, N. D. (2001): *Toxicity of depleted uranium*. *The Lancet*, 357 (9252), 244-246. DOI: [10.1016/S0140-6736\(00\)03605-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03605-9).

R

RSH, 1979

Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH) (1979): Genehmigungsvoraussetzungen für die Zwischenlagerung von abgereichertem bzw. natürlichem und angereichertem Uran in Form von Uranhexafluorid (UF₆), vom 15.02.1979, Kap 3–18, URL: https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/rsh/3-bmub/3_11.html, letzter Zugriff: 27.05.2021.

RSH, 1997a

Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH) (1997) Sicherheitsanforderungen für Kernbrennstoffversorgungsanlagen, Teil II Sicherheitsanforderungen für die Herstellung von Leichtwasserreaktorbrennelementen mit niedrig angereichertem Uran, April 1997, Kap. 3–11, S.25, URL: https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/rsh/3-bmub/3_11.html, letzter Zugriff: 27.05.2021.

RSH, 1997b

Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH) (1997): Sicherheitsanforderungen für Kernbrennstoffversorgungsanlagen, Teil III, Sicherheitsanforderungen für die Herstellung von Uran/Plutonium-Mischoxidbrennelementen, April 1997, Kap. 3–11 S.36, URL: https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/rsh/3-bmub/3_11.html, letzter Zugriff: 27.05.2021.

RSH, 2004

Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH) (2004): Sicherheitsanforderungen für Kernbrennstoffversorgungsanlagen, Teil I Sicherheitsanforderungen für Urananreicherungsanlagen nach dem Gasultrazentrifugenprinzip, Revision Juni 2004, Kap. 3–11, URL: https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/rsh/3-bmub/3_11.html, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Rübel, 2019

Rübel, A. (2019): Projekt Konrad – Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜSiKo), Überprüfung der sicherheitsrelevanten Anforderungen zur Langzeitsicherheit, Kritikalität in der Nachbetriebsphase und thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins, Abschlussbericht zur Phase 1: Ermittlung des Überprüfungsbedarfs. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), AF-Consult Switzerland Ltd. und DMT GmbH & Co. KG.

S

Schwenk-Ferrero, 2013

Schwenk-Ferrero, A. (2013): German Spent Nuclear Fuel Legacy: Characteristics and High-Level Waste Management Issues. In: Science and Technology of Nuclear Installations 2013 (1), S. 1–11. DOI: 10.1155/2013/293792

Schweriner Volkszeitung, 2013

Schweriner Volkszeitung (2013): „Atomfrachter kollidiert auf der Ostsee“, vom 26.10.2013, URL: <https://www.svz.de/regionales/mecklenburg-vorpommern/atomfrachter-kollidiert-auf-der-ostsee-id5106816.html>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

Seitz et al., 2016

Seitz, R., Kumano, Y., Bailey, L., Markley, C., Andersson, E. und Beuth, T. (2016): Role of Human Intrusion in Decision-Making for Radioactive Waste Disposal – Results of the IAEA HIDRA Project – 16287. WM2016: 42 Annual Waste Management Symposium, March 6–10, 2016, Phoenix, Arizona USA, 2016.

Shigemura et al., 2020

Shigemura, J., Terayama, T., Kurosawa, M., Kobayashi, Y., Toda, H., Nagamine, M. und Yoshino, A. (2020): Mental health consequences for survivors of the 2011 Fukushima nuclear disaster: a systematic review. Part 1: psychological consequences. CNS Spectrums, Volume 26, Issue 1, February 2021, pp.14–29. DOI: 10.1017/S1092852920000164. Epub 2020 März 2020. PMID: 32192553.

SKB, 2011

Svensk Kärnbränslehantering (2011): Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, Main report of the SR-Site project, Volume I, Svensk Kärnbränslehantering AB, März 2011

SLOV, 2017

Slowakische Republik (SLOV) (2017): National Report of the Slovak Republic compiled in Terms of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radwaste Management.

SMR Regulators' Forum, 2018

SMR Regulators' Forum (2018): SMR Regulators' Forum Pilot Project Report: Considering the Application of a Graded Approach, Defence-in-Depth and Emergency Planning Zone Size for Small Modular Reactors, Januar 2018, URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/01/smr-rf-report-no-appendixes-150118.pdf>, letzter Zugriff: 21.06.2021

SMR Regulators' Forum, 2019

SMR Regulators' Forum (2019). Small Modular Reactors Regulators' Forum: Design and Safety Analysis Working Group, Report on Multi-unit/Multi-module aspects specific to SMRs, Interim Report, 15 December 2019, URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/19/12/smr_rf_dsa_interim_report.pdf, letzter Zugriff: 21.06.2021

Sovacool et al., 2015

Sovacool, B. K., Kryman, M. und Laine, E. (2015): Profiling technological failure and disaster in the energy sector: A comparative analysis of historical energy accidents. Energy, 90, pp. 2016–2027. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.043

Sovacool et al, 2016

Sovacool, B. K., Andersen, R., Sorensen, S., Sorensen, K., Tienda, V., Vainorius, A., Schirach, O. M. und Bjørn-Thygesen, F. (2016): Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems, Journal of Cleaner Production 112 (2016) 3952–3965. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.059>

SRIC, 2007

Southwest Research and Information Center (SRIC) (2007): Report of the Church Rock uranium monitoring project 2003–2007, URL: www.sric.org/uranium/docs/CRUMPreportSummary.pdf, letzter Zugriff: 27.05.2021.

SSK, 2015

SSK-Empfehlung „Weiterentwicklung des Notfallschutzes durch Umsetzen der Erfahrungen aus Fukushima“, Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Verabschiedet in der 274. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 19./20.02.2015, URL: https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2015/Weiterentwicklung_Notfallschutz_nachFukushima.pdf?__blob=publicationFile, letzter Zugriff: 21.05.2021

SSM, 2009

Swedish Radiation Safety Authority (SSM) (2009): Regulatory Code, SSMFS 2008:37, The Swedish Radiation Safety Authority's Regulations and General Advice Concerning the Protection of Human Health and the Environment in Connection with the Final Management of Spent Nuclear Fuel and Nuclear Waste, 2009.

Stagl, 2020

Stagl, S. (2020): Die Taxonomie-Verordnung und Kernenergie unter Berücksichtigung der DNSH-Kriterien: eine Literaturstudie. Österreichisches Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. GZ 2020–0.417.529.

Stamford und Azapagic, 2012

Stamford, L. und Azapagic, A. (2012): Life cycle sustainability assessment of electricity options for the UK. Int. J. Energy Res. 2012, 36, 1263–1290.

STUK, 2014

Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) (2014):, Guide YVL D.5, Disposal of Nuclear Waste, 2014.

T

TEG, 2019

EU Technical Expert Group on Sustainable Finance (TEG): Taxonomy Technical Report, Juni 2019.

TEG, 2020a

Technical Expert Group on Sustainable Finance (TEG) (2020): Technical report: Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance, März 2020.

TEG, 2020b

Technical Expert Group on Sustainable Finance (TEG): Taxonomy report: Technical Annex, Updated methodology & Updated Technical Screening criteria, März 2020.

Tyson, 2020

Tyson, R. (2020): Sustainable mining – do we have consensus on what it really means?
URL: <https://www.mining.com/sustainable-mining-do-we-have-consensus-on-what-it-really-means/>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

U

UN, 2015

United Nations (UN) (2015): Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. 2015. New York.

Uranium Mining

Industry Info, 2021

Uranium Mining Industry Info (2021): Uranium Deposit, Mine, and Mill Site Info, URL: <https://www.wise-uranium.org/indexu.html#UMMSTAT>, letzter Zugriff: 27.05.2021.

URENCO, 2021

URENCO (2021): The Energy to Succeed, URL: <https://www.urencocom/>, letzter Zugriff: 03.05.2021.

US DoE, 1994

US DoE (1994): Additional Information concerning underground nuclear weapon test of reactor-grade plutonium. US Department of Energy, Office of the Press Secretary.

W

WENRA, 2010

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) (2010): Safety objectives for new nuclear power plants.

WENRA, 2014

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) (2014): Reactor Harmonisation Working Group Report: WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors, Update in relation to lessons learned from TEPCO Fukushima Daiichi accident, September 2014.

WISE, 2015

Word Information Service on Energy Uranium Project (WISE) (2015): Impact of Uranium In-Situ Leaching, URL: <https://www.wise-uranium.org/uisl.html#IMPACTS>, letzter Zugriff: 11.05.2021.

WNA, 2011

World Nuclear Association (WNA) (2011): Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources, Juli 2011, URL: http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf, letzter Zugriff: 27.05.2021.

WNI, 2019

World Nuclear Industry (WNI) (2020): Status Report. Edition 2019.

WNI, 2020

World Nuclear Industry (WNI) (2020): Status Report. Edition 2020.

EU-Taxonomie /
Anhang zur Fachstellungnahme
von BASE und BfS
zum JRC-Bericht
**Tabellarische Auswertung
des JRC-Berichts**

*Die in der tabellarischen Auswertung des
JRC-Berichts angegebenen Seitenzahlen
beziehen sich auf die im März 2021 vom
JRC veröffentlichte Fassung.*

Allgemein

Nr. 1

Fundstelle:

Gesamter Bericht (Fokus auf geologische Lagerung von radioaktivem Abfall)

Bezugstext:

Gesamter Bericht

Wissenschaftliche Prüfung:

Im TEG-Bericht wird der Mangel an langfristigen empirischen In-situ-Daten und Beweisen als Hauptgrund dafür angeführt, dass keine solide DNSH-Analyse für die Kernenergie durchgeführt wurde. Die TEG empfahl daher nicht, die Kernenergie in die Taxonomie aufzunehmen, und schlug vor, dass eine Gruppe von Fachleuten auf diesem Gebiet umfassendere technische Prüfungen durchführen sollte.

Die Bewertung der DNSH-Kriterien in der EU-Taxonomie soll laut JRC-Bericht für die Entsorgung radioaktiver Abfälle anhand von Safety Cases (insbesondere der Sicherheitsbewertungen), fortgeschrittener europäischer Programme (für radiologische Auswirkungen) und der UVP (für nicht-radiologische, erhebliche Umweltauswirkungen) erfolgen.

Dieser methodische Ansatz ist zwar grundsätzlich geeignet, wird jedoch nicht ausreichend hervorgehoben und auch nicht in seinen Konsequenzen diskutiert. Insbesondere wird im JRC-Bericht ein Endlager als sicher definiert, sobald alle Regeln und Richtlinien berücksichtigt worden sind. Es wird jedoch nicht die Möglichkeit diskutiert, dass derartige Regeln auch unvollkommen sein können oder nicht eingehalten werden. Auf die mit der Implementierung und Langzeitentwicklung verbundenen Ungewissheiten wird nicht eingegangen.

In dieser Tabelle werden außerdem einige kritische Kommentare in Bezug auf spezifische Aspekte der Implementierung dieser Strategie gemacht.

Nr. 2

Fundstelle:

Gesamter Bericht

Bezugstext:

Gesamter Bericht

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Methode umfasst drei Schritte (siehe JRC-Bericht, Teil A 1.3.2):

1. Prüfung, ob eine Technologie (Nutzung von Kernenergie) „signifikant“ zum Klimaschutz beiträgt; nur wenn die Bewertung positiv ausfällt wird der 2. Schritt eingeleitet (andernfalls wird die Technologie nicht weiter betrachtet).
2. Lebenszyklusanalyse und Bewertung aller Elemente der Nutzung von Kernenergie dahingehend, ob eine mögliche Gefährdung der Nachhaltigkeitsziele (in Bezug auf die Ziele der Umwelt-Taxonomie) besteht. Anhand industrieller Standards (z. B. EU-Richtlinien, Stand von Wissenschaft und Technik oder Referenzdokumente) wird festgestellt, ob diese potentiellen Gefährdungen grundsätzlich vermieden oder abgemildert werden können. Wenn nicht, dann wird die Aktivität/der Prozess von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Andernfalls wird der nächste Schritt durchgeführt.
3. Wenn eine Aktivität oder ein Prozess aus dem vorherigen Schritt für geeignet befunden wurde, werden technische Prüfungskriterien (Technical Screening Criteria, TSC) entwickelt. Wenn diese Prüfungskriterien erfüllt sind, dann erfüllt die Aktivität/der Prozess per Definition auch die relevanten Kriterien und wird daher in die Taxonomie aufgenommen.

Die Analyse nach Schritt 1 und 2 (siehe JRC-Bericht, Teil A 3 und 4) wurde relativ detailliert ausgeführt. Die TSCs für die Nutzung von Kernenergie (Teil A 5) werden als „in Entwicklung“ bezeichnet (insbesondere für die Zwischen- und Endlagerung von radioaktivem Abfall) und wurden nicht als Bewertungskriterien herangezogen. Die vorgeschlagene Methode wurde demnach nicht vollständig angewandt. Der Bericht enthält daher keine verbindliche Empfehlung, ob die Energieerzeugung mittels Kernenergie in die Taxonomie aufgenommen werden sollte.

Es fällt auf, dass weder in Teil A 5, noch im gesamten restlichen Teil A, Schlussfolgerungen zu finden sind. In der Zusammenfassung des Berichts werden zwar Aussagen darüber gemacht, dass es "keine wissenschaftlichen Gründe" gibt, die Kernenergieerzeugung aus der Taxonomie auszuschließen, aber man findet keine abschließende Aussage darüber, ob die Technologie formell in die Taxonomie aufgenommen werden sollte.

Nr. 3

Fundstelle:

Gesamter Bericht

Bezugstext:

Gesamter Bericht

Wissenschaftliche Prüfung:

In der Ökobilanz wird ein wesentliches Augenmerk darauf gelegt, ob eine Aktivität Bedrohungen erzeugt, die verhindert/gemildert werden können oder nicht. In Anbetracht dessen ist es überraschend, dass Ereignisse mit potenziell extremen Folgen (Katastrophen), insbesondere im Kontext der geologischen Endlagerung, kaum berücksichtigt werden.

Lediglich fünf Seiten (JRC-Bericht, Teil A 3.5) sind der Diskussion der Auswirkungen von schweren Unfällen (mit Schwerpunkt auf den Betrieb von KKW) in einem nahezu 400 Seiten umfassenden Bericht gewidmet.

Abstract

/

Executive summary

Nr. 4

Fundstelle:

Executive summary, S. 11

Bezugstext:

The multi-barrier configuration of the repository prevents radioactive species from reaching the biosphere over the time span required. In the absence of releases of radioactive species to the accessible biosphere, there is neither radiological pollution nor degradation of healthy ecosystems, including water and marine environments.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Fragestellung ist zu stark vereinfachend. Begrenzte Radionuklidfreisetzungen in die Biosphäre durch natürliche Degradation des Multibarrierensystems über lange Zeiträume hinweg mit begrenzter Freisetzung von Radionukliden können nicht ausgeschlossen werden. Umso wichtiger ist es, dass die Sicherheitsbewertung des Endlagers überzeugend nachweist, dass diese Freisetzungen weit unter den gesetzlichen Grenzwerten liegen und kein inakzeptables Risiko für zukünftige Generationen darstellen.

Nr. 5

Fundstelle:

Executive summary, S. 7

Bezugstext:

- The protection of people and the environment in countries with nuclear installations relies on the existence of a solid regulatory framework [...]
- The EU and its Member States have developed and established a comprehensive regulatory framework to ensure the safety of nuclear installations [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Wichtig für die Festlegung des Maßstabs, s. lfd. Nr. 8.

Nr. 6

Fundstelle:

Executive summary, S. 7

Bezugstext:

- The analyses did not reveal any science-based evidence that nuclear energy does more harm to human health or to the environment than other electricity production technologies already included in the Taxonomy as activities supporting climate change mitigation.

Wissenschaftliche Prüfung:

Wichtig für die Festlegung des Maßstabs, s. lfd. Nr. 8.

Nr. 7

Fundstelle:

Executive summary, S. 8

Bezugstext:

- Related analyses demonstrate that appropriate measures to prevent the occurrence of the potentially harmful impacts or mitigate their consequences can be implemented using existing technology at reasonable costs.

Wissenschaftliche Prüfung:

Sofern das JRC hier auf die Ereignisse abzielt, die nach den Anforderungen der staatlichen Regelungen zu berücksichtigen sind, ist diese Aussage nachvollziehbar. Vgl. lfd. Nr. 5 und 6.

Für den Bereich der severe accidents ist dem nicht zuzustimmen, da dort sehr unwahrscheinliche Ereignisse mit sehr großen Schadensauswirkungen enthalten sind, deren Kosten sicher nicht „reasonable“ in diesem Sinne zu nennen sind. Auch hier gilt die allgemeine Anmerkung, dass eine einleitende Definition der zu berücksichtigenden Ereignisse die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit des Berichts deutlich verbessern würde.

Nr. 8

Fundstelle:

Executive summary, S. 8

Bezugstext:

- The radiological impact of nuclear energy lifecycle activities, including radioactive waste management and disposal, is regulated by law in the Member States, setting the maximum allowed releases and radioactivity exposure to the professionally exposed groups, to the public and to the environment. Respecting these limits, establishing the boundaries below which no significant harm is caused to human life and to the environment, is a precondition for any nuclear lifecycle activity to be authorized and is subsequently monitored by independent authorities.

Wissenschaftliche Prüfung:

Mit dieser Feststellung legt das JRC implizit seine Interpretation der DNSH-Kriterien dar.

Hiermit identifiziert das JRC die Stufe des DNSH entweder mit den staatlichen Regelungen oder hält durch diese die DNSH-Hürde für übererfüllt. Das JRC lehnt sich damit an die Ausführungen im TEG-Bericht an.

Die Erfüllung dieser Voraussetzung wird durch die Darlegungen in den vorherigen Grundsatzpunkten (hier lfd. Nr. 5/6) sichergestellt.

Damit sind de facto die DNSH-Kriterien erfüllt, wenn eine Aktivität ein entsprechendes staatliches Regelwerk erfüllt – also mithin genehmigt ist.

Insofern sei angemerkt, dass damit nicht ausgesagt wird, dass jedwede Aktivität im Bereich der Kernkraft die Kriterien a priori erfüllt, sondern dass es möglich ist, diese Kriterien durch entsprechende Nachweise im Rahmen von Genehmigungs- oder Zulassungsverfahren für die jeweilige Aktivität zu erreichen.

Neben den Ausführungen zur Taxonomie und dem Bericht der TEG (TEG, 2020a, b) sei hier z. B. auch die Diskussion zur Anwendung der Taxonomie in (NABU, 2021) erwähnt. In dieser Veröffentlichung wird anhand von Beispielen deutlich, dass insbesondere in Bezug auf die DNSH-Kriterien eine Bewertung im Einzelfall bezogen auf die Regelungen in Gesetzen etc. erfolgen muss, um bei prinzipiell nachhaltigen Aktivitäten die Einhaltung der DNSH-Kriterien nachzuweisen. Insofern wird die bereits getroffene Einschätzung, dass die technischen Bewertungskriterien analog bzw. identisch zu regulatorischen Anforderungen sind, auch außerhalb der TEG geteilt.

In (NABU, 2021) wird jedoch die prinzipielle Frage, ob bestimmte Klassen von Aktivitäten in einer Ausschlussliste in die Taxonomie aufgenommen werden sollten, ebenfalls aufgeworfen.

Quellen:

(TEG, 2020a,b), (NABU, 2021)

Nr. 9**Fundstelle:**

Executive Summary, S. 8–9

Bezugstext:

- An important outcome from the report is the demonstration of the development of appropriate Technical Screening Criteria (TSC) for nuclear energy-based electricity generation according to the approach practised by the TEG in their work. The TSC published here are preliminary proposals, illustrating that adequate criteria can be compiled to ensure that the application of nuclear energy does no significant harm to human health and the environment.

Wissenschaftliche Prüfung:

Vgl. Ausführungen zu lfd. Nr. 8.

Nr. 10**Fundstelle:**

Executive summary, S. 9

Bezugstext:

- The average annual exposure to a member of the public [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Es entspricht nicht dem aktuellen Stand im Strahlenschutz, bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen mittlere effektive Dosen pro Kopf der Bevölkerung anzugeben. Gemäß der aktuellen Empfehlungen der Internationalen

Strahlenschutzkommission (ICRP) ist die sogenannte „repräsentative Person“ im Sinne der ICRP zu betrachten, eine Einzelperson der Bevölkerung, die aufgrund ihrer Lebensgewohnheiten einer erhöhten Strahlenexposition ausgesetzt ist.

Quellen:

(ICRP, 2006), (ICRP, 2007)

Nr. 11

Fundstelle:

Executive summary, S. 9

Bezugstext:

- According to the LCIA (Life Cycle Impact Analysis) studies analysed in Chapter 3.4 of Part A [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Studien wurden in Kapitel 3.4 des JRC-Berichts nur kurz erwähnt, aber nicht im Detail analysiert

Nr. 12

Fundstelle:

Executive summary, S. 9–10

Bezugstext:

- With regard to public exposure in case of accidents, severe accident fatality rates and maximum consequences (fatalities) are compared in Figure 3.5–1 of Part A. The current Western Gen II NPPs have a very low fatality rate ($\approx 5 \cdot 10^{-7}$ fatalities/GWh). This value is much smaller than that characterizing any form of fossil fuel-based electricity production technology and comparable with hydro-power in OECD countries and wind power (only solar power has significantly lower fatality rate).

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier sei auf die Anmerkungen zu den Risikoindikatoren unter lfd. Nr. 128 dieser Tabelle hingewiesen, da hier lediglich die Todeszahlen bzw. Todesraten herangezogen werden.

Nr. 13

Fundstelle:

Executive summary, S. 10

Bezugstext:

- Severe accidents with core melt did happen in nuclear power plants and the public is well aware of the consequences of the three major accidents, namely Three Mile Island (1979, USA), Chernobyl (1986, Soviet Union) and Fukushima (2011, Japan). The NPPs involved in these accidents were of various types (PWR, RBMK and BWR) and the circumstances leading to these events were also very different. Severe accidents are events with extremely low probability but with potentially serious consequences and they cannot be ruled out with 100% certainty.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Feststellung ist entscheidend für die prinzipielle Frage, was der Bewertungsmaßstab des JRC für DNSH ist, vgl. lfd. Nr. 8. Das JRC hat den derzeitigen Bewertungsmaßstab dargelegt, in dem die severe accidents nicht enthalten sind. Im Hinblick auf das auch von der TEG angeführte Verursacherprinzip (vgl. lfd. Nr. 8) und die von der Taxonomie-Verordnung verlangte wissenschaftliche Prüfung unter Berücksichtigung der Ungewissheiten (vgl. dazu Erwägungsgrund (40) und Art. 19 Abs. 1 Buchst. f Taxonomie-Verordnung) ist dies nicht nachvollziehbar.

Nr. 14

Fundstelle:

Executive summary, S. 10

Bezugstext:

- The consequences of a severe accident at a nuclear power plant can be significant both for human health and the environment. Very conservative estimates of the maximum consequences of a hypothetical severe nuclear accident, in terms of the number of human fatalities, are presented in Chapter 3.5 of Part A and are compared with the maximum consequences of severe accidents for other electricity supply technologies.

Wissenschaftliche Prüfung:

Siehe lfd. Nr. 13.

Nr. 15

Fundstelle:

Executive summary, S. 10 sowie A 3.5, S. 178 und A 4.4, S. 188

Bezugstext:

Executive Summary und Abschnitt 3.5:

- While the number of human fatalities is an obvious indicator for characterising the maximum severity of accident consequences, nuclear accidents can lead to other serious direct and indirect impacts that might be more difficult to assess. Whereas the public is well aware of the devastating consequences on property and infrastructure, as well as on the natural environment, from historical cases of anthropogenic catastrophes, the disaster and risk aversion might be perceived somehow differently for nuclear related events. Evaluating the effects of such impacts is not in the scope of the present JRC report, although they are important for understanding the broader health implications of an accident.

Abschnitt 4.4:

It can therefore be concluded that all potentially harmful impacts of the various nuclear energy lifecycle phases on human health and the environment can be duly prevented or avoided. The nuclear energy-based electricity production and the associated activities in the whole nuclear fuel cycle (e. g. uranium mining, nuclear fuel fabrication, etc.) do not represent significant harm to any of the TEG objectives, provided that all specific industrial activities involved fulfil the related Technical Screening Criteria.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es bleibt unberücksichtigt, dass sich das Risikoprofil von Nuklearenergie und anderen industriellen Aktivitäten oder Formen der Energieerzeugung unterscheidet.

Wenn man z. B. Kennzahlen wie die durchschnittliche Letalität pro erzeugter TWh für Nuklearenergie und fossile Energieerzeugung vergleicht, muss in Rechnung gestellt werden, dass bei fossiler Energieerzeugung die letalen Auswirkungen praktisch kontinuierlich anfallen. Über den Beitrag fossiler Energieerzeugung zum Klimawandel hinaus gibt es dabei eine zusätzliche, in die Zukunft gerichtete Komponente. Hingegen kann es bei der Kernenergienutzung zu seltenen, aber gravierenden Ereignissen kommen. So sind nukleare Unfälle im Durchschnitt deutlich kostspieliger als Unfälle in anderen Technologiedomänen (Sovacool et.al., 2015).

Diese Tatsache wird zwar im Report an verschiedenen Stellen benannt (siehe linke Spalte, und auch in Abschnitt 3.5 auf S. 179 die Bemerkungen zu „disaster aversion“). Sie bleibt allerdings bei der Entwicklung von Screening-Kriterien explizit unberücksichtigt.

Quelle:

(Sovacool et.al., 2015)

Nr. 16

Fundstelle:

Executive summary, S. 10

Bezugstext:

- While the number of human fatalities is an obvious indicator for characterising the maximum severity of accident consequences, nuclear accidents can lead to other serious direct and indirect impacts that might be more difficult to assess. Whereas the public is well aware of the devastating consequences on property and infrastructure, as well as on the natural environment, from historical cases of anthropogenic catastrophes, the disaster and risk aversion might be perceived somehow differently for nuclear related events. Evaluating the effects of such impacts is not in the scope of the present JRC report, although they are important for understanding the broader health implications of an accident.

Wissenschaftliche Prüfung:

Siehe lfd. Nr. 13 und 14, sowie 15.

Ergänzend ist hier nochmals anzumerken, dass die JRC hier nochmals feststellt, dass die eigentlich zu entscheidende Frage, nämlich wie man mit den potentiell möglichen Schadensszenarien infolge von severe accidents umgehen will, im JRC-Bericht nicht abschließend berücksichtigt wird.

Nr. 17

Fundstelle:

Executive summary, S. 10–11

Bezugstext:

- The long-term potential impacts of radioactive waste relevant to the “do no significant harm” criteria, are of a radiological nature. Due to its potential to cause harm, radioactive waste and spent fuel must be managed aiming at radionuclide containment and isolation from the accessible biosphere for as long as the waste remains hazardous. The maximum radioactive dose limits to humans and to the environment due to waste management activities and disposal facilities are set by the relevant regulations.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Langzeitsicherheitsanalyse für ein Endlager wird für einen Zeitraum geführt, der vom Gesetzgeber vorgegeben wurde. In Deutschland beträgt dieser Zeitraum eine Millionen Jahre. Die Aussage, dass der Abfall nach Ablauf des Betrachtungszeitraums ungefährlich ist, kann nicht unterstützt werden. Die Radiotoxizität von hochaktivem Abfall ist in Abbildung 2.4–1 JRC-Bericht, Teil B ersichtlich. Es wird eine Radiotoxizität von 10^5 Sv per ton spent fuel zum Zeitraum von einer Millionen Jahren ausgewiesen.

Quelle:

JRC-Bericht, Abbildung B2–4.1

Nr. 18

Fundstelle:

Executive summary, S. 11

Bezugstext:

- The safety of radioactive waste and spent fuel during storage before disposal is ensured by adequate passive safety features (containment, shielding, etc.), but also relies upon active monitoring and control by the operators of the facilities.

Wissenschaftliche Prüfung:

Für die Zwischenlagerung wird hier genauer auf die Ausgestaltung der Regelungen

hingewiesen, die übergreifend in lfd. Nr. 8 genannt sind. Für die Zwischenlagerung werden vor dem Hintergrund des Maßstabes des JRC die DNSH-Kriterien erfüllt. Ob dieser Maßstab ausreicht, ist zweifelhaft (vgl. lfd. Nr. 13).

Nr. 19

Fundstelle:

Executive summary, S. 11

Bezugstext:

- Uranium mining and milling also produces large amounts of very low-level waste due to formation of waste rock dumps and/or tailings. These dumps and tailings are located close to the uranium mines and the related ore processing plants and their environmentally safe management can be ensured by the application of standard tailings and waste rock handling measures.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist unspezifisch, was mit „standard tailing and waste rock handling measures“ gemeint ist. Es wird nicht nachvollziehbar dargelegt, welche Maßnahmen konkret getroffen werden müssen, um eine Unbedenklichkeit zu erreichen.

Nr. 20

Fundstelle:

Executive summary, S. 11

Bezugstext:

The multi-barrier configuration of the repository prevents radioactive species from reaching the biosphere over the time span required.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Darstellung, dass ein Multi-Barrieren-System die Ausbreitung von Radionukliden bis an die Oberfläche verhindert („prevent“) ist, ist stark vereinfachend und pauschalisierend. Die max. Ausbreitung (in unterschiedlichsten Maßeinheiten, manchmal auch dessen Risiko) von Radionukliden muss vielmehr auf ein vorher bestimmtes erwartbares Maß begrenzt werden (vgl. z. B. § 1 Abs. 2 StandAG). Eine potenzielle Freisetzung, die dieses regulatorische Maß unterschreitet, ist jedoch nicht grundsätzlich ausschließbar, sondern ist mit Blick auf die zu erwartenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt nach heutigen Maßstäben zu bewerten (vgl. dazu z. B. § 4 EndlSiAnfV).

Nr. 21

Fundstelle:

Executive summary, S. 12

Bezugstext:

[...] nuclear accidents can lead to other serious direct and indirect impacts that might be more difficult to assess

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Bericht blendet nichtradiologische Folgen einer nuklearen Katastrophe völlig aus. Tatsächlich ist inzwischen unbestritten, dass psychosoziale Gesundheitsfolgen nach einer nuklearen Katastrophe wie z. B. Fukushima oder auch Tschernobyl die direkten deterministischen und stochastischen Strahlenfolgen bei weitem übersteigen. Darüber hinaus führen solche Ereignisse zu schwerwiegenden gesellschaftlichen und ökonomischen Verwerfungen, die hier nicht ausgeblendet werden dürfen.

Quellen:

(Bromet und Havenaar, 2007), (Maeda und Oe, 2017), (Shigemura et al., 2017)

Nr. 22

Fundstelle:

Executive summary, Key conclusions, S. 7/8 (zusammen mit den Tabellen 3.3.1-1 und 3.3.1-2, S. 80-81)

Bezugstext:

- With regard to potential radiological impacts on the environment and human health, the dominant lifecycle phase of nuclear energy significantly contributing to potential radiological impacts on the environment and human health are: uranium mining and milling (ore processing) [...]
- Related analyses demonstrate that appropriate measures to prevent the occurrence of the potential harmful impacts or mitigate their consequences can be implemented using existing technology at reasonable costs.

Wissenschaftliche Prüfung:

In der Zusammenfassung (betrachtet zusammen mit den genannten Tabellen; und auch Annex 4.2) wird eine Widersprüchlichkeit des JRC-Berichts hinsichtlich der Betrachtung und Bewertung des Uranbergbaues deutlich: Zwar werden die Umweltgefahren benannt, es wird aber nicht darauf hingewiesen, dass Uranbergbau in vielen Aspekten und Ausprägungen zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Umwelt und der Lebenswelt von Menschen führt. Insbesondere im Uranbergbau ist zweifelhaft, dass Maßnahmen zum Schutz der Umwelt und des Menschen in der Vergangenheit und heute weltweit ausreichend umgesetzt werden oder wurden. Im bisher Geschriebenen wurde hinreichend deutlich gemacht, dass die Uranbergbau-Industrie bisher nicht die notwendigen Anstrengungen unternommen hat, um die Umweltziele der EU-Taxonomie einzuhalten. Der JRC-Bericht weist zudem nicht auf die unbedingte Notwendigkeit zu konsequentem Regierungshandeln hin, um Umweltstandards zu fordern und umzusetzen.

Nr. 23

Fundstelle:

Executive summary, Key conclusions

Bezugstext:

/

Wissenschaftliche Prüfung:

Die „Key conclusions“ im „Executive summary“ erscheinen nur lose oder gar nicht mit dem eigentlichen Berichtstext gekoppelt.

Es wird zwar kurz auf die Problematik der Notwendigkeit einer „sehr langfristigen“ Lagerung von radioaktivem Abfall (schwach-, mittel- und hochradioaktiv) eingegangen, beim Vergleich mit „Mitbewerbern“ wird nur die kurzfristige tiefengeologische Lagerung von CO₂ herangezogen, um dann mutig zu schlussfolgern, dass hier ein vergleichbares Gefährdungspotenzial bestehe. Dies ist ein „Äpfel mit Birnen“-Vergleich und in dieser Weise sowohl falsch als auch unzulässig.

Part A: Review of the state-of-the-art to assess nuclear energy generation under the “do no significant harm” (DNSH) criterion

A 1: Introduction, motivation, approach, structure

/

A 2: Lifecycle assessment: methods, benefits and limitations

/

A 3: Summary of results from state-of-the art LCA studies on nuclear energy

/

A 3.2: Comparison of impacts of various electricity generation technologies

Nr. 24

Fundstelle:

A 3.2.1., S. 35

Bezugstext:

According to the International Atomic Energy Agency (IAEA) [3.2-1], at the end of 2018 there were altogether 451 nuclear power plant (NPP) units in operation all over the world with a total electricity generating capacity of 396.9 GW.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Angabe, dass weltweit 2018 insgesamt 451 Kernkraftwerke in Betrieb waren, ist zu hoch angesetzt. Die Quelle 3.2-1 bezieht sich auf Angaben aus der IAEA PRIS-Datenbank. Der JRC-Bericht nimmt aus der Quelle 3.2-1 die Zahlen der „operational reactors“ [Tabelle 1 in Quelle]. Laut Glossary der PRIS-Datenbank sind „operational reactors“ definiert als „A reactor is considered as 'operational' from its first grid connection to permanent shutdown. Thus, when a reactor is temporarily not generating electricity because of outages for, e. g. refuelling, maintenance, repair, large refurbishment or political decision, the reactor is still categorized as operational. The only exception to this classification is when the reactor's status is declared as 'suspended operations', where it is excluded from the list of operational reactors even though it has not yet reached permanent shutdown status.“ In der PRIS-Datenbank werden somit beispielsweise die Reaktoren in Japan als „operational“ eingestuft, die nach dem Unfall in Fukushima im Jahr 2011 abgeschaltet wurden, aber aufgrund noch laufender Aufrüstmaßnahmen nicht im kommerziellen Betrieb sind. Laut der Quelle 3.2-1 gibt es Ende 2018 in Japan 39 „operational“ Reaktoren. In der Tabelle 14 der Quelle 3.2-1 wird deutlich, dass von diesen 39 Reaktoren nur 9 im kommerziellen Betrieb waren und Angaben aufweisen zum Energieverfügbarkeitsfaktor (EAF in den Jahren 2014-2018) bzw. zum Faktor der Leistungsverfügbarkeit der Anlage (UCF in den Jahren 2014-2018). Andere Quellen berücksichtigen die o.g. Einschränkung und nennen für Japan 9 Kernkraftwerke in Betrieb [World Nuclear Industry Status Report, Edition 2019 und Edition 2020].

Quellen:

(WNI, 2019), (WNI, 2020), (IAEA, 2021)

Nr. 25

Fundstelle:

A 3.2.1., S. 35-36

Bezugstext:

The LWR type is dominant with 353.9 GW installed capacity (89% of total installed capacity: 71% PWR and 18% BWR), while about half of the remaining 11% is generated in PHWR units such as the Canadian CANDU design. The rest is produced in gas-cooled reactors (2%), LWGRs (2%, also called RBMK) and Fast Breeder Reactors (1%) [...]

According to the 2018 World Energy Outlook published by the International Energy Agency (IEA), in 2017 [3.2-3], the total electricity generation of the world amounted to 25 640 TWh [...]

Figure 3.2-1. Electricity generation by fuel type in 2017

Wissenschaftliche Prüfung:

An mehreren Stellen im JRC-Bericht sind bei Nachberechnungen anhand der Angaben aus den zugrunde gelegten Quellen kleinere Abweichungen bei Zahlenwerten feststellbar.

Von den 11% der installierten Leistung, die nicht auf DWRs oder SWRs entfallen, beruhen mehr als die Hälfte (6,2%) auf PHWRs, 2% auf GCRs, 2% auf LWFRs und 0,4% auf FBRs [3.2-1].

Die gesamte Energieerzeugung weltweit im Jahr 2017 betrug 25.679 TWh [3.2-3]. Die prozentualen Zahlen der in Abbildung 3.2-1 gezeigten Tabelle sind nur für die mit Öl erzeugten Strommengen weltweit und in den OECD-Ländern korrekt wiedergegeben. Alle anderen Zahlen weichen bei Nachberechnungen in den Nachkommastellen ab [3.2-4].

Nr. 26

Fundstelle:

A 3.2.1., S. 35

Bezugstext:

As shown in Figure 3.2-1, the worldwide share of nuclear was 10.4%.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist unklar, wieso für die Angabe der weltweiten Stromproduktion in TWh [3.2-3] und für den Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung [3.2-4] unterschiedliche Quellen herangezogen werden. Bei Verwendung der Quelle [3.2-3] des Berichts betrug der Anteil der nuklearen Stromproduktion im Jahr 2018 10.3%.

Der JRC-Bericht enthält keinen Hinweis darauf, dass der Anteil der Kernenergie an der weltweiten Stromerzeugung seit den 1990er Jahren bis zum Jahr 2017 kontinuierlich gesunken ist. Dies wird gut ersichtlich bei einem genaueren Blick in die angegebene Quelle [3.2-3]. Die Tabelle 1-4 der Quelle weist für das Jahr 2000 noch einen Anteil der Kernenergie von 16,8% an der weltweiten Stromerzeugung aus.

Nr. 27

Fundstelle:

A 3.2.1., S. 37

Bezugstext:

Figure 3.2-3. Projection of the electricity generation by source in the EU

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Grafik 3.2-3 basiert auf einer Modellrechnung. In der dargestellten Projektion der Elektrizitätsproduktion in der EU bis zum Jahr 2050 werden konkrete Zahlenwerte angegeben, ohne die Angabe von möglichen Abweichungen. Die Prognose eines gleichbleibenden Anteils der Kernenergie von 22% bis zum Jahr 2050 bei gleichzeitig steigender Gesamtstromproduktion setzt einen massiven Ausbau der Kernenergie in Europa voraus. Die entsprechende Prognose wird detaillierter in der nächsten Grafik dargestellt.

Auch die IAEA erstellt in einer jährlichen Veröffentlichung Prognosen für den zukünftigen Anteil der Atomenergie an der Stromproduktion. Diese Prognosen betrachten die Entwicklung der Kernenergie weltweit und enthalten ein hohes und ein niedriges Szenario. Im hohen Fall wird die Kapazität zur Erzeugung von Kernenergie bis 2030 voraussichtlich um etwa 20% und bis 2050 um etwa 80%

gegenüber der Kapazität von 2019 zunehmen. Im niedrigen Fall wird erwartet, dass die Kapazität zur Erzeugung von Kernenergie bis 2040 allmählich um etwa 10% abnimmt und sich dann erholt, was bis 2050 nur zu einer Verringerung um 7% führt. Sowohl im niedrigen als auch im hohen Fall wird erwartet, dass der Anteil der Kernenergie an der gesamten Stromerzeugungskapazität bis 2050 abnimmt. Im niedrigen Fall wird eine Verringerung um 3 Prozentpunkte erwartet, im hohen Fall wird eine Verringerung um weniger als 1 Prozentpunkt erwartet. Wenn davon ausgegangen wird, dass die weltweiten Prognosen in etwa übertragbar auf die EU-Prognosen sind, so kann festgestellt werden, dass die Szenarien der IAEA auch im günstigsten Fall niedriger als die im Bericht der JRC dargestellten Szenarien sind.

Quelle:
(IAEA, 2020a)

Nr. 28

Fundstelle:

A 3.2.1, S. 38

Bezugstext:

Figure 3.2-4. Evolution of the nuclear installed capacity in the EU

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist zu berücksichtigen, dass bei den Angaben der mit EU28 bezeichneten Länder noch das Vereinigte Königreich enthalten ist. Das Vereinigte Königreich ist am 31. Januar 2020 aus der Europäischen Union ausgetreten. Hinsichtlich der Kernkraftwerke hat das Vereinigte Königreich mit seinen zurzeit 15 in Betrieb befindlichen Reaktoren und der sich daraus ergebenden installierten Leistung von 8,9 GWe wesentlich zur installierten Kapazität der Kernkraftwerke in Betrieb in der EU beigetragen.

Sehr optimistisch stellt die Abbildung die installierte Leistung aufgrund von neu gebauten Kernkraftwerken dar. Allein bis zum Jahr 2030 werden laut Abbildung ca. 20 GW durch neu gebaute Kernkraftwerke abgeschätzt. Legt man zugrunde, dass es sich um Kernkraftwerke mit einer Leistung von ca. 1,6 GWe – vergleichbar der in Bau befindlichen EPRs in Frankreich und Finnland – handeln könnte, entspräche dies in etwa einer Anzahl von 12 Kernkraftwerken. Bis ins Jahr 2030 müssten somit 12 Kernkraftwerke mit einer großen elektrischen Leistung gebaut und in Betrieb genommen werden. Dies ist momentan nicht absehbar. Aktuell befinden sich nur zwei solcher Kraftwerke in der EU im Bau, in Finnland ein EPR seit 2005 und in Frankreich ein EPR seit 2007. Zwei weitere Kernkraftwerksblöcke mit deutlich geringerer Leistung (je 440 MWe) sind in der EU in Bau in der Slowakei. Der Baubeginn war dort 1987. Die durchschnittliche Bauzeit aller in den letzten 10 Jahren weltweit in Betrieb genommenen KKW betrug 11,6 Jahre. In keinem anderen Land der EU wurde bisher mit dem Bau eines weiteren Kernkraftwerks begonnen. Wenn überhaupt mit einem Ausbau der Kernenergie in der EU in den nächsten Jahrzehnten zu rechnen ist, so wird er nicht in dem hier dargestellten Tempo voranschreiten.

Die dargestellte Prognose setzt neben Neubauten auch umfangreiche Nachrüstmaßnahmen (retrofitting) an den alternden Kernkraftwerken in der EU voraus. Die meisten der momentan in der EU betriebenen Kernkraftwerke sind über 30 Jahre alt. Ursprünglich waren die Kernkraftwerke für eine Betriebsdauer (Laufzeit) von 30 bis 40 Jahren konzipiert. Diese Laufzeitgrenze erreichen oder überschreiten bereits viele der Anlagen. 84% der Kernkraftwerke in der EU sind älter als 30 Jahre, 12% sogar schon älter als 40 Jahre.

Inwieweit tatsächlich eine Laufzeitverlängerung von Altanlagen von nationalen Behörden entsprechend der aktuellen Sicherheitsanforderungen genehmigt werden kann, ist ungewiss und hängt vom jeweiligen Anlagenzustand und dem jeweiligen nationalen Regelwerk ab. Nachrüstungen von zusätzlichen Sicherheitssystemen

sind unter anderem aufgrund der baulichen Gegebenheiten nur bis zu einem begrenzten Umfang möglich. Zudem stellen sich Fragen der Alterung und Versprödung von Materialien und damit ihres langfristigen Verhaltens über den ursprünglichen Auslegungszeitraum hinaus.

Quellen:

(IAEA, 2020b), (INRAG, 2021)

Nr. 29

Fundstelle:

A 3.2.1., S. 38

Bezugstext:

Moreover, there is an increasing interest in smaller scale nuclear power reactors, so-called Small Modular Reactors (SMRs).

Wissenschaftliche Prüfung:

Der JRC-Bericht verweist auf SMRs, die momentan sehr stark in verschiedenen Ländern diskutiert werden. Betrachtet man internationale oder nationale Definitionen, reicht die Bandbreite der Konzepte, die unter dem Begriff SMR erfasst werden, von „heutigen“ Reaktoren mit geringer Leistung (hauptsächlich wassergekühlte Reaktoren) bis hin zu neuartigen Konzepten, für die bislang wenig industrielle Vorerfahrung vorliegt (z. B. Hochtemperatur- oder Salzschnmelze-Reaktorkonzepte). Meist werden Reaktoren mit einer Leistung von bis zu 300 MWe unter dem Begriff SMR eingeordnet. Größtenteils befinden sich die weltweit unterschiedlichsten SMR-Konzepte auf der Ebene von Konzeptstudien. Als SMR in Betrieb sind seit Mai 2020 die beiden russischen KLT-40S Reaktoren auf dem sogenannten schwimmenden Kernkraftwerk Akademik Lomonossow. Diese Anlage wird für die Strom- und Wärmeversorgung am Standort der nordsibirischen Stadt Pevek eingesetzt. Als SMRs mit einer Leistung kleiner gleich 300 MWe sind aktuell auch drei Forschungs-/ Demonstrationsreaktoren in Betrieb: der CEFR in China zur Entwicklung schneller Reaktoren, der HTR-10 in China zur Weiterentwicklung des Konzepts eines gasgekühlten Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktors und der Versuchsreaktor HTTR in Japan zur Entwicklung gasgekühlter Hochtemperaturreaktoren mit prismatischem Brennstoff. Daneben befinden sich zwei weitere als SMR eingeordnete Pilotanlagen seit längerer Zeit im Bau: seit 2012 der HTR-PM in China zur Weiterentwicklung des modularen Konzepts und seit 2014 der CAREM-25 in Argentinien als Prototyp für einen CAREM-Reaktor mit größerer Leistung. Eine breite Einführung von SMR-Reaktorkonzepten auf dem Markt ist nicht zu beobachten.

In der EU sind außer in dem nun nicht mehr zu der EU gehörenden Vereinigten Königreich in Dänemark, der Tschechischen Republik, Schweden, Luxemburg und Frankreich aktive SMR-Entwicklungen zu beobachten. Die aktive SMR-Entwicklung in Luxemburg verfolgt allerdings ein Tochterunternehmen des US-amerikanischen Konzerns Hydromine. In Italien wird mit IRIS (International Reactor Innovative and Secure) durch ein Konsortium ein als SMR bezeichnetes Konzept entwickelt, das allerdings mit geplanten 335 MWe außerhalb der enger gefassten Definition eines SMR mit einer Leistung kleiner gleich 300 MWe liegt.

Für sogenannte passive Länder, die den Import von SMRs anstreben, ist es aufgrund der Datenlage schwierig, objektiv einzuschätzen wie ernst- und glaubhaft Kooperationsvereinbarungen verfolgt werden. Sicherlich haben einige EU-Länder ihr Interesse an SMRs bekundet. Definitive Vereinbarungen zum Import von SMRs gibt es bisher in Estland. Dort hat das Unternehmen Fermi Energia Kooperationsvereinbarungen mit Fortum, Tractebel und Vattenfall (Schweden) unterzeichnet mit dem Ziel, SMR-Reaktoren in Estland zu bauen und zu betreiben.

Bevor SMRs in einem Land der EU gebaut werden können, werden noch viele offene Fragen zu klären sein. Dies reicht von Fragen zu Sicherheit, Transport, Rückbau über Fragen zu Zwischen- und Endlagerung bis hin zu neuen Fragestellungen für die zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden.

Im JRC-Bericht (Teil A 3.2.1, S. 38) fehlt auch eine Einordnung der vielfach erhobenen Behauptung, dass SMRs sicherer seien als herkömmliche Kernkraftwerke mit großer Leistung, da sie ein geringeres radioaktives Inventar aufweisen und verstärkt passive Sicherheitssysteme einsetzen. Verschiedene SMR-Konzepte postulieren vor diesem Hintergrund reduzierte Sicherheitsanforderungen, z. B. bezüglich des Redundanzgrads oder der Diversität. Bei einigen SMR-Konzepten wird gar ein Verzicht auf übliche Vorgaben zum anlageninternen und externen Notfallschutz in Betracht gezogen, wie beispielsweise kleinere Planungsgebiete für den Notfallschutz bis hin zum Wegfall einer anlagenexternen Notfallschutzplanung. Die These des grundsätzlich erhöhten Sicherheitsniveaus eines SMRs ist nicht von vornherein nachgewiesen. Die Sicherheit einer konkreten Reaktoranlage ist von den sicherheitstechnischen Eigenschaften des individuellen Reaktors und deren funktioneller Wirksamkeit abhängig und muss – auch unter Einbeziehung des möglichen Ereignis- bzw. Störfallspektrums – sorgfältig analysiert werden. Im Rahmen einer solchen Analyse werden insbesondere Einwirkungen von außen bei SMRs in abgelegenen Regionen, bei SMRs zur Versorgung von Industrieanlagen oder bei seebasierten SMRs weitergehende Fragen aufwerfen (BASE, 2021). Hinsichtlich der anlagenexternen Notfallschutzplanung hat die Arbeitsgruppe zu den Planungsgebieten des SMR Regulators' Forum u.a. gefordert, dass gegebenenfalls auch für Anlagen zur Handhabung und Lagerung von Brennstoff außerhalb eines SMR-Geländes Planungsgebiete festgelegt werden müssten. Zudem sind besondere Betrachtungen erforderlich, wenn Planungsgebiete von SMRs nahe an dicht besiedelte Zentren heranreichen (SMR Regulators' Forum, 2018). Die Arbeitsgruppe wies auch darauf hin, dass mögliche Quellterme gerade bei neuen technischen Designs schwer prognostizierbar sind und hierfür noch Methoden entwickelt werden müssten. Die Arbeitsgruppe Konstruktions- und Sicherheitsanalyse des SMR Regulators' Forum weist zudem darauf hin, dass Herausforderungen bei einem Unfall in einem SMR an einem Standort mit mehreren Modulen/Einheiten identifiziert und angemessene verfügbare Ressourcen (Personal und Ausrüstung) sowie Notfallstrategien nachgewiesen werden müssen (SMR Regulators' Forum, 2019). Es ist daher davon auszugehen, dass – anders als zum Teil von SMR-Entwicklern angegeben – für den anlagenexternen Notfallschutz bei SMRs Planungsgebiete nötig sind, die über das Anlagengelände hinausreichen. Letztendlich müssen die atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden entscheiden, wie die von SMR-Entwicklern propagierten Notfallschutzmaßnahmen tatsächlich auszugestaltet sind (BASE, 2021).

Zuständige Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden, aber auch potentielle SMR-Produzenten und SMR-Betreiber stehen vor neuen Herausforderungen im Falle einer weltweiten Verbreitung von SMRs. Bisher liegen keine SMR-spezifischen nationalen oder internationalen Sicherheitsstandards vor. Internationale Sicherheitsstandards wären insbesondere dann eine Voraussetzung, wenn ein SMR von einem Staat, in dem der SMR hergestellt wird, in einen anderen Staat zur Nutzung geliefert wird. Dies wird besonders wichtig sein, wenn es sich bei dem „Nutzerstaat“ um einen Neueinsteiger handelt. Bei der Erstellung oder Anpassung der Regelwerke ist neben den zentralen Fragen der Auslegung und des sicheren Betriebs eines SMRs auch die regulatorische Herangehensweise zu Herstellung und Transport von SMRs, Zusammenbau von modularen Systemen, Handhabung und Transport von Brennstoffen und anderer Materialien sowie von abgebranntem Brennstoff und nuklearen Abfällen zu beachten. Auch Fragen der Sicherung und Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) müssen geklärt werden. Dies wird vor allem bei transportablen Kernkraftwerken besonders zu beachten sein (BASE, 2021).

Zusätzlich zur Klärung der regulatorischen Fragestellungen ist vor einem weltweiten Einsatz von SMRs auch die Haftung von Betreibern oder Herstellern im Falle von Unfällen zu betrachten. Bei der IAEA beschäftigt sich mit dieser Thematik die International Expert Group on Nuclear Liability – INLEX und gab bereits Stellungnahmen zum Spezialfall eines schwimmenden Kernkraftwerks ab (IAEA, 2020c). International werden Haftungsfragen im Falle von SMRs jedoch weiterhin diskutiert (BASE, 2021).

Nicht zuletzt stellen sich beim Einsatz der SMRs auch Fragen hinsichtlich der Proliferation, d.h. der möglichen Weiterverbreitung von Kernwaffen, sowie der notwendigen nuklearen Technologien oder spaltbaren Materialien für ihre Produktion. Um die Weiterverbreitung von Kernwaffen zu beenden, die Abrüstung voranzutreiben und für mehr globale Sicherheit zu sorgen, verpflichten sich Mitgliedsstaaten des Atomwaffensperrvertrags (Vertrag über die Nichtverbreitung von Atomwaffen) spezielle Überwachungsmaßnahmen (Safeguards der IAEA) zu akzeptieren. Im Hinblick auf die bereits erwähnte theoretisch höhere Anzahl an SMRs an verschiedenen, teilweise sehr abgelegenen Standorten sowie die Verwendung von Brennstoffen mit höherer Anreicherung erhöhen sich auch die Risiken der Proliferation. Gleichzeitig steigt der Aufwand für die Überwachungsmaßnahmen, wenn eine große Anzahl von SMRs, spezielle Designs und regelmäßige Transporte von ganzen Kraftwerken oder austauschbaren Reaktorkernen überprüft werden müssen. Viele der Standardmethoden zur Spaltmaterialüberwachung passen nicht direkt auf die Besonderheiten von SMR-Konzepten (BASE 2021).

Die für SMRs postulierten Thesen hinsichtlich des Beitrags zur Bekämpfung der Gefahren des Klimawandels sowie hinsichtlich der niedrigeren Kosten und kürzeren Bauzeiten sind durchaus kritisch zu betrachten.

Quellen:

(Pistner et al., 2021), (SMR Regulators' Forum, 2018), (SMR Regulators' Forum, 2019), (IAEA, 2020c), (BASE, 2021)

Nr. 30

Fundstelle:

A 3.2.1, S. 38

Bezugstext:

However, despite these additional costs, lifetime extension of existing plants remains an economically very attractive option and one that is already implemented or planned in several EU Member States.

Wissenschaftliche Prüfung:

Durch anhaltend niedrige Rohstoffpreise, stetige Entwicklung von erneuerbaren Energien und der geforderten Weiterentwicklung von Sicherheitstechnik ist der Neubau von Kernkraftwerken zu teuer geworden. Da auch die Stilllegung, der Abbau und die Entsorgung von bestehenden Kernkraftwerken sehr langwierig und teuer sind, erscheint die Laufzeitverlängerung von Kernkraftwerken eine attraktive Möglichkeit. Welche Nachrüstungen bei einer Laufzeitverlängerung umgesetzt werden, wird dann aber ebenfalls von wirtschaftlichen Kriterien bestimmt. Theoretisch bieten Nachrüstungen der Aufsichtsbehörde die Möglichkeit, in gewissem Rahmen technisch mögliche sicherheitstechnische Verbesserungen einzufordern. Sicherheitsanforderungen nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik lassen sich im Design alter Kernkraftwerke aber nicht vollständig umsetzen. Elementare Schwachstellen der veralteten Sicherheitskonzepte können nicht behoben werden, da ein erheblicher Teil der Sicherheitsstandards bereits bei der Auslegung des Kernkraftwerks festgelegt wird.

Die ökonomische Sinnhaftigkeit von Laufzeitverlängerungen ist (falls überhaupt) nur gegeben aufgrund der geringeren Sicherheitsstandards, die nach der EU Nuclear Safety Directive § 8a für Kernkraftwerke mit Inbetriebnahme vor 2014 gegenüber Neubauten gelten. Für die nukleare Sicherheit in Europa bedeuten diese Regelung und die entsprechenden Laufzeitverlängerungen ein erhebliches zusätzliches Sicherheitsrisiko.

Quelle:

(INRAG, 2021)

Nr. 31

Fundstelle:

A 3.2.1, S. 38-39

Bezugstext:

Figure 3.2–5 shows the generation costs of different technologies. Considering the existing capacities, nuclear power represents the lowest generation costs in 2030. The cost increases when considering new installed capacities, but nuclear remains competitive and close to the levelised cost of the current power mix.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die hier dargestellten Stromerzeugungskosten lassen zusätzlich anfallende, teilweise erhebliche Mehrkosten explizit unberücksichtigt, so z. B. die der Entsorgung der nuklearen Abfälle. Die zitierte Quelle weist auf diesen Umstand hin. Der angeführte Kostenvergleich ist daher wenig bis nicht aussagekräftig.

Quelle:

(EC, 2019)

Nr. 32

Fundstelle:

A 3.2.2, S. 39

Bezugstext:

More importantly, the gaseous diffusion process has been phased out and replaced by the centrifuge enrichment process, which is up to 50 times less energy costly than the gaseous diffusion process.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Aussage im JRC-Bericht, dass der Gasdiffusionsprozess zur Urananreicherung gegenüber der Anreicherung mittels Zentrifugen sehr viel mehr Energie verbraucht, wird von den genannten Quellen 3.2–12 und 3.2–13 gestützt.

Die im JRC-Bericht getroffene Aussage zum Ausstieg aus der Gasdiffusionstechnologie ist für die EU zutreffend. In Frankreich ist die Umstellung der Urananreicherung auf die Zentrifugen-Technologie zwischenzeitlich erfolgt. Die Anlage Georges Besse I, die auf Grundlage der Gasdiffusionstechnologie arbeitete, war bis Mai 2012 in Betrieb. Sie wurde nach und nach von der Anlage Georges Besse II ersetzt. Der Betrieb von Georges Besse II begann im April 2011 und verwendet die Ultra-Zentrifugation zur Urananreicherung. Außer in Frankreich werden in der EU noch in Deutschland (Urenco Deutschland in Gronau) und in den Niederlanden (Urenco Nederlands in Almelo) bzw. bis zum Austritt des Vereinigten Königreichs auch in Großbritannien (Urenco UK in Capenhurst) Urananreicherungsanlagen betrieben [Quelle 3.2–12 des JRC-Berichts]. All diese Urananreicherungsanlagen beruhen auf der Zentrifugen-Technologie.

Quellen:

(ASN, 2020), (URENCO, 2021)

Nr. 33

Fundstelle:

A 3.2.2, S. 39–40

Bezugstext:

Figure 3.2–6, from reference [3.2–7], is the result of a secondary research compilation of twenty-one credible sources in which lifecycle GHG emissions of different electricity generation technologies have been assessed.

Wissenschaftliche Prüfung:

Im JRC-Bericht sind ungenaue und verkürzte Wiedergaben der Angaben aus der Quelle 3.2–7 feststellbar.

Für die Abbildung 3.2-6 wurden nicht alle 21 Publikationen aus den Jahren 1997 bis 2010 hinsichtlich der Kernenergie evaluiert, sondern nur 14. Der JRC-Bericht erwähnt zudem nicht, dass die Quelle 3.2-7 viele Faktoren nennt, die zu den beobachteten Abweichungen bei den dargestellten Treibhausgasemissionen beitragen. Ein wichtiger Faktor laut der Quelle 3.2-7 ist u.a. die unterschiedliche Definition für „Lebenszyklus“ der herangezogenen Publikationen. Einige der Publikationen berücksichtigten beim Lebenszyklus das Abfallmanagement und die Abfallbehandlung, andere nicht.

Nr. 34

Fundstelle:

A 3.2.2, S. 39-40

Bezugstext:

The figure shows that lifecycle GHG emissions from nuclear energy are among the lowest of all the technologies, comparable with (or slightly greater than) wind and hydroelectricity and lower than solar PV. That this is typical of the results from other credible LCAs can be seen from references 3.2-8, 9, 10, 11 among many others.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Angaben des JRC-Berichts zur Solarenergie sind zu negativ dargestellt, Weiterentwicklungen und dadurch sinkende Treibhausgasemissionen werden nicht erwähnt. Die Aussage im JRC-Bericht, dass die Lebenszyklus-basierten Treibhausgasemissionen aus Kernenergie niedriger seien als die aus Photovoltaik, wird von der Quelle 3.2-7 eingeordnet. Die Quelle 3.2-7 stammt aus dem Jahr 2011 und weist darauf hin, dass die großen Abweichungen bei den Treibhausgasemissionen bei Solarenergie auf den bereits stattgefundenen, schnellen Weiterentwicklungen der Photovoltaikanlage beruhe, und dass bei weiterer Effizienzsteigerung und der Herstellungsprozesse die Treibhausgasemissionen von Photovoltaik-Solarmodulen weiter sinken werden. Betrachtet man zudem die Quelle 3.2-11, zeigt sich, dass die CO₂-Emissionen durch Photovoltaik im Median zwar größer sind als bei Kernenergie aber die Maxima der CO₂-Emissionen bei beiden Technologien in etwa gleich sind.

Der JRC-Bericht verweist zudem auf teilweise sehr spezielle Quellen, um seine Aussagen zu untermauern. Die Quelle 3.2-10 wählt zur Überprüfung der Verfahren zur Auswahl der Umweltverträglichkeitsindikatoren sowie die Methoden zur Ökobilanz (LCA), die für ihre Bewertung im Rahmen des integrierten NEEDS-Projekts verwendet wurden, 26 Technologien aus, die als „optimistisch / realistisch“ für mögliche Stromerzeugungsquellen im Jahr 2050 eingestuft werden. Aus dem Bereich Kernenergie betrachtet die Quelle 3.2-10 speziell die EPR-Technologie (European Pressurised Reactor) und die EFR-Technologie (European Fast Reactor). Beide Technologien sind in der EU bisher noch nicht in Betrieb; die Quelle 3.2-10 verweist immerhin auf die mit der Entwicklung der EFR-Technologie verbundenen Unsicherheiten. Die Quelle 3.2-10 beschränkt sich zudem bei der Windkraft nur auf Offshore-Windkraftanlagen. Die Quelle 3.2-10 berücksichtigt im Gegensatz zum JRC-Bericht auch die Weiterentwicklungen bzgl. Solarenergie. Die Abbildung 4 in Quelle 3.2-10 zeigt, dass die Treibhausgasemissionen bei der EPR-Technologie liegt in etwa gleichauf mit den Treibhausgasemissionen aus einer speziellen Solarenergie-Technologie, bei der Cadmium-Tellurid als extrem dünne Beschichtung auf dem Siliziumwafer aufgebracht wird und im Jahr 2050 im gebäudeintegrierten Maßstab verfügbar sein sollte.

Nr. 35

Fundstelle:

A 3.2.2, S. 40

Bezugstext:

Lifecycle GHG emissions for the existing French nuclear reactor fleet in 2010, at

that time using the gaseous diffusion process supplied by nuclear energy, was assessed to be 5.29 gCO₂-eq/kWh [3.2–8]. Uranium ore grades corresponded to the current production from the mining activities supplying the French fuel cycle, which were all higher than 0.1% [3.2–18]. According to [3.2–8], nuclear power plants (including construction, operation and decommissioning) are responsible for 40% of the lifecycle GHG emissions, uranium mining for 32% and enrichment 12%.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die hier im JRC-Bericht gemachten Angaben beziehen sich auf einen Sonderfall in Frankreich. Die Angaben aus Quelle 3.2–8 beruhen auf dem in Frankreich für die Nutzung der Kernenergie üblichen zweimaligen Durchlaufzyklus des Brennstoffs („twice-through cycle“). Dabei setzt Frankreich auf die Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente und den erneuten Einsatz des wiederaufgearbeiteten Urans und Plutonium in MOX-Brennelementen zur Stromerzeugung.

Richtig ist im JRC-Bericht angegeben, dass in der Quelle 3.2–8 Daten aus dem Jahr 2010 verwendet wurden, als noch die Gasdiffusionsmethode in Frankreich durchgeführt wurde. Aber die Quelle 3.2–8 verschweigt nicht, dass der Anreicherungsschritt nur geringe Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen habe (0,63 gCO₂eq/kWhe), da drei Kernreaktoren für die Stromversorgung der Anreicherungsanlagen vorgesehen sind. Dieser Einfluss mag in anderen Ländern anders aussehen. Die Quelle 3.2–8 benennt als Beispiel, dass sich bei Lieferung des gesamten angereicherten Urans durch das USEC-Kohlekraftwerk die Gesamtmenge für den Anreicherungsschritt auf 55 gCO₂eq/kWhe erhöhen würde. Die Quelle 3.2–8 stellt zudem klar dar, dass sich die Angabe der Treibhausgasemissionen durch Kernenergie mit 5,29 gCO₂eq/kWh im unteren Bereich der üblichen Referenzdaten befindet.

Nr. 36

Fundstelle:

A 3.2.2, S. 40

Bezugstext:

According to the foregoing, lifecycle GHG emissions from nuclear electricity generation are comfortably within the 100 gCO₂-eq/kWh emissions intensity threshold proposed by the TEG for electricity generation, and will remain so for at least the next 50 years, thereby satisfying the TEG definition for a substantial contribution to climate change mitigation.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Darstellung im JRC-Bericht kann leicht missinterpretiert werden. Die Quelle 3.2–6 gibt in Kapitel 4 unter Kriterien als Grenzwert für CO₂-Emissionen für die Stromerzeugung 100 gCO₂-eq/kWh an. Allerdings weist die Quelle 3.2–6 deutlich darauf hin, dass dieser Grenzwert alle fünf Jahre gesenkt werden wird – im Einklang mit den politischen Zielen, bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Der Grenzwert von 100 gCO₂-eq/kWh wird also nicht über die nächsten 50 Jahre bestehen bleiben. Dies könnte aber so aus dem JRC-Bericht geschlossen werden. Die Aussage im JRC-Bericht ist zu optimistisch. Der JRC-Bericht verweist in den Absätzen zuvor auf extrem niedrige Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung durch Kernenergie (5,29 gCO₂-eq/kWh laut Quelle 3.2–8 bzw. 4,25 gCO₂-eq/kWh laut Quellen 3.2–10 und 3.2–14). Zusammen mit der im JRC-Bericht genannten Steigerung um 26 gCO₂-eq/kWh bei einer Verringerung des U₃O₈-Gehaltes im abgebauten Erz benennt, entsteht der Eindruck, dass es einen großen Puffer bis zum Grenzwert von 100 gCO₂-eq/kWh gebe. Dabei berücksichtigt der JRC-Bericht nicht, dass zum einen der Grenzwert in absehbarer Zeit niedriger gesetzt werden wird und zum anderen viele andere Studien zur Lebenszyklus-basierten Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung durch Kernenergie durchaus höher ausfallen. Beispielsweise benennt die Quelle 3.2–15 einen Wert von 60 kgCO₂eq/MWh bei Berücksichtigung der Verwendung von

Uranerz mit einem geringeren U_3O_8 -Gehalt. Die Quelle 3.2-17 benennt für LWR und HWR einen durchschnittlichen Lebenszyklus-basierten Wert für Treibhausgasemissionen von 65 gCO_2 -eq/kWh. Betrachtet man die Bandbreite der in Quelle 3.2-17 genannten Werte von 10 bis 130 gCO_2 -eq/kWh, ist der aktuell von TEG vorgeschlagene Grenzwert von 100 gCO_2 -eq/kWh schon überschritten.

Nr. 37

Fundstelle:

A 3.2.4, S. 48-53

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Themen Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit liegen in der Zuständigkeit des UBA. Insofern entzieht sich eine Beurteilung der Relevanz, Vollständigkeit und Richtigkeit der getroffenen Aussagen sowie die Notwendigkeit weiterer Betrachtungen der Expertise des BASE.

Nachfolgend dennoch einige Hinweise zu eventuell fehlenden Aspekten.

Nr. 38

Fundstelle:

A 3.2.4, S. 48

Bezugstext:

In accordance with article 17 of the Taxonomy Regulation, an economic activity shall be considered to cause significant harm to the transition to a circular economy, including waste prevention and recycling, where:

- (i) that activity leads to significant inefficiencies in the use of materials or in the direct or indirect use of natural resources such as non-renewable energy sources, raw materials, water and land at one or more stages of the life-cycle of products, including in terms of durability, reparability, upgradability, reusability or recyclability of products;
- (ii) that activity leads to a significant increase in the generation, incineration or disposal of waste, with the exception of the incineration of non-recyclable hazardous waste; or
- (iii) the long-term disposal of waste may cause significant and long-term harm to the environment

Wissenschaftliche Prüfung:

Der radioaktive Abfall wird ausschließlich quantitativ betrachtet, nicht einmal eine Differenzierung nach LILW (low and intermediate level waste) und HLW (high level waste) findet statt. Mehraufwand und Gefahren im Umgang und der Entsorgung bleiben unberücksichtigt.

Nr. 39

Fundstelle:

A 3.2.4, S. 50

Bezugstext:

Currently known reserves of uranium, used in the same way, extend this time frame to a few millennia.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die im JRC Report verwendete Quelle "[3.2-9]" gibt an, dass die derzeitigen Uranvorkommen für weitere 80 Jahre ausreichen werden. Die Ausdehnung auf Jahrtausende wird ausdrücklich nur im Zusammenhang mit der Umstellung auf Bruttechnologie erwähnt, was keinesfalls dem Stand der Entwicklung entspricht (wie auch an anderen Stellen im Bericht angeführt, bspw. S. 35: 89% der

installierten Leistung und 94% der im Bau befindlichen Reaktoren sind LWR, Brutreaktoren machen nur ca. 1% der installierten Leistung aus).

Quelle:

(Stamford und Azapagic, 2012)

Nr. 40

Fundstelle:

A 3.2.4, S. 50

Bezugstext:

For nuclear energy, the fact that a proportion of the materials become too activated for reuse is taken into account in the assessment, and this proportion, which is less than 5%, is excluded.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Beurteilung der Recyclingfähigkeit der bei der Stilllegung von KKW anfallenden Stoffe lässt die gesellschaftliche Akzeptanz der weiteren Verwendung dieser Stoffe außer Acht. Selbst die Deponierung von freigemessenen, also nicht-radioaktiven Abfällen kann in der lokalen Bevölkerung erhebliche Widerstände auslösen. In Schleswig-Holstein musste die Landesregierung zum rechtlichen Instrument der Zuweisung greifen, um eine Deponierung der Abfälle gewährleisten zu können.

Auch wenn eine Wiederverwendung technisch möglich ist, könnten gesamtgesellschaftliche Aspekte diese verhindern.

Quelle:

(Landesregierung Schleswig-Holstein, 2021)

Nr. 41

Fundstelle:

A 3.2.4, S. 52

Bezugstext:

Land occupation by offshore wind (Stamford & Azapagic), nuclear and gas are negligible.

Wissenschaftliche Prüfung:

Bei der Frage des Landverbrauchs ist aus den Angaben nicht zu erkennen, ob auch Einflüsse durch etwaige schwere Unfälle, die zu großflächigen Kontaminationen führen können, berücksichtigt wurden.

Nr. 42

Fundstelle:

A 3.2.4, S. 53

Bezugstext:

Note that some countries (e. g. France) do not consider spent fuel to be waste. Spent fuel comprises large amounts of recoverable uranium and plutonium that can be used in fast breeder reactor fuel. While fast breeder reactors are not deployed yet on a large-scale commercial basis, they are very much an option for the future for some countries, and so the uranium and plutonium within the spent fuel is considered a valuable resource. Poinssot et al [3.2–8] calculates the total amount of radioactive waste requiring geological disposal at about 1.5 m³/TWhe for the current French nuclear fleet with plutonium recycled once in MOX fuel. This strategy reduces the amount of waste requiring geological disposal, which is almost an order of magnitude less than the amount shown in Figure 3.2–17. This reflects the fact that spent fuel elements (including spent MOX fuel elements) are not included in the waste stream in France.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die französische Deklaration, die HLW überhaupt nicht als Abfall einordnet, wird unkritisch übernommen. Dies ergibt ein falsches Bild von den tatsächlichen Abfallmengen.

A 3.3: Detailed assessment of the impacts of nuclear energy in its various life cycle phases

Nr. 43**Fundstelle:**

A 3.3, ab S. 62-167

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Es wird nur der reine Prozess der BE-Herstellung beschrieben. Eine Berücksichtigung von Transporten von angereichertem Uranhexafluorid zu den Anlagen erfolgt nicht.

Stilllegungsrelevante Maßnahmen werden nicht betrachtet.

Auch in diesen Anlagen kann es zu Störfällen kommen. Diese werden nicht betrachtet.

Nr. 44**Fundstelle:**

A 3.3.1.1, S. 64

Bezugstext:

In 2018, this 53.500 metric tons of uranium was sufficient to cover the decisive portion of fuel supply needs of the 451 NPP units operated at that time around the world and providing approximately 400 GW electric power [...]

In comparison, a coal-fired power plant of 1 GW electric power consumes 9000 metric tons of coal per day!

Wissenschaftliche Prüfung:

Genauso wie die Kohleförderung verursacht auch der Uranbergbau Umweltschäden. Das konstatiert auch der JRC-Report. Dennoch spricht er von der Möglichkeit des „grünen“ und nachhaltigen Bergbaus (s.u. lfd. Nr. 50).

Jedoch sind Kohlebergbau und Uranbergbau nicht miteinander vergleichbar.

Beim einen handelt es sich um den Abbau von Kohlenwasserstoffen (Kohle) und beim anderen um Erzbergbau (Uran). Die Abbau- und Aufbereitungstechniken unterscheiden sich deutlich. Vor allem erzeugt Uranbergbau radioaktiven Abraum und erfordert ein deutlich aufwändigeres Abraum-Management als Kohlebergbau.

Erschwerend kommt hinzu, dass die hoffigsten Uranlagerstätten mittlerweile ausgebeutet sind und das Auffahren neuer Bergwerke und ISL-Operationen (s.u. lfd. Nr. 45) immer teurer wird, weil das geförderte Erz immer weniger spaltfähiges Material enthält. Aktuell kann aus 10.000 t Uranerz 7 kg spaltbares ²³⁵Uran gewonnen werden (Le Monde diplomatique et al., 2019). Diese Zahlen werden sich in Zukunft wahrscheinlich verschlechtern, und mit ihnen werden sich Landverbrauch, CO₂-Ausstoß und Abbaukosten erhöhen.

Quellen:

(Uranium Mining Industry Info, 2021), (DIIS, 2015)

Nr. 45

Fundstelle:

A 3.3.1.1, S. 65

Bezugstext:

Chemical leaching is a mining method which is gaining ground gradually: the basic principle of the “in situ leaching” (ISL) method is that a liquid substance containing acidic (sulphuric acid) or alkaline (sodium carbonate) [...].

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier und im Folgenden wird das In situ Leaching (ISL) – auch In situ Recovery (ISR) genannt – nur sehr oberflächlich beschrieben. Insbesondere die Umweltrisiken, wie die Grundwasserkontamination, werden nicht im Detail und mit Fallbeispielen beschrieben. Dies wäre aber für eine vertiefte Diskussion des EU-Taxonomie-Umweltzieles Nr. 3 „nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen“ notwendig. Ernste Umweltschadensfälle, wie in Königstein (Sachsen), Stráz pod Ralskem (Tschechien; Andel und Pribán, 1996) oder Devladovo (Ukraine; Molchanov et al. 1995) geschehen werden im JRC-Bericht nicht erwähnt.

Die oberflächliche Beschäftigung des JRC-Berichts mit der ISL-Technologie ist bedauerlich, da ISL als vorteilhafte Technik im Vergleich zum klassischen Bergbau beschrieben wird, da z. B. keine großen Abraumhalden entstehen und auch keine großflächigen Tagebaue aufgefahren werden müssen. Der JRC-Bericht räumt zwar ein, dass die eingesetzten Auslaugungs-Fluide schädlich sein können, die Häufigkeit solcher Schäden und das tatsächliche Risiko, das mit ISL verbunden ist, werden jedoch nicht explizit benannt, mit Beispielen belegt oder quantifiziert. Ganz im Gegenteil: Betrachtet man Abb. 3.3.1-11 nur flüchtig, so erscheint ISL als eine Technik, bei der fast keine Gefahren für die Umwelt drohen. Zwar wird auf die kritische Bedeutung von ISL für das Grundwasser durch eine rote Farbgebung hingewiesen; dieser Punkt geht aber fast unter in der blauen Kennzeichnung der andern Betriebsaspekte geringerer Bedeutung.

Quellen:

(Andel und Pribán, 1996), (Molchanov et al., 1995)

Nr. 46

Fundstelle:

A 3.3.1.2, S. 67

Bezugstext:

Figure 3.3.1-8 illustrates the [...] the tailings of the Schlema-Alberoda underground mine [...]. These huge uranium ore tailings [...] have now been removed and the affected area has been completely remediated.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Wismut GmbH war nach der Wiedervereinigung verpflichtet, die Bergbauflächen zu sanieren, die sich am 30.05.1990 im Besitz der SDAG Wismut befanden. Die Sanierungen durch die Wismut GmbH wurden zu einem großen Teil durch den Steuerzahler finanziert. Die Verwahrungsbauwerke und ihr radioaktiver Inhalt erfordern noch für viele Jahre eine stetige Überwachung.

Nr. 47

Fundstelle:

A 3.3.1.2.2 und A 3.3.1.2.3, S. 68–72

Bezugstext:

Non-radioactive impacts (Kapitel 3.3.1.2.2) vs. Radioactive impacts (Kapitel 3.3.1.2.3)

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Trennung des Kapitels „Identification of key potential impacts on the environment and human health“ in die beiden Unterkapitel „Non-radioactive impacts“ und „Radioactive impacts“ wird nicht konsequent eingehalten. Gerade zu Beginn von Unterkapitel 3.3.1.2.2 werden die nicht-radioaktiven Einflüsse des Uranbergbaus auf die Umwelt mit denen des „konventionelle“ Erzbergbaus gleichgesetzt. Anschließend werden in dem gleichen Unterkapitel „Non-radioactive impacts“ die (radioaktive) Kontamination von umliegenden Böden durch Haldenstaub thematisiert. Sogar die Tailingbecken-Havarie von Church Rock (New Mexico, USA), bei der es sich um einen signifikanten Unfall mit hohen Folgewirkungen in den USA handelte, taucht bei den nicht-radioaktiven Einflussgrößen auf, obwohl beim Dammbbruch von Church Rock am 16. Juli 1979 die radioaktive Verseuchung der Umgebung das Hauptproblem darstellt. Der Absatz über Church Rock auf Seite 70 (letzter Absatz in Teil A 3.3.1.2.2 und erster Absatz auf S. 71) zeigt exemplarisch, wie im Uranbergbau-Kapitel des JRC-Berichts die negativen Konsequenzen der Uranerzförderung zwar benannt werden, aber nicht in ihrem vollen Umfang und auch nicht in Bezug auf die potentielle Verletzung der Umweltziele der Taxonomie und der Befolgung der „DNSH“-Kriterien. Details zur Church Rock Havarie und den noch heute spürbaren Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit der Anwohner*innen finden sich u.a. im SRIC Report (2007) und in Knutson (2021). Diese Dimension sollte in den Blick genommen werden, um die Bedeutung der einzelnen mit dem Uranbergbau verbundenen Risiken richtig bewerten zu können.

Quellen:

(SRIC, 2007), (Brugge et al., 2007), (Arnold, 2014), (Knutson, 2021)

Nr. 48**Fundstelle:**

A 3.3.1.2, S. 78

Bezugstext:

If radioactive impacts are considered, then uranium mining and milling operations first of all must pay special attention to eliminating the human hazards [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Problematisch ist der Stil, in dem notwendige Maßnahmen zur Erfüllung der Umweltstandards beschrieben werden: Häufig werden selbstverständliche Maßnahmen, wie in o.g. Zitat genannt, als absolute Notwendigkeit herausgehoben, ohne im Detail zu erklären, wie im genannten Beispiel, Schaden vom Menschen abwendet werden kann. An anderer Stelle heißt es, dass Umweltschäden durch geeignete Maßnahmen verhindert werden können.

Nachvollziehbarer wäre es jedoch, konkrete Umweltmaßnahmen zu benennen – und auch, wie ihre Einhaltung überwacht werden kann, welche Behörde dafür zuständig ist und welche Strafen bei Nichteinhaltung fällig werden. Zwar wird im JRC-Bericht benannt, dass man Uranabraumhalden mit Ton abdecken kann und dass man Abraum nach unten hin abdichten muss, aber wie genau erfolgreiche Abdichtmaßnahmen durchzuführen sind und welche Restrisiken bleiben, wird nicht erläutert. Ebenso fehlen konkrete Beispiele für die erfolgreiche Benennung von Umweltstandards, für die erfolgreiche Durchführung von Planfeststellungsverfahren etc. Das gleiche gilt in umgekehrter Richtung: es fehlen „best practice examples“ genauso wie „worst practice examples“.

Nr. 49**Fundstelle:**

A 3.3.1.3, S. 74

Bezugstext:

z. B. Bildüberschrift Abb. 3.3.1-13: [...] total LC of nuclear energy [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

In diesem Unterkapitel werden Einflussindikatoren für den gesamten Nuklearkreislauf diskutiert, obwohl es in Kapitel 3.3.1 eigentlich nur um den Uranbergbau und die Erzaufbereitung gehen soll. Der weitere Blick ist aber sinnvoll, um die Einflussfaktoren des Uranbergbau und der Erzaufbereitung richtig einordnen zu können. Dadurch wird deutlich, dass der Uranbergbau im gesamten Nuklearkreislauf den größten Einfluss auf die Umwelt hat. Allerdings werden daraus im Endeffekt nicht die richtigen taxonomischen Schlüsse gezogen (siehe auch den nächsten Punkt 50).

Nr. 50**Fundstelle:**

A 3.3.1.4, S. 76

Bezugstext:

As mentioned before “green mining” or “sustainable mining” gradually gains ground also in the uranium mining industry. The principles and practices of environmental friendly mining are being promoted by the International Council of Mining and Metals (ICMM). Mining companies that decided to operate as a “sustainable mine” must adhere to the ICMM principles of sustainable development.

Wissenschaftliche Prüfung:

In den „Best Practices“ der ICMM wird der Begriff „Nachhaltigkeit“ nicht klar definiert. Man will sich zwar an die Definition der Brundtland-Kommission binden, allerdings müssen Profit und Nachhaltigkeit in Einklang gebracht werden (Prinzip I: Das Beachten nachhaltiger Entwicklung). Es stellt sich also die Frage, was Nachhaltigkeit in einem Sektor ist, der Bodenschätze ausbeutet, die nicht ohne weiteres nachwachsen. Die Debatte darüber ist kontrovers (z. B. Gorman und Dzombak, 2018; Lahiry, 2017; Tyson, 2020). Gorman und Dzombak (2018) fokussieren sich auf die Notwendigkeit, die Nachhaltigkeit über den gesamten Nutzungskreislauf einer Bergbauoperation zu betrachten und bereits existierende Umweltregeln für Nachhaltigkeit anzuwenden. Das Taxonomie-Umweltziel Nr. 4 „Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, Abfallvermeidung und Recycling“ klingt hier an. Lahiry (2017) fordern eine starke Aufsicht durch Regierungsbehörden, um Nachhaltigkeit und verlässliche Umweltstandards durchzusetzen. Tyson (2020) betont, dass echte Nachhaltigkeit im Bergbausektor natürlich nicht erreicht werden kann – schließlich handelt es sich um eine abbauende und nicht nachwachsende Tätigkeit. Allerdings kann eine bergbauspezifische Form von Nachhaltigkeit erreicht werden, wenn ALLE Akteure (oder auch „stakeholder“) gleichberechtigt und fair in den Definitionsprozess von Nachhaltigkeit (und ihrer Umsetzung) einbezogen werden. Jedoch spielen im JRC-Bericht – außer den Betreibern – einzelnen Akteure, die in Bergbauaktivitäten involviert sind, keine Rolle. Dies trifft insbesondere auf die indigene Bevölkerung zu, obwohl ein Großteil der Uranminen sich auf dem Land indigener Gruppen befindet (vor allem in den USA und Kanada sowie in Australien). Diesen Menschen muss Zugang zu den lebensnotwendigen Ressourcen gewährt werden. Sie brauchen Mitsprache bei der Nutzung des Landes auf dem sie leben. Darauf weist auch schon Stagl (2020) in ihrem Bericht zur Rolle der Kernenergie bezüglich der EU-Taxonomie-Verordnung für das österreichische Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie hin. Im Uranbergbau-Kapitel des JRC-Berichts wird zudem auch die Rolle von Behörden und Regierungsstellen bei der Genehmigung von Uranbergbauvorhaben oder bei der Überprüfung der Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards weder diskutiert, noch definiert (nicht im hier behandelten Teil A 3.3.1.4, noch an anderer Stelle in Teil A 3.3.1 oder Teil A 5.5 und im damit zusammenhängenden Annex 4.2). Dies wäre aber für eine Einordnung von Umweltregulierungsmaßnahmen im Sinne der EU-Taxonomie sehr wichtig.

Quellen:

(Gorman und Dzombak, et al. 2018), (Lahiry, 2017), (Tyson, 2020), (Le Monde diplomatique et al., 2019), (Stagl, 2020), (DIIS, 2021)

Nr. 51

Fundstelle:

A 3.3.2.2.2, S. 86

Bezugstext:

short-lived decay products coming from the ^{238}U decay chain.
[...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Da es sich zu diesem Zeitpunkt der Produktionskette um Natururan handelt, kann man die Töchter Pa-231 bzw. Th-230 bzw. Ra-226 im transienten Gleichgewicht aus der Uran-Radium-Reihe nicht unbedingt als „kurzlebig“ bezeichnen.

Nr. 52

Fundstelle:

A 3.3.2.2.2, S. 86

Bezugstext:

The plant personnel may receive direct radiation impacts – through gamma radiation – during handling and/or inspection of the UF_6 storage cylinders. These impacts must be duly monitored and controlled.

Wissenschaftliche Prüfung:

Nicht ausschließlich. Aus der Uran-Radium Zerfallsreihe besteht bei Undichtigkeiten (innerhalb des gesamten Prozesses) auch die Möglichkeit einer zusätzlich Rn-222 Exposition. Der chemische Zustand des Urans ist hierfür unwesentlich.

Nr. 53

Fundstelle:

A 3.3.2.2.2, S. 86

Bezugstext:

Calcination gases are treated and filtered to recover uranium and other elements before releasing them to the atmosphere

Wissenschaftliche Prüfung:

Unklar bleibt, ob bei der Gaswäsche ebenfalls das Rn-222 zurückgehalten wird. Dies ist technologisch fast nicht möglich. Es wird nicht erwähnt, dass signifikante Mengen des Radons (als Teil der Uran-Radium-Zerfallsreihe) in die Umwelt freigesetzt werden.

Quelle:

(Tetyana and Voitsekhovych, 2013)

Nr. 54

Fundstelle:

A 3.3.2.5.2, S. 89

Bezugstext:

Short-lived isotopes disappeared from the contaminated calcium fluoride, the uranium can be recovered and the remaining CaF_2 can either be reused or disposed of as technological (non-radioactive) waste.

Wissenschaftliche Prüfung:

Th-230 und Ra-226 sind die Hauptnuklide in diesem Abfall. 75.000 a bzw. 1600 a Halbwertszeit. Das CaF_2 ist keinesfalls freigabefähig.

Quelle:

(Abdelouas, 2006)

Nr. 55

Fundstelle:

A Table 3.3.2-1., S. 90

Bezugstext:

Gaseous RA releases ++ Proper handling of UF₆ Only accidental releases cylinders

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Rn-222 Freisetzung im Regelbetrieb aus der Anlage heraus wurde bei diesem Kriterium offenbar nicht mit berücksichtigt.

Nr. 56

Fundstelle:

A 3.3.3.2.2, S. 98

Bezugstext:

As mentioned above, the enrichment process generates large amounts of depleted uranium which can be considered as a by-product for future use or as waste. UF₆ can be stored in steel containers for long periods of time (i. e. for decades), provided that there is a suitable periodic surveillance programme in place to ensure the long-term integrity of the containers. Alternatively it can be "deconverted" to depleted U₃O₈, which is a more stable substance, better suited for storage or disposal, allowing also the recovery of high purity hydrofluoric acid for industrial use. Deconversion can also save a significant amount of uranium mining. Alternatively, the HF is neutralized into CaF₂ for storage or for industrial use.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist nicht nachvollziehbar, warum durch die Dekonversion von abgereichertem Uran die Urangewinnung durch den Bergbau signifikant reduziert wird.

Bei der Dekonversion von abgereichertem Uran handelt es sich um die Rückführung des Uranhexafluorid in U₃O₈ sowie spezielle Fluoridgase und wasserfreie Flusssäure, zu dem Zweck der risikofreieren Entsorgung von U₃O₈ und kommerziellen Nutzung der Fluorverbindungen.

Nr. 57

Fundstelle:

A 3.3.3.5.1, S. 99

Bezugstext:

The UF₆ feedstock, the enriched end-product and the remaining depleted uranium (tailings) are all stored in standard transport cylinders. For these cylinders the highest potential risk is represented by those accidents when the integrity of the cylinders is lost. Therefore all UF₆ cylinder handling and storage operations must be conducted in a manner that minimizes the chances of accidents

Wissenschaftliche Prüfung:

Bei der Urenco in Gronau wird das abgereicherte Uranhexafluorid in einem Freilager unter freiem Himmel neben der Urananreicherungsanlage gelagert. Am 15. August 2019 betrug diese Menge ca. 22.000 t Uranhexafluorid (ca. 1.850 Behälter). Diese Art der Lagerung setzt eine hohe Integrität der Behälter gegen Witterungsschäden voraus. Bei Verlust der Integrität droht das Risiko der Freisetzung von Uranhexafluorid, welches eine hohe Toxizität aufweist.

Eine ausführlichere Darstellung wäre hier erforderlich, um aufzuzeigen welche Maßnahmen getroffen werden um die Freisetzung von Uranhexafluorid zu verhindern und um die Integrität der Behälter zu gewährleisten. Auch gibt es

besondere Herausforderungen an die Sicherung des Uranhexafluorids in einem Freilager.

Quellen:

(Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH), 2004),
(Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH), 1979)

Nr. 58

Fundstelle:

A 3.3.3.3, S. 99

Bezugstext:

There are no atmospheric or liquid radioactive discharges and no significant amount of solid radioactive waste is produced in any waste category. Note that the depleted uranium is usually not considered as radioactive waste, because later it is either deconverted to uranium oxide and HF (hydrofluoric acid) or reused again for enrichment.

Wissenschaftliche Prüfung:

In diesem Statement geht das JRC davon aus, dass das UF_6 als „Wertstoff“ zur Synthese von Flußsäure dient. Faktisch ist das „gelöschte“ U_3O_8 aber Abfall. Das Uran dient(e) zur Herstellung von Trimmgewichten (hohe Dichte) oder panzerbrechender Munition aufgrund der pyrophoren Eigenschaft des Urans. Ein Großteil des abgereicherten Urans (>90%) kann aber nicht in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt werden und ist für die Endlagerung bestimmt. Vor diesem Hintergrund ist die Aussage zu „keinem Abfall“ mindestens unvollständig.

Quellen:

(Croff et al., 2000), (Priest, 2001), (Betti, 2003), (Abu-Quare und Abou-Donia, 2002)

Nr. 59

Fundstelle:

A 3.3.3.5.2, S. 100

Bezugstext:

Although the specific activity of the materials handled during the enrichment process is usually low, these substances represent a threat to human health if inhaled or ingested. Therefore the enrichment technology has to apply strict health protection and worker's safety measures during the whole process to avoid such effects. If radiological environmental impacts are considered, then prevention of water and air pollution by radioactive materials is the main protection measure to avoid the emergence of such effects.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es fehlt die Störfallbetrachtung, denn durch den Betrieb einer Urananreicherungsanlage kann es zur Freisetzung von radioaktiven Stoffen kommen.

Quelle:

(Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH), 2004)

Nr. 60

Fundstelle:

A 3.3.4.2, S.103

Bezugstext:

Since the fabrication of fuel is done at high-temperatures, the fuel production is an energy-intensive process. However, the required energy relative to the amount of energy generated from the fuel is very small.

Wissenschaftliche Prüfung:

Wenn man den Energieaufwand zur Herstellung des gesamten Brennelementes betrachtet, welches die Gewinnung, Aufreinigung, Legierung, das Walzen, Ziehen, Umglühen und Schweißen des Hüllrohrs aus Zirkoniumlegierungen sowie die Produktion sämtlicher BE-Strukturteile aus Chromstahl betrachtet, wird die Marge immer kleiner. Im Rahmen dieses Gutachtens kann leider keine detaillierte Energieaufwandsanalyse hierzu durchgeführt werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die metallischen Teile eines Brennelementes (rund 350 kg) wie auch der Brennstoff selbst als HLW entsorgt werden müssen. Eine Rückführung in den Wertstoffkreislauf ist nicht möglich. Je geringer der Endabbrand des Brennelementes und der elektrische Wirkungsgrad des Kraftwerkes also sind, umso weniger ist es „positiv“ in seiner Energiebilanz.

„To meet current industry demands, 10 to 15 million feet/year (3 to 4 1/2 million m/yr) of cladding must be manufactured. Increased complexity in manufacturing a given cladding design will tend to increase the cost of the cladding and increase the cost of fuel operation.“ (Lahoda und Franceschini, 2011)

Quelle:

(Lahoda und Franceschini, 2011)

Nr. 61**Fundstelle:**

A 3.3.4.4, S. 105

Bezugstext:

Nuclear installations, such as fuel fabrication plants, are subjected to periodic controls, audits and environmental monitoring. Controls and continuous improvements of processes and operational practices further reduce the potential impacts.

Wissenschaftliche Prüfung:

Durch den Betrieb von Brennelementefabriken kann es zu Störfällen oder Unfällen kommen. Auch Kritikalitätsunfälle sind möglich. Das kann zu einer unkontrollierten Freisetzung von Radioaktivität oder anderen toxischen Stoffen (HF₆) führen.

Eine ausführliche Darstellung wäre hier erforderlich.

Quelle:

(Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH), 1997a)

Nr. 62**Fundstelle:**

A 3.3.5.1.2, S. 106

Bezugstext:

Its main potential can be realised by future fast neutron reactors in which the predominantly fertile content of the RepU can be transformed into fissile isotopes and burned in the same reactors. If fast neutron reactors are used with full recycling of plutonium and uranium, current uranium reserves would permit at least 5 000 years of operation at present global levels of nuclear power generation.

Text in Fußnote 61, S. 106:

“A second recycling in LWRs is feasible, but multiple recycling of plutonium in present day LWRs is limited as the fraction of fissile plutonium isotopes decreases at each recycling.”

Wissenschaftliche Prüfung:

In zwei vom BASE beauftragten Gutachten zu den Themen „Partitionierung und

Transmutation“ sowie „Small Modular Reactors“ wurde gezeigt, dass eine Wiederverwertung von recyceltem Uran und Plutonium weitere ungelöste Probleme (Risiken) aufwirft.

Die im JRC-Bericht getroffene Aussage ist daher in Frage zu stellen. Siehe auch Fußnote 61 des Berichts.

Quellen:

(BASE, 2021), (Frieß et al., 2021)

Nr. 63

Fundstelle:

A 3.3.5.1.3, S.107

Bezugstext:

„In comparison to the open cycle, a partially closed cycle [Anm.: Einfache Wiederaufbereitung] is not expected to give a major reduction of the footprint of a geological repository, as there will be a need to also dispose of the spent recycled MOX fuel elements. For a fully closed cycle, with total recycling of the plutonium and uranium, the needed repository size for the high level waste is reduced by 40% [3.3.5-3].“

Wissenschaftliche Prüfung:

Unklar ist, ob mit Size die Fläche oder das Volumen gemeint ist. Die Aussage scheint im Widerspruch zur Aussage in 3.3.5.2 zu stehen.

In diesem Abschnitt wird die Aussage gemacht, dass das erforderliche energie-spezifische Volumen für HLW bei Anwendung von einfacher Wiederaufbereitung gegenüber einem „open cycle“ von 1,17 auf 0,36 m³/TWh sinkt (-69%).

Es ist nicht nachvollziehbar, warum bei einer mehrfachen Rezirkulierung des Abfalls mehr Endlagerplatz für HLW erforderlich ist als bei einer einfachen Wiederaufbereitung.

Nr. 64

Fundstelle:

A 3.3.5.1.3, S. 107

Bezugstext:

[...] reprocessing brings benefits in terms of the quantities, heat load and radio-toxicity of radioactive wastes requiring geological disposal.

[...] In comparison to the open cycle, a partially closed cycle is not expected to give a major reduction of the footprint of a geological repository, [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Siehe vorhergehende Aussage lfd. Nr. 63.

Quelle:

Siehe Quellen zu 62.

Nr. 65

Fundstelle:

A 3.3.5.1.4, S. 108

Bezugstext:

Abbildung 3.3.5-1

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Grafik zeigt, dass die Kosten für Waste Management bei einer „all fast neutron

reactor strategy“ kaum noch ins Gewicht fallen. Die Reduktion dieser Kosten gegenüber dem „open cycle“ ist auf Basis des JRC-Berichts und der verwendeten Quelle nicht nachvollziehbar. Die Quelle gibt an, dass bei Anwendung eines geschlossenen Brennstoffkreislaufs mit Transmutation das Endlagervolumen um 70% reduziert werden kann (S. 23), gleichzeitig erhöht sich jedoch die Betriebszeit des Endlagers (80–100 Jahre gegenüber 30–60 Jahren; Seite 14/15).

Hinweis: Nach meinem Verständnis der „Do No Significant Harm“-Kriterien sind ökonomische Aspekte nicht relevant. Insofern ist dieser Punkt vermutlich hinfällig.

Quelle:

(EC-JRC, 2014)

Nr. 66

Fundstelle:

A 3.3.5.1.6, S. 110

Bezugstext:

Shearing of the fuel pins, as well as dissolution of the fuel in the nitric acid, release gaseous fission products including the noble gases krypton (Kr) and xenon (Xe), as well as iodine (I)70 and carbon-14 (14C) in the form of CO₂.

The gas stream is scrubbed prior to release and ensures that statutory emission limits are respected.

The noble gases krypton and xenon are released to the environment. They do not contribute significantly to the radiation dose of the workers or the public. The total radiation doses to members of the public from reprocessing operations in Europe are very low, as will be shown in Chapter 3.3.5.2.1, below (see in particular Figures 3.3.5-6 and 3.3.5-7).

Wissenschaftliche Prüfung:

Randbemerkung: Unklar warum Jod-Nuklide und C-14 nicht weiter diskutiert werden. In Abbildung 3.3.5-6 weisen die Autoren darauf hin, dass C-14 etwa 60% am Anteil der Dosis ausmacht.

Nr. 67

Fundstelle:

3.3.5.2.1, S. 110, 116

Bezugstext:

For comparison, about 40 PBq of 137Cs was released to the marine environment from the Sellafield and Cap de la Hague reprocessing plants, the majority in the 1970s and early 1980s.

Wissenschaftliche Prüfung:

Ob akkumulierte Aktivitäten von mehr als 40 PBq geringe Anteile sind, ist fraglich.

Vgl.: Tschernobyl hat 16 PBq Cs-137 emittiert.

Nr. 68

Fundstelle:

A 3.3.5.1.5, S. 109

Bezugstext:

It is of note that the plutonium discharged from commercial nuclear power plants is of poor quality in respect of fabrication of efficient atomic weapons due to its isotopic composition [68]. The plutonium is nevertheless submitted to all applicable international control measures; the reasoning is that even low grade materials could be of interest

Wissenschaftliche Prüfung:

In dem vorliegenden Bericht des JRC befindet sich in dem angegebenen Kapitel eine stark verkürzte Darstellung der sicherungstechnischen Aspekte der Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen.

Da bei sicherungstechnischen Fragen eine intelligente Gegenpartei angenommen werden muss, gestaltet sich die Bestimmung eines Risikos der Bevölkerung grundlegend anders als im Gebiet der Sicherheit. So ist zur Aufrechterhaltung eines angemessenen Maßes an Sicherheit für die Bevölkerung in Sicherheitsfragen unabdingbar nicht nur auf wissenschaftlich-technische Erkenntnisse der um die Sicherung besorgten Seite zu achten, sondern auch auf die wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse einer potentiellen Gegenpartei. Die diesbezüglichen Betrachtungen werden in stetig zu aktualisierenden Einschätzungen zur aktuellen Gefahrenlage übersetzt. Gerade im Bereich der Zwischenlagerung bedeutet dies aufgrund der in diesem Fall anzunehmenden langjährigen Lagerung, dass nur im begrenzten Maßstab Aussagen über die zukünftige Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen getroffen werden können. Zwar wird durch internationale Vereinbarungen und Anforderungen (CPPNM, Security Series) ein Rahmen definiert, jedoch ist davon auszugehen, dass eine dauerhafte Sicherung allein auf dieser Grundlage nicht garantiert werden kann. Da aus den hier dargelegten Gründen keine zeitlich unbegrenzte Aussage bezüglich der Sicherung getroffen werden kann, erscheint eine verkürzte Betrachtung wie in dem angegebenen Kapitel als nicht ausreichend um die vielfältigen und komplexen Szenarien und die damit verbundenen Gefahren durch den Missbrauch radioaktiven Materials in Gänze zu würdigen.

Im Übrigen ist darauf hinzuweisen, dass die Nuklidzusammensetzung von Plutonium aus Leistungsreaktoren eine militärische Nutzung in Form von Kernwaffen ermöglicht.

Quelle:

(BMU, 2012)

Nr. 69**Fundstelle:**

A 3.3.5.2.1, S. 113

Bezugstext:

High-level waste (HLW), in the case of the twice-through cycle, is only produced by the spent fuel reprocessing operations. It includes the fission products and minor actinides which are vitrified and stored in canisters for final disposal. Compared to the open cycle, in which fuel elements are encapsulated for disposal without reprocessing, the total volume of HLW is reduced considerably [72].

In France, HLW and ILW-LL are intended for disposal in geological repositories. The combined volume of these two categories of waste for the open and twice-through fuel cycles are as follows:

- Open fuel cycle: 1.49 m³/TWhe (0.32 m³/TWhe ILW-LL & 1.17 m³/TWhe HLW)
- Twice-through: 1.53 m³/TWhe (1.18 m³/TWhe ILW-LL & 0.36 m³/TWhe HLW)

It can be seen that the total volume of waste to be disposed of in a geological repository is not very different for the two fuel cycle options. However, HLW requires a greater excavated volume and surface area of geological repository than ILW-LL and also contributes more to the long-term radiotoxicity. As a result, according to [3.3.5–9], the estimated repository volume is 3.4 times higher for the open fuel cycle compared to the twice-through cycle.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Quelle, die der Aussage zugrunde liegt, scheint im Falle der Wiederaufbereitung lediglich verglaste Abfälle und Prozessabfälle der Endlagerung

zuzuführen. Die genutzten MOX-Brennelemente sowie größere Mengen Uran werden lediglich einem „Storage“ zugeführt, ohne dass ausgeführt wird, was damit erfolgen soll (Poinssot et al. 2014, S. 200). Insofern erfolgt hier ein Vergleich, bei dem wesentliche Abfallmengen im Falle der Wiederaufbereitung nicht berücksichtigt werden. In einer Fußnote führt der JRC-Bericht aus, dass im Falle einer Berücksichtigung die Einsparung wahrscheinlich nicht relevant wäre (S.113 – Fußnote 72).

Quelle:

(Poinssot et al., 2014)

Nr. 70

Fundstelle:

A Figure 3.3.5-6., S.114

Bezugstext:

It can be seen that while ^{85}Kr is responsible for almost 90% of radiological releases in (kBq/kWhe) from the reprocessing stage, it contributes less than 15% to the dose (in Sv) to the public. Carbon-14 is released in much smaller quantities, but contributes more than 50% to the public dose.

Wissenschaftliche Prüfung:

Bei den beiden diskutierten Nukliden handelt es sich um Beta-Strahler, die inert sind und nicht resorbiert werden (^{85}Kr) bzw. in relativ großer Menge durch kosmische Strahlung verursacht werden (^{14}C). Die Abbildung ist irreführend. Die größte Exposition mag aus den beiden Nukliden herrühren, doch sind sie im Vergleich zu den anderen Nukliden, welche eine bessere Biologische Verfügbarkeit haben (z. B. ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{129}I , ^{106}Ru) weniger schädlich. Die Folgen bei Inkorporation der Nuklide sind drastisch andere als bei äußerer Exposition. Besonders dramatisch ist diese bei den Alpha-Strahlern ^{241}Am und ^{239}Pu , welche bereits mit 3-5% zu Buche schlagen.

Nr. 71

Fundstelle:

A 3.3.5.2.1, S. 115

Bezugstext:

Abbildung 3.3.5.7

Wissenschaftliche Prüfung:

In der Abbildung wird die Individualdosis je erzeugte GWh für verschiedene Quellen (Mining, Wiederaufbereitung, Kernkraftwerke) dargestellt. Die dargestellten Dosen sind nur bedingt geeignet, um die Wirkung von Wiederaufbereitungsanlagen mit jenen von Schürf-Aktivitäten sowie dem Betrieb von Reaktoren zu vergleichen. Hintergrund ist, dass nicht berücksichtigt wird, dass einige Kernkraftwerke keine MOX-Brennstoffe nutzen und hier entsprechend auch keine Wiederaufbereitung erforderlich ist.

Hier wäre es passender, wenn lediglich auf die Strommenge abgestellt würde, die mithilfe von MOX-Brennstoffen bereitgestellt wurde.

Nr. 72

Fundstelle:

A 3.3.5.2.2, S. 117

Bezugstext:

Other solids: after the shearing and dissolution of the fuel rods, the separated metallic structural materials and claddings are compacted and put into waste drums. This waste is classified as ILW-LL.

A comparative study of the once-through cycle (OTC) with the twice-through cycle (TTC; nuclear fuel being reprocessed once) concluded that the geological deep repository (GDR) volume needed for the OTC is about 3.4 times higher than the GDR volume needed for the TTC. This is mainly explained by the lower HLW volume in the TTC (see [3.3.5-9] for details).

Wissenschaftliche Prüfung:

Siehe Kommentar zu 69 zu S. 113. Die Reduktion des Endlagervolumens resultiert nicht aus einer Reduzierung des Volumens, sondern daraus, dass Teile des Abfalls nicht berücksichtigt werden.

Für die Größe des Endlagers wäre überdies neben dem Volumen der Abfälle insbesondere auch deren Zerfallswärme zu berücksichtigen.

Nr. 73

Fundstelle:

A 3.3.5.3, S. 118

Bezugstext:

The construction, operation and decommissioning of a reprocessing plant can potentially have significant effects on the environment and therefore the following environmental EU legislation is relevant in the case of new projects, or changes to existing projects, [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Aspekte der Stilllegung und des Rückbaus werden nicht in dem geboten Umfang betrachtet.

Nr. 74

Fundstelle:

A 3.3.5.5, S. 119

Bezugstext:

In the light of the above analysis it can be concluded that industrial activities associated with reprocessing of spent nuclear fuel do not represent significant harm to human health or to the environment. They do not represent significant harm to any of the TEG objectives, provided that the associated industrial activities satisfy appropriate Technical Screening Criteria.

Wissenschaftliche Prüfung:

Auffällig ist, dass nur Emissionen aus dem Regelbetrieb (sowohl von WA-Anlagen als auch von Kernkraftwerken) berücksichtigt werden. Eine Abschätzung wie groß das Risiko im Falle einer Havarie ist, findet nicht statt.

Ebenfalls nicht berücksichtigt werden Emissionen während der Rückbauphase.

Unklar, ob dies im Rahmen der Methodik jedoch überhaupt relevant ist.

Nr. 75

Fundstelle:

A 3.3.6.2, S. 122

Bezugstext:

Due to its higher radiotoxic effects, fabrication of MOX fuels requires strict working conditions, stricter than UO₂. In the production facility three barriers are present:

- The under-pressured glove boxes, to confine the material and avoid contamination. In addition, lead-glass shielding reduces the radiation dose.

- The air from the glove box is filtered with high efficiency.
- The under-pressure laboratory, in which an eventual contamination can be contained. Again the air from the laboratory is filtered with high efficiency.
 - The reinforced building to protect the installation from external influences.

The potential impacts of MOX fabrication are not different from those of UO₂ fuel listed in Chapter 3.3.4, but the higher radiotoxicity of plutonium translates into smaller quantities, which can be processed in a single batch.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es fehlt eine Darstellung der Maßnahmen zur Verhinderung von Kritikalität.

Quelle:

(Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz (RSH), 1997b)

Nr. 76

Fundstelle:

A 3.3.7, S. 123

Bezugstext:

The power generation phase includes the construction, operation and decommissioning of nuclear power plants.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Zuordnung der Stilllegung von Kernkraftwerken zu einer übergeordneten Phase der Energieerzeugung (power generation phase) ist sachlich nicht richtig, da ein Kernkraftwerk in Stilllegung Energie verbraucht. Der Bericht unterscheidet nachfolgend richtigerweise zwischen Betrieb (operation) und Stilllegung (decommissioning). Dennoch verbleiben in einigen Fällen Unklarheiten (siehe auch lfd. Nr. 97 und lfd. Nr. 141).

Nr. 77

Fundstelle:

A 3.3.7.1.2, S. 125

Bezugstext:

Most of the potential environmental impacts of NPP operation are related either to radioactive emissions or to the use of cooling water.

Wissenschaftliche Prüfung:

Im Bericht wird lediglich „normal NPP operation“ betrachtet, Unfallszenarien werden hingegen nicht behandelt. Dieses gilt auch für die Stilllegung. Eine ganzheitliche Bewertung der Kernenergienutzung müsste eine Risikobewertung beinhalten.

Nr. 78

Fundstelle:

A 3.3.7.1.2, S. 125

Bezugstext:

Most of the potential environmental impacts of NPP operation are related either to radioactive emissions or to the use of cooling water.

Wissenschaftliche Prüfung:

Beim Betrieb von Kernkraftwerken kann es über die hier dargestellten potenziellen Umweltauswirkungen durch die kontrollierte Ableitung von radioaktiven Stoffen oder die Nutzung von Kühlwasser hinaus durch Störfälle oder schwere Unfälle auch zu erheblich größeren Umweltauswirkungen kommen, insbesondere durch unkontrollierte Freisetzungen radioaktiver Stoffe. Die

kerntechnischen Regelwerke sehen zur Vermeidung solcher Freisetzungen ein gestaffeltes Sicherheitskonzept vor (WENRA, 2014) (BMUB, 2015). Diese möglichen Freisetzungen und die damit verbundenen Umweltauswirkungen werden hier allerdings nicht betrachtet und müssten für die Bewertung der „Do No Significant Harm“-Kriterien noch ergänzt werden.

Quellen:

(WENRA, 2014), (BMUB, 2015)

Nr. 79

Fundstelle:

A 3.3.7.1.2, S. 125

Bezugstext:

In either case, most radionuclides remain within the structural materials (and will be later treated as solid waste during the decommissioning phase) or can be removed by the waste management systems of the nuclear plants, so that the radioactivity released to the environment during normal operation is minimised, and in any case below the authorised limits.

Wissenschaftliche Prüfung:

Auch beim Normalbetrieb von Kernkraftwerken kann es bei besonderen Vorkommnissen oder Ereignissen zu einer Ableitung radioaktiver Stoffe in die Umgebung kommen, die zu einer Überschreitung der behördlich festgelegten Grenzwerte führen. Zwar fordert z. B. auch das deutsche Regelwerk (BMUB), dass auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 jede Ableitung radioaktiver Stoffe mit Luft oder Wasser kontrolliert auf den dafür vorgesehenen Ableitungspfaden zu erfolgen hat und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalls auch unterhalb der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung so gering wie möglich zu halten ist, eine Überschreitung behördlich festgelegter Grenzwerte kann trotzdem nicht kategorisch ausgeschlossen werden. Dies wird im JRC-Bericht durch den Wortlaut „in any case below the authorised limits“ aber fälschlicherweise so dargelegt. Daher müsste die mögliche Überschreitung behördlich festgelegter Grenzwerte für die Bewertung der „Do No Significant Harm“-Kriterien noch ergänzt werden.

Quelle:

(BMUB, 2015)

Nr. 80

Fundstelle:

A 3.3.7.1.3, S. 128

Bezugstext:

The great majority of structures, systems and components (SSCs) in a nuclear power plant are replaceable. Some may be replaced routinely during normal maintenance procedures. The replacement of others may involve significant investment and extended plant outages. For the purposes of managing the condition of the plant, the replaceable SSCs can be classified as “critical” or “non-critical” for continued safe and efficient operation of the plant.

Non-critical SSCs are those that can be allowed to fail without causing concerns for safety or reliability of the plant. In most cases, they can simply be replaced or repaired when a fault is detected. Critical SSCs, on the other hand, include those that would cause safety or reliability issues if they were to fail. Preventive and predictive maintenance programmes are designed to ensure that such SSCs are replaced or repaired long before there is a significant risk of their failure.

Wissenschaftliche Prüfung:

Auch rein betriebliche Komponenten, die keine sicherheitstechnische Funktion

haben, können mittelbar einen Einfluss auf die Sicherheit der Anlage haben.

Der Ausfall von betrieblichen Komponenten kann z. B. der Ausgangspunkt von Ereignisabläufen sein, zu deren Beherrschung Sicherheitssysteme kreditiert werden müssen. Probabilistisch betrachtet kann so eine erhöhte Unzuverlässigkeit von betrieblichen Komponenten das von der Anlage ausgehende Risiko erhöhen.

Dies schlägt sich auch im Konzept der gestaffelten Sicherheitsebenen (SiAnf 2015, Abschn. 2.1 (1)) nieder. So sind bereits auf der Sicherheitsebene 1 (Normalbetrieb) Einrichtungen und Maßnahmen vorgesehen, die „das Eintreten von Störungen vermeiden“.

Dementsprechend darf der Einfluss betrieblicher Komponenten bei Betrachtungen zu Laufzeitverlängerungen nicht unberücksichtigt bleiben. Folgerichtig werden solche Komponenten auch in probabilistischen Sicherheitsanalysen modelliert und ihr Einfluss einbezogen.

Quelle:
(BMUB, 2015)

Nr. 81

Fundstelle:

A 3.3.7.1.3, S. 128

Bezugstext:

The condition of other systems, structures and components can be ensured by proper ageing management (including inspection, monitoring, maintenance and repair or replacement).

Wissenschaftliche Prüfung:

Im gesamten Kapitel 3.3.7.1.3 zu lifetime extension bzw. long-term Operation von Kernkraftwerken werden ausschließlich die technischen Aspekte, insbesondere zu Strukturen, Systemen und Komponenten, betrachtet. Dabei wird auch auf das Alterungsmanagement verwiesen. Die über die technischen Aspekte hinausgehenden wichtigen nichttechnischen Aspekte werden allerdings nicht betrachtet. So wird z. B. in den Safety Reference Level der WENRA darauf hingewiesen, dass ein „long-term staffing plan for activities that are important to safety“ existieren muss (WENRA, 2014). Im deutschen Regelwerk wird zudem auch speziell beim Alterungsmanagement eine Berücksichtigung der nichttechnischen Aspekte gefordert, wie z. B. die Qualifizierung und der Kompetenz- und Know-how-Erhalt des Personals (KTA, 2017a, in Verbindung mit KTA, 2017b).

Insgesamt werden im gesamten Abschnitt die nichttechnischen Aspekte bei einer lifetime extension bzw. einem long-term Operation nicht betrachtet. Dies müsste für die Bewertung der „Do No Significant Harm“-Kriterien noch ergänzt werden.

Quellen:
(WENRA, 2014), (KTA, 2017a), (KTA, 2017b)

Nr. 82

Fundstelle:

A 3.3.7.1.4, S. 129

Bezugstext:

There are three main strategies for decommissioning of nuclear facilities: immediate dismantling, deferred dismantling, also called safe enclosure, and entombment. In the first case, a facility is dismantled right after its shutdown. In the second case, the facility is kept in a state of safe enclosure for several decades

followed by dismantling. In the third case, the facility is encapsulated and kept isolated until the radionuclides decay to levels that allow release from nuclear regulatory control. The present trend is in favour of the immediate dismantling.

Wissenschaftliche Prüfung:

„Entombment“ zählt lt. IAEA nicht zu den Stilllegungsstrategien (siehe z. B. IAEA GSR Part 6), sondern kommt nur ausnahmsweise in Betracht (z. B. nach Unfällen). Die Beschreibung, dass am Ende des „entombment“ die Entlassung aus der atomrechtlichen Überwachung steht, ist irreführend. Faktisch ist „entombment“ eher zu vergleichen mit einer dauerhaften Vor-Ort-Endlagerung von radioaktivem Abfall.

Quelle:

(IAEA, 2014a)

Nr. 83

Fundstelle:

A 3.3.7.1.4, S. 129

Bezugstext:

“Green field” (or “unrestricted use”): the site hosting the decommissioned plant is released free of any constraints linked to the past nuclear activity after it has been cleaned from any trace of artificial radioactivity and eventually restored to the previous conditions

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Aussage “[...] after it has been cleaned from any trace of artificial radioactivity [...]” ist nicht korrekt. Bei der Entlassung von Anlagengelände aus der atomrechtlichen Überwachung werden i.d.R. Freigabewerte zugrunde gelegt, die durch Messung nachweislich unterschritten sein müssen. Dann ist die weitere Nutzung des Anlagengeländes aus radiologischer Sicht unbedenklich. Das ist aber nicht gleichzusetzen mit einer Beseitigung von „jeder Spur von künstlicher Radioaktivität“, wie im Bericht dargestellt.

Quelle:

In Deutschland ist die Freigabe in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) geregelt, die Freigabewerte finden sich dort in der Tabelle 1 der Anlage 4.

Nr. 84

Fundstelle:

A 3.3.7.1.4, S. 129–130

Bezugstext:

The main steps of the decommissioning process (see figure) are: [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

In der nachfolgenden Auflistung der Hauptschritte des Stilllegungsprozesses fehlt die explizite Erwähnung der Schritte „Entfernung des Kernbrennstoffes aus der Anlage“ sowie „Zwischenlagerung des radioaktiven Abfalls“.

Nr. 85

Fundstelle:

A 3.3.7.2.2, S. 135

Bezugstext:

The following table shows the radioactivity released by nuclear plants through liquid and gaseous releases during normal operation, broken down by reactor technology. [...]

As far as the effect on human health is concerned, the impact of these releases is better measured in terms of individual or collective doses, as this effect depends not only on the radioactivity level, but also on the physical and chemical form of the radioisotope involved.

The individual dose to the public, normalised to the unit of electricity produced and considered for a characteristic individual (living at 5 km from the point of discharge and with the typical food and behavioural patterns in the region) has been estimated to be $1.3 \cdot 10^{-3}$ mSv/(GWh) [3.3.7–40] in Europe⁸⁴, a value much lower than the reference value for effective dose for public exposure of 1 mSv/year used by the international safety standards (i. e.: IAEA GSR Part 3).

⁸⁴ Differing values across continents reflect the different proportion of reactor types in each region, as well as differences in food habits. Values estimated by [3.3.7–40] for all other areas are lower than for Europe.

Wissenschaftliche Prüfung:

Beim Betrieb von Kernkraftwerken kann es durch Störfälle oder schwere Unfälle zu unkontrollierten Freisetzungen mit Luft oder Wasser kommen. Diese Freisetzungen können dann zu Individualdosen für Einzelpersonen der Bevölkerung führen, die um Größenordnungen höher als die hier angegebenen Werte liegen, auch bei sofortiger Einleitung von Notfallschutzmaßnahmen. So werden dafür beispielsweise in dem im JRC-Bericht zitierten GSR Part 3 der IAEA Dosiswerte von 20 bis 100 mSv als Referenzlevel aufgeführt (IAEA, 2014b). Dieser Aspekt möglicher höherer Individualdosen wird hier nicht betrachtet und müsste für die Bewertung der „Do No Significant Harm“-Kriterien noch ergänzt werden.

Quelle:

(IAEA, 2014b)

Nr. 86

Fundstelle:

A 3.3.7.2.4, S. 139

Bezugstext:

Non-radiological impacts

The non-radioactive impacts of decommissioning can be considered similar to the conventional construction/demolition activities, and in particular they include:

- Release of gaseous and liquid effluents;
- Acoustic emissions;
- Waste production;
- Increase induced in traffic.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier müsste – wie auch bei NPP construction auf S. 132 angegeben – der Aspekt Energieverbrauch erwähnt werden:

Impacts related to the electricity and fuel consumption during the decommissioning

Nr. 87

Fundstelle:

A 3.3.7.2.4, S. 139

Bezugstext:

Due to these considerations the attitude has changed in recent decades and now the preferred strategy is immediate decommissioning after shut-down [3.3.7–28].

Wissenschaftliche Prüfung:

Eine generelle, weltweite Abkehr von der Stilllegungsstrategie „deferred

dismantling“ kann nicht aus der im Bericht angegebenen Quelle [3.3.7–28] abgeleitet werden. Vielmehr werden dort viele Beispiele genannt, bei denen „deferred dismantling“ zum Einsatz gekommen ist und es werden die jeweiligen Argumente bei der Wahl der Stilllegungsstrategie diskutiert. Gleichwohl bezeichnet die IAEA im für Stilllegung maßgeblichen GSR Part 6 den sofortigen Rückbau als zu bevorzugende Stilllegungsstrategie (IAEA, 2014a).

Quellen:

(IAEA, 2018), (IAEA, 2014a)

Nr. 88

Fundstelle:

A 3.3.7.2.4, S. 140

Bezugstext:

Figure 3.3.7-8. Quantities of materials from decommissioning in Germany;
Source: [3.3.7-48]

Wissenschaftliche Prüfung:

In der hier angegebenen Quelle [3.3.7-48] finden sich nicht die gezeigten Abbildungen. Vielmehr sind die Abbildungen der GRS-Broschüre GRS-S-58 entnommen. Diese GRS-Broschüre wird in einer Fußnote auf S. 139 aufgeführt, ist aber nicht im Literaturverzeichnis enthalten.

Quellen:

[3.3.7-48] ARTEMIS peer-review report – Germany, 2019,

Fußnote auf S. 139:

Decommissioning of Nuclear Facilities, GRS-S-58, 2nd edition (2017), Abbildungen siehe Fig. 31 und Fig. 32.

Nr. 89

Fundstelle:

A 3.3.7.2.4, S. 140

Bezugstext:

Discharge limits for the decommissioning phase are generally reduced to the level of radiological non-relevance (de minimis dose). This means that the sum of authorised discharges (gaseous and liquid) should not produce the effective dose to any individual member of the public superior to 10 µSv in a year (trivial dose that represents a level of risk which is generally accepted as being of no significance to an individual, or in the case of a population, of no significance to society).

Wissenschaftliche Prüfung:

Der hier angegebene Grenzwert von 10 µSv pro Jahr für Ableitungen (gasförmig und flüssig) ist im Zusammenhang mit Ableitungen falsch. Vielmehr bezieht sich dieser Wert auf die Freigabe von Stoffen aus der atomrechtlichen Überwachung, siehe z. B. RL 2013/59/Euratom. Die Grenzwerte für Ableitungen liegen i.d.R. höher, z. B. beträgt der Grenzwert der effektiven Dosis der durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft und Wasser jeweils bedingten Exposition für Einzelpersonen der Bevölkerung 0,3 Millisievert (mSv) im Kalenderjahr (vgl. z. B. § 99 Absatz 1 StrlSchV).

Quelle:

Richtlinie 2013/59/EURATOM

Nr. 90

Fundstelle:

A 3.3.7.2.4, S. 141

Bezugstext:

[...] Moderate quantities of intermediate level waste might come from the most activated parts of the reactor (such as internals of the vessel and biological shield), whereas generally no HLW is generated in this step, since spent fuel is removed from the plant before starting the decommissioning.

Wissenschaftliche Prüfung:

In Deutschland ist der Rückbau auch genehmigungsfähig, wenn sich noch Brennelemente in der Anlage befinden (Brennelemente im Brennelementlagerbecken).

Nr. 91

Fundstelle:

A 3.3.7.3, S. 143

Bezugstext:

Table 3.3.7-6. Environmental impacts from NPP phases according to different sources

Wissenschaftliche Prüfung:

Es fehlt die Angabe der verwendeten Quellen.

Nr. 92

Fundstelle:

A 3.3.7.4, S. 144

Bezugstext:

The most relevant international treaties and agreements for nuclear power plants are the following:

- Convention on Nuclear Safety, adopted in Vienna in 1994, entered into force in 1996, signed by 89 Contracting Parties (current status)

[...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Offenbar wurde die Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management hier nicht zugrunde gelegt (fehlt in der Listung), obwohl diese gerade für die Stilllegung von hoher Relevanz ist.

Quelle:

(IAEA, 1997)

Nr. 93

Fundstelle:

A 3.3.7.5.2, S. 146

Bezugstext:

(d) Atmospheric and liquid radioactive effluents

Radioactive releases to the atmosphere are subject to legal limits, set in agreement with international guidance so that radiation will not result in any harm for the population or the environment. Utilities continuously monitor the effluents and report the data obtained to the regulatory authority.

Wissenschaftliche Prüfung:

Beim Betrieb von Kernkraftwerken kann es durch Störfälle oder schwere Unfälle zu unkontrollierten Freisetzungen mit Luft oder Wasser kommen, die zu einer Überschreitung von gesetzlichen Grenzwerten führen (IAEA, 2014b). Dies wäre

ggf. mit Schäden für die Bevölkerung oder Umwelt verbunden. Dieser Aspekt wird hier nicht betrachtet und müsste für die Bewertung der „Do No Significant Harm“-Kriterien noch ergänzt werden.

Quelle:

(IAEA, 2014b)

Nr. 94

Fundstelle:

A 3.3.7.6, S. 148

Bezugstext:

[...] For this reason, the life extension of NPPs tends to reduce the environmental load, as the impacts from construction and decommissioning can be distributed over a larger lifetime production, with only marginal increases due to the investments associated to the life extension process.

Fundstelle:

A 3.3.7.2.3, S. 138

Bezugstext:

[...] This clearly results from the additional energy that will be generated by the plant, while the construction activities and materials, and the decommissioning waste, will increase only marginally, due only to the need to replace some SCs for the life extension period.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist unklar, ob bei dieser Aussage berücksichtigt wurde, dass bei einem längeren Betrieb von Kernkraftwerken tendenziell mehr Aktivierung und Kontamination (z. B. eventuell durch Brennelementschäden) in der Anlage vorhanden sind. Nach Abschaltung ist dann der Aufwand für Dekontamination und radiologische Charakterisierung höher und es entsteht mehr radioaktiver Abfall. Wurde das bei dieser Untersuchung berücksichtigt bzw. bewertet?

Nr. 95

Fundstelle:

A 3.3.7.6, S. 148

Bezugstext:

The results of the LCA surveyed show that the operation of the plants represent a limited fraction of the total environmental impact. For this reason, the life extension of NPPs tends to reduce the environmental load, as the impacts from construction and decommissioning can be distributed over a larger lifetime production, with only marginal increases due to the investments associated to the life extension process.

Wissenschaftliche Prüfung:

Durch eine Laufzeitverlängerung und die damit verbundenen zunehmenden Alterungseffekte kann sich die Wahrscheinlichkeit für Störfälle oder schwere Unfälle signifikant erhöhen (INRAG, 2021). Damit werden auch potenzielle Umweltauswirkungen erhöht. Zur Vermeidung solcher potentiellen negativen Auswirkungen sind entsprechende Maßnahmen zu treffen, wie z. B. Alterungsmanagementprogramme und/oder Nachrüstungen. Die Prüfung der Genehmigungsfähigkeit einer Laufzeitverlängerung liegt dann in der Verantwortung der einzelnen EU-Mitgliedsstaaten. Dies wird in vielen Staaten z. B. an die Ergebnisse von periodischen Sicherheitsüberprüfungen geknüpft. Diese Aspekte werden hier nicht betrachtet und müssten für die Bewertung der „Do No Significant Harm“-Kriterien noch ergänzt werden.

Quelle:

(INRAG, 2021)

Nr. 96

Fundstelle:

A 3.3.7.6, S. 148

Bezugstext:

In the light of the above analysis it can be concluded that NPP operation activities⁹⁷ do not represent unavertable harm to human health or to the environment. They do not represent significant harm to any of the TEG objectives, provided that the associated industrial activities satisfy appropriate Technical Screening Criteria.

⁹⁷ Note that the “NPP operation” lifecycle phase includes the construction, operation and decommissioning of nuclear power plants, as well as the long-term operation of these facilities

Wissenschaftliche Prüfung:

Beim Betrieb von Kernkraftwerken (hier in diesem Absatz zu verstehen als Gesamtbegriff für Errichtung, Betrieb und Stilllegung) kann es zu Störfällen oder schweren Unfällen kommen. Die kerntechnischen Regelwerke sehen zur Vermeidung solcher Störfälle oder schwerer Unfälle ein gestaffeltes Sicherheitskonzept vor (WENRA, 2014) (BMUB, 2015). Die Tatsache möglicher Unfälle wird in Kapitel 3.5 des JRC-Berichts selbst auch eingeräumt, allerdings nur ganz kurz erwähnt und nicht detailliert untersucht. So können insbesondere unkontrollierte Freisetzungen radioaktiver Stoffe zu erheblichen Umweltauswirkungen führen. Eine detaillierte Betrachtung von Störfällen und schweren Unfällen müsste für die Bewertung der „Do No Significant Harm“-Kriterien noch ergänzt werden.

Quellen:

(WENRA, 2014), (BMUB, 2015)

Nr. 97

Fundstelle:

A 3.3.7.6, S. 149

Bezugstext:

Table 3.3.7-7. Importance of NPP operation impacts on the TEG environmental objectives

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist für diese Tabelle nicht eindeutig, ob hier unter „NPP operation impact“ auch die Stilllegung mit enthalten ist (vgl. lfd. Nr. 43). Die Fußnote auf S. 148 legt dieses nahe, dann müsste die Tabellenbeschriftung präzisiert werden auf: Importance of NPP lifecycle impacts on the TEG environmental objectives.

Nr. 98

Fundstelle:

A 3.3.8.1, S. 155

Bezugstext:

The typical envisaged duration of interim storage is a few decades. For instance, interim storage of spent fuel dual purpose casks in Germany is licensed for 40 years; the interim storage duration will have to be extended since operation licences of the storage facilities will expire between 2034 and 2047, and the disposal repository will not be available before 2050. In Spain, the interim storage facilities are licensed for 20 years. In France, vitrified HLW packages will require a minimum storage time of 60 to 70 years, depending on the specific decay heat [3.3.8-6].

Wissenschaftliche Prüfung:

Ein zeitlicher Verzug in der Bereitstellung eines Endlagers hat einen direkten

Einfluss auf die Zwischenlagerung. Im Zusammenhang mit der möglichen Erneuerung von Genehmigungen für Zwischenlager und der Behälter sind eine Reihe von Fragestellungen wie z. B. zur Alterung von Materialien und der Behälterintegrität zu klären. Neben den genannten Aspekten stellt eine über die Planung hinausgehende Zwischenlagerung auch eine Herausforderung hinsichtlich der Sicherstellung der Anlagen und der Aufbewahrung der radioaktiven Abfälle dar.

Nr. 99

Fundstelle:

A 3.3.8.2, S. 155

Bezugstext:

The typology of the facilities associated with the back end of the nuclear fuel cycle includes the interim storage facility, the spent fuel encapsulation plant and the geologic repository for final disposal. [...]

The applicant must demonstrate that the facility complies with the relevant regulatory requirements set by the national safety authority and that it will not generate any significant environmental or health consequences in the future.

Wissenschaftliche Prüfung:

Gemäß den genannten Ausführungen muss der Antragsteller nachweisen, dass die kerntechnische Anlage (hierzu zählen auch Endlager) den regulatorischen Anforderungen genügt und für die Zukunft keine schädlichen Konsequenzen für die Umwelt oder die Gesundheit von der Anlage ausgehen. Insbesondere der zweite Teil der Aussage entzieht sich hinsichtlich eines Endlagers der geforderten Nachweisführung zumindest in einem Aspekt, der sich auf das menschliche Eindringen (HI = Human Intrusion) in ein Endlager bezieht. Es besteht allgemein Konsens, dass das menschliche Verhalten und Handeln inklusive eines Eindringens in ein Endlager nicht vorhergesagt werden kann (NAS, 1995; Seitz, 2016). Diese Feststellung ist leitend für eine Reihe weiterer Rahmenbedingungen bzw. Festlegungen für die Berücksichtigung von HI in Sicherheitsnachweisen. So kann aufgrund dieser Feststellung ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen in ein Endlager bei Verlust der Kenntnis über den Endlagerstandort nicht ausgeschlossen werden (ICRP, 2013). Als Konsequenz daraus kann im Eintrittsfall des Ereignisses HI in der Nachverschlussphase eines Endlagers eine Kontamination der Umwelt nicht ausgeschlossen werden (ICRP, 2013). Dieser Aspekt gilt für jedes Endlager, auch oder sogar im besonderen Maße für oberflächennahe Endlager (IAEA, 2012), bei denen die Anzahl der Eindringmöglichkeiten im Vergleich zu geologischen Endlagern höher zu werten sind. Allerdings sind hier die betrachteten Isolationszeiträume bedeutend geringer aufgrund des für oberflächennahe Endlager vorgesehenen Abfallspektrums.

Quellen:

(NAS, 1995), (Seitz et al., 2016), (ICRP, 2013), (ICRP, 2013), (IAEA, 2012)

Nr. 100

Fundstelle:

A 3.3.8.2, S. 156

Bezugstext:

In the following, the Environmental Impact Statement for the Swedish interim storage, spent fuel encapsulation and final disposal facilities [3.3.8-2] is frequently used as a reference, as it provides a good example of an integrated assessment exercise. The aspects considered are listed in Table 3.3.8.2.1.

Wissenschaftliche Prüfung:

Im Bericht des JRC werden – am Beispiel Schweden – u. a. die Umweltauswirkungen durch ein Endlager beschrieben. Diese Auswirkungen werden sicherlich je nach Standort und Endlagerkonzept variieren und von den

spezifischen vorliegenden Rahmenbedingungen abhängen. Im Rahmen der in Deutschland durchgeführten strategischen Umweltprüfung zum Nationalen Entsorgungsprogramm (Öko, 2015) wurde keine Einordnung der Umweltauswirkungen für die Nachverschlussphase eines Endlagers vorgenommen. Die Begründung hierzu wird im Folgenden zitiert: „Emissionen von radioaktiven Stoffen oder anderen Schadstoffen aus Endlagern in der Nachverschlussphase können in geringfügigen Mengen nicht ausgeschlossen werden. Diese sind aber durch die Vorgaben der Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle und des Wasserhaushaltsgesetzes begrenzt. Da sich diese Phase über einen extrem langen Zeitraum von einer Million Jahre erstreckt, für den die Entwicklung der Schutzgüter, auf die die potentiellen Umweltauswirkungen einwirken, nicht genau prognostizierbar ist, sind die Bewertungen nicht unmittelbar mit denen für die anderen Projekte vergleichbar. Daher wird für die Nachverschlussphase eines Endlagers auf die Einordnung der Umweltauswirkungen in die üblicherweise verwendeten Bewertungskategorien verzichtet.“ (Öko, 2015, Zusammenfassung, S.11)

Quelle:
(Öko, 2015)

Nr. 101

Fundstelle:
A 3.3.8.3, S. 156

Bezugstext:
On-site or centralized dry storage facilities do not generate any release of radioactive substances, since the spent fuel is contained in sealed canisters. Discharges to the air or release into water are negligible, due to the leak-tightness criteria for storage casks and the existing rules for surface contamination on the outside of the casks, which do not allow transportation of a surface-contaminated cask outside of the controlled area of the nuclear power plant.

Wissenschaftliche Prüfung:
Die Darstellung des JRC bezieht sich hier offensichtlich nur auf den Normalbetrieb von Zwischenlagern. Es werden die in den zugehörigen Genehmigungsverfahren ebenfalls zu berücksichtigenden Ereignisse, insbesondere Störfälle und auslegungüberschreitende Ereignisse nicht in die Betrachtung einbezogen. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund, dass in den technischen Bewertungskriterien zumindest mittelbar alle Ereignisse berücksichtigt werden, die in den zu der jeweiligen Aktivität gehörenden Regelwerken Berücksichtigung finden, zu bemängeln. Es ist in dem JRC-Bericht nicht einheitlich dargestellt, welche Ereignisse insgesamt berücksichtigt wurden, und welche nach Einschätzung der JRC nach der Taxonomie einzubeziehen sind. Insbesondere für die durch die JRC abgeleiteten Ergebnisse im Executive summary wäre es geboten gewesen, eine entsprechende Ausführung im Bericht aufzunehmen.

Quellen:
(TEG, 2020a), (TEG, 2020b)

Nr. 102

Fundstelle:
A 3.3.8.5, S. 159–162
Bezugstext:
Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Einschätzung wird vornehmlich auf Basis der Länderbeispiele Schweden, Finnland und Frankreich vorgenommen. Dies hat zahlreiche Auswirkungen, beispielsweise werden damit nur 2 Arten von potenziellen Wirtsgesteinen betrachtet. Möglicherweise würde man bei der Betrachtung von weiteren Wirtsgesteinen oder nationalen Planungen zur Endlagerung zu anderen Schlussfolgerungen kommen.

Nr. 103**Fundstelle:**

A 3.3.8.5, S. 159

Bezugstext:

Impact of the spent fuel, HLW final repository

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Überschrift zu diesem Kapitel bezieht sich auf Auswirkungen von bestrahlten Brennelementen, HLW Endlager.

Die Ausführungen in diesem Kapitel gehen jedoch nicht auf die Auswirkungen ein. Es werden lediglich anhand der Länder Schweden, Finnland und Frankreich beispielhaft konzeptionelle Vorgehensweisen ansatzweise dargestellt. Auf dieser Grundlage lässt sich jedoch keine belastbare Aussage hinsichtlich einer Beurteilung zu radioaktiven Wirkungsindikatoren (siehe JRC-Bericht, Teil A 3.3.8.9) ableiten. Zu Kapitel 3.3.8.2 wurde bereits ausgeführt, dass im Rahmen der in Deutschland durchgeführten strategischen Umweltprüfung zum Nationalen Entsorgungsprogramm keine Einordnung der Umweltauswirkungen für die Nachverschlussphase eines Endlagers vorgenommen wurde (Öko, 2015).

Quelle:

(Öko, 2015)

Nr. 104**Fundstelle:**

A 3.3.8.5, S. 159

Bezugstext:

The final disposal of spent fuel and vitrified waste (HLW) will occur in a deep geologic repository.

Wissenschaftliche Prüfung:

In diesem Satz wird in der Argumentationskette des Berichts einer der Sprünge deutlich. Es ist weitgehender Konsens, dass die Option der Endlagerung in tiefen geologischen Formationen die beste Lösung darstellt. Die Projekte in Finnland, Schweden und Frankreich sind jedoch nicht abgeschlossen oder erprobt. Die Planung, Errichtung und der Konsens werden an dieser Stelle jedoch zu einem Fakt kondensiert, der in dieser Form nicht mehr richtig ist.

Quelle:

Bericht des JRC selbst

Nr. 105**Fundstelle:**

A 3.3.8.5, S. 159

Bezugstext:

Since the relevant time spans are of the order of some hundred thousand years or more, exceeding human civilization records, the repository is designed to fulfil its safety function without the need for active human monitoring, control and intervention.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Angabe „some hundred thousand years“ ist unpräzise und teilweise unrichtig. In Schweden gibt es auch kürzere relevante Zeitspannen, z. B. 1.000 Jahre für die Unversehrtheit der Behälter.

Quelle:

(SKB, 2011)

Nr. 106**Fundstelle:**

A 3.3.8.5, S. 161

Bezugstext:

In the case of the Swedish repository, the construction of the facility will last 7 years and employ 300–400 workers. Approximately 1.6 million metric tons of rock spoil will be excavated during the construction phase.

The rock spoil will be temporarily stored in a rock heap within the industrial area. It is believed that the excess rock material not needed in the project can be sold in the region.

The operating phase of the Forsmark repository will consist of a trial operation and a routine operation subphase, which will require a specific licence from the Swedish Radiation Safety Authority (SSM). The routine operation is expected to last ~45 years. The main activities during routine operation are detailed characterization, mining of deposition tunnels, deposition of canisters, and subsequent backfilling and plugging of deposition tunnels. During the operating phase, ~ 6 000 filled canisters will be transported by ship from the encapsulation plant to the final repository and emplaced in the deposition tunnels.

Also in Olkiluoto during the operational period the monitoring of the repository, including both the disposal facility bedrock conditions and the surface environment, will continue on a regular basis, resulting in annual reports that will be submitted to the Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority STUK.

Wissenschaftliche Prüfung:

An dieser Stelle fehlen die Quellenangaben, welche die dargestellten Aspekte belegen.

Quelle:

(DFG, 2019)

Nr. 107**Fundstelle:**

A 3.3.8.5, S. 161

Bezugstext:

No radiologically relevant release or impact to the public is expected during the construction and the operation of the final repository. As long as the sealed canister remains intact, all radioactive substances will be contained. The canister is designed to retain its integrity and tightness during normal operation, disturbances and mishaps. However, adequate radiation shielding will be used to protect the personnel from gamma and neutron radiation. The radiation emitted by the canister will not be noticeable outside of the final repository. [...]

No radiologically relevant release or impact to the public is expected during the construction and the operation of the final repository.

Wissenschaftliche Prüfung:

Wie bereits erwähnt, wird weder in diesem Kapitel noch in Kapitel 5.2 des Teils B die Betriebssicherheit ausführlich behandelt. Insbesondere werden die Risiken im Zusammenhang mit möglichen Unfällen (z. B. undichte Behälter, Brand,

Kritikalitätsereignisse) oder Missbrauch des spaltbaren Materials (z. B. Terroranschlag, Diebstahl usw.) nicht bewertet oder dargestellt. Darüber hinaus sind keine Informationen zur Bewertung der Betriebssicherheit (in ähnlicher Weise wie für die Nachverschlussphase dargestellt) verfügbar.

Nr. 108

Fundstelle:

A 3.3.8.5, S. 162

Bezugstext:

Long term post-closure safety will be achieved by means of a system of passive barriers that interact to contain, prevent or retard the dispersal of radioactive substances. The barriers may be engineered or natural (see part B of the present report).

Wissenschaftliche Prüfung:

Es werden Aussagen zur Langzeitsicherheit in der Nachverschlussphase ausgeführt ohne mögliche relevante Entwicklungen, die einen Einfluss auf die Sicherheit eines Endlagers haben, zu beschreiben bzw. zu hinterfragen. Hinsichtlich der langzeitigen Sicherheit eines Endlagers ist zu bemerken, dass entsprechende Sicherheitsaussagen immer relativ zu den jeweiligen zugrunde gelegten regulatorischen Anforderungen und Rahmenbedingungen zu betrachten sind. So zeigt im Zusammenhang mit der Langzeitsicherheit folgendes Zitat auf, dass mit einer Sicherheitsaussage, selbst bei sehr günstigen geologischen Verhältnissen, Ungewissheiten bestehen, die sich nicht ausräumen lassen (OECD, 1995 und OECD, 2012):

„It must be acknowledged that the most robust and passively safe system that can be devised by current generations may ultimately be compromised by the actions of a future society, through inadvertent intrusion.“

Quellen:

(OECD, 1995), (OECD, 2012)

Nr. 109

Fundstelle:

A 3.3.8.5, S. 162

Bezugstext:

Long term post-closure safety will be achieved by means of a system of passive barriers that interact to contain, prevent or retard the dispersal of radioactive substances. The barriers may be engineered or natural (see part B of the present report). The protective function of the final repository against harm caused by radiations is set by relevant regulations. For instance, the time scale for the safety assessment of the Swedish final repository for spent nuclear fuel should cover a period of one million years after closure. The risk criterion set by SSM in Sweden in simplified terms says that people in the vicinity of the repository may not be exposed to greater risks than the equivalent of one-hundredth of the natural background radiation in Sweden today [3.3.8–2]. The Finnish nuclear law [3.3.8–8] states that a final repository under normal operations may not cause a dose to the most exposed member of the public higher than 0.01 mSv/year.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die in dem Absatz angegebenen Genehmigungsgrenzwerte für Endlager entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik und sind damit Konsens. Sie finden sich auch in analoger Form in der deutschen Strahlenschutzgesetzgebung. Allerdings werden sie hier verkürzt wiedergegeben. Der Bericht geht in weiten Teilen immer nur von dem „bestimmungsgemäßen Betrieb“ aus und leitet daraus die Möglichkeit der Einhaltung der DNSH-Kriterien ab. Dies ist mit Blick

auf die Aufgabenstellung des Berichts formal richtig, lässt jedoch systematisch die Frage außer Acht, wie die Beurteilung ausgefallen wäre, wenn auch der „nicht bestimmungsgemäße Betrieb“ oder auslegungsüberschreitende Anlagenzustände in die Bewertung eingeflossen wären.

Nr. 110

Fundstelle:

A 3.3.8.6, S. 162–163

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Erörterung potenziell schädlicher nicht radiologischer Auswirkungen der geologischen Entsorgung abgebrannter Brennelemente und HLW erfolgt auf der Grundlage einer Auswahl von Ergebnissen aus der schwedischen Umweltverträglichkeitsprüfung. Dabei wird implizit davon ausgegangen, dass dieses Dokument eine Bewertung enthält, die im Allgemeinen für jede Art von Endlager an jedem Ort (z. B. Klima, Geographie, Biosphäre usw.) repräsentativ ist. Eine Begründung dieser Annahme liegt nicht vor. Beispielsweise hängen die möglichen Auswirkungen auf die Wasserressourcen von den spezifischen Klima-, Landnutzungs- und hydrologischen Bedingungen ab. Dies steht im Zusammenhang mit einem umfassenderen Problem begrenzter praktischer Erfahrungen in Bezug auf den Betrieb eines geologischen Endlagers (wie bereits erwähnt).

Nr. 111

Fundstelle:

A 3.3.8, 3.3.8.6–3.3.8.10, S. 162–167

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Zu ILW und LLW werden praktisch keine Aussagen gemacht. Es werden nur die oberflächennahen Endlager für kurzlebigen LLW und LIWL aufgeführt, bei denen davon auszugehen ist, dass nach max. 300 Jahren die Hintergrundaktivität erreicht ist. Durch „Weglassen“ der Fragestellung für längerfristig aktiven Abfall aus dem LLW- oder ILW-Bereich wird hier ein wesentlicher Teil des potenziellen negativen Einflusses auf die Umgebung einfach nicht behandelt. Diese Unterlassung sorgt wiederum zu einem systematischen Unterschätzen der negativen Einflüsse der Kernenergie im direkten Vergleich mit anderen Energieerzeugungsformen.

Nr. 112

Fundstelle:

A 3.3.8.6, S. 162–163

Bezugstext:

Allgemeiner Hinweis

Wissenschaftliche Prüfung:

Der nicht-radiologische Einfluss wird ausschließlich aus der UVP des schwedischen Einzelfalls hergeleitet.

Nr. 113

Fundstelle:

A 3.3.8.8, S. 164

Bezugstext:

There is international consensus that very low level waste, low level waste and

short-lived intermediate level waste can be safely disposed of in near-surface facilities at a depth of no more than 30 m. The underlying assumption is that the radioactivity of such waste types will decay to background levels within about 300 years, i. e. before institutional control is lost.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wird ausgeführt, dass allgemein Konsens darüber besteht, dass eine sichere oberflächennahe Endlagerung für VLLW, LLW und kurzlebiger ILW gegeben sein kann, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind. Zu diesen Voraussetzungen gehört, dass der radioaktive Abfall innerhalb von 300 Jahren so weit zerfallen ist, dass die verbliebene Radioaktivität der allgemeinen vorliegenden Umweltradioaktivität entspricht. Im Zusammenhang mit dem Zeitraum von 300 Jahren wird beispielhaft ausgeführt, dass bis dahin die institutionelle Kontrolle noch nicht aufgehoben ist.

In dieser Aussage wird der o. g. allgemeine Konsens nicht weiter belegt. Darüber hinaus wird angenommen, dass die institutionelle Kontrolle über einen Zeitraum von 300 Jahren erhalten bleibt. Auch wenn dieser Zeitraum im Vergleich zu dem für geologische Endlager für HLW üblicherweise zugrundgelegten Bewertungszeitraum sehr gering ist, kann der Erhalt der institutionellen Kontrolle nicht mit Sicherheit garantiert werden. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass für eine Prognose des menschlichen Verhaltens und sozialen Handelns die wissenschaftliche Basis fehlt (NAS, 1995).

Quell:

(NAS, 1995)

Nr. 114

Fundstelle:

A 3.3.8.8, S. 164

Bezugstext:

There is international consensus that very low level waste, low level waste and short-lived intermediate level waste can be safely disposed of in near-surface facilities at a depth of no more than 30 m.

Wissenschaftliche Prüfung:

Für Deutschland gilt, dass alle Arten von radioaktivem Abfall (auch schwach- und mittelradioaktiver Abfall) in tiefe geologische Endlager verbracht werden soll. Vgl. lfd. Nr. 175 und 201. Die beschriebene Situation trifft eher z. B. für Frankreich zu.

Nr. 115

Fundstelle:

A 3.3.8.8, S. 164–165

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Dieses Kapitel lässt die Situation in Deutschland außer Acht.

In Deutschland sollen alle Arten radioaktiver Abfälle, die nicht freigegeben werden können, in geologischen Endlagern endgelagert/entsorgt werden.

Quelle:

(BMU, 2020)

Nr. 116

Fundstelle:

A 3.3.8.9, S. 165

Bezugstext:

The disposal [...] does not contribute (the results are zero or negligible) to those indicators representative of the impacts to the Taxonomy Regulation objectives of sustainable use and protection of water and marine resources, pollution prevention and control, and protection and restoration of biodiversity and ecosystems

Wissenschaftliche Prüfung:

Basierend auf den Informationen in Teil A 3 des JRC-Berichts ist diese Aussage verfrüht und schwer zu verteidigen. Die Ergebnisse der in Teil A 3 beschriebenen Analysen werden nur im folgenden Kapitel (Teil A 4) gegen die Grundprinzipien und Ziele der Taxonomie erörtert.

Nr. 117

Fundstelle:

A 3.3.8.9, S. 165

Bezugstext:

The deep geological disposal facility aims at isolating and containing the radioactive waste until its radioactivity decays to harmless levels.

Wissenschaftliche Prüfung:

Das ist nicht ganz richtig. Nach dem regulatorisch relevanten Zeitraum in Schweden (100.000 Jahre) ist der Abfall nach wie vor schädlich.

Quelle:

Bericht der JRC selbst, Abb. 2.4-1

Nr. 118

Fundstelle:

A 3.3.8.9, S. 167

Bezugstext:

In the light of the above analysis it can be concluded that activities related to the storage & disposal of technological & radioactive waste, as well as spent nuclear fuel do not pose significant harm to human health or to the environment. They do not represent significant harm to any of the TEG objectives, provided that the associated industrial activities satisfy appropriate Technical Screening Criteria.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es wird ausgeführt, dass vor dem Hintergrund einer Analyse der Schluss gezogen werden kann, dass Aktivitäten bezüglich der Lagerung und Endlagerung von konventionellen und radioaktiven Abfällen sowie bestrahlte Brennelemente keine signifikante Gefährdung der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt implizieren. Die in der Begründung angesprochene Analyse ist für die Nachverschlussphase von Endlagern nicht erkennbar. Die beispielhafte Ausführung von Vorgehensweisen in verschiedenen Ländern und die Darstellung von allgemeinen Ergebnissen ist hierfür nicht ausreichend, u. a. aufgrund der unterschiedlichen Standortsituationen, spezifischen Rahmenbedingungen wie Abfallspektrum, Endlagerkonzept, Sicherheitskonzept, sowie regulatorischen Anforderungen. Die genannte Schlussfolgerung lässt sich daher nicht eindeutig nachvollziehen. Darüber hinaus lassen die Anmerkungen zu der nicht auszuschließenden Möglichkeit von HI und damit verbundenen möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sowie weitere Ungewissheiten hinsichtlich der Entwicklung von Endlagern in der Nachverschlussphase eine derart dezidierte Schlussfolgerung nicht zu.

Weiterhin ist noch folgendes anzumerken:

Im JRC-Bericht Teil A 5.7 wird darauf hingewiesen, dass für LLW und ILW keine TSC entwickelt wurden und die TSC für HLW und bestrahlte Brennelemente abdeckend sind. Legt man die TSC für HLW und bestrahlte Brennelemente nun auch für LLW und ILW, die in oberflächennahen Endlagern eingebracht werden, zugrunde, dann ist die o. g. Voraussetzung der Einhaltung der TSC der Schlussfolgerung nicht umfassend gegeben (siehe hierzu Ausführungen zu Teil A 5.7).

Nr. 119

Fundstelle:

A 3.3.8.9, Table 3.3.8.3, S. 166–167

Bezugstext:

Tabelle

Wissenschaftliche Prüfung:

In der Tabelle wird die Bedeutung der Auswirkungen der Entsorgung radioaktiver Abfälle qualitativ bewertet. Dabei wird allen drei radiologischen Auswirkungen (Erzeugung fester radioaktiver Abfälle, Freisetzung gasförmiger RA und Freisetzung flüssiger RA) eine geringe Relevanz zugewiesen.

Insbesondere in Bezug auf die flüssigen und gasförmigen radioaktiven Freisetzungen wird angegeben, dass es sich um 'unbedeutende Freisetzungen während der Betriebsphase (very low importance)' handelt. Dies ist eine Aussage, für die im vorliegenden Bericht keine ausreichenden Beweise vorliegen. Die Aussage lässt den Einfluss der großen inhärenten Unsicherheiten im Zusammenhang mit Betriebsunfällen außer Acht".

Nr. 120

Fundstelle:

A 3.3.8.9, S. 167

Bezugstext:

They [i. e. activities related to storage and disposal – Reviewer] do not represent significant harm to any of the TEG objectives, provided that the associated industrial activities satisfy appropriate Technical Screening Criteria.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Aussage kann als irreführend angesehen werden. Die TSC sind, wie oben beschrieben, noch nicht fertiggestellt.

Nr. 121

Fundstelle:

A 3.3.8.9, S. 167

Bezugstext:

In the light of the above analysis it can be concluded that activities related to the storage & disposal of technological & radioactive waste, as well as spent nuclear fuel do not pose significant harm to human health or to the environment.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Aussage wird von den in Teil A 3 (und den folgenden Kapiteln) vorgestellten Diskussionen nicht unterstützt – siehe vorherige Kommentare. Die Ergebnisse der in Teil A 3 beschriebenen Analysen werden im folgenden Kapitel (Teil A 4) anhand der Grundprinzipien und Ziele der Taxonomie erörtert.

A 3.4: Impact of ionizing radiation on human health and the environment

Nr. 122

Fundstelle:

Teil A , Kapitel 3.4.1, S. 168

Bezugstext:

Poinssot et al [3.4-6] provide data [...] different release pathways (see Chapter 3.3.5.2.1).

Wissenschaftliche Prüfung:

Aus wissenschaftlicher Sicht kann die Wirkung von Radionukliden auf den Menschen bei geringen Strahlenexpositionen nur durch die effektive Dosis oder bei Rn-222 und seinen Folgeprodukten durch die Aktivitätskonzentration von Rn-222 in der Atemluft (oder durch daraus abgeleitete Größen) quantifiziert werden. Die pauschale Angabe, welche Aktivität insgesamt in die Umwelt freigesetzt wird, ist kein geeignetes Maß für die Wirkung auf den Menschen, da die Dynamik in der Umwelt sowie die Dosiskoeffizienten bei innerer Exposition und die Dosisleistungskoeffizienten bei äußerer Exposition vom jeweiligen Radionuklid abhängen.

Quellen:

Letzter Satz des Bezugstexts:

„However, the effects of a 1 Bq radioactive release in terms of the resulting dose (in Sv) to members of the public vary considerably for different radionuclides and different release pathways“ (see Chapter 3.3.5.2.1).

Einschlägige Publikationen der IAEA, z. B.: (IAEA, 2001).

Einschlägige Publikationen der ICRP, z. B. zu Dosiskoeffizienten für die allgemeine Bevölkerung.

Nr. 123

Fundstelle:

Teil A, Kapitel 3.4.1, S. 171-172, einschließlich Abbildung 3.4-4

Bezugstext:

For comparison with the figures given by UNSCEAR [...] as well as remediation of legacy installations.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es entspricht nicht dem aktuellen Stand im Strahlenschutz, bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen mittlere effektive Dosen pro Kopf der Bevölkerung anzugeben. Gemäß den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) ist die sogenannte „repräsentative Person“ im Sinne der ICRP zu betrachten, eine Einzelperson der Bevölkerung, die aufgrund ihrer Lebensgewohnheiten einer erhöhten Strahlenexposition ausgesetzt ist.

Quellen:

(ICRP, 2006), (ICRP, 2007)

A 3.5: Impact of severe accidents

Nr. 124

Fundstelle:

A 3.5, S. 175

Bezugstext:

Human health impacts of different energy generation technologies were compared in Chapter 3.2.5 for normal operation situations. In addition to the impacts from normal operation, the possible consequences on the environment and human health of potential severe accidents in the energy sector are not negligible, and it is important to consider these in any comparative assessment.

Wissenschaftliche Prüfung:

In der Einleitung zu Teil A 3.5 fehlt die Bewertung, ob die severe accidents innerhalb der Taxonomie zu den zu berücksichtigenden Ereignissen nach Maßstab der Definitionen und der abgeleiteten technischen Bewertungsmaßstäben gehören. Hier wird erneut deutlich, dass es dem Bericht des JRC an einer eindeutigen Definition oder Ableitung des zu berücksichtigenden Spektrums an Ereignissen mangelt. Es wäre für einen solchen Bericht wünschenswert – wenn nicht zwingend notwendig –, wenn zu Beginn eindeutig definiert wird welche Ereignisse oder Ereignisgruppen im Hinblick auf die DNSH-Kriterien berücksichtigt werden müssen. Nur implizit enthält das Executive Summary zu Beginn des Berichts diese Definition, sie wird aber im Bericht selbst nicht explizit ausgeführt.

Nr. 125

Fundstelle:

A 3.5, S. 175

Bezugstext:

Human health impacts of different energy generation technologies were compared in Chapter 3.2.5 for normal operation situations. In addition to the impacts from normal operation, the possible consequences on the environment and human health of potential severe accidents in the energy sector are not negligible, and it is important to consider these in any comparative assessment.

Wissenschaftliche Prüfung:

In Teil A 3.5 zu „schweren Unfällen“ in Kernkraftwerken fehlt die Bewertung, ob diese innerhalb der Taxonomie zu den zu berücksichtigenden Ereignissen nach Maßstab der Definitionen und den abgeleiteten technischen Bewertungsmaßstäben gehören.

Nr. 126

Fundstelle:

A 3.5, S. 175ff und A 4.3, S. 186

Bezugstext:

A 3.5.:

The methodological approach to evaluating accident risks differs according to the extent of data available in the database. For fossil energy chains (coal, oil and gas) there is extensive historical accident data available to provide a strong basis for the risk evaluation. For hydropower limited historical data for OECD countries is supplemented by modelling of hypothetical dam failures. For new renewables, for which historical data is limited, a hybrid approach is adopted, in which available historical data, modelling and expert judgement are used. For nuclear energy, due to the very low number of historical severe nuclear accidents and their significance for risk assessment, an approach based on the use of a simplified, site-specific, Level 3 Probabilistic Safety Assessment (PSA) is used to quantify the risks associated with hypothetical severe accidents.

The methodology provides its results in terms of two risk indicators, both based on fatalities. The first is the fatality rate, which is defined as the expected number

of fatalities due to severe accidents normalised to the amount of electricity generated in GWh (fatalities/GWh). The second is the maximum credible number of fatalities in a single accident, which provides a measure of risk aversion.

A 4.3:

If severe accident fatality rates are compared (see Figure 3.5-1), then the current Western Gen II NPPs 10-7 fatalities/GWh). This value is much smaller than that characterizing any form of fossil fuel-based electricity production technology and comparable with hydropower in OECD countries and wind power (only solar power has significantly lower fatality rate).

These latest technology developments are reflected in the very low fatality rate for the Gen III EPR design 10-10 fatalities/GWh, see Figure 3.5-1). The fatality rates characterizing state-of-the art Gen III NPPs are the lowest of all the electricity generation technologies.

In addition to the “fatality rate per GWh” metric, severe accidents potentially occurring in the electricity generation industry are characterized by another metric, called maximum consequences. Conservatively estimated values of this metric are rather high for both Gen II and Gen III plants, comparable to the hydropower in non-OECD countries (see Figure 3.5-1). For the EPR design, the quoted reference study predicts 30 000 fatalities as upper bound.

Note that in Figure 3.5-1 the “maximum consequences” data for the non-nuclear electricity production technologies are real historical data reflecting the officially registered number of casualties (e. g. after a major hydropower-dam accident). Contrary to this, for nuclear energy the “maximum consequences” values correspond to calculated data which were derived by using highly conservative assumptions (e. g. application of a simplified Level 3 PSA model, dense population in the 100 km region around the plant, no off-site mitigation measures, see Ref. [4-5] for more details). In addition, more than 95% of the calculated fatalities can be attributed to latent (i. e. long-term cancer) fatalities, which are strongly influenced by site-specific population data and model-specific assumptions.

The consequence analysis outlined in Ref. [4-6] was prepared in the US NRC SOARCA project and it takes into account the effect of on-site and off-site severe accident mitigation measures, as well. Some related results of the SOARCA project are shown in Figure 3.5-3.

Note that the data plotted in Figure 3.5 3

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Abschnitt beschränkt sich auf Bewertungsmaßstäbe menschlicher Todesopfer als Konsequenz eines schweren Unfalls in einem Kernkraftwerk.

Andere im Rahmen der Taxonomie relevante Maßstäbe, wie die Kontamination von Böden und Gewässern, nicht letale Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die Artenvielfalt und sonstige Einwirkungen auf Flora und Fauna werden nicht betrachtet. Derartige Auswirkungen sind jedoch zu erwarten und müssten für eine vollständige Betrachtung mit bewertet werden.

Auch auf die erheblichen ökonomischen Konsequenzen (Ashley et al., 2017) eines schweren Unfalls wird genauso wenig eingegangen, wie auf die gesellschaftlichen und politischen Folgen, die aus einem solchen Unfall resultieren und die sich indirekt auf im Rahmen der Taxonomie relevante Kennzahlen auswirken können.

Als ein Beispiel sei genannt, dass in Japan zur Kompensation der nach dem Unfall von Fukushima abgeschalteten Kernkraftwerke schnell verfügbare, oftmals mit fossilen Energieträgern versorgte Ersatzkraftwerke wie Dieselaggregate in großem Maßstab und über einen längeren Zeitraum zum Einsatz kamen. Auch der in Deutschland als Konsequenz des Unfalls vollzogene Ausstieg aus der Kernenergie als Alternative zu einem beschleunigten Ausstieg aus der Nutzung

fossiler Energieträger könnte hier hinsichtlich seiner Auswirkungen auf klimarelevante Ziele der Taxonomie als zu betrachtende Konsequenz herangezogen werden.

Für die Einschätzung der – maximal denkbaren, wie auch auf erzeugte Energieeinheiten bezogenen – Todesopfer als Folge von schweren Unfällen in Kernkraftwerken werden probabilistische Rechnungen herangezogen. Die so erhaltenen Werte werden mit für andere Technologien auf andere Weise erhaltene Werte verglichen.

Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) sind mit Unsicherheiten behaftet. So beeinflussen die angewandten Methodiken oder genauere Daten das Ergebnis, wie auch das Spektrum der betrachteten auslösenden Ereignisse und Anlagenzustände. PSA werden insbesondere verwendet, um bei Veränderungen innerhalb einer Anlage zu erkennen, ob und in welchem Maße diese Veränderungen (z. B. Nachrüstungen) sicherheitsgerichtet sind. Die absoluten Werte von Wahrscheinlichkeiten für Kernschmelzen oder Freisetzungen sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet, die mit dargestellt werden sollten. Insbesondere beim Vergleich mit auf anderem Wege gewonnene Risikoeinschätzungen über andere Technologien ist die Aussagekraft der absoluten Werte ohne Mitbetrachtung ihrer Unsicherheiten daher nur eingeschränkt aussagekräftig. Zielführender wäre daher eher ein Vergleich von mit einer streng definierten, in allen Fällen gleichen Methodik durchgeführten Analysen oder aber zumindest ein Vergleich unter Angabe der jeweiligen Unsicherheiten.

Quelle:
(Ashley et al., 2017)

Nr. 127

Fundstelle:

A 3.5, S. 175

Bezugstext:

The methodological approach to evaluating accident risks differs according to the extent of data available in the database. For fossil energy chains (coal, oil and gas) there is extensive historical accident data available to provide a strong basis for the risk evaluation. For hydropower limited historical data for OECD countries is supplemented by modelling of hypothetical dam failures. For new renewables, for which historical data is limited, a hybrid approach is adopted, in which available historical data, modelling and expert judgement are used. For nuclear energy, due to the very low number of historical severe nuclear accidents and their significance for risk assessment, an approach based on the use of a simplified, site-specific, Level 3 Probabilistic Safety Assessment (PSA) is used to quantify the risks associated with hypothetical severe accidents.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Nutzung unterschiedlich ermittelter Daten zum Vergleich der Risiken ist prinzipiell möglich, jedoch unterlässt es die JRC hier, die unterschiedlichen Datenformen und deren Vor- und Nachteile detailliert auszuführen. Insbesondere Unsicherheiten, die bei den genannten Daten aus unterschiedlichen Quellen resultieren, sind vor einem Vergleich sinnvollerweise darzulegen, um die Belastbarkeit der abgeleiteten Aussagen einschätzen zu können.

Rein auf historisch ermittelten Daten basierende Einschätzungen (also basierend auf deskriptiver Statistik) bergen a priori das Risiko sehr seltene Ereignisse nicht angemessen einschätzen oder berücksichtigen zu können, da die potentiell maximal möglichen Szenarien entweder schwer einzuschätzen sind, oder auf Basis anderer Untersuchungen ermittelt werden müssen.

Auch die Auswahl der zugrundeliegenden Verteilungsfunktion für die

Extrapolation in Richtung sehr unwahrscheinlicher Ereignisse ist hier eine Unsicherheitsquelle (siehe hierzu z. B. BfS, 2012). Allerdings sind diese Ergebnisse für häufige Ereignisse i. A. mit geringen Unsicherheiten behaftet, sofern die Grundlagen der Ereignisse sich nicht ändern (z. B. durch technische Verbesserungen, die ältere Daten obsolet machen können).

Rein probabilistisch basierte Verfahren, die i.A. komplexe Abläufe abbilden sollen, sind prinzipiell in der Lage auch noch so unwahrscheinliche Ereignisse abzubilden, haben aber auf Grund der Modellbildung hier potentielle Unsicherheiten, die adäquat berücksichtigt werden müssen (siehe z. B. BfS, 2012).

Hybride Vorgehensweisen, die mehrere Strategien vereinen, können prinzipiell die Vorzüge aller verwendeten Methoden nutzen, weisen aber – insbesondere, wenn sie aus Ermangelung einer belastbaren Datenbasis genutzt werden – aus gleichem Grund potentiell alle Nachteile dieser Methoden auf. Insbesondere die Nutzung von Experteneinschätzungen ist in Bezug auf Unsicherheiten speziell zu betrachten (siehe z. B. NUREG, 1997)

Inwieweit die hier genutzten Daten und Methoden die Unsicherheiten berücksichtigt haben ist nicht explizit angegeben worden. In (HIR, 2016) wird zumindest qualitativ eine Einschätzung der Unsicherheiten der Ergebnisse angegeben. Eine Wiedergabe dieser Tatsachen wäre im JRC-Bericht wünschenswert gewesen.

Letztlich bleibt festzuhalten, dass die zur Bewertung der Kernkraft herangezogene Methode der PSA ein qualifiziertes und belastbares Vorgehen darstellt, das insbesondere zur Ermittlung von Risiken in Kernkraftwerken entwickelt wurde (siehe hierzu z. B. BfS, 2005).

Quellen:

(Hirschberg, 2016), (BfS, 2012), (NUREG, 1997), (BfS, 2005)

Nr. 128

Fundstelle:

A 3.5 , S. 175/176

Bezugstext:

The methodology provides its results in terms of two risk indicators, both based on fatalities. The first is the fatality rate, which is defined as the expected number of fatalities due to severe accidents normalised to the amount of electricity generated in GWh (fatalities/GWh). The second is the maximum credible number of fatalities in a single accident, which provides a measure of risk aversion.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wäre eine Einschätzung zu den Anwendungsfeldern dieser Risikoindikatoren sinnvoll gewesen. In der Kerntechnik (insbesondere in Genehmigungsverfahren) findet im Wesentlichen nur ersterer (fatality rate) Anwendung. Dies ist darin zu erkennen, dass z. B. zu den einzuhaltenden Grenzwerten im Allgemeinen zugehörige Eintrittswahrscheinlichkeiten definiert sind, so dass dies in der Kombination dann der Definition eines Risikos im wissenschaftlichen Sinne entspricht.

Da allerdings die hier referenzierten Ereignisse außerhalb der zu berücksichtigenden Ereignisse liegen, ist die Verwendung eines weiteren Maßstabes durchaus akzeptabel.

Zusätzlich sei angemerkt, dass die reine Fokussierung auf Todesfälle oder Todesraten nicht die einzigen potentiellen Risikoindikatoren sind. So kommt z. B. eine Studie (Sovacool et al., 2016) zu dem Schluss, dass auf Basis der Ereignisse der

letzten 65 Jahre, Wasserkraft mit Abstand (Prozentual) die meisten Todesopfer forderte, und Windkraft die häufigsten Unfälle (allerdings mit geringen Ausmaßen) aufweist, die Kernenergie aber mit Abstand die höchsten ökonomischen Schäden verursachte.

Quelle:

(Sovacool et al., 2016)

Nr. 129

Fundstelle:

Teil A, Kapitel 3.5, S. 175 und 176

Bezugstext:

The methodology provides its results in terms of two risk indicators, both based on fatalities.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier werden nur strahlenbedingte Todesfälle gezählt. Nicht berücksichtigt werden sog. „disaster related deaths“, wie sie für den Reaktorunfall von Fukushima berechnet wurden. Diese Berechnungen sind durchaus – bezüglich der Methodik und der exakten Quantifizierbarkeit – zu hinterfragen, an der prinzipiell hohen Bedeutung der „disaster related deaths“ bestehen allerdings keine Zweifel.

Quellen:

(Hayakawa, 2016)

Nr. 130

Fundstelle:

Teil A, Kapitel 3.5, S. 176 (Abbildung 3.5–1)

Bezugstext:

Severe accident fatality rates and maximum consequences (black points) assessed for selected electricity supply technologies with the associated energy chains.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier werden Wahrscheinlichkeiten mit Häufigkeiten verglichen, was konzeptionell fragwürdig ist. Das Produkt aus Schadenswahrscheinlichkeit (sehr klein) und Schadenshöhe (sehr groß) kann nicht mit Risiken aus gemessenen Häufigkeiten und realen Schäden verglichen werden.

Nr. 131

Fundstelle:

A 3.5, S. 177

Bezugstext:

The maximum credible number of fatalities from a hypothetical nuclear accident at a Generation III NPP calculated by Hirschberg et al [3.5–1] is comparable with the corresponding number for hydroelectricity generation, which is in the region of 10,000 fatalities due to hypothetical dam failure. In this case, the fatalities are all or mostly immediate fatalities and are calculated to have a higher frequency of occurrence.

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Vergleich dieser beiden Ereignisse ist ohne genauere Darstellung der zugrundeliegenden Annahmen nur schwer zu bewerten. Hier sollte zumindest angegeben werden, welche Annahmen in die jeweiligen Modellierungen eingegangen sind.

Nr. 132

Fundstelle:

A 3.5, S. 177

Bezugstext:

Figure 3.5–2, from the same Hirschberg et al study [3.5–1], compares the frequency-consequence curves for selected full energy chains in OECD and non-OECD countries. The curves for coal, oil, gas and hydro are based on historical data from the period 1970–2008. In all cases the data concern immediate fatalities. The curves for nuclear energy are based on a simplified level 3 PSA. [...]

However, the shape of the curves does not indicate that the maximum consequences have been reached, and extrapolation of the curves to lower frequencies would suggest that higher consequences would be likely.

Wissenschaftliche Prüfung:

Wie bereits zu den genutzten Methoden zur Datenermittlung ausgeführt, fehlt es dieser Diskussion an der Berücksichtigung bzw. der Darstellung von Unsicherheiten.

Die Ausführungen zu den Kurven, die auf gesammelten Daten beruhen, zeigen, dass hier eine genauere Darstellung zu den Grenzen der Vorgehensweisen sinnvoll gewesen wäre.

Gleiches gilt prinzipiell auch für die Modellierungsergebnisse der PSA, da hier keine Angaben zu Unsicherheiten enthalten sind. In (Hirschberg, 2016) werden die Unsicherheiten zumindest qualitativ bewertet und lassen so die Belastbarkeit des Vergleiches besser nachvollziehbar werden. Es ist aus diesen Darlegungen ersichtlich, dass die Unsicherheiten nicht so groß sind, dass sie die grundsätzliche Aussage in Frage stellen würden.

Quelle:

(Hirschberg, 2016)

Nr. 133

Fundstelle:

A 3.5, S. 179

Bezugstext:

An accident at a Generation III nuclear power plant with the kind of consequences shown in Figure 3.5–1 is a highly improbable event. The calculated frequency of such consequences corresponds to about 10–10 per reactor year, or once in ten billion years of operation per reactor. However, such a number of fatalities, even if based on very pessimistic assumptions, has an impact on public perception due to disaster (or risk) aversion.

Wissenschaftliche Prüfung:

Das JRC wirft hier einen entscheidenden Punkt bei der Bewertung solcher Ereignisse auf, vermeidet aber die naheliegende – und entscheidende – Schlussfolgerung: die Frage, ob und welcher Maßstab an solche Ereignisse anzulegen ist.

Nr. 134

Fundstelle:

A 3.5, S. 179

Bezugstext:

Disaster aversion refers to an apparent higher importance attached, by some, to a large number of deaths in a single, low-frequency accident compared to an equal number of deaths spread over a larger number of more frequent types of accident.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hierzu hätte das JRC weitere Darlegungen machen können, da es zumindest Beispiele dafür gibt wie mit diesem Aspekt umgegangen werden kann. Z. B. existieren Risikoakzeptanzkurven bei denen man die wissenschaftliche Definition $\text{Risiko} = \text{Schadensausmaß} * \text{Eintrittswahrscheinlichkeit}$ dahingehend modifiziert, dass das Schadensausmaß mit einem Exponenten > 1 (oft wird hier 2 verwendet) versehen wird, und somit dem Schadensausmaß eine höhere Gewichtung bei großen Ausmaßen einräumt (siehe z. B. (ESCIS, 1996 Anhang 2)). Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass häufige kleine Schäden deutlich geringer gewichtet werden. Allerdings sind solche Risikoakzeptanzkurven nicht einheitlich und auch nicht in allen Staaten definiert (siehe z. B. DTU, 2009), so dass das obige Beispiel rein illustrativ für die hier gestellte Frage ist.

Quellen:

(ESCIS, 1996), (DTU, 2009)

Nr. 135**Fundstelle:**

A 3.5, S. 179

Bezugstext:

[...] the following are representative of the number of fatalities that occur each and every year due to the mentioned causes: [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Die durch das JRC angeführten Beispiele führen sehr weit vom eigentlichen Thema des DNSH weg und können nur als prinzipielle Beobachtung taugen, dass die Risikowahrnehmung je nach Gebiet deutlich unterschiedlich ist.

Dies ist de facto die Fortsetzung zur Anmerkung in lfd. Nr. 134, da die Darstellung den Fakt beschreibt, dass häufige Ereignisse (hier so häufig, dass sie statistisch im Betrachtungszeitraum gesichert in einem vorhersagbarem Umfang eintreten) gesellschaftlich akzeptiert oder zumindest toleriert werden, während größere Schadensereignisse, selbst wenn sie im Umfang im Vergleich zu den obigen Ereignissen in Summe geringer ausfallen, gesellschaftlich anders bewertet und wahrgenommen werden (siehe auch (DTU, 2009)). Dies ist die Schnittstelle ab der die rein wissenschaftliche – nüchterne – Ermittlung und Bewertung auf die gesellschaftliche und politische Bewertung trifft, und hier die letztendliche Entscheidung nicht (allein) wissenschaftlich getroffen werden kann.

Insbesondere sind die Hinweise auf Luftverschmutzung durch fossile Brennstoffe oder Tabakkonsum ungeeignet, da ersteres keine nachhaltige Aktivität ist und zweiteres nicht ohne Grund mit Warnhinweisen versehen wird.

Lediglich das Beispiel des Straßenverkehrs könnte – so man annimmt, er wäre vollständig emissionsfrei – eine Aktivität sein, die potentiell nachhaltig sein könnte, und hier würde sich die Frage stellen, ob eine statistisch de facto zu erwartende Anzahl an Todesfällen in der genannten Größenordnung noch DNSH-konform sein könnte.

Die Analogie der steten Verbesserung der Sicherheit in diesem Bereich könnte angeführt werden, um die Unterschiede zwischen den Ergebnissen für Gen II und Gen III in Hinblick auf die Statistiken besser nachvollziehen zu können.

Nr. 136**Fundstelle:**

A 3.5, S. 175–180

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Abschnitt 3.5 weist einige Mängel in der Darstellung und den abgeleiteten Schlussfolgerungen auf, und bietet insbesondere in Bezug auf die DNSH-Kriterien keine eigenständige Bewertung.

Da wie weiter oben unter lfd. Nr. 3 (und später in lfd. Nr. 21) ausgeführt die severe accidents nicht zu den Ereignissen gehören, die laut JRC für die DNSH-Kriterien zu berücksichtigen sind, ist Abschnitt 3.5 de facto lediglich eine sinnvolle Ergänzung der Gesamtbetrachtung ohne Relevanz für das Bewertungsergebnis.

Der Vergleich mit Ergebnissen fossiler Energieerzeugung ist nicht sinnvoll, da diese per Definition nicht nachhaltig sind und damit eine „bessere“ Bilanz als diese aufzuweisen keine direkte Einstufung als nachhaltig begründen könnte.

Die Nutzung der Risikoindikatoren sollte sich daher auf solche Aktivitäten beschränken, für die die Taxonomie die Nachhaltigkeit und damit die Einhaltung der DNSH-Kriterien bestätigt hat. Sofern man unter deren Auswirkungen bleibt, wäre eine positive Aussage möglich. Eine negative Aussage wäre nur möglich, wenn eine eindeutig die DNSH-Kriterien verletzende Aktivität ermittelt würde, die in dem anzuwendenden Maßstab besser als die Kernkraft abschneiden würde.

A 4: Summary DNSH assessment for nuclear energy and recommendations

/

A 4.1: Main conclusions of the analyses outlined in Chapter 3.2

/

A 4.2: Main conclusions of the analyses outlined in Chapter 3.3

Nr. 137**Fundstelle:**

A 4.2.2, S. 185

Bezugstext:

Figure 4.2.2-1. Contributions from all lifecycle phases to all impact indicators (closed cycle)

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Quellangabe zu dieser Abbildung verweist auf eine Publikation [4-2] Ch. Poinssot et al.: Assessment of the environmental footprint of nuclear energy systems. Comparison between closed and open fuel cycles, Energy 69 (2014) 199–211. Es handelt sich um eine Analyse und einen Vergleich der Situation in Frankreich (geschlossener Brennstoffkreislauf). Es wird im Bericht nicht erwähnt, dass die Abbildung spezifisch die französischen Verhältnisse zugrunde legt. Es stellt sich die Frage der Übertragbarkeit auf die Situation in anderen Ländern.

Darüber hinaus ist redaktionell anzumerken, dass die Abbildung schlecht lesbar ist (Schriftgröße, Farbgebung).

Quelle:

[4-2] (Poinssot et al., 2014)

A 4.3: Main conclusions of the analyses outlined in Chapter 3.4 and 3.5

Nr. 138

Fundstelle:

A 4.3, S. 186

Bezugstext:

Severe accidents with core melt did happen in nuclear power plants and the public is well aware of the consequences of the three major accidents, namely Three Mile Island (1979, USA), Chernobyl (1986, Soviet Union) and Fukushima (2011, Japan). The NPPs involved in these accidents were of various types (PWR, RBMK and BWR) and the circumstances leading to these events were also very different. Severe accidents are events with extremely low probability but with potentially serious consequences and they cannot be ruled out with 100% certainty. After the Chernobyl accident, there were focused international and national efforts to develop Gen III nuclear power plants. These plants were designed according to extended requirements related to severe accident prevention and mitigation, for example they ensure the capability to mitigate the consequences of a severe degradation of the reactor core, if such an event ever happens. The main design objective was to ensure that even in the worst case, the impact of any radioactive releases to the environment would be limited to within a few kilometres of the site boundary.

The deployment of various Gen III plant designs started in the last 15 years worldwide and now practically only Gen III reactors are constructed and commissioned.

Wissenschaftliche Prüfung:

Kernkraftwerke der aktuellen Baureihe (z. B. EPR) weisen wie beschrieben eine erweiterbare Auslegung aus, die Kernschmelzunfälle mit umfasst. Auslegungsgemäß sollten daher auch bei Kernschmelzunfällen die hierfür geltenden Freisetzungswerte nicht überschritten werden und radiologische Auswirkungen solcher Unfälle daher deutlich geringer sein als bei Reaktoren älterer Bauart. Bei solchen sind Kernschmelzunfälle nicht Teil der Auslegung, sondern können als auslegungsüberschreitende Ereignisse nur mit Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes eingeschränkt in ihren Auswirkungen begrenzt werden. Die Aussage „worst case“ beschränkt sich jedoch sicherlich auf Unfallabläufe im Rahmen dieser erweiterten Auslegung und stellt keine Aussage für sehr unwahrscheinliche, aber nicht zu 100% ausschließbare Unfallszenarien jenseits der erweiterten Auslegung solcher Reaktoren dar. Auch wenn das Eintreten eines über die Auslegung hinausgehenden Unfalls unwahrscheinlich ist, müssten Konsequenzen eines solchen berücksichtigt werden.

Zudem lässt die Betrachtung außer Acht, dass die vorhandenen und weiterhin betriebenen KKW älterer Baureihen, trotz der erfolgten Nachrüstmaßnahmen, u. U. nicht das Sicherheitsniveau eines Neubauprojekts erreichen.

Nr. 139

Fundstelle:

Teil A, Kapitel 4.3, S. 186

Bezugstext:

- The average annual exposure to a member of the public, due to effects attributable to nuclear energy-based electricity production is about 0.2 Sv, which is four orders of magnitude less than the average annual dose due to the natural background radiation (see Figure 3.4–1).

Wissenschaftliche Prüfung:

Es entspricht nicht dem aktuellen Stand im Strahlenschutz, bei kerntechnischen

Anlagen und Einrichtungen mittlere effektive Dosen pro Kopf der Bevölkerung anzugeben. Gemäß den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) ist die sogenannte „repräsentative Person“ im Sinne der ICRP zu betrachten, eine Einzelperson der Bevölkerung, die aufgrund ihrer Lebensgewohnheiten einer erhöhten Strahlenexposition ausgesetzt ist.

Quellen:

(ICRP, 2006), (ICRP, 2007)

Nr. 140

Fundstelle:

Teil A, Kapitel 4.3, S. 186

Bezugstext:

- The average annual exposure to a member of the public, due to effects attributable to nuclear energy-based electricity production is about 0.2 Sv, which is four orders of magnitude less than the average annual dose due to the natural background radiation (see Figure 3.4–1).

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Studien wurden in Teil A 3.4 nur kurz erwähnt, aber nicht im Detail analysiert.

A 4.4: Evaluation and conclusion

Nr. 141

Fundstelle:

A 4.4, S. 187

Bezugstext:

- NPP operation
 - Prevention of thermal pollution related to water withdrawal
 - Limitation of water consumption
 - Limitation of conventional releases with focus on toxic materials
 - Ensuring adequate radioprotection of workers and the public
 - Limitation of gaseous and liquid releases
 - Limitation of solid radioactive waste production (mainly VLLW and LILW-SL)

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier ist nicht klar, ob „NPP operation“ die Stilllegung mit umfasst (vgl. lfd. Nr. 76).

A 4.5: Recommendations

/

A 5: Illustrative Technical Screening Criteria for selected lifecycle phases of nuclear energy

/

A 5.1: Background and general considerations

Nr. 142

Fundstelle:

A 5.1, S. 190

Bezugstext:

In order to be in line with the TSC listed in the TEG reports [5-1] and [5-2], kept rather qualitative than quantitative, usually it was not necessary to give precise limit values in the TSC tables developed for the selected LC phases of nuclear energy. Therefore, often fulfilment of regulatory requirements and/or regulatory limits are provided as proof of not doing harm to the environment. It was supposed that this approach is accepted also in the case of nuclear energy.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Aussage setzt international geltende regulatorische Anforderungen und/oder regulatorische Grenzwerte als Nachweis voraus, das für die LC Phasen eine Unbedenklichkeit für die Umwelt besteht. Aber für die Ableitung der TSC (Kriterien) fehlen die entsprechenden Quellenangaben und Hinweise darauf, dass auch internationale Erfahrungen bestehen, die zu einer Neubewertung der Endlagerfrage geführt haben, z. B. in Deutschland, USA.

Für eine grundsätzliche Übertragbarkeit der TSC auf die Thematik Kernenergie fehlt eine detaillierte Begründung.

Das methodische Vorgehen wird nicht klar.

Nr. 143

Fundstelle:

A 5.1, S. 191

Bezugstext:

Note that no TSC were prepared for the climate change adaptation objective, because the nuclear energy was primarily considered as a potential contributor to climate change mitigation.

Wissenschaftliche Prüfung:

Dieser Hinweis ist missverständlich, da „climate change adaptation“ explizit als ein angestrebtes Umweltziel vorher benannt wird, siehe Punkt (2) Adaptation, vgl. S. 190.

Besser wäre hier ein Hinweis darauf, dass in der Vergangenheit die Kernenergie zwar primär als potenzieller Beitrag zur Abschwächung des Klimawandels betrachtet wurde, diese Annahme sich aber in Bezug auf den Klimawandel gewandelt hat.

Unklar bleibt auch, ob es eine eigene TSC Tabelle geben wird, die sich mit den in Kap. 5.1 benannten Umweltzielen befasst.

Kein Bezug zu Appendix E vorhanden.

A 5.2: Correspondence to the NACE codes

Nr. 144

Fundstelle:

A 5.2, S. 191

Bezugstext:

The NACE codes used in the TSC tables were determined according to the above considerations.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Aussage und die Beschreibung bzw. Auflistung der verschiedenen NACE Codes suggeriert deren vollständige Erfassung und Anwendung in den LC Phasen. Wünschenswert wäre ein Hinweis, dass die Codes jederzeit angepasst, ergänzt werden können – „[...] and can be adapted and further specified, if required.“

A 5.3: Development of Technical Screening Criteria

Nr. 145

Fundstelle:

A 5.3, S. 192

Bezugstext:

The relevant EU directives and regulations – together with the national laws and regulations in effect – are considered as legal obligations to be compulsorily satisfied in the EU and their fulfilment is a minimum condition for eligibility.

Wissenschaftliche Prüfung:

Diese Aussage ist unvollständig. Wünschenswert wäre hier noch ein direkter Hinweis darauf, dass sich die Bedingungen aus den relevanten EU-Richtlinien, Verordnungen, nationalen Gesetzen usw. auf die Förderung der friedlichen Nutzung von Kernenergie beziehen.

Differenzierte Abgrenzung zur militärischen Nutzung von radioaktiven Abfällen u. ä.

A 5.4: Development of TSC for the NPP operation phase

Nr. 146

Fundstelle:

A 5.4.2, S. 193–194

Bezugstext:

Considering nuclear safety requirements for existing NPPs, the compliance with the WENRA Safety Reference Levels (RLs) for Existing Reactors (see Ref. [5-4]) is required as a minimum. The Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) develops a harmonized approach to nuclear safety since 2006, when the first set of RLs for operating NPPs was published. The RLs reflect expected practices to be implemented in the WENRA countries and they primarily focus on safety of the reactor core and spent nuclear fuel. The RLs are regularly revised when new knowledge and experience are available, for example, the current version of the RLs takes into account the lessons learned from the Fukushima accident and the insights from the EU stress tests.

Compliance with the Euratom Nuclear Safety Directive (NSD) [5-5] is also required. The nuclear safety objective specified in article 8a of the NSD requires that nuclear installations are designed, sited, constructed, commissioned and operated with the objective of preventing accidents and, should an accident occur, mitigating its consequences and avoiding:

- Early radioactive releases that would require off-site emergency measures but with insufficient time to implement them;
- Large radioactive releases that would require protective measures that could not be limited in area or time.

New nuclear power plants must at least meet the WENRA Safety Objectives for New Nuclear Power Plants [5-6]. WENRA expects new NPPs to be designed, sited, constructed, commissioned and operated in line with these objectives. The [5-6] objectives promote the defence-in-depth approach at all levels of plant protection and require that multiple failure events and core melt accidents should be considered in the design of new NPPs. WENRA requires that accidents with core melt which would lead to early or large radioactive releases have

to be practically eliminated. For those accidents with core melt that have not been practically eliminated, design provisions have to be taken so that only limited protective measures in area and time are needed for the public and the environment, and that sufficient time is available to implement these measures (see [5-6] for more details). These requirements are meant to ensure that even accidents with core melt have limited consequences on the public, even in the vicinity of the NPP.

Wissenschaftliche Prüfung:

Auch wenn verschiedene Regelwerke (u.a. das deutsche kerntechnische Regelwerk an verschiedenen Stellen) vom „Ausschluss“ oder „praktischem Ausschluss“ bestimmter Ereignisse oder Unfallszenarien bzw. Unfallfolgen (z. B. keine radiologischen Folgen außerhalb des Anlagengeländes, Vermeidung großer oder früher Freisetzung, etc.) sprechen (WENRA, 2010), bedeutet dieser Terminus Technicus nicht, dass diese Ereignisse kategorisch ausgeschlossen sind.

Im probabilistischen Sinne bedeutet ein solcher „Ausschluss“, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses aufgrund der getroffenen Maßnahmen hinreichend klein ist.

Die Verwendung dieser Regelwerksterminologie im Report suggeriert allerdings, dass der „Ausschluss“ in einem kategorischen Sinne verstanden wird (vgl. auch lfd. Nr. 248).

Beispiel: IAEA SSR-3 (Safety of Research Reactors):

„6.8. The design shall ensure that facility states that could lead to high radiation doses or large radioactive releases are practically eliminated and that there are no, or only minor, potential radiological consequences for facility states with a significant likelihood of occurrence.“

Weiter:

„The possibility of certain conditions occurring is considered to have been practically eliminated (i. e. eliminated from further consideration) if it is physically impossible for the conditions to occur or if the conditions can be considered with a high level of confidence to be extremely unlikely to arise.“

D. h. „Ausschluss“ bedeutet, dass Maßnahmen getroffen wurden, so dass das entsprechende Ereignis von weitergehenden Betrachtungen ausgeschlossen werden kann.

Quelle:

(WENRA, 2010)

A 5.5: Development of Technical Screening Criteria for the uranium mining and milling phase

/

A 5.6: Development of TSC for the reprocessing of spent nuclear fuel

/

A 5.7: Development of TSC for the interim storage and final disposal of spent fuel and high-level radioactive waste

Nr. 147

Fundstelle:

A 5.7, S. 196–197

Bezugstext:

Development of TSC for the interim storage and final disposal of spent fuel and high-level radioactive waste

Wissenschaftliche Prüfung:

Das JRC folgt in seiner Ausarbeitung der technischen Bewertungskriterien der Vorgehensweise und der Tiefe den durch die TEG für andere Aktivitäten definierten Bewertungskriterien. Die Auflistung umfasst alle Aktivitäten. Wie bereits zu Teil A 3.3.8.3 ausgeführt, wird dadurch der Rahmen der berücksichtigten Ereignisse auf diejenigen begrenzt, die in den zugehörigen Genehmigungsverfahren zu bewerten sind. Insbesondere werden hier die unter Teil A 3.5 angesprochenen severe accidents nicht berücksichtigt. (siehe hierzu die Anmerkungen zu Teil A 3.5).

Nr. 148

Fundstelle:

A 5.7, S. 197

Bezugstext:

Disposal of low level and short-lived intermediate level waste is less challenging than disposal of high level waste, and thus it is considered that the Technical Screening Criteria as developed for interim storage and disposal of high level waste and spent fuel cover as well the disposal of low level and short-lived intermediate level waste.

Wissenschaftliche Prüfung:

In der zitierten Aussage steckt die Annahme, dass die entwickelten TSC für die Zwischenlagerung und Endlagerung von HLW und bestrahlten Brennelementen die Endlagerung von LLW und kurzlebigen ILW abdecken.

Hier drängt sich die Frage auf, welche TSC für die anderen radioaktiven Abfälle, die nicht unter die o. g. Abfallklassen fallen, gelten bzw. heranzuziehen sind. Gemeint ist beispielsweise VLLW und langlebiger LLW und ILW.

So enthält der kurzlebige LLW und ILW nur geringe Mengen an langlebigen Radionukliden. Um als kurzlebig zu gelten, muss der Abfall die folgenden drei Kriterien erfüllen (IAEA, 2009; GRS, 2004):

- die Halbwertszeit des Abfalls ist geringer als 30 Jahre,
- die spezifische Aktivität der α -Strahler des Abfalls im gesamten Endlager ist geringer als 400 Bq/g,
- die spezifische Aktivität der α -Strahler in Einzelgebinden ist geringer als 4 000 Bq/g.

Zu den langlebigen LLW und ILW gehören Abfälle, die die o. g. Kriterien überschreiten und keine signifikante Wärmeproduktion haben.

Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Ausführung und Konzeption bei geologischen Endlagern im Sinne der Robustheit von einer anderen Qualität sein wird als die bei oberflächennahen Endlagern, die gemäß dem JRC-Bericht für LLW üblich sind (siehe JRC-Bericht, Teil B 5.1). So werden Einrichtungen für LLW,

die oberflächennah angelegt sind, anfälliger eingeschätzt gegenüber extremen externen Ereignissen und Prozessen z. B. Naturphänomenen, Unfällen, anthropogenen Einwirkungen und HI (IAEA, 2012).

Ein weiterer Unterschied bezieht sich auf die geringere Nähe zu grundwasserleitenden Schichten gegenüber der geologischen Endlagerung, die bei einer Leckage ungünstige Auswirkungen haben kann. Eine separate Berücksichtigung von jeweils spezifischen TSC für die radioaktiven Abfälle bzw. oberflächennahe Endlagerung und geologische Endlagerung erscheint demnach zwingend geboten.

Quellen:

(IAEA, 2012), (IAEA, 2009), (GRS, 2004)

Nr. 149

Fundstelle:

A 5.7, S. 196

Bezugstext:

Therefore we used them only as “skeletons” and developed the required TSC from scratch. Formally the “disposal of HLW” was considered as enabling activity, because the safe management and adequate final disposal of radioactive waste – among other conditions – contribute to the long-term sustainability of nuclear energy.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Autoren der Studie merken zurecht an, dass die Ableitung der benötigten Bewertungskriterien aus den gegebenen Vorgaben nur sehr schwer oder gar unmöglich ist. Sie deuten die Möglichkeit der Berücksichtigung anderer zusätzlicher Bewertungsmaßstäbe an, ziehen sie am Ende jedoch nicht in Betracht.

Im Bericht wird die Fokussierung auf diesen „Befähigungsansatz“ nicht weiter kritisch hinterfragt. Der Bericht enthält zu diesem Punkt nur wenige Hinweise, wie die Bewertung zu den DNSH-Kriterien durch einen anderen Ansatz hätte aussehen können. Dies erweckt den Eindruck eines „alternativlosen“ Vorgehens.

Nr. 150

Fundstelle:

A 5.7, S. 197 und Part B, Annex 4(4)

Bezugstext:

Development of TSC for the interim storage and final disposal of spent fuel and high-level radioactive waste

Criteria defined in the TSC table focus on ensuring the fulfilment of the following requirements:

- Ensuring nuclear safety during the operations, including transport manoeuvres (in particular subcriticality, cooling and containment of radioactive materials);
- Ensuring adequate radioprotection of workers during the operations;
- Limitation of gaseous and liquid releases during operation and post-closure;
- Limitation of conventional waste generation (e. g. during excavation, manufacturing, decommissioning and dismantling of encapsulation plant and auxiliary facilities);
- Limitation of migration of radionuclides from the repository to the accessible biosphere;
- Ensuring the fulfilment of Taxonomy-specific requirements.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die TSC werden trotz ihrer zentralen Bedeutung für die Methode nur sehr allgemein gehalten (insbesondere in der Tabelle im Anhang 4, Punkt 4) und erfordern weitere Spezifizierung (Beispiel Dosiskriterien für radiologische Bewertung).

In der vorliegenden Form sind die TSC noch als „in der Entwicklung befindlich“ zu werten, wie in der Zusammenfassung auch erläutert wird: „Bei den hier veröffentlichten TSC handelt es sich um vorläufige Vorschläge, die zeigen, dass angemessene Kriterien zusammengestellt werden können.“ Daher müssen sie weiter ausgearbeitet werden, bevor sie angewendet und die Bewertung abgeschlossen werden kann.

In Bezug auf die radiologischen Auswirkungen konzentrieren sich die TSC beispielsweise darauf, die Dosisbeiträge durch den Einsatz eines Multibarrierensystems unter den gesetzlichen Grenzwerten zu halten. Es wird nicht erklärt, warum die Anforderung auf diese Weise eingeschränkt wird. So werden beispielsweise andere potenziell wichtige Sicherheitsindikatoren wie Risiko oder Radioaktivitätsflüsse nicht erwähnt. Es wird auch nicht erörtert, wie mit den unterschiedlichen Grenzwerten in den verschiedenen Ländern umgegangen werden soll (bzw. wie sie vereinheitlicht werden sollen).

Annex 1, Appendix E, Seite 369 folgende benennt noch weitere Anforderungen an die DNSH-Kriterien, insbesondere Aspekte der Finanzierung. Sie werden hier nicht angesprochen. Das ist in der Binnenlogik des JRC-Berichts stimmig, dieser Aspekt fehlt jedoch bei einer übergeordneten Diskussion der Nachhaltigkeit.

Part B: Specific assessment on the current status and perspectives of long-term management and disposal of radioactive waste

B 1: Radioactive waste management: main principles and legal framework

/

B 1.1: Main principles of radioactive waste management

Nr. 151

Fundstelle:

B 1.1, S. 200, 2. Absatz

Bezugstext:

No radionuclides are released from the waste and no radiological pollution and/or harm to the biodiversity and ecosystems (including marine environment) occur during the operational lifecycle stages.

Wissenschaftliche Prüfung:

Bei dem Betrieb von kerntechnischen Anlagen darf es zu einer Exposition unterhalb der Grenzwerte kommen, vgl. § 80 StrlSchG. Die prinzipielle Aussage, dass es zu keiner Freisetzung kommt, sollte angepasst werden.

Nr. 152

Fundstelle:

B 1.1, S. 200

Bezugstext:

For the final disposal of radioactive waste, the objective has to be fulfilled until the radiotoxicity level of the waste has decayed sufficiently to ensure that

the maximum allowed dose contribution set by the relevant regulation is not exceeded. For the waste containing long-lived radionuclides, in particular for the spent nuclear fuel and the vitrified waste from reprocessing (High-Level Waste, or HLW), which are characterized by high concentration of long-lived radionuclides and the most intense radioactivity level, the decay time required to reduce the radiotoxicity down to the relevant threshold can be of the order of a hundred thousand years. Ensuring the safe containment and isolation of the waste for very long timespans cannot rely upon active human monitoring and intervention.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Aussage vermittelt für die erforderliche Zeit der Isolierung bzw. des Einschlusses von HLW eine Größenordnung von hunderttausend Jahren. Dieser Zeithorizont ist schon schwer vorstellbar, kommt jedoch der eigentlichen notwendigen Isolationszeit für die Abfälle zum Schutz des Menschen und der Umwelt nicht nach. So weisen eine Reihe von langzeitrelevanten Radionukliden (z. B. Ra 226, Th 229, Np 237 und Cs 135) noch nach einem Zeitraum von einer Million Jahren Gesamtaktivitäten größer 10¹⁰ Bq, bei einem angenommenen Inventar von 10.000 bestrahlten Brennelementen (0.534 Mg HM/BE), auf (AkEnd, 2002).

In einer Reihe von Ländern wird für die Sicherheitsanalysen ein Bewertungszeitraum von einer Million Jahren angesetzt. Dieser Zeitraum wird fälschlicherweise oftmals mit dem Zeitraum verbunden, bei dem der eingelagerte radioaktive Abfall als unbedenklich für Mensch und Umwelt gilt. Die Berücksichtigung von einer Million Jahren gehen (zumindest für Deutschland) auf die Arbeiten des AkEnd zurück. So wird folgendes ausgeführt:

„Der AkEnd ist der Auffassung, dass nach wissenschaftlichen Erkenntnissen praktisch vernünftige Prognosen über die geologische Standortentwicklung in günstigen Gebieten, wie sie auch in Deutschland existieren, über einen Zeitraum in der Größenordnung von einer Million Jahren erstellt werden können. Diese sind Voraussetzung, um im späteren Genehmigungsverfahren die Langzeitsicherheit eines Endlagers nachweisen zu können.

Zur Entwicklung von quantitativen Kriterien für die Suche nach Endlagerstandorten mit günstigen geologischen Gesamtsituationen hat der AkEnd festgelegt, dass der Isolationszeitraum der gesuchten Endlagerstandorte in der Größenordnung von einer Million Jahren liegen soll.“ (AkEnd, 2002)

Der Aussage ist zu entnehmen, dass selbst die eine Million Jahre auf die Prognosefähigkeit in günstigen geologischen Gebieten abhebt. Aus diesem Grund wurde der Isolationszeitraum auf eine Million Jahre festgelegt. Hiermit ist nicht der Zeitraum verbunden, bei dem der eingelagerte Abfall als ungefährlich eingestuft werden kann.

Quelle:

(AkEnd, 2002)

Nr. 153

Fundstelle:

B 1.1, S. 200

Bezugstext:

The safety demonstration addresses both the “normal” long-term behaviour of the repository and the behaviour in case of “perturbations”, such as glaciation, seismic events, and human intrusion, and it is assessed independently by the competent regulatory authority.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wird der Gedanke der Unterscheidung des „bestimmungsgemäßen Betriebes“, des „nicht bestimmungsgemäßen Betriebes“ oder „auslegungsüberschreitende Anlagenzustände“ aufgenommen. Er fließt aber nicht in die Bewertung mit ein (siehe Kommentar zu Teil A 3.3.8.5, S. 162).

Nr. 154

Fundstelle:

B 1.1, S. 200

Bezugstext:

The fundamental safety objective applicable to all facilities and activities handling radioactive materials is to protect the people and the environment from the harmful effects of ionizing radiation [1–7]. Thus, the basic and foremost goal of radioactive waste management is to ensure that the radioactive waste materials are contained and sequestered from the biosphere throughout all stages of waste management.

Wissenschaftliche Prüfung:

Teil B Kapitel 1 beschreibt die notwendigen Voraussetzungen, um die Erfüllung der DNSH-Kriterien zu erreichen. Dabei stützt sich der Bericht auf das internationale Regelwerk und die positiven Erfahrungen einzelner Mitgliedsstaaten zur Umsetzung der DNSH-Kriterien ab. Zur Ableitung aber ebenso benötigter hinreichender Kriterien fehlt die Auswertung anderer internationaler Erfahrungen, die zu einer Neubewertung der Endlagerfrage geführt haben. Beispiele wären hier Deutschland, USA oder Australien.

Weiterhin fließt in die Analyse nur die Perspektive der Mitgliedsstaaten ein, die in der Lage sind, eigene Entsorgungsprogramme auch umzusetzen. Auf die Perspektive kleinerer Mitgliedsstaaten, die möglicherweise auf eine Unterstützung ihrer eigenen Endlagerfrage angewiesen sind, wird nicht eingegangen.

Nr. 155

Fundstelle:

B 1.1, S. 200

Bezugstext:

Direct monitoring and intervention by the operators ensures maintaining the safe functions of all the shielding and containment barriers isolating the radioactive waste. No radionuclides are released from the waste and no radiological pollution and/or harm to the biodiversity and ecosystems (including marine environment) occur during the operational lifecycle stages.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Aussage in diesem Absatz ist in ihrer Absolutheit so nicht richtig. Die in dem Bericht richtig zitierten nationalen und internationalen Regelwerke gehen bezüglich der Rückwirkungen der Endlagerungstätigkeit durch Endlagerung von HLW nicht von einem „Nullkriterium“ sondern einem „Geringfügigkeitskriterium“ aus.

Nr. 156

Fundstelle:

B 1.1, S. 200 ff

Bezugstext:

The safety demonstration addresses both the “normal” long-term behaviour of the repository and the behaviour in case of “perturbations”, such as glaciation, seismic events, and human intrusion, and it is assessed independently by the competent regulatory authority.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wird „human intrusion“ (HI) gleichrangig neben Vergletscherung, Erdbeben, etc. gestellt und damit suggeriert, dass für alle Events (also menschliche Aktivitäten genauso wie für nicht-anthropogene Ereignisse) derselbe Sicherheitsmaßstab angelegt würde und insbesondere die auf S. 201 angeführten Dosisgrenzwerte greifen würden. Dies ist jedoch nicht der Fall. In einigen Ländern (*1) sind HI-Szenarien grundsätzlich von der Notwendigkeit des Anlegens von Dosisgrenzwerten entbunden (*2).

Es ist demnach textlich korrekt, zu sagen, „the safety demonstration addresses HI“, aber es wäre falsch, dies als „safety demonstration“ für HI im Sinne der in diesem Kapitel hervorgehobenen Dosisgrenzwerte zu verstehen. So trifft beispielsweise das Idealbild „expected radiation dose“ (Abb. 1-1, S. 203) eines geologischen Endlagers auf HI-Szenarien nicht zu.

Quellen:

*1: so auch in Deutschland; siehe Sicherheitsanforderungen

*2: damit folgen diese Länder den im HIDRA-Projekt der IAEA und in der Szenarien-Arbeitsgruppe der OECD/NEA gemachten Empfehlungen

Nr. 157

Fundstelle:

B 1.1, S. 201

Bezugstext:

The above-mentioned regulations set the maximum allowed levels of radioactivity and dose, below which no significant harm is caused to the human population and to the environment (biosphere) also for the radioactive waste management activities. For instance, the nuclear law and regulations in Finland [1-3], [1-27] states that a final repository for spent nuclear fuel under normal operations may not cause a dose to the most exposed member of the public higher than 0.1 mSv/y. In Sweden, the maximum allowed dose contribution due to the final repository for a person that would live in its vicinity is 0.014 mSv/y [1-4], [1-5], and [1-6]. These limits are very low.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die in der Aussage gemachten Angaben sind grundsätzlich nicht falsch, müssen jedoch im Detail relativiert werden. So ist die Dosisgrenze in Finnland bei der erwarteten Entwicklung eines Endlagers auf 0.1 mSv/y gesetzt. Jedoch gilt dieser Grenzwert für einen Bewertungszeitraum von einigen tausend Jahren. Also ein deutlich kleinerer Zeitraum gemessen an einem Bewertungszeitraum von einer Million Jahren, der in einigen Ländern Anwendung findet. Nach einigen tausend Jahren werden keine Grenzwerte zur effektiven Jahresdosis vorgegeben. Hier orientiert man sich an durchschnittlichen radionuklidspezifischen Freisetzungsgrenzen. Für unwahrscheinliche Ereignisse wird gefordert, die resultierenden Expositionen nach Möglichkeit zu quantifizieren. Die Erwartungswerte hieraus sollen mit der o. g. Dosisgrenze oder den radionuklidspezifischen Freisetzungsgrenzen verglichen werden. Die Möglichkeit hierbei, dass radiologische Expositionen auftreten (um mindestens ca. 0.5 Sv) soll sehr gering sein (STUK, 2014).

In Schweden wird kein Dosiskriterium sondern ein radiologisches Risiko für die am stärksten betroffenen Individuen von 10^{-6} zugrunde gelegt (SSM, 2009). Das Risiko lässt sich dann in eine Dosis umrechnen, die sich mit der dargestellten Angabe deckt.

Quellen:

(STUK, 2014), (SSM, 2009)

Nr. 158

Fundstelle:

B 1.1, S. 201

Bezugstext:

The basic and foremost objective of radioactive waste management is to ensure that the radioactive waste materials are contained and sequestered from the biosphere throughout all stages of waste management.

Wissenschaftliche Prüfung:

Gemäß den Ausführungen zu Teil A 3.3.8.2, S. 155 ist für die Endlagerung eine garantierte Sicherstellung des Einschlusses der radioaktiven Abfälle von der Biosphäre nicht möglich, da zukünftige menschliche Aktivitäten inklusive HI in der Nachverschlussphase, die die Sicherheit des Endlagers beeinträchtigen, nicht ausgeschlossen werden können (ICRP, 2013).

Quelle:

(ICRP, 2013)

Nr. 159**Fundstelle:**

B 1.1, S. 202 und Grafik S. 203

Bezugstext:

Figure 1-1 shows an example of the expected dose caused by the geological repository to the most exposed individual living in its vicinity as a function of time. The actual dose will be two orders of magnitude lower than the maximum level allowed by the regulation, which, in turn, is one order of magnitude lower than the dose from natural sources.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Grafik weist keinerlei Unsicherheitsbandbreiten aus. Damit ist die getroffene Aussage im Text nicht einschätzbar. Eine Einordnung im Text ist auch nicht angegeben. Dies ist nicht die einzige Abbildung, für die diese Anmerkung zutrifft.

Nr. 160**Fundstelle:**

B 1.1, S. 204

Bezugstext:

The avoidance of significant harm to humans and to the environment is ultimately ensured by the compliance with the regulatory limits set for the radioactivity dose contribution to the non-professionally exposed population, which is a precondition for the authorization and licensing of any radioactive waste management facility.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Textstelle sagt, die „avoidance of significant harm“ sei deshalb „ultimately ensured“, weil sie sich auf die Einhaltung von Dosisgrenzwerten stützt. Da jedoch die anthropogenen Szenarien wie das unbeabsichtigte menschliche Eindringen (inadvertent HI) nicht durch die Einhaltung von Dosisgrenzwerten abgesichert werden, bleibt der Beleg für die proklamierte „avoidance of significant harm“ unvollständig.

Davon sind auch die Key conclusions Nr. 15 und 17 (drittletzte und letzte) betroffen, wo die Einhaltung von „no significant harm to human health“ mit der Einhaltung von Dosisgrenzwerten belegt wird.

Nr. 161**Fundstelle:**

B 1.1, S. 204

Bezugstext:

Due to the high radiological hazard potential of radioactive waste forms, especially in the case of spent fuel and HLW, and as required by the relevant regulations, all steps of radioactive waste management fulfil the requirements and are designed to ensure that the waste remains fully contained and isolated from the environment at all times.

Wissenschaftliche Prüfung:

Dieser Aussage in der jetzigen dezidierten Form muss widersprochen werden. Siehe Begründungen zu Teil A 3.3.8.2, S. 155 und Teil B 1.1, S. 201.

Des Weiteren sei nochmals auf das Zitat der OECD/NEA (OECD, 1995) zur Anmerkung Teil A 3.3.8.5, S. 162 verwiesen. Ein weiteres Zitat (ICRP, 2013) zur Untermauerung des Widerspruchs ist im Folgenden aufgeführt:

„Eventually, loss of memory and consequently loss of oversight may take place, either progressively or following major unpredictable events such as war or loss of records. Therefore, inadvertent human intrusion in the disposal facility cannot be ruled out during this time period. The intrinsic hazard of the waste decreases with time, but it may continue to pose a significant hazard for a considerable time.“

Unabhängig von der Möglichkeit eines menschlichen Eindringens in ein Endlager ist die Frage nach der Endlagersicherheit mit einer Vielzahl von Ungewissheiten verbunden, von denen sich niemals alle ausräumen oder gänzlich vermeiden lassen (GRS, 2018).

Es ist unzweifelhaft, dass die dauerhafte Beseitigung radioaktiver Abfälle als Notwendigkeit erachtet wird und einer sicheren Entsorgung zum Schutz der Menschen und der Umwelt bedarf. Vor diesem Hintergrund sollte jedoch nicht vergessen oder verdrängt werden, dass keine geologische Endlagerung angestrebt wird, weil wir der Meinung sind einen absolut sicheren Entsorgungsweg gefunden zu haben, sondern weil wir davon überzeugt sind, dass die geologische Endlagerung im Vergleich zu allen anderen Alternativen die bestmögliche Option für eine Entsorgung radioaktiver Abfälle und Schutz vor deren Gefahren bietet. Diese Überzeugung sollte jedoch nicht dahingehend missverstanden bzw. zum Anlass genommen werden, die geologische Endlagerung als uneingeschränkt sichere Entsorgungsoption zu verstehen.

Quellen:

(OECD, 1995), (ICRP, 2013), (GRS, 2018)

B 1.2: Legal framework for long-term management of radioactive waste and spent fuel

Nr. 162**Fundstelle:**

B 1.2, S. 206

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Keine Bezugnahme auf ICRP (2013). Zur Wichtigkeit von ICRP siehe auch lfd. Nr. 255 in dieser Tabelle. Dem Unterkapitel „Long term management in international recommendations“ fehlt damit eine der zentralen Referenzen.

Auch die rechts aufgeführten Publikationen der OECD/NEA sind im gesamten Teil B 1.2 kaum präsent. Die einzige Bezugnahme auf OECD/NEA in Teil B 1.2 ist eine „Collective Opinion“ von 1995. Der Diskussionsstand hat sich seit jener Zeit jedoch erheblich weiterentwickelt, gerade was ethische Prinzipien angeht. Neben einer Bezugnahme auf ICRP (2013) müsste auch OECD (1995) durch OECD (2014) ergänzt werden.

Zur Wichtigkeit von ICRP (2013) hinsichtlich long-term management in Bezug auf ethische Grundsätze und langfristigen Informationserhalt siehe auch lfd. Nr. 161 in dieser Tabelle.

Zur Wichtigkeit von ICRP (2013) hinsichtlich long-term management in Bezug auf Strahlenschutzprinzipien siehe auch lfd. Nr. 255 in dieser Tabelle.

Quellen:

(ICRP 2013), (OECD, 1995), (OECD, 2014)

Nr. 163

Fundstelle:

B 1.2, S. 205–206 und Annex 5.4

Bezugstext:

Unterkapitel “Main provisions and principles addressing long term management“ und „Long term management in international recommendations“

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wird die Bedeutung von ICRP (2013) hinsichtlich long-term management in Bezug auf ethische Grundsätze und langfristigen Informationserhalt dargestellt.

Die Bedeutung von langfristigem Informations- und Wissenserhalt wird im JRC-Bericht nicht gewürdigt bzw. nicht erkannt. Wenngleich Dokumentenerhalt („preservation of records“) als Zitat aus Artikel 17 der Joint Convention im Bericht (Teil B 1.2) erwähnt ist, bleibt die Thematik im Übrigen weitgehend unberücksichtigt. Sie fehlt insbesondere in den Kapiteln zu den Grundprinzipien der geologischen Endlagerung.

Die Keimzelle der weitgehenden Aussparung dieser Thematik ist das Fehlen bzw. Nicht-Würdigen von drei Schlüsseldokumenten:

- ICRP (2013): Das Dokument dient im JRC-Bericht lediglich als eine Referenz (unter vielen anderen Referenzen) für Definitionen von „Safety Case“ und „Stakeholder“. Die Kernaussagen von ICRP (2013), s.u., bleiben unerwähnt. Die ICRP-Empfehlungen aus ICRP (2013) fehlen somit im JRC-Bericht, auch wenn das Dokument selbst zitiert wird.
- OECD (2014) findet keine Beachtung.
- OECD (2019) findet keine Beachtung.

Die ICRP-Empfehlungen von 2013 (ICRP, 2013) sind eine Ergänzung der Empfehlungen von 2007 (ICRP, 2007) speziell für eine Anwendung dieser Prinzipien auf die geologische Endlagerung und sehr lange Zeiträume hin. Dementsprechend hätten die ICRP-Empfehlungen von 2013 in Annex 5.4 „General principles of radiation protection“ aufgeführt werden müssen; ebenso in Teil B 1.2, Unterkapitel „Main provisions and principles addressing long term management“ und „Long term management in international recommendations“. Ihr Fehlen dürfte mitursächlich für das Fehlen des Themas „langfristiger Informations- und Wissenserhalt“ im gesamten JRC-Bericht sein.

Zu Inhalt und Relevanz der ICRP-Empfehlungen (ICRP, 2013) für die Langzeit-Grundprinzipien und den langfristigen Informations- und Wissenserhalt:

In ICRP (2013) setzt sich die ICRP mit dem Problem auseinander, dass ein Grundpfeiler des Strahlenschutzes – „Kontrolle“ (Kontrolle über die Strahlungsquelle und/oder über einen räumlichen Bereich) – bei der geologischen Endlagerung nur eingeschränkt zur Verfügung steht, weil eine Kontrolle über sehr lange Zeiträume nicht garantiert werden kann. Die ICRP empfiehlt deshalb, bei der Anwendung der Strahlenschutzprinzipien auf sehr lange Zeiträume jene durch das Konzept „Oversight“ zu ergänzen. „Oversight“ ist sowohl im klassischen Sinne als „Aufsicht“, aber auch als „sorgsamer Umgang“ (watchful care) und „wachsames Auge“ (keeping an eye) zu verstehen. Kernaussagen dabei:

“[...] this publication introduces the concept of oversight or ‘watchful care’ during different phases of waste management and disposal. This is a crucial factor, influencing how the system of radiological protection is applied over long periods of time, and referring not only to monitoring but also to decisions on actions and implementation of plans. [...]”

The level of oversight affects the capability to control the source, i. e. the waste and the repository, and to avoid or reduce potential exposures.” (ICRP, 2013, S. 6f) Langfristiger Informations- und Wissenserhalt, einschließlich Langzeitdokumentation, ist dabei einerseits eine von mehreren Oversight-Maßnahmen in der Nachverschlussphase des Endlagers als auch insgesamt die Grundlage, um Oversight über längere Zeiträume aufrechtzuerhalten.

Das Radioactive Waste Management Committee (RWMC) der OECD/NEA hat in einem Konsenspapier (OECD, 2014) das Oversight-Konzept der ICRP bekräftigt, in Beziehung zu langfristigem Informations- und Wissenserhalt („RK&M preservation“) gestellt und dabei auch einen ethischen Anspruch formuliert.

Schlüssel-Aussagen aus dem Collective Statement (OECD, 2014):

„There is no intention to abandon repositories for geological disposal of radioactive waste, either before or after closure. The RWMC accepts and adopts the ICRP [2013] position on the relevance of maintaining oversight over the geological disposal of radioactive waste for as long as practicable.

Maintaining Records, Knowledge and Memory for a radioactive waste repository after its closure will allow future members of society to take informed decisions regarding the repository and its contents and to prevent inadvertent human intrusion.

Enabling future members of society to make informed decisions is part of responsible, ethically sound, sustainable radioactive waste management, and is in line with a prudent approach regarding safety.“

Da diese Aussagen keinen Eingang in den JRC-Bericht gefunden haben und insbesondere im Unterkapitel „Long term management in international recommendations“ (Teil B.1.2, S. 206) fehlen, basiert der JRC-Bericht bzgl. des Themas „langfristiger Informations- und Wissenserhalt“ – inkl. seiner Verankerung in Strahlenschutzprinzipien und ethischen Grundsätzen der Endlagerung – nicht auf dem aktuellsten Stand der internationalen Empfehlungen der ICRP und der OECD/NEA von 2013 bzw. 2014.

Die OECD/NEA hat 2011 zur umfassenden Ausarbeitung dieser Thematik die sog. RK&M-Initiative („Initiative on the Preservation of Records, Knowledge and Memory Across Generations“) ins Leben gerufen, deren Abschlussbericht (OECD, 2019) als Grundsatzkompendium und Leitlinie zum langfristigen Informations- und Wissenserhalt im Kontext der Endlagerung anzusehen ist. Das Fehlen auch dieser Referenz im JRC-Bericht unterstreicht, dass dem Thema im JRC-Bericht keine signifikante Bedeutung zugemessen wird.

Aus Sicht der OECD/NEA ist die Bedeutung des langfristigen Informations- und Wissenserhalts erheblich, werden doch als dessen Ziele formuliert 1.) es zukünftigen Generationen zu ermöglichen, informierte Entscheidungen zu treffen und 2.) es zukünftigen Generationen zu ermöglichen, unbeabsichtigtes menschliches Eindringen zu verhindern. Ein Verzicht auf langfristigen Informations- und Wissenserhalt würde demnach auch die Grundprinzipien „avoiding imposing undue burdens on future generations“ (wegen 1.) und „causing no significant harm to humans“ (wegen 2.) tangieren.

Zur Wichtigkeit von ICRP (2013) hinsichtlich long-term management in Bezug auf Strahlenschutzprinzipien siehe auch lfd. Nr. 255 in dieser Tabelle.

Quellen:

(ICRP, 2013), (OECD, 2014), (OECD, 2019)

B 2: Inventory of radioactive waste and spent fuel in the European Union

/

B 2.1: Generation of radioactive waste and spent fuel

Nr. 164

Fundstelle:

B 2.1, S. 210

Bezugstext:

Table 2.1-1. Typical annual radioactive waste generation rates from the nuclear fuel cycle (excluding mining and milling)

Wissenschaftliche Prüfung:

Für die aufgeführte Tabelle 2.1-1 wird als Quelle ein IAEA TECDOC aus dem Jahr 2017 angegeben.

Hier übernimmt der JRC-Bericht eine Tabelle (Tabelle 2.1-1) mit typischen jährlichen Abfallproduktionsraten, die aus dem IAEA-Dokument TECDOC 1817 (IAEA, 2017) entstammt. Die Zahlenangabe für Decommissioning of Power Plant ist im JRC-Bericht mit einer Fußnote versehen, die in der IAEA-Quelle nicht vorhanden ist. Die Fußnote im JRC-Bericht besagt, dass es sich um die Einheit [m³ per plant (1 GW)] handele, in der IAEA-Quelle hingegen gilt die Angabe [m³/GW-year], also eine jährliche Abfallproduktionsrate. Während im JRC-Bericht also ein Abfallaufkommen aus der Stilllegung eines Kernkraftwerks von „375 m³ per plant (1 GW)“ angegeben wird, bezieht sich die zugehörige IAEA-Quelle auf eine jährliche Abfallproduktionsrate. Das Abfallaufkommen aus der Stilllegung eines KW wäre also je nach Abbaudauer deutlich höher anzusetzen als im JRC-Bericht in Teil B 2.1 angegeben.

Quelle:

(IAEA, 2017)

Nr. 165

Fundstelle:

B 2.1, S. 210, Table 2.1-1

Bezugstext:

The largest fraction of the radioactive waste comes from operation and decommissioning of nuclear power plants and associated nuclear fuel cycle activities (see Chapter 3.3. of part A of this report). Table 2.1-1 shows the typical annual waste generation per unit energy broken down to the different stages of the nuclear fuel cycle. The table does not include waste from uranium mining and milling activities. In terms of activity, most of the radioactive waste is generated during operation of nuclear power plants, in particular by the fuel irradiation. However, in terms of volume, most of the waste comes from decommissioning of nuclear power plants and other nuclear facilities at the end of their operational lifetime, mainly as low level waste.

Wissenschaftliche Prüfung:

Stilllegung und Rückbau stellen große Herausforderungen im Lebenszyklus von Kernbrennstoffversorgungsanlagen dar. Eine ausführlichere Darstellung ist erforderlich.

Nr. 166

Fundstelle:

B 2.1, S. 211

Bezugstext:

Most of the radioactive waste resulting from non-power generating activities

consists of short-lived radionuclides. Management of this type of waste usually involves storage for a time span allowing radioactive decay and subsequent disposal as conventional waste.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wird außer Acht gelassen, dass der größte Teil des radioaktiven Abfalls (L/S) aus der medizinischen Diagnostik mittels Tc-99m stammt. Die Patienten scheiden das äußerst langlebige Tc-99 ($t_{1/2} = 211000$ a) über Stuhl und Urin wieder aus. Weltweit werden über 30 Millionen Untersuchungen durchgeführt. Allein in Deutschland werden wöchentlich etwa 60 000 Untersuchungen mit Tc-99m durchgeführt. Die durchschnittliche, injizierte Aktivität beträgt etwa 100 MBq. Allein in Deutschland fielen somit pro Jahr Abwässer mit einem Aktivitätsinventar von rund 6 TBq Tc-99 an. Aufgrund seiner Komplexbildungsfähigkeit, seiner langen Halbwertszeit und seiner Eigenschaft als weicher Beta-Strahler stellt der Nachweis des Nuklids in Abwässern ein messtechnisches Problem und in der Konzeption der Endlager ein Einschlussproblem dar. Auf das Problem wird erst später und in anderem Zusammenhang auf p. 221 eingegangen: „These radionuclides will govern the longterm radiotoxicity in the case of HLW not containing actinides“

Quelle:

(OECD 2011a), (Bockisch et. al., 2009), https://www.nuklearmedizin.de/leistungen/leitlinien/html/neben_schild.php?navId=

B 2.2: Classification of radioactive waste

Nr. 167

Fundstelle:

B 2.2, S. 211-216, konkret S. 214

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Einordnung des radioaktiven Abfalls in Deutschland in nicht-wärmeentwickelnde und wärmeentwickelnde Abfälle wird korrekt vorgestellt. Keine Erwähnung findet die Tatsache, dass für den Safety-Case für HLW in Deutschland der sichere Einschluss für mindestens 1 Million Jahre gefordert wird.

Die im Bericht explizit angegebenen Randbedingungen von 300 Jahren für LLW („radioactivity of such waste types will decay to background levels within about 300 years“) wären so allgemein heute in Deutschland nicht ausreichend. Für ILW wird im Bericht keine Mindestdauer für den sicheren Einschluss vorgegeben.

Durch die sehr niedrig angesetzte Anforderung an die Rückhaltung eines Endlagers für LLW und ILW bzw. die häufige Beschränkung der Diskussion auf kurzlebige Abfälle (LLW-SL & LILW-SL) werden die potenziellen Auswirkungen einer Freisetzung systematisch massiv unterschätzt. Hierdurch wird die Kernenergie im Vergleich mit den anderen Energieerzeugungsformen in Bezug auf nichtwärmeentwickelnde Abfälle „schöngerechnet“.

Quelle:

(StandAG), (s. auch Rübel, 2019)

B 2.3: Amounts of radioactive waste and spent fuel in nuclear fuel cycle

Nr. 168

Fundstelle:

B 2.3, S. 216

Bezugstext:

The estimated total inventory of radioactive waste in the EU territory at the end of 2016 was 3 466 000 m³. It is important to note, that 71.6% of this volume has been already disposed of. The amount of radioactive waste in storage was 983 000 m³.

Wissenschaftliche Prüfung:

Leider werden keine näheren Angaben zum Entsorgungsweg zu den bspw. 12.000m³ mittelradioaktiven Abfällen gemacht. Eine nähere Aufgliederung wäre wünschenswert, da somit nicht klar wird, ob es sich um eine stoffliche Verwertung im Sinne der Kreislaufwirtschaft handelt oder eine Definitionsfrage. Es liegt nahe, dass hier Abfälle, z. B. aus der Urananreicherung, umgewidmet wurden und somit als „entsorgt“ gelten.

Nr. 169

Fundstelle:

B 2.3, S. 216

Bezugstext:

The inventory data includes all radioactive waste present on the EU territory originating from various civil activities.

Wissenschaftliche Prüfung:

Unklare Aussage. Wünschenswert wäre eine differenziertere Angabe in Bezug auf zivile Forschung/militärische Forschung zu radioaktiven Abfällen.

Nr. 170

Fundstelle:

B 2.3, S.217 und B 5.2.4, S. 260–273

Bezugstext:

2.3. Amounts of radioactive waste and spent fuel in nuclear fuel cycle [...]

The first deep geological repository for spent fuel disposal will start its operation within the present decade in Finland. Corresponding repositories are in advanced licensing stages in Sweden and France as well.

5.2.4. Implementation of national projects

Crystalline Rock: KBS-3 project in Finland & Sweden (S. 260ff)

Argillaceous formation: France (S. 268ff).

Wissenschaftliche Prüfung:

Auf den Seiten 260–273 wird für die drei Endlagerprojekte Schweden, Finnland und Frankreich der wissenschaftlich-technische Fortschritt der Endlagerprojekte dargestellt. Das Endlager in Finnland werde noch in diesem Jahrzehnt in Betrieb gehen (S.217).

Der Entwicklungsstand dieser Projekte bei Beteiligung und Transparenz wird jedoch weitgehend ausgeklammert. Die im Bericht formulierten Anforderungen an Beteiligung (z. B. Konsensbildung zwischen allen Stakeholdern, siehe oben als Anforderung in Teil B 5.2.3.1) werden nicht auf die drei Länderbeispiele angewandt.

Nr. 171**Fundstelle:**

B 2.3, S. 217

Bezugstext:

The first deep geological repository for spent fuel disposal will start its operation within the present decade in Finland.

Wissenschaftliche Prüfung:

Einseitige Darstellung. "[...] is scheduled to start.." wäre hier eine neutralere Formulierung

Nr. 172**Fundstelle:**

B 2.3, S. 217

Bezugstext:

At the end of 2016 approximately 58 000 tHM of spent fuel was stored in the EU and around 900 tHM of spent fuel (about 1.5 %) was sent for reprocessing outside the EU with the resulting radioactive waste from reprocessing expected to return as specified in the relevant agreements.

Wissenschaftliche Prüfung:

Zum einen sollte(n) an dieser Stelle die Quelle(n) genannt werden, aus der die Zahlen für abgebrannte Brennelemente stammen, zum anderen sollte man hier ebenfalls möglichst konkrete Beispiel-Quellen für „relevant agreements“ benennen.

Nr. 173**Fundstelle:**

B 2.3, S. 220

Bezugstext:

In addition to the solid radioactive wastes some countries (i. e. the United States of America and the Russian Federation) have accumulated large volumes of liquid wastes (around 62 million m³) that will require specific management approaches. As most of this waste originates from defence activities it is not discussed in this report.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wird außer Acht gelassen, dass Polen seine Brennelemente aus dem „MARIA“ Forschungsreaktor komplett zur WAA nach Russland exportiert (vgl. p 217). Somit sind Teile der russischen Abwässer als Rückstände der WAA europäischer Brennelemente zu bilanzieren. Das letzte HEU wurde 09/2016 nach Russland überführt.

Quellen:

[https://www.iaea.org/newscenter/news/](https://www.iaea.org/newscenter/news/sensitive-nuclear-material-removed-poland)

[sensitive-nuclear-material-removed-poland](https://www.iaea.org/newscenter/news/sensitive-nuclear-material-removed-poland)

<https://nucleus.iaea.org/RRDB/RR/HeaderInfo.aspx?RIId=291>

B 2.4: Main radionuclides affecting the properties of high level waste

/

B 3: Strategies and technologies for radioactive waste management

Nr. 174

Fundstelle:

B 3, S. 224

Bezugstext:

For certain types of waste with a low concentration of activity, typically gaseous and liquid effluents the management strategy is its dilution and release to the environment.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die gezielte Verdünnung („dilution“) von radioaktiven Abfällen ist nach deutschem Recht verboten, § 61 Abs. 3 StrlSchG.

B 4: Storage of radioactive waste

/

B 4.1: Storage of low and intermediate wastes

Nr. 175

Fundstelle:

B 4.1, S. 229

Bezugstext:

Short-term storage is typical for short-lived radioactive waste classified as VLLW or LLW, as many countries already have operational near-surface or surface disposal facilities.

Wissenschaftliche Prüfung:

Für Deutschland gilt, dass alle Arten von radioaktivem Abfall (auch schwach- und mittelradioaktiver Abfall) in tiefe geologische Endlager verbracht werden sollen. Vgl. lfd. Nr. 114 und 201.

B 4.2: Storage of spent fuel and high level waste

Nr. 176

Fundstelle:

B 4.2, S. 233

Bezugstext:

Figure 4.2–1. Radioactive waste locations in Germany, including spent fuel storage facilities.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Abbildung (Deutschlandkarte) ist im Hinblick auf die existierenden Zwischenlager für schwach- und mittelradioaktiven Abfall nicht aktuell (deshalb nicht vollständig). Aus der Quellangabe www.cleanenergywire.org (einem Journalisten-netzwerk) wird ersichtlich, dass der Stand 2015 wiedergegeben ist. Dieses wird im Bericht nicht angegeben.

Quelle:
(CLEW, 2015)

Nr. 177

Fundstelle:

B 4.2, S. 234

Bezugstext:

Several technologies are available for dry storage. Spent fuel assemblies are placed in baskets inside canisters.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Darstellung der JRC ist inhaltlich korrekt, nutzt aber nicht die international übliche Bezeichnung für die verschiedenen Lagersysteme. Im Allgemeinen werden „Canister“ in den „Canister based systems“ von den „Casks“ wie sie z. B. in Deutschland (hier dann „Dual-Purpose-Casks“) unterschieden. Die dann später angesprochenen Container sind hier nicht unterteilt in Container, die z. B. als reine Transportbehälter dienen, und jene, die dann als Umschließung bei der Lagerung dienen.

Nr. 178

Fundstelle:

B 4.2, S. 238

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt unter „Wet Storage“

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Darstellungen zur Nasslagerung beschränken sich auf einen sehr kurzen Abriss. Dies ist insbesondere durch die Schnittstelle zur Wiederaufarbeitung nicht zufriedenstellend.

Während in Deutschland zum Zwecke der Aufbewahrung bis zur Endlagerung ausschließlich die trockene Zwischenlagerung verwendet wird, wird ein großer Teil des weltweit vorliegenden abgebrannten Brennstoffs in Nasslagern aufbewahrt (IAEA, 1999). Es fehlt jedoch eine fachlich detaillierte Auseinandersetzung mit den spezifischen Sicherheitseigenschaften dieser Technologien. So sind Nasslager auf aktive Systeme zur Kühlung angewiesen. Im Falle von Einwirkungen von außen auf die Gebäudestrukturen fehlt bei den externen Nasslagern im Vergleich zur trockenen Zwischenlagerung die Sicherheitsebene der Behälterbarriere. Dies gilt nicht zuletzt für die durch den JRC-Bericht genannte nasse Lagerung von abgebrannten MOX-Brennelementen, die auf weiterentwickelte Reaktorsysteme, eine Implementierung des sogenannten geschlossenen Brennstoffkreislaufs und Transmutation warten würden. Da die erfolgreiche Einführung dieser Technologien jedoch ungewiss ist (vgl. Kapitel 3.1.1 und 5.5.), muss auch die dauerhafte Zwischenlagerung dieser hochradioaktiven Stoffe hinterfragt werden.

Quelle:
(IAEA, 1999)

Nr. 179

Fundstelle:

B 4.2, S. 239

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt unter „Implications of extended Storage“

Wissenschaftliche Prüfung:

Die prinzipiellen Herausforderungen einer verlängerten Zwischenlagerung

werden angesprochen, es werden aber keine Schlussfolgerungen in Bezug zu potentiellen Auswirkungen gezogen.

Hier wäre eine genauere Darstellung zu den möglichen Handlungsoptionen wünschenswert gewesen.

B 5: Disposal of radioactive waste

Nr. 180

Fundstelle:

B 5 (siehe auch A 3.3.8.8, S.165)

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Endlagerungspfad ist abhängig vom nationalen Regelwerk. In Deutschland sollen alle radioaktiven Abfälle, die nicht freigegeben werden, in geologischen Endlagern (> 300 m Tiefe) endgelagert werden. Oberflächennahe Endlager sind in Deutschland nicht vorgesehen.

Quelle:

(BMU, 2020)

Nr. 181

Fundstelle:

B 5, S. 336

Bezugstext:

The Taxonomy Expert Group therefore considers that the challenges of safe long-term disposal of CO₂ in geological facilities, which are similar to the challenges facing disposal of high level radioactive waste, can be adequately managed.

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Vergleich zwischen CCS mit der Endlagerung von radioaktivem Material hinkt, da CO₂ keine für den Menschen schädliche Substanz ist im Vergleich zu hochradioaktivem Abfall. Daher sind die Sicherheitsbestimmungen für die beiden Entsorgungen auch verschieden.

Nr. 182

Fundstelle:

B 5, S. 241

Bezugstext:

Thus the radionuclides of the radioactive waste must be contained in a disposal facility designed so that they will not reach the accessible biosphere in significant amounts, and will never exceed the limit below which they can cause no harm.

Wissenschaftliche Prüfung:

Aussage „and will never exceed the limit below which they can cause no harm“ ist widersprüchlich, auch geringere Dosiswerte als die 0,3 mS/y können gesundheitliche Schäden hervorrufen (z. B. § 99 (1) StrSchV). Laut BfS: „Dosisgrenzwerte dienen nicht als Trennlinie zwischen gefährlicher und ungefährlicher Strahlenexposition. Die Überschreitung eines Grenzwertes bedeutet vielmehr, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gesundheitlicher Folgen (insbesondere von Krebserkrankungen) über einem als annehmbar festgelegten Wert liegt. Die Grenzwerte legt der Gesetzgeber beziehungsweise Verordnungsgeber fest. Da es keinen Dosiswert gibt, unterhalb dessen ionisierende Strahlung mit

Sicherheit kein gesundheitliches Risiko beinhaltet, besteht auch unterhalb der Grenzwerte ein gewisses, wenn auch geringes Risiko, das mit zunehmender Dosis ansteigt. Daher muss jede Strahlenexposition auch unterhalb der festgelegten Grenzwerte wenn möglich vermieden und wo dies nicht möglich ist, so gering wie möglich gehalten werden (Prinzip der Optimierung).“

Quelle:

https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte_node.html

Nr. 183

Fundstelle:

B 5, S. 241

Bezugstext:

Disposal is the last step in the process of radioactive waste management, and consists of the emplacement of radioactive waste in an appropriate facility without the intention of retrieval. Disposal facilities are designed to contain the radioactive waste and to isolate it from the accessible biosphere and from the public for as long as its radioactivity remains hazardous. More specifically, the disposal facilities aim at reducing the likelihood (and consequences) of human intrusion, and at inhibiting, reducing and delaying the migration of radionuclides from the waste to the accessible biosphere; in case radionuclides are released and eventually reach the biosphere their amounts are sufficiently low that the potential radiological consequences are negligible. [...]

Thus the radionuclides of the radioactive waste must be contained in a disposal facility designed so that they will not reach the accessible biosphere in significant amounts, and will never exceed the limit below which they can cause no harm.

Wissenschaftliche Prüfung:

Auch hinsichtlich dieser Aussage wird nochmals auf das bereits aufgeführte Zitat zur Anmerkung Teil A 3.3.8.5, S. 162 der OCED/NEA verwiesen (OECD, 1995), da es in diesem Kontext besonders trefflich erscheint und eigentlich keiner weiteren Ausführungen bedarf.

„It must be acknowledged that the most robust and passively safe system that can be devised by current generations may ultimately be compromised by the actions of a future society, through inadvertent intrusion.“

Im Fall von HI kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass hierdurch Freisetzungen verbunden sind, die vorgegebene Grenzwerte übersteigen. Allerdings ist es auch nicht hilfreich über mögliche Dosiswerte zu spekulieren. Stattdessen ist zu prüfen, in wie weit Maßnahmen ergriffen werden können, um die Möglichkeiten von HI und/oder die mit HI verbundenen Konsequenzen zu reduzieren. Im Rahmen des IAEA Vorhabens HIDRA sind u. a. entsprechende Maßnahmen identifiziert und diskutiert worden.

Zitat:

„As part of the HIDRA project, Member States developed an approach for identifying and selecting scenarios to be assessed, and protective measures to reduce the potential for and consequences of inadvertent human intrusions. The project also fostered information sharing and communication about potential inadvertent intrusion.“

Quellen:

(OECD, 1995), (IAEA/HIDRA, Phase I 2013–2015),
(IAEA/HIDRA, Phase II 2016–2018)

Nr. 184

Fundstelle:

B 5, S. 241

Bezugstext:

Disposal facilities are designed to contain the radioactive waste and to isolate it from the accessible biosphere and from the public for as long as its radioactivity remains hazardous.

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Sicherheitsnachweis für ein Endlager wird für einen Zeitraum geführt, der vom Gesetzgeber vorgegeben wurde. In Deutschland beträgt die Zeitdauer dieses Zeitraums eine Millionen Jahre. Die Aussage, dass der Abfall nach Ablauf des Nachweiszeitraums ungefährlich ist, kann nicht unterstützt werden. Die Radiotoxizität von hochaktivem Abfall ist in Abbildung 2.4-1 (Teil B) JRC-Bericht ersichtlich. Es wird eine Radiotoxizität von 10⁵ Sv pro ton spent fuel zum Zeitraum von einer Million Jahren ausgewiesen.

Quelle:

JRC-Bericht, Abbildung B2-4.1

Nr. 185

Fundstelle:

B 5, S. 242

Bezugstext:

Low level waste is disposed of in surface or near-surface facilities (up to a depth of a few tens of meters – typically up to 30 m) with passive engineered and natural barriers aimed to last a few hundred years. The same route can be used for intermediate level waste with half-lives below ~30 years. Longer-lived intermediate level waste is disposed of at facilities a few tens, to a few hundred meters deep – typically up to 300 m. Spent fuel and high level waste, which in addition to high levels of radioactivity also generate nonnegligible decay heat, are to be disposed of in deeper geological disposal facilities several hundred – typically more than 300 – meters below ground level, with engineered barriers and embedded in stable geological formations whose characteristics and evolution in the long term are predictable.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Darstellung erweckt den Eindruck, dass die Endlagerung von LLW in Einrichtungen an der Oberfläche oder nahe der Oberfläche die Standardoption ist. Es gibt durchaus eine Reihe von Ländern, die für LLW oder auch alle Arten radioaktiver Abfälle die geologische Endlagerung vorgesehen haben (z. B. Schweiz, Finnland, Schweden und Deutschland) (KOM, 2015).

Quelle:

(KOM, 2015)

Nr. 186

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

The disposal of radioactive waste is implemented through a stepwise approach. Each step is taken based on a documented decisionmaking process, in which all relevant, scientific and technical advances, operational experience, social aspects and updates in the legal and regulatory framework can be incorporated. This process allows making decisions that are flexible and do not oblige sticking to a rigid roadmap for the entire lifecycle of the facility, and that involve all the relevant stakeholders in the process. This makes it possible to incorporate new

knowledge, decide among different options that are available, or go back to a previous step if necessary.

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Bericht benennt an dieser Stelle die Anforderung eines lernenden Verfahrens bei der Endlagersuche. Im weiteren Verlauf des Berichts wird aber an keiner Stelle diese Anforderung weiter konkretisiert oder operationalisiert. Auch bei der Darstellung in Kapitel 5.4. der drei Länderbeispiele Finnland, Schweden und Frankreich, die im Verfahren nach Aussage des Berichts weit fortgeschritten sind, gibt es keine Darstellung/Bewertung/Einschätzung, ob die hier in der Einleitung zu Kapitel 5 formulierte Anforderung eines lernenden Verfahrens von diesen drei Ländern erfüllt wird.

Diese Lücke im Bericht wird insbesondere auch dadurch sichtbar, dass (im Gegensatz zu der Anforderung an ein lernendes Verfahren) die wissenschaftlich-technischen Anforderungen an ein Endlager in Teil B 5.2.3.2 durchaus operationalisiert werden und der wissenschaftlich-technische Stand/ Fortschritt der Projekte in den drei Ländern Finnland, Schweden und Frankreich in Teil B 5.2.4 zu diesen Anforderungen dargestellt und bewertet werden.

Nr. 187

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

With the partial exception of the so-called natural analogues (i. e. sites where natural nuclear reactors occurred billions of years ago (see Chapter 6.4.3 of part B of this report), there is no empirical evidence generated by a radioactive waste disposal facility that has gone through all the three stages (pre-operational, operational, and post-closure) for the entire timeframe foreseen (up to a hundred thousand years for a deep geological repository).

Wissenschaftliche Prüfung:

Der zu berücksichtigende Zeitrahmen bei einem geologischen Endlager beträgt, abhängig vom nationalen Regelwerk, bis zu einer Million Jahre.

Quellen:

(BMU, 2020), (OECD und IAEA, 2020)

Nr. 188

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

For this reason the safety of disposal during the post-closure phase is demonstrated by a robust and reliable process which confirms that dose or risk to the public are kept under all circumstances below the required limits.

Wissenschaftliche Prüfung:

Allgemeiner Hinweis: Da es für HLW noch kein betriebsbereites Endlager gibt, ist die Formulierung „is“ hier nicht korrekt.

Nr. 189

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

The safety demonstration includes a description of the site and features of the disposal facility, the characteristics and amount of waste that can be emplaced

(waste acceptance criteria), and a description of a relevant series of scenarios including [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Ungenau/unvollständig. Beschrieben wird hier der sog. Safety Case.

Quelle:

(IAEA, 2012)

Nr. 190

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

Post-closure institutional controls are limited in time and depend on the nature of the disposal facility. As an example, institutional monitoring and control is limited to a few decades for very low level disposal, and a few hundred years (typically 300) for surface or near-surface facilities for low level waste disposal.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Wahrnehmung der institutionellen Kontrolle über einen Zeitraum von mehreren hundert Jahren kann nicht garantiert werden. Verlust über das Wissen des Standortes und die von dem Standort ausgehenden radioologischen Gefahr ist nicht ausgeschlossen (ICRP, 2013; IAEA HIDRA Phase I und II). Somit ist das Potenzial für ein unbeabsichtigtes Eindringen in das Endlager gegeben. Die Eindring-Möglichkeiten an der nahen Oberfläche sind im Vergleich zu einem geologischen Endlager größer, da die Eindring-Möglichkeiten in größerer Tiefe eine Teilmenge sind (IAEA, 2012; IAEA HIDRA Phase I und II).

Darüber hinaus ist bei geologischen Endlagern eine institutionelle Kontrolle aufgrund von passiver Sicherheit und ethischen Gesichtspunkten, die darauf abzielen, den zukünftigen Generationen keine übermäßigen Lasten zuzumuten, nicht vorgesehen (OECD, 1995). Bei den oberflächennahen Endlagern ist wie im JRC-Bericht ausgesagt ein Zeitraum von 300 Jahren für die institutionelle Kontrolle üblich. Hier müsste man sich jedoch auch der Frage hinsichtlich zumutbarer Lasten zukünftiger Generationen stellen.

Quellen:

(IAEA, 2012), (OECD, 1995), (ICRP, 2013), (IAEA/HIDRA, Phase I 2013–2015), (IAEA/HIDRA, Phase II 2016–2018)

Nr. 191

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

With the partial exception of the so-called natural analogues (i. e. sites where natural nuclear reactors occurred billions of years ago (see Chapter 6.4.3 of part B of this report), there is no empirical evidence generated by a radioactive waste disposal facility that has gone through all the three stages (pre-operational, operational, and post-closure) for the entire timeframe foreseen (up to a hundred thousand years for a deep geological repository).

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Aussage, dass noch keine Erfahrungen aus dem Umgang mit geologischen Endlagern vorliegen, die die Phasen Vorbetrieb, Betrieb und Nachverschluss durchlaufen haben, ist zuzustimmen. Darüber hinaus ist noch anzumerken, dass sich z. Z. für HLW weltweit nur ein genehmigtes Endlager in der Konstruktionsphase befindet. Hinsichtlich der angegebenen Zeitspanne von bis zu

hunderttausend Jahren besteht allerdings die Auffassung, dass diese Zeitspanne im Zusammenhang mit einem gefahrlosen Umgang bzw. Kontakt mit dem eingelagerten HLW Abfall nicht ausreicht. Siehe hierzu auch Anmerkungen zu Teil B, Kapitel 1.1, S. 200. So hat der AkEnd den Bewertungszeitraum der Isolation der Abfälle auf eine Million Jahre festgelegt. Wobei dieser Zeitraum auch nicht den gefahrlosen Umgang mit den Abfällen kennzeichnet, sondern eine qualitative Endmarke für die Prognosefähigkeit von günstigen Gebieten darstellt (AkEnd, 2002).

Quelle:

(AkEnd, 2002)

Nr. 192

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

The long timeframes of the disposal of spent fuel and high level waste also raise concerns about how the conditions of the site might evolve in the remote future, including the impact of the facility and the waste emplaced therein on the surrounding media (e. g. due to heat generation), and how society and human behaviour would be tens or hundreds of thousands of years from now.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die hier genannten Zweifel hinsichtlich der Entwicklung eines Endlagers für HLW sind berechtigt. Die Ableitung und Untersuchung von Szenarien, die entsprechende Endlagerentwicklungen berücksichtigen, unterliegen einer Reihe von Ungewissheiten. Diese Ungewissheiten beinhalten z. B. das zeitliche Auftreten von Ereignissen und Prozessen, deren Wechselwirkungen untereinander sowie letztendlich ihrer Ausprägung. Eine Einschätzung dieser Ungewissheiten hinsichtlich ihrer Einflussnahme auf ein Endlagersystem lässt sich teilweise nicht oder nur sehr schwierig auflösen.

So besteht Konsens darüber, dass die Entwicklung der Gesellschaft und das menschliche Verhalten über die hier zugrunde gelegten Zeiträume nicht prognostiziert werden können (NAS, 1995). Somit verbleibt eine unbekannte Einflussgröße bestehen, die sich auch nicht unter größten Anstrengungen in der Forschung auflösen lässt. Das bedeutet auch, dass selbst ein äußerst robustes Endlagersystem auch unter Berücksichtigung von weiteren Optimierungsmaßnahmen eine Einwirkung durch den Menschen in der Zukunft mit letzter Sicherheit nicht ausschließen kann (OECD, 1995).

Quellen:

(NAS, 1995), (OECD, 1995)

Nr. 193

Fundstelle:

B 5, S. 243

Bezugstext:

For this reason the safety of disposal during the post-closure phase is demonstrated by a robust and reliable process which confirms that dose or risk to the public are kept under all circumstances below the required limits. The safety demonstration includes a description of the site and features of the disposal facility, the characteristics and amount of waste that can be emplaced (waste acceptance criteria), and a description of a relevant series of scenarios including potential and extreme events that could lead to the release of radionuclides from the waste and to subsequent exposure of the public to radiation. The safety demonstration includes calculations and models of the behaviour of the engineered barriers under different circumstances, of the migration of the

radioisotopes through the natural barriers, of the effects of climate events, hydrogeological, seismic and other phenomena, and of the impacts and consequences of potential releases of radionuclides from the waste to the public and/or to the environment.

Wissenschaftliche Prüfung:

(Siehe hierzu vorherige Anmerkung zu Teil B 5, S. 243, lfd. Nr. 192)

B 5.1: Disposal low level waste

Nr. 194

Fundstelle:

B 5.1, S. 244

Bezugstext:

[...] Germany will use mines at depths of several hundred meters to dispose of radioactive waste regardless of its classification.

Wissenschaftliche Prüfung:

Für radioaktiven Abfall, der nicht im Rahmen der Freigabe aus der Überwachung entlassen werden kann, ist in Deutschland die (geologische) Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorgesehen.

Quelle:

(BMU, 2020)

Nr. 195

Fundstelle:

B 5.1, S. 244

Bezugstext:

The objective of a near surface disposal facility is the isolation of the low level radioactive waste from the accessible biosphere and the public for a period of a few hundred years, typically 300.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hierzu sollte eine Quellenangabe geliefert werden.

Nr. 196

Fundstelle:

B 5.1, S. 244

Bezugstext:

The objective of a near surface disposal facility is the isolation of the low level radioactive waste from the accessible biosphere and the public for a period of a few hundred years, typically 300. It is considered that after that period of time there are no more radioactivity hazards. On such a timescale, the behaviour of the materials that constitute the engineered barriers is well known and predictable, and the barriers are considered sufficiently reliable. Therefore, there is no need for deep geological repositories for the disposal of low level waste. Although the waste acceptance criteria are specific for each facility, near surface disposal facilities establish radionuclide content limits associated with half-lives and specific activities: higher concentrations are allowed for beta/gamma emitters with half-lives shorter than some 30 years; and lower concentrations are accepted for alpha emitters and other longer-lived nuclides.

Near surface disposal facilities encompass a variety of designs for the

emplacement of solid radioactive waste: earthen trenches, above ground engineered structures, engineered structures just below the ground surface, and rock caverns, silos and tunnels excavated at depths of up to a few tens of metres underground.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Aussage beinhaltet, dass die typische Zeitspanne für die Isolation von LLW in oberflächennahen Endlagern 300 Jahre beträgt. Weiterhin wird ausgeführt, dass bei dieser Zeitspanne das Materialverhalten der technischen Barrieren bekannt ist und prognostiziert werden kann und die Barrieren als ausreichend verlässlich zu betrachten sind.

Diese Aussage wird nicht weiter untermauert und/oder mit Referenzen belegt. Die oberflächennahen Endlager umfassen, wie der nächste Absatz im JRC-Bericht auch darstellt, eine Reihe unterschiedlicher Einlagerungskonzepte und unterschiedlicher technischer Einrichtungen und Komponenten. Die an die Materialien zu stellenden Anforderungen sind unter Berücksichtigung z. B. der spezifischen Standortbedingungen, dem einzulagernden Abfallspektrum, der klimatischen Bedingungen und weiteren allgemeinen Rahmenbedingungen anzupassen. Eine Übertragbarkeit der o. g. verallgemeinernden Aussage auf alle oberflächennahen Endlager muss erst noch dargestellt und bestätigt werden. Die Aussage, dass keine Notwendigkeit den LLW in geologische Endlager zu verbringen, wird nicht geteilt. Die oberflächennahen Endlager stellen im Vergleich zu den geologischen Endlagern eine größere potenzielle Gefahr dar. So sind Aspekte wie Robustheit, Zugänglichkeit, Sicherung, Wissensverlust uwm. bei der Sicherheitsbeurteilung zu berücksichtigen. Auch die mit oberflächennahen Endlagern typische institutionelle Kontrolle von 300 Jahren kann im Prinzip nicht garantiert werden.

Die von der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe geschlossene Schlussfolgerung zur Dauerlagerung an oder nahe der Oberfläche kann im Prinzip auch auf oberflächennahe Endlager übertragen werden. Darin wird ausgeführt, dass die unsichere Prognose hinsichtlich gesellschaftlicher und politischer Entwicklungen und die Gefahr von Unfällen (zum Beispiel durch mangelnde Wartung) und Angriffen durch Krieg oder Terrorismus, die Proliferationsgefahr, der große organisatorische und finanzielle Aufwand für zukünftige Generationen und klimatische Unwägbarkeiten die Lagerung an oder nahe der Oberfläche keine annehmbare Option für den nachweisbar sicheren, langzeitigen Umgang mit radioaktiven Abfällen darstellt.

Quellen:

(KOM, 2016)

Nr. 197

Fundstelle:

B 5.1, S. 244

Bezugstext:

Therefore, there is no need for deep geological repositories for the disposal of low level waste.

Wissenschaftliche Prüfung:

Nicht-adäquate Schlussfolgerung zur Entsorgung LAW. Diese Aussage ist in ihrer Absolutheit nicht zutreffend. Die Frage kann auch anders beantwortet werden. In Deutschland wird auch schwach- und mittelradioaktiver Abfall in tiefengeologischen Endlagern eingelagert.

Nr. 198

Fundstelle:

B 5.1, S. 244

Bezugstext:

Although there is no need for deep geological repositories for the disposal of low level waste, some countries such as Sweden and Finland are disposing their low level radioactive waste in low and intermediate level waste disposal facilities located between 60 and 100 m below ground level, and Germany will use mines at depths of several hundred meters to dispose of radioactive waste regardless of its classification. There are other countries that operate disposal facilities at different depths.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es gibt wie bereits zu Teil B 5, S. 242 ausgeführt eine Reihe von Ländern, die die geologische Endlagerung für LLW und teilweise für alle Arten von radioaktiven Abfällen vorsehen. Daher ist nicht nachzuvollziehen, dass die oberflächennahe Endlagerung als Standardoption zur Entsorgung von LLW dargestellt wird. Die geologische Endlagerung bietet eine Reihe von Vorteilen gegenüber der oberflächennahen Endlagerung. So liegt beispielsweise ein passiver Schutz vor, der bei oberflächennahen Endlagern nicht gegeben ist (KOM, 2016).

Quelle:

(KOM, 2016)

Nr. 199**Fundstelle:**

B 5.1, S. 246

Bezugstext:

Some modular designs account for the partial installation of covers over disposal cells that have been already filled with waste packages. The design and characteristics of the cover must consider the erosion due to inclement weather, and prevent or strongly hamper human intrusion.

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Ableitung von Maßnahmen gegen HI ist im Sinne einer Optimierung der Anlage zu berücksichtigen und sollte fester Bestandteil der Planung und auch im Sicherheitsnachweis sein. Obwohl institutionelle Kontrolle und konstruktive Maßnahmen die Möglichkeit eines menschlichen Eindringens reduzieren, kann letztendlich das Ereignis nicht ausgeschlossen werden. Neben HI sind auch weitere menschliche Aktivitäten am Standort einzubeziehen. Solche Aktivitäten unterscheiden sich von HI dahingehend, dass kein direktes Eindringen damit verbunden ist, sondern eine mögliche indirekte Einflussnahme durch z. B. Veränderung der Grundwassersituation am Endlagerstandort. Im Rahmen des IAEA Vorhabens HIDRA sind eine Vielzahl von Maßnahmen aufgestellt und thematisiert worden.

Quellen:

(IAEA/HIDRA, Phase I 2013–2015), (IAEA/HIDRA, Phase II 2016–2018)

Nr. 200**Fundstelle:**

B 5.1, S. 246

Bezugstext:

After the facility closure, a period of institutional control begins. Institutional control includes an active phase for knowledge preservation, prevention of human intrusion, and monitoring and surveillance to detect any potential degradation of the engineered barriers. During this phase implementing corrective measures, up to and including retrieval of the radioactive waste if necessary, is possible. A passive phase of institutional control is also implemented: it includes the archiving of the relevant information, and the installation of durable markings to

try and prevent human intrusion. Institutional control monitoring and surveillance proactively supports the confidence in the effectiveness of the disposal facility to contain the waste and isolate it from the biosphere.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier gilt im Prinzip das gleiche wie bereits schon ausgeführt. Die Aufrechterhaltung der institutionellen Kontrolle kann nicht garantiert werden. Im Sinne der Optimierung sind Maßnahmen zu ergreifen, die die Möglichkeiten von HI und/oder im Falle eines Eintretens die möglichen Konsequenzen daraus reduzieren. Letztendlich können jedoch auch keine Aussagen getroffen werden, ob bei Wissensverlust über das Endlager die vorgesehenen Maßnahmen gegen HI bzw. Botschaften auch entsprechend bemerkt und verstanden werden. Insbesondere die hier angesprochenen Markierungen werden kontrovers diskutiert. Hierin wird durchaus auch die Gefahr gesehen, dass zukünftige Generationen davon eher angezogen und sich zum weiteren Vordringen ermutigt sehen. Auch an dieser Stelle wird auf das IAEA Vorhaben HIDRA verwiesen, die u. a. auch das Thema Markierungen von Endlagerstandorten diskutiert haben.

Quellen:

(IAEA/HIDRA, Phase I 2013–2015), (IAEA/HIDRA, Phase II 2016–2018)

Nr. 201

Fundstelle:

B 5.1, S. 248

Bezugstext:

Disposal of low level waste in near surface facilities is an industrial reality. Disposal facilities for radioactive waste generated in the nuclear fuel cycle have been constructed and have been operating for many years in many countries such as (list is not exhaustive) Bulgaria, Czech Republic, Finland, France, **Germany**, Hungary, Japan, Norway, Russian Federation, Romania, Slovakia (see figure 5.1-3), Spain (see Figure 5.1-5), Sweden, the USA and the UK.

Wissenschaftliche Prüfung:

Für Deutschland gilt, dass alle Arten von radioaktivem Abfall (auch schwach- und mittelradioaktiver Abfall) in tiefe geologische Endlager verbracht werden sollen. Vgl. lfd. Nr. 114 und 175. Es entsteht im Textzusammenhang der falsche Eindruck, als seien in Deutschland oberflächennahe Endlager errichtet worden. Deshalb ist in dieser Aufzählung Deutschland nicht richtig eingeordnet.

Nr. 202

Fundstelle:

B 5.1, S. 249, Abs. 3

Bezugstext:

There are some cases in which the safety (re)assessment of disposal facilities indicated challenging conditions and resulted in the decision to recondition part of their radioactive waste and dispose of it in the same or in another facility. An example of this is the Asse II, a rock salt mine in Germany that was used to dispose of low and intermediate level waste between 1967 and 1978. Since the mine revealed safety issues, it was decided to retrieve the waste and dispose of it in a different facility [5-5].

Wissenschaftliche Prüfung:

Asse II war formal nie ein Endlager und dürfte deshalb hier nicht mit aufgeführt sein. Die hier irrtümliche Einordnung der Schachanlage Asse II als Endlager für radioaktive Abfälle lässt befürchten, dass evtl. auch an anderer Stelle nicht ausreichend ausführlich recherchiert wurde. Außerdem impliziert der Kontext des Asse-Beispiels, dass es kein Problem darstellt, Abfall rückzuholen, falls neue

Erkenntnisse dies erfordern. Es wird mit keinem Wort auf die Gesamtproblematik sowie die mit der geplanten Rückholung verbundenen Schwierigkeiten, Kosten und neuen Gefährdungspotenziale eingegangen.

Nr. 203

Fundstelle:

B 5.1, S. 249

Bezugstext:

There are some cases in which the safety (re)assessment of disposal facilities indicated challenging conditions and resulted in the decision to recondition part of their radioactive waste and dispose of it in the same or in another facility. An example of this is the Asse II, a rock salt mine in Germany that was used to dispose of low and intermediate level waste between 1967 and 1978. Since the mine revealed safety issues, it was decided to retrieve the waste and dispose of it in a different facility [5-5].

Wissenschaftliche Prüfung:

Zu lfd. Nr. 202 ist folgende Anmerkung zu ergänzen:

Präzise formuliert müsste man feststellen, dass die Schachanlage Asse II während der Einlagerungszeit (und in den Jahrzehnten danach) kein Endlager im atomrechtlichen Sinne war. Das konnte sie auch nicht sein, weil Endlagerung erst mit der 4. AtG-Novelle von 1976 rechtlich definiert bzw. geregelt wurde.

Im Umweltprogramm der Bundesregierung von 1971 war allerdings unmissverständlich erklärt worden, man habe „mit dem Salzbergwerk Asse [...] ein Endlager geschaffen, das [...] die bis zum Jahr 2000 anfallenden etwa 250.000 Kubikmeter radioaktiver Rückstände sicher aufnehmen“ könne.

Wie der JRC-Bericht richtig feststellt, kann Asse II als Beispiel dafür herangezogen werden, dass eine erneute Sicherheitseinschätzung zur Entscheidung geführt hat, die eingelagerten Abfälle neu zu konditionieren und in einer anderen Anlage zu beseitigen.

Aus geschichtswissenschaftlicher Sicht ist die sehr vereinfachende Formulierung im letzten Satz des Bezugstexts kommentierungs- und ergänzungsbedürftig. Die Aussage, weil hinsichtlich des Bergwerks Sicherheitsprobleme deutlich geworden seien, habe man sich zur Rückholung der Abfälle entschieden, ist insofern irreführend als sie einen engen zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Erkennen der Probleme und der Entscheidung zur Rückholung suggeriert. Tatsächlich sind dazwischen mindestens 30 Jahre vergangen. Es lässt sich vielmehr feststellen, dass die Schwächen des alten Gewinnungsbergwerks bereits in den 1960er Jahren bis hinauf in das zuständige Ministerium klar gesehen wurden und Ende der 1970er / Anfang der 1980er Jahre einem breiteren Kreis staatlicher Akteure deutlich wurden.

Außerdem impliziert der Kontext des Asse-Beispiels, dass es kein Problem darstellt, Abfall rückzuholen, falls neue Erkenntnisse dies erfordern. Es wird mit keinem Wort auf die Gesamtproblematik sowie die mit der geplanten Rückholung verbundenen Schwierigkeiten, Kosten und neuen Gefährdungspotenziale eingegangen.

Quellen:

(Möller, 2009), (Möller, 2016)

Nr. 204

Fundstelle:

B 5.1.3, S. 337

Bezugstext:

There is an advanced regulatory framework in place in the Community for both carbon dioxide storage and radioactive waste management. In terms of practical implementation, there is currently no operational geological disposal for carbon dioxide or for radioactive waste.

Wissenschaftliche Prüfung:

Falsche Sachlage und falsche Schlussfolgerung. Derzeit gibt es zwei implementierte CCS-Projekte, die Snøvit und Sleipner Gasfelder in Norwegen in die seit über 20 Jahren CO₂ sequestriert wird. Weitere CCS-Implementierungen sind bis 2024 geplant (Projekt Acorn (GB) und Projekt Northern Lights (Norwegen)).

Quellen:

<https://www.norway.no/de/germany/norwegen-germany/aktuelles-veranstaltungen/aktuelles/weltweit-erste-co2-lagerstatte-feiert-jubilaum-und-weist-in-die-zukunft/>

B 5.2: Deep geological disposal of spent fuel and high level waste

Nr. 205

Fundstelle:

B 5.2, S. 249–273

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Teil B 5.2 liefert einen Überblick über die Grundprinzipien und allgemeine Abläufe/ Prozesse in der Industrie sowie ausgewählte Informationen über nationale Umsetzungen der geologischen Endlagerung von HLW in Europa. Dieses Kapitel stellt im Kontext des gesamten Berichts keine Bewertung der geologischen Endlagerung dar, vielmehr bietet es die Wissensgrundlage für die in Teil A vorgenommene Bewertung der Ökobilanz und Identifizierung potenzieller Bedrohungen (Teil A 3.3.8.5).

Vor diesem Hintergrund ist Teil B 5.2 nicht für eine Bewertung anhand der relevanten Taxonomiekriterien geeignet. BASE prüft im Folgenden jedoch, ob Teil B 5.2 für eine Analyse geeignet ist, die in Teil A des JRC-Berichts vorgenommen wurde (z. B. ob die Beschreibungen faktisch wahr sind, dem neuesten technischen Stand entsprechen und ob sie hinreichend vollständig sind).

Nr. 206

Fundstelle:

B 5.2, in relation to A 3.3.8, S. 249–273

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Teil B 5.2 hat die Aufgabe, eine Wissensbasis für die in Teil A 3.3.8 durchgeführten Auswertungen zu liefern. Diese Wissensbasis wird jedoch monolithisch, für sich stehend dargestellt und es werden nur wenige tatsächliche Bezüge von Teil A zu Teil B hergestellt. Es ist daher nicht klar, welche Aussagen in Teil A durch welches präsentierte Wissen in Teil B gestützt werden sollen.

Nr. 207

Fundstelle:

B 5.2.1, S. 249

Bezugstext:

[...] the intergenerational equity entails:

- choosing technologies and strategies which minimise the resource requirements, cost and risk burdens passed on to future generations
- not unduly restricting the freedom of choice of future generations

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Entwicklung und Umsetzung eines geologischen Entsorgungsprogramms dauert Jahrzehnte. In dieser langen Zeit müssen sich nachfolgende Generationen mit Problemen befassen, die von ihren Vorgängern verursacht wurden. Die langfristigen Belastungen, die die geologische Entsorgung für mehrere Generationen mit sich bringt, werden nicht ausreichend berücksichtigt. In Anbetracht der Anforderung „Minimierung des Ressourcenbedarfs, der Kosten und der Risikobelastung, die an zukünftige Generationen weitergegeben werden“, kann davon ausgegangen werden, dass die mit der geologischen Entsorgung verbundenen Herausforderungen bereits gegen das Prinzip der Gleichheit zwischen den Generationen verstoßen haben. Insbesondere die Entwicklungs- und Implementierungskosten eines geologischen Endlagers sind im Allgemeinen hoch und über lange Zeiträume schwer vorhersehbar (BMU 2015). Werden zukünftige Generationen bereit sein, sich an diesen Kosten zu beteiligen? Wie sollten Ausgaben in Krisenzeiten (z. B. einer globalen Gesundheits- oder Umweltkrise) priorisiert werden? Was ist, wenn die Finanzierung unterbrochen wird? In der vorgestellten Diskussion werden solche Fragen nicht berücksichtigt.

Quelle:

(BMU, 2015)

Nr. 208

Fundstelle:

B 5.2.1, S. 250

Bezugstext:

There is consensus in the scientific and regulatory communities that geological disposal is the preferred solution for the long term management of spent nuclear fuel and other high-level long-lived radioactive waste forms, including high-level waste resulting from closed fuel cycle scenarios [5-14, 5-15, 5-17 5-22]

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Notwendigkeit einer tiefegeologischen Endlagerung hochradioaktiver Abfälle wird zugestimmt, obwohl es einige offene Fragen gibt. Der allgemeine, weltweite Konsens derzeit und in absehbarer Zeit ist, dass geologische Endlagerung die beste Möglichkeit bietet, hochaktiven Abfall dauerhaft einzuschließen.

Gleichzeitig sollte aber auch berücksichtigt werden, dass bis heute nirgendwo auf der Welt ein geologisches Endlager für hochradioaktive Abfälle in Betrieb ist. In Anbetracht dessen und der langen Zeiträume, die damit verbunden sind, gibt es keine tatsächlichen Erfahrungen (keine empirischen Daten) und keinen vollständigen praktischen Nachweis der Sicherheit der geologischen Endlagerung. Daher ist der Safety Case mit seiner strukturierten Methodik, die einen breiten internationalen Konsens widerspiegelt, von zentraler Bedeutung für die Schaffung von Vertrauen und Akzeptanz für diese Technologie.

Nr. 209

Fundstelle:

B, 5.2.2, S. 250

Bezugstext:

Disposal facilities are designed to ensure both operational safety and post-closure safety. The operational safety of geological disposal facilities is provided by means of engineered systems and operational controls; the post-closure safety is provided by means of multiple engineered and natural barriers.

Wissenschaftliche Prüfung:

In Teil B 5.2.2 wird die Endlagersicherheit diskutiert, indem eine Auswahl von Ergebnissen aus der radiologischen Sicherheitsbewertung, die in den finnischen, schwedischen und französischen Programmen durchgeführt wurde, dargestellt wird. Dabei beschränkt sich die Diskussion auf (i) die Nachverschluss-Sicherheit und (ii) auf die radiologischen Aspekte der Sicherheit. Obwohl die Endlagersicherheit während der Betriebszeit erwähnt wird, geschieht dies in einer sehr eingeschränkten Weise, indem festgestellt wird, dass die Betriebssicherheit „durch technische Systeme und Betriebskontrollen gewährleistet wird. Eine umfassende Diskussion der Maßnahmen. Insbesondere sollten die während der Betriebsphase auftretenden Risiken dargestellt und bewertet werden.

Nr. 210

Fundstelle:

B 5.2.2, S. 250

Bezugstext:

Chemical and mechanical interactions between natural and engineered barriers will occur [5–69]

Wissenschaftliche Prüfung:

Isoliert betrachtet ist dies eine Untertreibung, die als irreführend angesehen werden kann. Die erwähnten chemischen und mechanischen Wechselwirkungen zwischen den Barrieren werden nicht nur auftreten, sondern im Laufe der Zeit unweigerlich zu einer Degradation der Barrieren und zu einer Beeinträchtigung ihrer Sicherheitsfunktionen führen. Es ist wichtig zu betonen, dass diese Prozesse unvermeidlich und schwer quantitativ vorhersagbar sind über den sehr langen Zeitraum, in dem ihre Leistung beurteilt werden muss. Solange keine empirischen Daten zur Bewertung der Stabilität und Funktionsweise dieser Barrieren über die relevanten Zeiträume zur Verfügung stehen, müssen vereinfachende und abdeckende Annahmen getroffen werden. Eine der Hauptschwierigkeiten des Safety Case ist es deshalb, überzeugend darzulegen, dass derartige Vereinfachungen und Annahmen vertretbar sind.

Nr. 211

Fundstelle:

B 5.2.1, S. 250

Bezugstext:

Fulfilling this requirement includes providing reasonable assurance that any risk from inadvertent human intrusion would be very small [5–16]

Wissenschaftliche Prüfung:

Es besteht allgemein Konsens, dass das menschliche Verhalten und Handeln inklusive eines Eindringens in ein Endlager nicht vorhergesagt werden kann (National Academy of Science, 1995; Roger Seitz et al., 2016). So kann aufgrund dieser Feststellung ein unbeabsichtigtes menschliches Eindringen in ein Endlager bei Verlust der Kenntnis über den Endlagerstandort nicht ausgeschlossen werden (ICRP, 2013). Als Konsequenz daraus kann im Eintrittsfall des Ereignisses HI in der Nachverschlussphase eines Endlagers eine Kontamination der Umwelt nicht

ausgeschlossen werden (ICRP, 2013). International (IAEA Vorhaben HIDRA) wird diskutiert, dass ein Vergleich möglicher Kontamination mit vorgegebenen Grenzwerten wenig sinnvoll ist. Vielmehr sollen Maßnahmen gegen HI im Rahmen der Optimierung des Endlagers identifiziert und ihre Unbedenklichkeit im Zusammenhang mit der Betriebs- und Langzeitsicherheit untersucht und bei positivem Befund umgesetzt werden. Diese Maßnahmen sollen entweder die Möglichkeiten von HI oder im Fall des Eintretens, die daraus resultierenden Konsequenzen reduzieren.

Trotz dieser Maßnahmen kann das Risiko eines unbeabsichtigten menschlichen Eindringens nicht vollständig ausgeschlossen werden, und ein gewisses schwer reduzierbares Risiko wird immer bestehen bleiben. Dieser wichtige Aspekt wird in dem Bericht nicht behandelt.

Quellen:

(NAS, 1995), (Seitz et al., 2016), (ICRP, 2013), (ICRP-122),
(IAEA/HIDRA, Phase I 2013–2015), (IAEA/HIDRA, Phase II 2016–2018)

Nr. 212

Fundstelle:

B 5.2.2, S. 250–251

Bezugstext:

Fulfilling this requirement includes providing reasonable assurance that any risk from inadvertent human intrusion would be very small [5–16] [...]

In clay there are no fractures and the diffusivity is extremely low [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier wird Bezug genommen auf „clay“ (unverfestigter Ton) und nicht wie im üblichen Bericht auf „consolidated clay“ oder „clay formations“ (Tongestein). Dies ist irreführend, denn im Kontext des Absatzes sollte eindeutig Bezug auf Tongestein als Wirtsgestein genommen werden und nicht auf unverfestigten Ton. In Tongestein können sehr wohl Klüfte vorhanden sein und auch während des Bewertungszeitraums gebildet werden.

Eine kurze Ausführung zu Klüften im Tongestein findet sich in der BGR-Tonstudie (2007) auf S. 13.

Quelle:

(Hoth et al., 2007)

Nr. 213

Fundstelle:

B 5.2.3, S. 252

Bezugstext:

Figure 5.2.3–1 outlines the different phases of a national DGR project in chronological order from the first planning to its closure. R&D and the build-up of the safety case, technical activities, and decision stages are illustrated in green, blue and red respectively. The process in all phases also involves interaction between the waste management organizations, the regulators and the general public, in line with the intragenerational equity principles, and as stipulated in the Radioactive Waste Directive [5–13]

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Bericht zeichnet ein vereinfachtes und zu optimistisches Bild vom Prozess der Implementierung eines nationalen DGR. Die Beispiele für gescheiterte/ gestoppte Programme der Vergangenheit (z. B. im Vereinigten Königreich und den USA) – typischerweise aufgrund mangelnder öffentlicher Akzeptanz – werden nicht erwähnt. Gleichwohl gibt es auch Beispiele für Endlagerprojekte, deren

Umsetzung bisher erfolgreich verläuft (vor allem in Finnland und Schweden). Darüber hinaus gibt es Beispiele für nationale Entsorgungsprogramme, die auf einer nachvollziehbaren und transparenten Grundlage mit großem Schwerpunkt auf der Öffentlichkeitsbeteiligung neu gestartet wurden (wie in Deutschland). Trotzdem sollte in jedem Fall erörtert werden, dass es inhärente Risiken eines vollständigen Scheiterns oder erheblicher Verzögerungen eines Entsorgungsprogrammes aufgrund sozialer, technologischer, politischer oder wirtschaftlicher Probleme gibt, selbst wenn das Programm den aktuellen Stand der „best practice“ umsetzt). Solche Risiken sind zwar schwer einzuschätzen, dennoch existieren sie und sollten daher offengelegt werden.

Nr. 214

Fundstelle:

B 5.2.3, S. 253, Figure 5.2.3-2

Bezugstext:

/

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist nicht ganz nachvollziehbar, warum hier das BMWI und nicht das BMU aufgeführt wird.

Nr. 215

Fundstelle:

B 5.2.3.1, S. 253-254

Bezugstext:

Key stakeholders, and their roles include [5-31]:

- [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Spiegelstrichliste enthält keine NGOs. In Deutschland wären das z. B. BUND oder ausgestrahlt. Dadurch werden in der Auflistung die traditionell besonders kritischen Stakeholder vernachlässigt.

Nr. 216

Fundstelle:

B 5.2.3.1, S. 254

Bezugstext:

The role and interactions of the different stakeholders must be clearly defined, in particular between policymakers, regulator and waste management organization. All the stakeholders need to be involved during the entire process, which must be characterized by transparency, trust and confidence building through open dialogue among the stakeholders, and in particular with the general public and the decision-makers. The documentation, observations and the field and laboratory studies that support a repository safety case are likely to be both massive and unintelligible to a non-expert stakeholder, and to the average member of the public. Yet it is only through a broad consensus of all stakeholders and the public that proposed repository will be accepted. The challenge is to communicate the case for safety in plain language, which accurately reflects the outcome of the scientific and technical studies, analyses and calculations [Communication on the Safety Case for a Deep Geological Repository, © OECD 2017, NEA No. 7336]

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Bericht benennt an dieser Stelle verschiedene Anforderungen an den Beteiligungsprozess bei der Endlagersuche (Rollenklarheit der Akteure, transparente und vertrauensvolle Einbindung aller relevanten Stakeholder durch offenen Dialog, breiter Konsens aller Stakeholder und der Öffentlichkeit etc.). Im weiteren

Verlauf des Berichts werden aber an keiner Stelle diese Anforderungen an den Beteiligungsprozess weiter konkretisiert oder operationalisiert.

Auch in dem Teil B 5.4. zu den drei Länderbeispielen Finnland, Schweden und Frankreich, die im Verfahren der Endlagersuche nach Darstellung des Berichts weit fortgeschritten sind, gibt es keine Bewertung/Einschätzung, ob die hier formulierten Anforderungen an den Beteiligungsprozess bei der Endlagersuche von diesen drei Ländern erfüllt werden.

Diese Lücke im Bericht wird insbesondere auch dadurch sichtbar, dass (im Gegensatz zu den Anforderungen an den Beteiligungsprozess) die wissenschaftlich-technischen Anforderungen an ein Endlager in Teil B 5.2.3.2 durchaus weiter operationalisiert werden und der wissenschaftlich-technische Stand/Fortschritt der Projekte in den drei Ländern Finnland, Schweden und Frankreich in Teil B 5.2.4. dargestellt und bewertet wird.

Nr. 217

Fundstelle:

B 5.2.3.1, S. 254

Bezugstext:

Yet it is only through a broad consensus of all stakeholders and the public that proposed repository will be accepted. The challenge is to communicate the case for safety in plain language, which accurately reflects the outcome of the scientific and technical studies, analyses and calculations [5-29].

Wissenschaftliche Prüfung:

An dieser Stelle wird nicht thematisiert, dass es möglich sein kann, dass es keinen Konsens aller Stakeholder gibt. Die Problematik der Standortauswahl-suche wird dadurch vereinfacht und einseitig dargestellt.

Nr. 218

Fundstelle:

B 5.2.3.2, S. 254

Bezugstext:

[...] the waste packages ensure containment for these "early" stages [...]

Wissenschaftliche Prüfung:

Einseitige Darstellung ohne Betrachtung von Alternativen. „ensure containment“ → der sichere Einschluss wird als Fakt dargestellt. Da es sich jedoch weltweit bisher nur um Konzepte handelt, ist diese Darstellung irreführend.

Nr. 219

Fundstelle:

B 5.2.3.3, S. 257-258

Bezugstext:

A common denominator for any European national programme is that it complies with the international conventions and the Radioactive Waste Directive, it is adaptive and stepwise, and it includes public engagement.

[...]

Following these stages should ensure inter- and intra-generational equity, and should achieve the main objective that the final disposal does not result in any significant harm for present or future generations.

[...]

As stated above the involvement of the different stakeholders, in particular the independent regulator, is important; the local community and region must also be supportive.

Wissenschaftliche Prüfung:

In Teil B 5.2.3.3 werden die Verfahrensschritte zum Bau, Betrieb und zur Stilllegung eines Endlagers beschrieben. Eine Darstellung von Beteiligungsschritten in den jeweiligen Verfahrensschritten und wie Generationengerechtigkeit geschaffen werden kann fehlt jedoch. Einzelne Anforderungen werden auch hier zu Beginn des Kapitels formuliert, etwa dass es Gerechtigkeit innerhalb und zwischen den Generationen geben soll oder bei der vom Endlager betroffenen Gemeinde eine Unterstützung für das Endlagerprojekt geben muss. Diese Anforderungen sind jedoch im Weiteren nicht konkreter erläutert. Es bleibt unklar, wie diese Anforderungen erreicht werden können/wie damit umzugehen ist, wenn es z. B. die Unterstützung der betroffenen Gemeinde nicht gibt.

Nr. 220**Fundstelle:**

B 5.2.3.3, S. 258

Bezugstext:

This depends on the size of the nuclear programme and whether a closed or open fuel cycle has been adopted.

Wissenschaftliche Prüfung:

An dieser Stelle ist nicht erkennlich, ob ein „partially-“ oder „fully-closed fuel circle“ gemeint ist. Durch diese Unschärfe kann der Eindruck erweckt werden, dass ein „fully-closed fuel circle“ bereits möglich sei.

Nr. 221**Fundstelle:**

B 5.2.3.3, S.258

Bezugstext:

Stage 2: Selection of site; the research and development and data collection become site specific and design options are reduced. Note that site selection is not only based on the best geological formation; local acceptance and absence of highly valuable natural resources, (..)

Wissenschaftliche Prüfung:

Wünschenswert wäre ein Hinweis auf eine notwendige Öffentlichkeitsbeteiligung für die „local acceptance“.

Nr. 222**Fundstelle:**

B 5.2.3.3, S. 259

Bezugstext:

The radioactive waste needs to be kept isolated from the biosphere for very long times. Pursuant the intergenerational equity principle it must be a requirement that Records, Knowledge and Memory (RK&M) prepared as part of the DGR project are maintained after its closure in order to allow future generations to make informed decisions regarding the repository and its content, including to prevent inadvertent human intrusion [5–30]. The solutions depend on the time-frame and become more challenging the further we look into the future. In the short term, detailed records can be preserved essentially using today's technology, whereas for much longer time frames less detailed information can be kept, but using very stable methods [5–30]. Figure 5.2.3–6 illustrates such a hierarchical RK&M system.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist sinnvoller, die zitierte Passage einschließlich Abbildung 5.2.3–6 direkt unter der Überschrift „5 Disposal of radioactive waste“ am Ende des Textes

aufzuführen. An der jetzigen Stelle werden ausdrücklich nur Kernbrennstoffe und hochradioaktive Abfälle betrachtet, die nach Ausführungen im JRC-Bericht in tiefen geologischen Endlagern eingelagert werden sollen. Das OECD-Projekt RK&M hat zwar nur tiefengeologische Endlager betrachtet, dies aber ohne Unterscheidung des Aktivitätsniveaus des einzulagernden Abfalls, so dass auch schwach- und mittelradioaktive Abfälle in Betracht kommen. Im JRC-Bericht wird jedoch im Kapitel „5.1 Disposal of low level waste“ auf S. 244 ausdrücklich darauf hingewiesen, dass in der Bundesrepublik Deutschland mehrere hundert Meter tiefe Bergwerke [übersetzter Wortlaut] und in anderen Ländern ebenfalls Anlagen unterschiedlicher Tiefen für die Endlagerung schwach- und mittelradioaktiver Abfälle vorgesehen sind.

Mit der vorgeschlagenen Neupositionierung der genannten Textpassage mit Abbildung entfällt der Bezug zur Klassifizierung radioaktiver Abfälle und macht die generelle Bedeutung von Langzeitdokumentation im Hinblick auf Endlagerung deutlicher.

Quelle:

(OECD, 2019)

Nr. 223

Fundstelle:

B 5.2.4, S. 264

Bezugstext:

The diagrams show that the dose caused by the repository will be well below the maximum allowed limit and hence will cause no significant harm to humans.

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Bericht trifft hier eine deterministische Aussage über die zukünftige Entwicklung. Solch absolute Aussagen können Sicherheitsanalysen/Diagramme jedoch nicht leisten und sind auch nicht deren Anspruch. Durch die Aussage wird eine Sicherheit vorgetäuscht, die nicht der Realität entspricht.

Nr. 224

Fundstelle:

B 5.2.5, S. 273

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier werden zahlreiche Aspekte ausgelassen, die bei der Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen komplexe Problemstellungen darstellen. Bsp.: Die hohen Kosten des Gesamtvorhabens, die schwer zu erreichende Akzeptanz des Vorhabens (Akzeptanz nicht nur zum Zeitpunkt der Standortwahl, sondern während des ganzen Verfahrens, also über sehr viele Generationen), die jetzt schon gerissene und daher nicht erreichbare „intergenerational equity“, den Nutzungskonflikt mit anderen geologischen Ressourcen am Endlagerstandort für heutige und zukünftige Generationen.

Nr. 225

Fundstelle:

B 5.2.5, S. 275

Bezugstext:

There is broad consensus in the scientific community that deep geological disposal is the safest long-term solution for spent nuclear fuel and high level radioactive waste. The deep geological repositories (DGR) are based on a multi barrier

combination including both engineered and natural barriers. The operational safety of geological disposal facilities is provided by means of engineered systems and active operational controls. Disposal facilities are designed to be passively safe after closure. The DGR are designed so that potential radioactive release from them occurring in the remote future are well below the maximum allowed dose limit set by the relevant regulation, which, in turn are orders of magnitude below natural background dose levels, and which ensure that no significant harm will be caused to humans by the repository. There are presently no deep geological repositories in operation, but after four decades of research and technology development the construction and operation of several repositories is expected in the present decade. The process for the design, licensing, construction, operation and final closure of deep geological repositories is regulated by national law, based on international conventions and European directives; this means that there is a common ground shared by all programmes based on the best available principles and concepts. The very long process to build a DGR is stepwise and reversible to various extents to ensure that the best available technology is used and that the radiological effects are and will be as low as reasonably achievable

Wissenschaftliche Prüfung:

Das Fazit zu Kapitel 5 hebt den über vier Jahrzehnte erfolgten wissenschaftlich technischen Entwicklungsstand bei der Endlagerung hervor. Angesichts dieser Entwicklungen wird die Errichtung und Inbetriebnahme von Endlagern noch in diesem Jahrzehnt in verschiedenen europäischen Ländern erwartet. Zum Entwicklungsstand von Beteiligung und Partizipation bei der Endlagerung in den europäischen Ländern insgesamt und in diesen Ländern insbesondere findet sich im Fazit keine Bewertung zu den anfangs aufgestellten Anforderungen an Beteiligung und Partizipation. Ist der Konsens aller Stakeholder in diesen Ländern erreicht? Ist durch transparente und vertrauensvolle Einbindung aller Stakeholder in den Ländern ein nachhaltiger offener Dialog gelungen?

Hier wird deutlich, dass der JRC-Bericht stark auf ein Verständnis von Nachhaltigkeit aufbaut, das weitgehend verschiedene ökologische Kriterien für Nachhaltigkeit in den Mittelpunkt stellt. Ein breiteres Verständnis von Nachhaltigkeit wie es beispielsweise auf der Ebene der Vereinten Nationen definiert wurde (UN, 2015), das partizipative Entscheidungsfindung als integrierten Bestandteil von Nachhaltigkeit betrachtet, findet sich im JRC-Bericht nicht, obwohl auch die EU Taxonomie grundsätzlich auf dem Verständnis der Vereinten Nationen von Nachhaltigkeit aufbaut.

Quelle:

(UN, 2015)

Nr. 226

Fundstelle:

B 5.2.5, S. 273

Bezugstext:

There is broad consensus in the scientific community that deep geological disposal is the safest long-term solution for spent nuclear fuel and high level radioactive waste. The deep geological repositories (DGR) are based on a multi barrier combination including both engineered and natural barriers. The operational safety of geological disposal facilities is provided by means of engineered systems and active operational controls.

Disposal facilities are designed to be passively safe after closure. The DGR are designed so that potential radioactive release from them occurring in the remote future are well below the maximum allowed dose limit set by the relevant regulation, which, in turn are orders of magnitude below natural background dose levels, and which ensure that no significant harm will be caused to humans by the repository. There are presently no deep geological repositories in operation, but

after four decades of research and technology development the construction and operation of several repositories is expected in the present decade. The process for the design, licensing, construction, operation and final closure of deep geological repositories is regulated by national law, based on international conventions and European directives; this means that there is a common ground shared by all programmes based on the best available principles and concepts. The very long process to build a DGR is stepwise and reversible to various extents to ensure that the best available technology is used and that the radiological effects are and will be as low as reasonably achievable.

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Bericht nimmt in verschiedenen Punkten einseitige Perspektiven an. Erstens werden nur die Erfahrungen von Mitgliedsstaaten explizit berücksichtigt, die weiterhin auf die Kernkraft als zentralen Pfeiler ihrer Energieversorgung setzten und zweitens Länder, die auch in der Lage sind, eigene Entsorgungsprogramme umzusetzen.

Drittens stützen sich alle Argumente im Bericht nur auf „bestimmungsgemäßen Betrieb“ ab. Dies lässt jedoch die systematische Frage außer Acht, wie die Beurteilung ausgefallen wäre, wenn auch der „nicht bestimmungsgemäße Betrieb“ oder auslegungsüberschreitende Anlagenzustände in die Bewertung eingeflossen wären. Dies führt dazu, dass lediglich notwendige Bedingungen zur Erreichung der DNSH-Kriterien im Bericht herausgearbeitet werden, hinreichende Bedingungen jedoch nicht. Damit ist die Methode der Herleitung schwer nachvollziehbar und nicht ausreichend transparent.

B 5.3: References for Chapter 5

Nr. 227

Fundstelle:

B 5.3, S. 273

Bezugstext:

Ganzer Abschnitt (Referenzen)

Wissenschaftliche Prüfung:

Der Bericht nutzt eine breite Wissensbasis wie sie in den IAEA und OECD-NEA Dokumenten dargestellt wird. Gesetze, Richtlinien, aber auch Forschungsstrategien (EURAD) werden angeführt. Eine große Anzahl von Berichten von Betreibern oder Vorhabensträgern wird zur Untermauerung und Illustration des Stands von Wissenschaft und Technik genutzt und um Stellungnahmen der Regulatoren und Regierungen ergänzt. Es werden nur sehr wenige peer-reviewed Journals herangezogen. Argumente von Kritikern bzw. NGOs sind überhaupt nicht erwähnt, geschweige denn diskutiert worden.

Die betreiberseitige Wissensbasis ist sehr breit und geeignet, die technische Machbarkeit zu illustrieren. Sie unterliegt jedoch nur sehr eingeschränkt einem unabhängigen Review. Die Möglichkeit, dies durch unabhängige Publikationen (Journals, Monographien) zu komplementieren, wurde nicht ausreichend genutzt. Da auch Kritiker nicht einbezogen werden, erscheint die Wissensbasis unausgewogen und insgesamt möglicherweise nicht geeignet, eine neutrale Position zu unterstützen.

B 6: Research and development for radioactive waste management

Nr. 228

Fundstelle:

B 6, S. 277–290

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Der enorme Aufwand in der Forschung, der in der Vergangenheit, aktuell und auch noch zukünftig betrieben wird, macht die Komplexität der mit der Sicherheit eines Endlagersystems einhergehenden Fragestellung deutlich. Eine Vielzahl von Fragen und Detailaspekte sind noch zu klären. Möglicherweise lassen sich einige Fragestellungen nicht vollständig auflösen und bleiben mit Ungewissheiten behaftet. Bei einem Vergleich von potenziellen nachhaltigen Technologien der aufgewendeten und noch erforderlichen Ressourcen für die Forschung nimmt die Technologie zur Kernenergieerzeugung vermutlich mit Abstand die Spitzenposition ein. In diesem Zusammenhang und reflektierend zu den übergeordneten Umweltkriterien muss man sich der Frage stellen, ob hier vollumfänglich die Nachhaltigkeit der Technologie gegeben ist.

B 6.1: Introduction

Nr. 229

Fundstelle:

B 6, S. 277–290

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Es wird in keiner Weise auf einen wichtigen Aspekt eingegangen, der heute in der Forschung eine wichtige Rolle spielt: Der Zusammenhang zwischen Zwischenlagerung, Betriebsphase und „Langzeitphase“ (Integrated Safety Case) und die Relevanz des Zusammenhangs für die jeweilige Sicherheit auf der betreffenden Zeitskala.

Quellen:

(IAEA, 2016a), (IAEA, 2016b), (IGSC, 2008), (OECD/NEA, 2016), (GRS, 2020)

Nr. 230

Fundstelle:

B 6, S. 277–290 bzw. B 6.5, S. 289

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Nur im Nebensatz wird hier auf das Thema Ungewissheiten eingegangen. Es ist sinnvoll es spätestens hier zu erwähnen, denn in allen Kapiteln vorher wird durch den Verzicht auf dieses Thema der Eindruck erweckt, es gäbe keine Ungewissheiten.

Das Thema Ungewissheiten spielt in der Forschung heute eine zentrale Rolle.

B 6.2: Scope of R&D activities

Nr. 231

Fundstelle:

B 6.2, S. 277–278

Bezugstext:

In the case of HLW and spent fuel, the long term evolution of the wasteform during extended interim storage and after disposal in a geological repository is studied, with particular attention to solid state ageing effects during the pre-disposal stages and to mechanisms that may affect corrosion resistance, and release of radionuclides in groundwater in the final repository. Similar studies are performed on the waste package and containment barriers ensuring that the safety function is maintained. There is a large body of knowledge collected over the years through numerous scientific projects and collaborations, which provides a solid basis for implementation of final disposal options; this is reflected in the safety case demonstration and in the documentation supporting the disposal licence application submitted to the relevant national regulatory authorities.

[...]

The deep geological repository for spent fuel and high level waste is designed to contain and isolate radioactive waste for a very long time. Engineered barriers and natural conditions will contribute to delay the occurrence of direct reaction between radioactive waste and groundwater, and radionuclide release from the wasteform for thousands of years or more. Moreover, the properties of the selected geologic media in the far field will ensure very slow migration of released radionuclides. R&D efforts include determining the timeframe of interest for eventual radionuclides mobilization, and extrapolating the safety functions to the set of conditions expected at that time, to ensure that the potential exposure of the public does not reach the limits established by the relevant regulations.

Wissenschaftliche Prüfung:

Für die Endlagerung wird in den meisten Sicherheitskonzepten ein Multibarrierenkonzept zugrunde gelegt. Dieses Konzept baut auf eine mehr oder weniger ineinander verschachtelte Anzahl von technischen, geotechnischen und geologischen Barrieren auf. Die Funktionalität der einzelnen Barrieren muss demonstriert und für die jeweiligen vorgesehenen Zeiträume nachgewiesen werden. Insgesamt ist die Wirksamkeit des Gesamtsystems auch bei Ausfall einer oder mehrerer Einzelbarrieren zu belegen. Insbesondere der Nachweis der Funktionalität der technischen (z. B. Behälter) und geotechnischen Barrieren und die Übertragbarkeit auf lange Zeiträume stellt eine enorme Herausforderung dar.

Nr. 232

Fundstelle:

B 6.2, S. 277

Bezugstext:

In particular, the scope of research programmes includes:

Basic knowledge

Acquiring basic knowledge on physical and chemical properties of radioactive species and compounds allows optimizing their immobilization in corrosion resistant wasteforms for final disposal, and allows understanding mechanisms and processes affecting the long term behaviour of the wasteforms after disposal. As such, research is a necessary component informing safe management of radioactive waste. In the case of HLW and spent fuel, the long term evolution of the wasteform during extended interim storage and after disposal in a geological repository is studied, with particular attention to solid state ageing effects during the pre-disposal stages and to mechanisms that may affect corrosion resistance, and release of radionuclides in groundwater in the final repository. Similar studies are

performed on the waste package and containment barriers ensuring that the safety function is maintained. There is a large body of knowledge collected over the years through numerous scientific projects and collaborations, which provides a solid basis for implementation of final disposal options; this is reflected in the safety case demonstration and in the documentation supporting the disposal licence application submitted to the relevant national regulatory authorities. The current focus of basic research is to extend the body of knowledge to cover special cases, e. g. new or unconventional wasteforms, and to reduce uncertainties associated with the very long timeframe of final disposal, e. g. the accurate determination of the inventory of radionuclides relevant to the waste repository evaluations and/or the properties of “hard to characterize” radionuclides [6–29]

Wissenschaftliche Prüfung:

1. An dieser Stelle im Text soll eine Auflistung der zur Zeit wichtigen Forschungsthemen erfolgen. Unter dem Stichwort „basic knowledge“, also Grundlagenforschung werden ausschließlich Beispiele genannt, die sich auf das Inventar beziehen. Der Aspekt der Grundlagenforschung, der sich mit Wirtsgesteinen beschäftigt, fehlt an dieser Stelle vollständig. Natürlich können hier nicht alle Aspekte der Grundlagenforschung genannt werden. Durch die kurze Darstellung werden deshalb wissenschaftlich umstrittene Themen nicht genannt (wie zum Beispiel Human Intrusion (IAEA/HIDRA)).
2. In diesem Absatz wird nur eine Quellenangabe genannt, andere Quellenangaben fehlen. An dieser Stelle hätte gut eine Zusammenfassung aus einer Quelle gepasst, die einen Absatz früher zitiert wird (IGD-TP, 2020). Dort sind die Herausforderungen und aktuellen Aspekte der künftigen Endlagerforschung beschrieben.
3. Generell stellt sich die Frage, warum im Kapitel 6 Forschung und Forschungsprogramme mit Fokus auf Europa behandelt werden. Wenigstens unter ‚6.1 Introduction‘ sollte auch eine ausführlichere kritische Würdigung diesbezüglicher außereuropäischer Aktivitäten mit den dortigen Schwerpunktsetzungen erfolgen. Die rein namentliche Erwähnung einiger Länder (z. B. Seite 286 Ende dritter Absatz „Such global partnerships with, e. g. with USA and Japan have been in existence for a long time.“) ohne jegliche Angabe weiterführender Quellen erscheint nicht ausreichend.

Quellen:

(IAEA/HIDRA, Phase I 2013–2015), (IAEA/HIDRA, Phase II 2016–2018), (IGD-TP, 2020), (US, 2011)

Nr. 233

Fundstelle:

B 6.2, S. 277

Bezugstext:

The current focus of basic research is to extend the body of knowledge to cover special cases, e. g. new or unconventional wasteforms, and to reduce uncertainties associated with the very long timeframe of final disposal, e. g. the accurate determination of the inventory of radionuclides relevant to the waste repository evaluations and/or the properties of “hard to characterize” radionuclides [6–29]

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier werden u. a. Ungewissheiten angesprochen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass zum Schluss eine Reihe von Ungewissheiten, die nicht weiter reduziert bzw. aufgelöst werden können, verbleiben (GRS, 2018). Hier muss frühzeitig R&D angesetzt werden, wie man mit diesen Ungewissheiten umgehen will bzw. wie diesen Ungewissheiten Rechnung getragen werden soll.

Quelle:

(GRS, 2018)

Nr. 234

Fundstelle:

B 6.2, S. 278

Bezugstext:

Disposal in geological repository

[...] (see Chapter 6.3.1 below).

The outcome of the research is peer reviewed and, especially the components directly used for safety and licensing applications, subjected to independent critical assessment and review by the regulators, including comparisons and cross-referencing among different programmes.

Wissenschaftliche Prüfung:

1. Der Verweis auf Teil B 6.3.1 ist nicht korrekt und muss vermutlich 6.4.1 lauten.
2. Der peer-review im Endlagerbereich unterscheidet sich von einem wissenschaftlichen peer-review, wie er für wissenschaftliche Publikationen in wiss. Fachzeitschriften durchgeführt wird.
3. Der Aspekt der „components“ bleibt unklar. Es ist nicht klar was damit gemeint ist. Wenn hier technische Komponenten gemeint sind, die im Rahmen von F&E entwickelt werden, dann kann ein Review unter einem rein wissenschaftlichen Aspekt erfolgen. Wenn allerdings Komponenten gemeint sind, die als Stand der Technik genutzt werden sollen, dann erfolgt ein Review nicht unter dem Aspekt eines wissenschaftlichen Reviews sondern einer Beurteilung eines Genehmigungsverfahrens.

Nr. 235

Fundstelle:

B 6.2, S. 278 bis B 6.2, S. 279 oben

Bezugstext:

Over the decades, in the case of final disposal in geological repository, the R&D contributions have been deployed along two main dimensions: space and time.

[...]

the safety functions to the set of conditions expected at that time, to ensure that the potential exposure of the public does not reach the limits established by the relevant regulations.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier finden sich nur sehr allgemeine Aussagen. Es gibt nur eine Quellenangabe von 1980 für einen spezifischen genannten Aspekt. Quellenangaben sind eine Basis des wissenschaftlichen Arbeitens.

Quelle:

(DFG, 2019)

Nr. 236

Fundstelle:

B 6.2, S. 278

Bezugstext:

R&D (or, in this case, RD&D: research, development and demonstration) provides the knowledge and the technical and scientific assessment basis for system design, siting and optimisation as well as contributions to fundamental understanding of the underlying processes affecting the behaviour of the repository (see Figure 6.2–1). Experimental and modelling activities provide an important input to the safety case and the performance assessment of the radioactive disposal, and consequently contribute to the licensing process.

RD&D activities stretch from the initial decision to build a disposal for radioactive waste through all implementation and operation stages until disposal closure and possibly through post-closure monitoring (see Chapter 5.2 of part B of this report).

Wissenschaftliche Prüfung:

An dieser Stelle im Text wird deutlich, dass nicht konsequent zwischen

- a. Forschung und Entwicklung
 - b. Stand von Wissenschaft und Technik
- unterschieden wird.

Der Stand von W & T ist für die Endlagerung entscheidend (z. B. § 19 StandAG).
Forschung und Entwicklung kann diesen Stand vorantreiben.

Nr. 237**Fundstelle:**

B 6.2, S. 279

Bezugstext:

- The deep geological repository for spent fuel and high level waste is designed to contain and isolate radioactive waste for a very long time. Engineered barriers and natural conditions will contribute to delay the occurrence of direct reaction between radioactive waste and groundwater, and radionuclide release from the wasteform for thousands of years or more.

Wissenschaftliche Prüfung:

Technische Barrieren („Engineered Barriers“) sollten die Ausbreitung von Radionukliden über den gesamten Nachweiszeitraum verzögern.

Der im Text genannte Zeitbegriff („thousands of years or more“) sollte präziser gefasst werden.

Für Deutschland gilt § 1 StandAG:

„Der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit ist der Standort, der im Zuge eines vergleichenden Verfahrens aus den in der jeweiligen Phase nach den hierfür maßgeblichen Anforderungen dieses Gesetzes geeigneten Standorten bestimmt wird und die bestmögliche Sicherheit für den dauerhaften Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung und sonstigen schädlichen Wirkungen dieser Abfälle für einen Zeitraum von einer Million Jahren gewährleistet. Dazu gehört auch die Vermeidung unzumutbarer Lasten und Verpflichtungen für zukünftige Generationen.“

B 6.3: Innovative options for the back-end of the nuclear fuel cycle

Nr. 238**Fundstelle:**

B 6.3, S. 280

Bezugstext:

Due to the fact that fast reactors allow multiple (re)cycling of the fractions of fuel/waste not consumed/burned, the final result of iterating this process would be an almost complete use of the fuel and an increasingly reduced fraction of long-lived species (mostly in terms of minor actinides fraction) in the irradiated fuel.

Wissenschaftliche Prüfung:

Bisher werden Minore Aktinide noch nicht dem Brennstoff zugegeben. Insofern handelt es sich hier lediglich um eine Prognose. Unklar ist, bis zu welchem Umfang man Minore Aktinide dem Brennstoff zugeben können wird, da sich diese negativ auf die Sicherheitseigenschaften des Brennstoffs auswirken können.

Nr. 239

Fundstelle:

B 6.3, S. 280

Bezugstext:

Another potential benefit from the adoption of a closed nuclear fuel cycle would be the significant reduction of the footprint of the geologic repository for HLW (see Figure 3.3.8–11 of part A of this report).

Wissenschaftliche Prüfung:

Relevant für die Größe des Endlagers wäre neben dem Volumen die Nachzerfallswärme zum Zeitpunkt der Einlagerung (Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe gemäß § 3 Standortauswahlgesetz 2016, S. 227).

Quelle:

(KOM, 2016)

Nr. 240

Fundstelle:

B 6.3, S. 280

Bezugstext:

Implementing partitioning and transmutation would reduce the time necessary for the HLW to decay down to the natural reference level to some centuries instead of some hundred thousand years.

Wissenschaftliche Prüfung:

1. Es ist unklar was hier mit „natural reference level“ gemeint ist. Im Allgemeinen sind die erwähnten Zerfallszeiträume (weit) zu kurz. Beispiel Np237: 2,14 Millionen Jahre
2. Zur Debatte um „Partitionierung und Transmutation sollte das Ergebnis des jüngst auf der BASE-Homepage veröffentlichten BASAE-Forschungsberichts „Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung von Konzepten zu Partitionierungs- und Transmutationsanlagen für hochradioaktive Abfälle“ herangezogen werden. Fazit aus BASE-Sicht:
„Das Gutachten kam zu dem Ergebnis, dass durch Partitionierung und Transmutation für die beiden im Standortauswahlgesetz genannten Ziele – bestmöglicher Schutz von Mensch und Umwelt vor der Wirkung ionisierender Strahlung sowie das Vermeiden von unzumutbaren Lasten für zukünftige Generationen – eher negative Effekte zu erwarten sind.“ [Quelle hierzu mit weiteren BASE-Auswertungen zum Bericht unter https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/kta-deutschland/p_und_t/partitionierung-transmutation.html]

Quelle:

(BASE, 2021)

Nr. 241

Fundstelle:

B 6.3, S. 281

Bezugstext:

Abbildung 6.3–1

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Abbildung zeigt, dass die Transmutation von Pu und Am zu einer deutlichen Reduktion der Radiotoxizität (durch Inhalation) führen würde. Nicht in dem Diagramm dargestellt sind die Spaltprodukte, die zumindest bei thermischen Reaktoren anfangs die Strahlung dominieren (Schwenk-Ferrero 2013). Überdies zeigten Untersuchungen aus der Schweiz, dass langlebige Spaltprodukte eine recht hohe Mobilität im Erdreich haben und daher den größten Teil der in die

Biosphäre freigesetzten Dosis ausmachen (NAGRA – National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste 2002, S. 203).

Quellen:

(NAGRA, 2002), (Schwenk-Ferrero, 2013)

Nr. 242

Fundstelle:

B 6.3, S. 281

Bezugstext:

Significant R&D effort at national, European and international level, has been dedicated to investigating options aimed at implementing a closed fuel cycle which includes P&T. Table 6.3–1 lists Euratom Research and Training programmes dedicated to P&T since the 5th Framework Programme (FP) of the European Commission [6–14]; see also e. g. [6–13]. Although essentially all steps of P&T have been demonstrated at laboratory scale, the Technology Readiness Level is not yet corresponding to industrial maturity. Therefore, the input required from research activities includes a broad spectrum of applications, to fill some remaining knowledge gaps and to support implementing prototype level demonstrations to increase the TRL of these concepts. The progress in this area is associated also with the development of new irradiation facilities. R&D programmes involving Member States, the EC and international partners and organizations are continuing the effort.

Wissenschaftliche Prüfung:

P&T ist großtechnisch weder entwickelt noch einsatzbereit. Eine großtechnische Realisierbarkeit ist derzeit offen, wäre mindestens jedoch noch Jahrzehnte entfernt. Die hypothetische Rückstellung der Endlagerung und die Verbringung der Abfälle in oberflächennahe Langzeitlager würden zu zusätzlichen Risiken führen. So ist die genannte Option im Rahmen der Arbeiten der Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ thematisiert worden. Es wurde hierbei festgehalten, dass eine Dauerlagerung der Abfälle auf unabsehbare Zeit in Form eines oberirdischen oder oberflächennahen Lagers einer langfristigen gesellschaftlichen Kontrolle bedarf. In diesem Zusammenhang spielt die unsichere Prognose hinsichtlich gesellschaftlicher und politischer Entwicklungen und die Gefahr von Unfällen (zum Beispiel durch mangelnde Wartung) und Angriffen durch Krieg oder Terrorismus, die Proliferationsgefahr, der große organisatorische und finanzielle Aufwand für zukünftige Generationen und klimatische Unwägbarkeiten eine wesentliche Rolle. Die Kommission kam insgesamt hinsichtlich des Themas Langzeitlagerung an oder nahe der Erdoberfläche zu dem folgenden Schluss: „Die Kommission sieht in einer überwachten Dauerlagerung keine realistische Option für den nachweisbar sicheren, langzeitigen Umgang mit radioaktiven Abfällen. Eine aktive Verfolgung einer derartigen Strategie wird von der Kommission daher abgelehnt.“ (Kommission, 2016)

Quelle:

(KOM, 2016), Zitat S. 218

Nr. 243

Fundstelle:

B 6.4, S. 282–288

Bezugstext:

Gesamter Abschnitt

Wissenschaftliche Prüfung:

Der JRC-Report stellt insbesondere die im Rahmen der EU verstärkte Förderung von Verbundvorhaben in den Vordergrund. Hierdurch ergibt sich allerdings die

Frage nach einer unabhängigen, vielfältig ausgerichteten Forschung. Da in den Verbundvorhaben alle relevanten europäischen WMO und TSO vereinigt sind, erscheint eine kritische Vielfalt fragwürdig. In diesem Kontext sollte auf die deutsche Vorgehensweise mit einer forschenden Regulierungsbehörde verwiesen werden.

Quellen:

(BASE, 2019a), (BASE, 2019b)

Nr. 244

Fundstelle:

B 6.4.3, S. 288

Bezugstext:

Table 6.4.3-1 describes the main features characterizing the two types of URL [6-26].

Wissenschaftliche Prüfung:

Literatur [6-26] wird zwar lediglich mit Bezug auf die Unterscheidung zwischen ‚Generic UR‘ und ‚Site-specific URL‘ zitiert, dennoch ist anzumerken, dass die OECD/NEA-Literatur aus dem Jahr 2013 für Deutschland ein nicht mehr aktuelles Bild darstellt, insbesondere mit dem BfS als zuständiger Behörde und Gorleben als URL. Im OECD/NEA-Bericht wird ‚URL‘ zudem sowohl als ‚underground research laboratory‘ als auch als ‚underground rock laboratory‘ verstanden. In diesem Kontext ist dennoch auch zu hinterfragen, inwieweit die aufgeführten Anlagen Morsleben und Konrad den Tatbestand ‚URL‘ erfüllen.

Quelle:

Literatur [6-26] ist einsehbar unter folgender Internetadresse:

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_48874/underground-research-laboratories-url

B 6.4: European research in radioactive waste management: who does it and how it is structured

Nr. 245

Fundstelle:

B 6.4.1, S. 283

Bezugstext:

As described in the preceding section, research organizations or entities (national or supra-nationals as in the case of the JRC) supply scientific data addressing basic and/or applied open issues, and perform validation modelling and experimental campaigns, often providing input to the performance assessment of a geological repository or waste disposal concept.

Wissenschaftliche Prüfung:

An verschiedenen Stellen im Text wird deutlich, dass nicht konsequent zwischen

- a. Forschung und Entwicklung
- b. Stand von Wissenschaft und Technik

unterschieden wird.

S. lfd. Nr. 236.

ANNEX 1: Legal and regulatory background of nuclear energy

/

ANNEX 2: Summary of LCA results for all life-cycle phases of nuclear energy

/

ANNEX 3: NACE codes corresponding to main lifecycle phases of nuclear energy

Nr. 246

Fundstelle:

Annex 3, S. 355

Bezugstext:

D - Electricity, gas, steam and air conditioning supply

E - Water supply; sewerage, waste management and remediation activities

Wissenschaftliche Prüfung:

Wünschenswert wären hier Hinweise, wie die Umweltziele der Technical Expert Group on Sustainable Finance (TEG) aus Kapitel 5.1, z. B. zur Vermeidung von Luft und Wasserverschmutzungen (siehe Tabelle A.3-1 Punkt D und E), auch in den Phasen des LC der Kernenergie berücksichtigt werden. Mit welchen NACE oder TSC werden sie umgesetzt?

ANNEX 4: Illustrative TSC tables

Nr. 247

Fundstelle:

Annex 4.1, S. 358

Bezugstext:

(DNSH) (3) Sustainable use and protection of water and marine resources

Wissenschaftliche Prüfung:

Die Aussagen und Aktivitäten zum Schutz von Wasser- und Meeresressourcen beziehen sich einseitig auf die Auswirkungen von Temperaturerhöhungen. Beim Ableiten von Kühlwasser aus einem Kernkraftwerk in ein(en) Fluss/ Meer muss auch standardisiert auf Radionuklide geprüft werden, analog der Temperaturmessungen.

Nr. 248

Fundstelle:

Annex 4, S. 357-358

Bezugstext:

2. Construction and operation of new nuclear power plants:

The activity complies with the criteria set out in Appendix E to this Annex.

1. Extension of the service time of existing nuclear power plants Compliance with

the WENRA Safety Reference Levels for Existing Reactors and the Euratom NSD ensures that the existing facility is able to cope with extreme natural hazards (such as floods and extreme weather conditions) potentially resulting from future climate change.

The resilience of the EU nuclear power plants against extreme natural hazards (including earthquakes) was demonstrated in the EU stress-tests exercise.

2. Construction and operation of new nuclear power plants Fulfilling the WENRA Safety Objectives for New Nuclear Power Plants and compliance with the Euratom NSD guarantees that the new facility will be able to cope with extreme natural hazards (such as floods and extreme weather conditions) potentially resulting from future climate change.

(DNSH) (6) Protection and restoration of biodiversity and ecosystems

Wissenschaftliche Prüfung:

Vgl. lfd. Nr. 146: Auch wenn die Anlagen (Neubau- und Altanlagen) den genannten Regelwerken entsprechen, sind Unfälle mit schwerwiegenden radiologischen Konsequenzen zwar unwahrscheinlich, aber nicht kategorisch ausgeschlossen. Dies wäre im Hinblick auf das „Do No Significant Harm“-Ziel zu bewerten und zu diskutieren. Hier weist der Report eine signifikante Lücke auf.

Nr. 249

Fundstelle:

Annex 4.1, S. 359

Bezugstext:

(DNSH) (6) Protection and restoration of biodiversity and ecosystems

Wissenschaftliche Prüfung:

Wünschenswert wäre die Benennung von konkreten Beispielen und Quellen, wie man Natur- und Kulturgüter 1. Ordnung aus Natura 2000 oder UNESCO Weltkulturerbe schützen will. Wie werden diese „[...] necessary mitigation measures are implemented.“ umgesetzt?

Nr. 250

Fundstelle:

Annex 4, S. 367

Bezugstext:

Regarding (4) Transition to a circular economy:

The largest need for materials that are neither recyclable nor reusable results from the encapsulation and backfilling, but their amount is very small.

Wissenschaftliche Prüfung:

Obwohl die Menge an Bentonit¹ im Verhältnis zu seiner weltweiten Produktion gering sein mag, ist zu beachten, dass das spezifische Material (z. B. in Bezug auf die mineralogische Zusammensetzung und insbesondere den Gehalt an unerwünschten Bestandteilen), das im Endlager verwendet wird, wahrscheinlich strengen technischen Spezifikationen unterliegt. Dies könnte die Verfügbarkeit des Bentonit-Typs, der diese Anforderungen erfüllt, erheblich erschweren und stellt ein potenzielles Risiko der eingeschränkten Verfügbarkeit dar.

¹Bentonit ist das Material, das häufig als Puffer- und Versatzmaterial während des Betriebs eines Endlagers in kristallinem oder tonhaltigem Wirtsgestein verwendet wird.

Nr. 251

Fundstelle:

Annex 4, S. 366

Bezugstext:

Do no significant harm ('DNSH'):

(2) climate change adaptation

The design and construction of the facilities applied for the interim storage and disposal of high level radioactive waste shall ensure the containment of the waste and its isolation from the accessible biosphere also during the occurrence of extreme natural hazards, such as earthquakes, tornados, flooding, etc.

Wissenschaftliche Prüfung:

Hier zeigt sich, dass die JRC, entgegen der Auslassung von Störfällen und auslegungsüberschreitenden Ereignissen in Teil A 3.3.8.3, für die technischen Bewertungskriterien tatsächlich diese Ereignisse in die Bewertung einbezogen hat. Dadurch wird die Definition der Bewertungskriterien auf Basis von europäischem bzw. nationalen Gesetzen/Verordnungen und Regelwerken nachvollziehbar. Jedoch sollte der Umstand, dass die regulatorischen Anforderungen Unfälle nicht kategorisch ausschließen, berücksichtigt werden, s. ldf. Nr. 146.

Nr. 252

Fundstelle:

Annex 4, S. 361–362, TSC-Tabelle 2 „Mining and processing of uranium ore“

Bezugstext:

An Environmental Impact assessment (EIA) or screening has been completed, for activities within the Union, in accordance with Directive 2011/92/EU. For activities in third countries an EIA has been completed in accordance with equivalent national provisions or international standards.

Wissenschaftliche Prüfung:

Seit 2017 ist die Uranmine Crucea in Rumänien die einzige Uranmine auf EU-Boden. Zuvor hatten Tschechien (2017), Frankreich (2001) und Portugal (!, ebenfalls 2001) ihre letzten Uranbergwerke aufgegeben. Von daher ist eine aktuelle EIA zu Uranbergbauaktivitäten für die EU sehr überschaubar. Wendet man das Umweltrecht anderer Uran-abbauender Staaten zur Erstellung von EIAs an, so ist dies oft ein zweifelhaftes und fruchtloses Vorhaben. Zwar haben die meisten modernen Industriestaaten des globalen Nordens entsprechende Regularien (z. B. der „Surface Mining Controlling and Reclamation Act“ von 1977 in den USA), in den meisten afrikanischen Staaten, die Uranbergbau betreiben, fehlen solche Gesetzesgrundlagen aber – und sogar in Australien gibt es nur ein sehr lückenhaftes entsprechendes Regelwerk. Daher wäre es wünschenswert gewesen, wenn sich auch die EIAs für Länder außerhalb der EU auf die EU-Taxonomie und EU-Umweltkriterien gestützt hätten.

Quelle:

(Le Monde diplomatique et al., 2019)

Nr. 253

Fundstelle:

Annex 4 (3), S. 364

Bezugstext:

The ALARA (as low as reasonably achievable) principle should be applied during the control of radioactive discharges consistently.

Wissenschaftliche Prüfung:

Es ist grundsätzlich fraglich, ob nach den DNSH-Kriterien „Sustainable use and protection of water and marine resources“ die Bewertung der Einleitung von

radioaktiven Prozessabwässern aus der WAA lediglich anhand der Erfüllung des ALARA-Prinzipes sowie der gesetzlichen Grenzwerte erfolgen sollte. Der nachhaltigste Schutz des marinen Ökosystems wäre keine Einleitung von Radioaktivität.

Nr. 254

Fundstelle:

Annex 4, S. 366, Punkt 4 (bereits hier eingefügt, da Bezug zum vorigen Punkt der TSC)

Bezugstext:

Gesamter Annex

Wissenschaftliche Prüfung:

Die im Annex 4 des JRC-Berichts aufgeführten Kriterien beinhalten außer zum Aspekt „Transition to a circular economy“ u. a. die folgenden Forderungen:

Für „Climate change adaption“:

The design and construction of the facilities applied for the interim storage and disposal of high level radioactive waste shall ensure the containment of the waste and its isolation from the accessible biosphere also during the occurrence of extreme natural hazards, such as earthquakes, tornados, flooding, etc.

Und für alle anderen „Sustainable use and protection of water and marine resources“, „Pollution prevention and control“ und „Protection and restoration of biodiversity and ecosystems“:

The safety case demonstration shall address the long term evolution of the reference case and shall include also consideration of extreme scenarios (e. g. loss of functionality by the engineered barriers, external events).

Die genannten TSC sollen abdeckend sein und sowohl für LLW und kurzlebigen ILW als auch HLW und bestrahlte Brennelemente gelten.

Die Berücksichtigung dieser Forderungen (z. B. Beachtung von extremen Ereignissen, Verlust von Sicherheitsfunktionen) wird in Bezug auf oberflächennahe Endlager im Vergleich zu geologischen Endlagern eine unterschiedliche Einschätzung bzw. Auswirkung zufolge haben.

Quellen:

(siehe Ausführungen zu Teil A, Kapitel 5.7, S. 196)

ANNEX 5: Ionising radiation: definitions, units, biological effects and radiation protection

Nr. 255

Fundstelle:

Annex 5.4, S. 376 ff, „General principles of radiation protection“

Bezugstext:

Gesamter Annex

Wissenschaftliche Prüfung:

In dem genannten Kapitel/Annex werden die Grundprinzipien des Strahlenschutzes, u.a. mit Bezug auf die ICRP-Publikation 103 (ICRP 2007), ausgeführt. Die ICRP hat ihre Empfehlungen jedoch speziell für eine Anwendung dieser Prinzipien auf die geologische Endlagerung hin ergänzt mit der ICRP-Publikation 122 (ICRP 2013). Darin legt die ICRP die Notwendigkeit dar, bei der Anwendung

der Strahlenschutzprinzipien auf sehr lange Zeiträume jene durch das Konzept „Oversight“ zu ergänzen.

„In particular, the crucial factor that influences the application of the protection system over the different phases in the life time of a disposal facility is the level of oversight or ‘watchful care’ that is present. The level of oversight affects the capability to control the source, i. e. the waste and the repository, and to avoid or reduce potential exposures.“

Das Wort „Oversight“ taucht im Bericht nur als Sekundärzitat auf – es fehlt jede Berücksichtigung und jeder Bezug auf das Konzept „Oversight“. Das Dokument ICRP (2013) wird als Referenz „[5–15]“ im JRC-Bericht in anderen Kontexten durchaus zitiert. Die Nicht-Beachtung des Oversight-Konzeptes der ICRP (2013) wiegt deshalb nicht weniger schwer, denn die grundsätzliche Stellung von Oversight-Maßnahmen (wie Inspektionen, Monitoring, Dokumentenerhalt, Wissenserhalt, gesellschaftliches Gedächtnis, [...]) findet keinen Eingang in den JRC-Bericht.

Ob Hauptaussagen des JRC-Berichts bei einer umfassenden Berücksichtigung von ICRP (2013) anders ausgefallen wären, kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden.

Anmerkung: Auch die IAEA hat dem ICRP-Konzept von 2013 bisher wenig Beachtung geschenkt; die grundlegenden IAEA Safety Requirements sind vor 2013 entstanden. Die OECD/NEA hat hingegen die ICRP-Grundsätze in eigenen Konsenspapieren, auch in Verbindung mit langfristigem Wissens- und Informationserhalt („RK&M preservation“) ausdrücklich bekräftigt (OECD, 2014).

Quelle:
(ICRP, 2013)

ANNEX 6: Characteristics of radioactive waste

Nr. 256

Fundstelle:

Annex 6(1), S. 378

Bezugstext:

Gesamter Annex

Wissenschaftliche Prüfung:

Bei der Beschreibung der drei Zerfallsarten bzw. ihrer Ionisationsfähigkeit wird die Neutronendosis nicht diskutiert. Dies ist aber bei Transuranen und Actiniden (sf) ein nicht zu vernachlässigender Teil des praktischen Strahlenschutzes sowie der Kritikalitätssicherheit. Insbesondere sei dabei auf die Wechselwirkung zwischen hochenergetischer α -Strahlung (> 4 MeV) und Materialien mit einem hohen (α, n) Wirkungsquerschnitt wie z. B. Be-9 (Compoundkernbildung) verwiesen, wodurch hochenergetische, freie Neutronen entstehen.

