

B , S , S .

VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BERATUNG

Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung radioaktiver Abfälle

Forschungsbericht

B,S,S. Volkswirtschaftliche Beratung in Kooperation mit Basler & Hofmann,
Dr. Andreas M. Walker Strategieberatung und EMPA

Basel, den 22. März 2013

Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung radioaktiver Abfälle

Forschungsbericht

zuhanden des Bundesamts für Energie

Verantwortlich seitens Auftraggeber: Simone Brander

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVEK, Bundesamt für Energie BFE, Sektion Entsorgung radioaktive Abfälle,
Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen, Postadresse: 3003 Bern

Tel +41 31 325 85 57, Fax +41 31 323 25 00, simone.brande@bfe.admin.ch

Projektbegleitgruppe: Dr. Sergio Belucci (TA-Suisse), Dr. Stefan Brem (Bundesamt für Bevölkerungsschutz), Dr. Anne Eckhardt (Risicare / Ensi), Elmar Große Ruse (WWF), Dr. Patrick Kupper (ETHZ), Urs Weidmann (Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit KNS)

Projektleitung seitens Auftragnehmer: Dr. Wolfram Kägi (B,S,S.)

Projektmitarbeit B,S,S.: David Liechti (B,S,S.), Kim Giaquinto (B,S,S.), Rahel Moser (B,S,S.)

Projektmitarbeit extern: Prof. Dr. Lorenz Hilty (EMPA), Dr. Andreas M. Walker (Dr. Andreas M. Walker Strategieberatung), Jürg Matter (Basler & Hofmann)

B,S,S. Volkswirtschaftliche Beratung AG, Steinenberg 5, CH-4051 Basel
Tel: 061-262 05 55, Fax: 061-262 05 57, E-Mail: contact@bss-basel.ch

Disclaimer: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
1. Einleitung	5
2. Methodik	7
3. Ethische und gesetzliche Grundlagen	9
3.1. Ethische Sicht	9
3.2. Gesetzliche Regelungen.....	11
4. Vier Zukunftsbilder	13
4.1. Zeitliche Eingliederung.....	13
4.2. Die Bilder.....	14
4.2.1. Bild 1: Versiegeltes geologisches Tiefenlager.....	15
4.2.2. Bild 2: Tiefenlager in Beobachtungsphase	15
4.2.3. Bild 3: Tiefenlager politisch gescheitert.....	16
4.2.4. Bild 4: Kein geologisches Tiefenlager – Technischer Fortschritt	16
4.2.5. Nicht gewählte Bilder	16
4.2.6. Die vier Bilder in der Praxis	17
5. Megatrends und künftige gesellschaftliche Entwicklungen	18
5.1. Ausgewählte Megatrends.....	18
5.2. Auswirkungen auf Tiefenlagerung	21
6. Risiken und Chancen gesellschaftlicher Entwicklungen	22
6.1. Chancen	23
6.2. Risiken	24
6.2.1. Gesellschaftliche Instabilität.....	24
6.2.2. Veränderte Rahmenbedingungen.....	27
6.2.3. Vergessen.....	29
6.3. Kurzfazit Risiken und Chancen	30
7. Wie gelangt man zu den vier Bildern?	32
7.1. Bild 1 (versiegeltes Tiefenlager).....	32
7.2. Bild 2 (Beobachtungsphase)	34

7.3. Bild 3 (kein geologisches Tiefenlager, politische Gründe).....	35
7.4. Bild 4 (kein Tiefenlager – technischer Fortschritt).....	37
7.5. Wild Card, die jedes Bild verhindert	37
8. Ethische und gesetzgeberische Implikationen	39
8.1. Ethische Beurteilung.....	39
8.1.1. Spielraum der zukünftigen Generationen	39
8.1.2. Neue ethische Fragestellungen	41
8.2. Gesetzgeberischer Handlungsbedarf?.....	42
9. Konklusion.....	44
Literaturverzeichnis	45
Anhang A	48
Anhang B	50
Anhang C	51
Anhang D	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schematische Darstellung der vier Zukunftsbilder	14
-------------	--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Zeitlicher Ablauf Umsetzung Tiefenlager.....	13
Tabelle 2	Chance: Technische Entwicklungen und neue Erkenntnisse	23
Tabelle 3	Chance: Alternative Lagerkonzepte	24
Tabelle 4	Risiko: Gesellschaftliche Krisen	25
Tabelle 5	Risiko: Gesellschaftliche Zerrüttung.....	25
Tabelle 6	Risiko: Verlust von Fachwissen.....	26
Tabelle 7	Risiko: Einstellung der Bevölkerung zum Thema.....	26
Tabelle 8	Risiko: Politische Risiken	28
Tabelle 9	Risiko: Ökonomische Risiken	29
Tabelle 10	Risiko: Vergessen.....	30
Tabelle 11	Übersicht Chancen und Risiken	30
Tabelle 12	Chancen für die 4 Bilder in der Übersicht: Anzahl Ausprägungen	31
Tabelle 13	Risiken für die 4 Bilder in der Übersicht: Anzahl Ausprägungen.	31

Abkürzungsverzeichnis

Art.	Artikel
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BRIC	Brasilien, Russland, Indien, China (teilweise auch BRICS mit S = Südafrika)
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
IAEA	International Atomic Energy Agency
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
LOHAS	Lifestyle of Health and Sustainability
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
Zwilag	Zwischenlager für radioaktive Abfälle in Würenlingen

1. Einleitung

In den 1860er Jahren glaubte man, dass die Grossstädte New York und London bald einmal im Pferdemist versinken würden, jedoch wurde dann, ohne jegliche Regulierung und Eingriffe, das Problem gelöst – durch technischen Fortschritt: Die Erfindung des Autos hat das Problem verschwinden lassen („Parabel vom Pferdemist“, vgl. z. B. Kolbert 2009).

Das Wissen, das man für Prognosen anwendet, ist beschränkt auf die Gegenwart und die Vergangenheit. Trotzdem lässt sich anhand verschiedener Methoden der Zukunftsforschung aufzeigen, in welche Richtungen die Gesellschaft sich entwickeln könnte. Mit einer weiten Öffnung des Spektrums der Möglichkeiten werden die heute im Bereich des Vorstellbaren liegenden Entwicklungen abgedeckt.

Ziel der Studie

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, aufzuzeigen, welche Risiken und Chancen im Hinblick auf die Lagerung radioaktiver Abfälle durch künftige *gesellschaftliche* Veränderungen möglich bzw. denkbar sind. Im Fokus steht dabei die Lagerung der radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager.

Im Ergebnis sollen Empfehlungen zuhanden des BFE und des ENSI zum Umgang mit gesellschaftlichen Veränderungen im Hinblick auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle abgeleitet werden. Aus juristischer Sicht fragt sich, welche gesetzlichen Voraussetzungen bereits erfüllt sind und wo ein Regelungsbedarf besteht. Darüber hinaus werden mögliche ethische Fragestellungen bzgl. der Lagerung radioaktiver Abfälle im Kontext gesellschaftlicher Veränderungen analysiert.

Lagerung radioaktiver Abfälle

Wegen ihrer radioaktiven Strahlung müssen die Abfälle für Jahrhunderte, hochaktive Abfälle gar bis zu einer Million Jahren von Mensch und Umwelt abgeschirmt sein (BFE 2012). So lange müssen die Abfälle sicher gelagert werden können. Laut den gesetzlichen Regelungen wird hierfür ein Tiefenlager gebaut. Grundsätzlich orientiert sich der vorliegende Bericht am im Gesetz vorgesehen Vorgehen.

Abgrenzung der Studie

Im Rahmen des Forschungsprogramms Radioaktive Abfälle werden verschiedene Forschungsprojekte im Bereich der radioaktiven Abfälle durchgeführt, u. a. zur technischen Machbarkeit der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle und zur Geologie der möglichen Standorte des Tiefenlagers. Im vorliegenden Bericht, der im Rahmen des Schwerpunkts „Ethik und Recht“ erarbeitet wurde, werden die techni-

sche Machbarkeit und die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers grundsätzlich als Prämisse vorausgesetzt. In im Rahmen der Studie durchgeführten Gesprächen mit gegenüber einem Tiefenlager kritisch eingestellten Fachleuten wurden wiederholt technische bzw. geologische Aspekte thematisiert. Ganz offensichtlich sind nicht alle Fachleute davon überzeugt, dass ein Tiefenlager rein technisch bzw. naturwissenschaftlich betrachtet eine ausreichende Sicherheit für die Lagerung radioaktiver Abfälle bietet. Wir können im Rahmen dieser Studie dies nur konstatieren, nicht jedoch beurteilen. Im Kern der vorliegenden Arbeit geht es um die Auswirkungen gesellschaftlicher Veränderungen auf das Tiefenlager bzw. auf die Lagerung radioaktiver Abfälle generell.

Struktur der Studie

- Das zweite Kapitel der Studie legt die gewählte Untersuchungsmethodik dar, wobei insbesondere die partizipativen Elemente der Studie und die für die Zukunftsbetrachtung gewählte „Fallschirmmethode“ erläutert werden.
- Das dritte Kapitel legt einerseits die geltenden gesetzlichen Grundlagen dar und skizziert andererseits einen ethischen Rahmen zur Analyse der Fragestellungen.
- Im vierten Kapitel werden als Ausgangspunkt für die Fallschirmmethode vier Zukunftsbilder entfaltet.
- Das fünfte Kapitel zeigt vor dem Hintergrund einer Reihe von verschiedenen kurz skizzierten Megatrends auf, welche gesellschaftlichen Veränderungen künftig denkbar sind.
- Im sechsten Kapitel, dem Kern der Studie, erläutern wir, welche Chancen und Risiken die vier Zukunftsbilder unter Berücksichtigung verschiedener möglicher künftiger gesellschaftlicher Entwicklungen beinhalten.
- Das siebte Kapitel zeigt den Weg der Entstehung der Zukunftsbilder auf.
- Kapitel acht befasst sich mit einer ethischen Bewertung und erläutert, welche gesetzgeberische Konsequenzen sich aus den Analysen ergeben.
- Schlussfolgerungen werden im Kapitel neun gezogen.

2. Methodik

Für die Erarbeitung der Studie wurde ein stark partizipatives Vorgehen gewählt. Als Grundlage wurden die relevante Literatur der Zukunftsforschung sowie die Grundlagen zum Verfahren, das für den Bau des Tiefenlagers vorgesehen ist, studiert. Im Zentrum der Informationserhebung standen jedoch Gespräche mit Expertinnen und Experten verschiedener Disziplinen sowie ein Expertenworkshop. Weiter wurde eine Begleitgruppe einberufen, mit der sich die Auftraggeberin und das Projektteam regelmässig zu Fragen des Vorgehens, der Formulierung von Annahmen und der Zwischenresultate ausgetauscht haben.

Zukunftsforschung und strategische Früherkennung kennen verschiedene Methoden, die sich eignen, um mit der vorliegenden Fragestellung und dem avisierten Zeitrahmen umzugehen. Die Begleitgruppe und das Projektteam entschieden, die Fallschirmmethode nach Vorbild der RAND Corporation anzuwenden. Bei der Fallschirmmethode werden verschiedene Zustände des zu analysierenden Subjekts – im vorliegenden Fall des Tiefenlagers für radioaktive Abfälle – definiert und exemplarisch beschrieben. Diese Zustände werden bezüglich ihrer Ausprägung in der Zukunft analysiert. Dabei wird in einer ersten Etappe die Entstehung dieser Zustände (im Folgenden auch „Bilder“ genannt) bewusst zurückgestellt. Man kann sich vorstellen, dass man mit dem Fallschirm aus dem Flugzeug springt und in einem der definierten Zustände landet. In der vorliegenden Studie wurden vier solcher Bilder von unterschiedlichen Zukünften aufgrund einer umfangreichen Literaturanalyse definiert. In einer anschliessenden Arbeitsphase wurden mögliche Auswirkungen gesellschaftlicher Veränderungen auf jedes dieser Bilder untersucht und mit Expertinnen und Experten diskutiert.

Informationen über ein Tiefenlager und mögliche Entwicklungen der Gesellschaft in der Zukunft wurden aus vielen Quellen gesammelt. Die darauf folgenden Feedbackrunden innerhalb dieser Recherchen waren zentral für die Entstehung des Berichts. Zuerst wurde die Literatur gesichtet, einerseits zum Thema der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle, vor allem aber über die zu erwartenden Entwicklungen der Gesellschaft in der Zukunft.

In einem weiteren Schritt wurden insgesamt 25 Expertengespräche telefonisch und persönlich durchgeführt. Ein starker Fokus wurde auf die Interdisziplinarität der Expertinnen und Experten gelegt. So kamen neben Physikern und Geologinnen auch Umweltnaturwissenschaftlerinnen, Psychologen, Soziologinnen und einige Experten aus anderen Disziplinen zu Wort (vgl. Anhang C für eine vollständige Liste der Personen).

Die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche und der Expertengespräche wurden zunächst der Begleitgruppe vorgestellt und dann in einem Expertenworkshop diskutiert und ergänzt. An diesem Workshop nahmen insgesamt 25 Personen teil, neben dem Projektteam waren auch die Mehrheit der Begleitgruppe und die Auftraggeberin präsent. Im Workshop wurde ferner der Frage nachgegangen, wie es, aus dem Blick der zukünftigen „Bilder“ zur Entstehung der entsprechenden Situationen kommen konnte. Fragen wie „Wie kam es zu diesen Bildern?“, „Welche Entwicklungen könnten diese Zukünfte verstärken oder verhindern?“ wurden intensiv diskutiert.

Der vorliegende Bericht ist neben der Auswertung der Literatur in grossen Teilen der Zusammenschluss der Meinungen dieser vielen befragten bzw. am Workshop partizipierenden Expertinnen und Experten. Im Bericht wird bewusst darauf verzichtet, die Expertenmeinungen speziell als solche zu bezeichnen. Dies gilt sowohl für Äusserungen in den Gesprächen als auch Äusserungen und schriftliche Hinweise im Workshop.

3. Ethische und gesetzliche Grundlagen

3.1. Ethische Sicht

Die Frage nach der Entsorgung der radioaktiven Abfälle stellt uns vor Probleme, die eine ethische Erörterung verlangen (Achenbach in BMU 2003). Das vorliegende Kapitel widmet sich der ethischen Dimension der Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Zuerst soll Klarheit über die Begriffe Ethik und Moral verschafft werden. Das Gabler Wirtschaftslexikon definiert Ethik wie folgt (Kurzerklärung):

„Ethik ist die Lehre bzw. Theorie vom Handeln gemäß der Unterscheidung von gut und böse. Gegenstand der Ethik ist die Moral. Die griechische Ethik war empirisch und normativ zugleich. Heute wird eine empirische, deskriptive Ethik streng unterschieden von der *normativen Ethik*, die ein Sollen formuliert; dieses Sollen erhebt Anspruch auf allgemeine Verbindlichkeit.“

Die Moral wird vom Gabler Wirtschaftslexikon definiert als „[...] die normativen Regeln, die das Handeln von Menschen faktisch bestimmen bzw. bestimmen sollten, wobei Menschen auf den Verstoß gegen diese Regeln mit Schuldgefühlen reagieren. [...]“

Heute bestehen verschiedene normativ-ethische Grundsätze im Zusammenhang mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Die IAEA hat diesbezüglich grundlegende Prinzipien herausgegeben. Die folgende Aufzählung stellt eine kompakte Form dieser Prinzipien dar (IAEA 1995¹):

- Prinzip 1: Schutz der Gesundheit des Menschen
- Prinzip 2: Schutz der Umwelt
- Prinzip 3: Schutz der Umwelt und der Gesundheit des Menschen über die Landesgrenzen hinaus
- Prinzip 4: Schutz zukünftiger Generationen im gleichen Ausmass wie die Menschen heute
- Prinzip 5: Minimierung der Belastung zukünftiger Generationen
- Prinzip 6: Einbezug der Entsorgung in die nationale Gesetzgebung
- Prinzip 7: Minimierung der Erzeugung radioaktiver Abfälle
- Prinzip 8: Berücksichtigung gegenseitiger Abhängigkeiten zwischen der Erzeugung und der Entsorgung radioaktiver Abfälle

¹ Übersetzung und kompakte Darstellung durch die Autoren

- Prinzip 9: Gewährleistung der Sicherheit der Anlagen über ihre gesamte Lebenszeit

Das Prinzip der Nachhaltigkeit, welche Ökologie, Ökonomie und soziale Aspekte vereint, könnte heute als weiterer Punkt aufgenommen werden (Ackermann Birbaum 2009).

Im Zentrum der Ethik steht demnach, dass die Gesundheit des Menschen und die Umwelt heute und in der Zukunft ausreichend geschützt werden sollen. Es gilt daher, die Lösung nach bestem Wissen und Gewissen auszuwählen. Soweit besteht weitgehend ein Konsens.

Die Ethik verlangt, alle Argumente und Aspekte in die Entscheidung einzubeziehen. Dann soll anhand einer Güterabwägung eine Entscheidung gefällt werden. Die Argumente und Aspekte müssen also gesammelt und gewichtet werden. Ab diesem Zeitpunkt bestehen unterschiedliche Meinungen (S. Ackermann²).

Hilty und Som in Hilty et al. (2003) vertreten beispielsweise die Meinung, dass die Umwelt nicht mit zusätzlicher anthropogener Strahlung bis zu den heute geltenden Grenzwerten belastet werden sollte. Eine geringere Belastung würde zukünftigen Generationen einen grösseren Spielraum ermöglichen. Zudem bestünde ein (ethisch bedenkliches) Restrisiko.

Weitere Fragen, die kontrovers diskutiert werden und sich nicht einfach lösen lassen:

- Wie sicher ist „sicher genug“?
- Wann hat man genügend unternommen und geforscht, um eine Entscheidung nach bestem Wissen und Gewissen zu fällen?
- Welche Formen der Mitwirkung sind ausreichend, um Bürgerinnen und Bürger und direkt Betroffene an der Entscheidungsfindung zu beteiligen? Welche Ängste und subjektiven Sichtweisen sind einzubeziehen, ohne dass durch implizite Interessenvertretung der Entscheidungsprozess verzerrt wird (Streffler et al. 2011)?

² Aus Unterlagen, welche im Zusammenhang mit dem Expertengespräch ausgetauscht wurden.

Auch trotz den bestehenden ethischen Bedenken gegenüber einem Tiefenlager kann es ethisch richtig und gut sein, dieses zu bauen (S. Ackermann³). Technologische Risiken sind vom Menschen verursacht. Es gilt demnach abzuwägen, ob ein erbrachter Nutzen sich gegenüber dem drohenden Risiko auszahlt (Som et al. 2009). Angewandt auf ein geologisches Tiefenlager bedeutet dies, dass der Bau eines Lagers nur dann durchgeführt werden soll, wenn die verhinderten potentiellen Risiken grösser sind als die durch ein Tiefenlager verursachten Risiken.

3.2. Gesetzliche Regelungen

Heute regeln das Kernenergiegesetz (KEG) und die Kernenergieverordnung (KEV) den Umgang mit radioaktiven Abfällen in der Schweiz.

Die radioaktiven Abfälle müssen grundsätzlich in der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager entsorgt werden. Die Einfuhr fremder radioaktiver Abfälle zur Entsorgung in der Schweiz ist in Ausnahmefällen gestattet, sofern weitere Voraussetzungen (u. a. Abschluss eines völkerrechtlichen Vertrages, Existenz einer sicheren Lagermöglichkeit und Zurücknahme der Abfälle falls erforderlich) erfüllt werden. Die Ausfuhr radioaktiver Abfälle ist unter ähnlichen Bedingungen in Ausnahmefällen erlaubt.

Die Kosten für die Entsorgung von aus einem Kernkraftwerk stammenden Abfällen tragen die Betreiber der Kernanlagen („Entsorgungspflicht“), und zwar von den Forschungsarbeiten zum Tiefenlager bis zur vollständigen Einlagerung. Darüber hinaus werden die Betreiber verpflichtet, die finanziellen Mittel für die Beobachtungsphase und den Verschluss des Lagers sicherzustellen. Alternativ ist die Entsorgungspflicht auch erfüllt, wenn die radioaktiven Abfälle ausnahmsweise in eine ausländische Entsorgungsanlage verbracht worden sind.

Der Bund ist verpflichtet, die nicht aus Kernanlagen stammenden radioaktiven Abfälle zu entsorgen und, falls die Kernkraftwerksbetreiber ihren Pflichten nicht nachkommen, die Abfälle aus den Kernkraftwerken auf Kosten des Entsorgungsfonds (der wiederum von den Kernkraftwerksbetreibern geüfnet wird) zu entsorgen.

Die Entsorgungspflichtigen müssen ein Entsorgungsprogramm erstellen. Darin geregelt werden u. a.

- Herkunft, Art und Menge der radioaktiven Abfälle

³ Aus denselben Unterlagen: „Ein Handlung kann als ethisch richtig und gut eingestuft werden *obwohl* gravierende ethische Bedenken bestehen.“

- Realisierungsplan für das geologische Tiefenlager
- Dauer und Kapazität der Zwischenlagerung
- Planung der finanziellen Mittel

Die unterirdischen Teile eines geologischen Tiefenlagers bestehen aus einem Testbereich, einem Pilotlager und dem Hauptlager. Im Testbereich werden die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins und das Verfahren der Rückholung erforscht. Im Pilotlager wird das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins anhand einer repräsentativen kleinen Menge der radioaktiven Abfälle untersucht.

Ein geologisches Tiefenlager darf nur in Betrieb genommen werden, wenn die Voraussetzungen für den Betrieb einer Kernanlage (u. a. Schutz von Mensch und Umwelt) erfüllt sind und zudem die Erkenntnisse aus dem Bau des Lagers die Eignung des Ortes bestätigen und die Rückholung der Abfälle bis zum Verschluss ohne grossen Aufwand möglich ist. Über die Einlagerung muss eine umfassende Dokumentation erstellt werden.

Nach Einlagerung der Abfälle müssen die Entsorgungspflichtigen ein Projekt für die Beobachtungsphase und den Verschluss vorlegen. Das Departement schreibt die Dauer der Beobachtungsphase vor. Der Bundesrat ordnet nach Ablauf der Beobachtungsphase den Verschluss an, sofern die Sicherheit von Mensch und Umwelt gewährleistet werden kann. Er legt die Kriterien fest, um den Schutz des Tiefenlagers vor Eingriffen zu schützen. Die Kantone sind dafür besorgt, dass der Schutzbereich im Richt- und Nutzungsplan eingetragen wird. Das Tiefenlager muss dauerhaft markiert sein.

4. Vier Zukunftsbilder

Wie in Kapitel 2 erläutert, bezieht sich die Fallschirmmethode auf verschiedene Zustände in der Zukunft. Im vorliegenden Kapitel wird in einem ersten Schritt der zeitliche Horizont der möglichen Zustände des Tiefenlagers („die Zukunft“) aufgezeigt. Danach folgt eine Beschreibung von vier Zukunftsbildern des Tiefenlagers („Bilder“).

4.1. Zeitliche Eingliederung

Das Entsorgungsprogramm der Nagra (2008) sieht folgenden zeitlichen Ablauf der Entsorgung radioaktiver Abfälle vor:

Tabelle 1 Zeitlicher Ablauf Umsetzung Tiefenlager

bis 2018	Festsetzung eines Standortes für das Tiefenlager, Rahmenbewilligung wird erteilt
2034	Leibstadt stellt als letztes AKW den kommerziellen Betrieb ein, die verbrauchten Brennelemente werden in Abklingbecken gelagert. Die vollständige Stilllegung dauert bis 2043
bis 2044	Bewilligung, Bau und Betrieb eines Felslabors am Tiefenlagerstandort
2049	Fertigstellung des geologischen Tiefenlagers
2050 – 2064	Betrieb des Tiefenlagers (Einlagerung der Abfälle, Verfüllen der Stollen, in welchen sich Abfallbehälter befinden, Sicherheitsanalysen und Berichterstattungen)
2065	Rückbau des Zwischenlagers in Würenlingen (Zwilag)
2065 – 2114	50-jährige Überwachungsphase des Tiefenlagers
2112 – 2116	Verschluss des Gesamtlagers und Abbau der Oberflächenanlagen

Zeitlicher Ablauf der Umsetzung des Tiefenlagers (für hochaktive Abfälle) und weitere Meilensteine. Quelle: Nagra (2008), eigene Darstellung

Diese Phasen stellen eine grobe Abschätzung dar: Beispielsweise ist die Länge der Beobachtungsphase nicht im Gesetz (Art. 39 KEG bzw. Art. 68 KEV⁴) vorgeschrieben. Laut Art. 3 der Stilllegungs- und Entsorgungsfondsverordnung soll über den Entsorgungsfonds eine 50 Jahre dauernde Beobachtungsphase finanziert werden können.

⁴ Art. 39 KEG und Art. 68 KEV besagen, dass die Dauer der Beobachtungsphase vom Eigentümer des Tiefenlagers vorgeschlagen werden muss. Der Entscheid der Dauer obliegt aber dem Departement. Der Bundesrat ordnet den Verschluss des Tiefenlagers an, sofern der Schutz von Mensch und Umwelt gewährleistet ist.

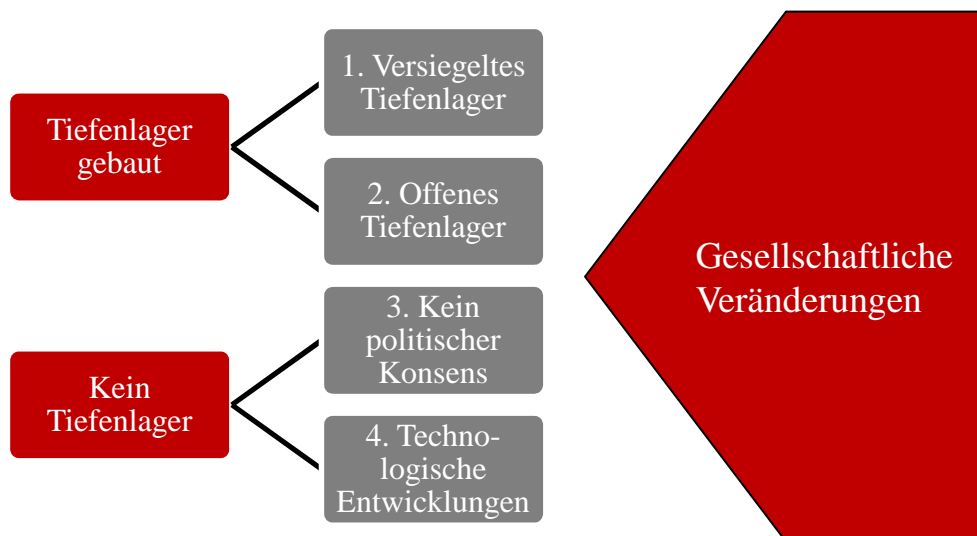
4.2. Die Bilder

Auf Basis des geplanten zeitlichen Ablaufs zur Planung und zum Bau des Tiefenlagers ist es sinnvoll, Überlegungen zur möglichen Situation in 100 Jahren zu machen. Das Tiefenlager kann dann bereits verschlossen sein, denkbar ist jedoch auch, dass das Lager dann noch in der Beobachtungsphase ist. Weiter ist denkbar, dass aus verschiedenen Gründen in 100 Jahren kein Tiefenlager vorhanden ist.

Im folgenden Abschnitt werden die vier Zustände oder Bilder erläutert, welche in der vorliegenden Studie einer genaueren Analyse unter expliziter Berücksichtigung möglicher gesellschaftlicher Veränderungen unterzogen werden. In Abbildung 1 werden die vier Bilder schematisch dargestellt.⁵

Bild 1 und 2 gehen in die Richtung des heute vorgesehenen Entsorgungskonzeptes (Nagra 2008), deshalb wurde auch die Ausgestaltung relativ stark an dieses Konzept angelehnt. Bild 3 und 4 orientieren sich an Diskussionen in den Begleitgruppensitzungen und Expertengesprächen.

Abbildung 1 Schematische Darstellung der vier Zukunftsbilder



Quelle: Eigene Darstellung

⁵ Die Bilder wurden in einer Begleitgruppensitzung festgelegt.

4.2.1. Bild 1: Versiegeltes geologisches Tiefenlager

Das erste Zukunftsbild stellt eine Situation dar, in der die radioaktiven Abfälle fest versiegelt in einem geologischen Tiefenlager eingeschlossen sind. Die Lager- und Zugangsstollen sind verfüllt. An der Oberfläche befinden sich weder Absperrungen noch Gebäude, welche im Zusammenhang mit dem geologischen Tiefenlager stehen (man kann sich beispielsweise eine grüne Wiese mit grasenden Kühen vorstellen). Es ist davon auszugehen, dass das Tiefenlager zumindest an der Oberfläche markiert ist (BFE 2010).

Die Einlagerung ist abgeschlossen, es können keine weiteren Abfälle in dieses Lager gebracht werden. Zwischenlager und Kernkraftwerke sind vollständig rückgebaut worden (der Ausstieg aus der Kernenergie ist vollzogen worden). Es besteht kein weiterer Handlungsbedarf. Zudem ist durch die Lagerung im Untergrund die Strahlung für die Bevölkerung minimiert, auch Berufsleute müssen sich der Strahlung nicht mehr aussetzen.

Sofern sich keine technischen Probleme ergeben, befindet sich das Tiefenlager in einem passiv sicheren Zustand. Eine Überwachung findet höchstens an der Oberfläche statt. Die Rückholbarkeit der Abfälle wäre zwar möglich, stellt aber einen grösseren Aufwand dar.

4.2.2. Bild 2: Tiefenlager in Beobachtungsphase

Im zweiten Zukunftsbild befinden sich die radioaktiven Abfälle ebenfalls in einem geologischen Tiefenlager. Der Unterschied zum ersten Bild besteht darin, dass nicht das gesamte Lager verfüllt ist. Über einen Bauschacht besteht ein offener Zugang zum Kontrollstollen und zum Felslabor. Ein direkter Zugang zu den radioaktiven Abfällen ist aber nicht möglich, da das Pilotlager, das Hauptlager und alle Zugänge zu diesen Lagerteilen verfüllt und versiegelt sind. An der Oberfläche befinden sich weiterhin Gebäude (Kontrollzentrum für die Überwachungsmessungen während der Beobachtungsphase) und Sicherheitsabsperrungen. Rund um die Uhr ist Personal vor Ort, welches Unbefugten den Zutritt verwehrt.

Die Rückholung der radioaktiven Abfälle ist mit relativ geringem Aufwand möglich (da der Bauschacht noch offen ist). Demgegenüber steht aber die Notwendigkeit aktiver Sicherheitsmassnahmen, um den Zugang für Unberechtigte zu verhindern.

4.2.3. Bild 3: Tiefenlager politisch gescheitert

Im dritten Zukunftsbild wurde nie ein Tiefenlager fertiggestellt. Der Bau wurde entweder politisch verhindert oder hinausgezögert. Die radioaktiven Abfälle befinden sich nach wie vor im Zwischenlager. Das Zwischenlager muss geschützt (Personal, Absperrungen, etc.) und unterhalten werden.

Der Ausstieg aus der Kernenergie hat stattgefunden. Die Kernkraftwerke wurden vollständig rückgebaut. Die politische Debatte zur Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle hält weiterhin an.

4.2.4. Bild 4: Kein geologisches Tiefenlager – Technischer Fortschritt

Ein Lager für radioaktive Abfälle ist beim letzten Bild nicht nötig, da diese Abfälle soweit zerlegt werden können, dass die Strahlung nicht mehr oder nur über einen kurzen Zeitraum auftritt, oder vollständig wiederverwertet werden können (im Sinne einer neuartigen, noch unbekanntem Transmutationsmethode⁶ oder anderer, heute noch nicht vorstellbarer Prozesse). Die Abfälle können an der Oberfläche entsorgt oder wiederverwendet werden, daher ist ein Tiefenlager nicht notwendig. Es kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Bild auch die Herstellung von Elektrizität wieder oder weiterhin mit Kernenergie durchgeführt wird. Voraussetzung dieses Zukunftsbildes ist, dass die Gesellschaft in 100 Jahren über entsprechendes Wissen und über entsprechende industrielle Möglichkeiten verfügt.

4.2.5. Nicht gewählte Bilder

Natürlich sind grundsätzlich mehr als die dargestellten vier Bilder denkbar. In den Begleitgruppensitzungen und den Expertengesprächen sind zwei weitere mögliche Bilder thematisiert worden, welche dann jedoch in Absprache mit der Begleitgruppe bewusst nicht in unsere Analyse aufgenommen wurden.

Tiefenlager im Ausland

Verschiedene Expertinnen und Experten haben darauf hingewiesen, dass ein Tiefenlager im Ausland eine weitere Option darstellt. Zusammen mit der Begleitgruppe wurde dieses Bild aber verworfen. Dies einerseits, weil sowohl die nationale wie auch die internationale Gesetzgebung heute eine Lagerung von radioaktiven Abfällen im Ausland nicht vorsieht bzw. explizit untersagt. Weiter ist die grundsätzliche Situation bei einer Lagerung im Ausland vergleichbar mit der im Inland –

⁶ Bei der Transmutation nach heutigen Vorstellungen – auch diese kann technisch noch nicht umgesetzt werden – entstehen Stoffe, welche in einem Tiefenlager untergebracht werden müssten.

somit werden implizit bei den beschriebenen Bildern auch die Themen einer Lagerung im Ausland mitbedacht.

Scheitern der technischen Umsetzung

Neben dem politischen Scheitern des Baus eines Tiefenlagers kann auch die technische Umsetzung Rückschläge erleiden. Zum heutigen Zeitpunkt ist noch nicht jedes technische Detail der Tiefenlagerung geklärt. Die aus diesem Problem resultierende Situation wäre vergleichbar mit dem Bild 3, in dem die Umsetzung politisch verhindert wird: Die Abfälle befinden sich nach wie vor in einem Zwischenlager an der Oberfläche. In den Analysen kann grundsätzlich das Bild 3 analog verwendet werden, weshalb auf eine separate Untersuchung dieses Bildes verzichtet wurde.

4.2.6. Die vier Bilder in der Praxis

Die vier beschriebenen Zustände bzw. Bilder stellen Reinformen von Zuständen dar. Aus diesem Grund bezeichnen wir sie auch bewusst nicht als „Szenarien“, da diese häufig mit einer Kombination verschiedener Entwicklungsausprägungen assoziiert werden.

Die Bilder können auch verschiedene Phasen der Umsetzung des Tiefenlagers darstellen. Bild 2 (Tiefenlager in Beobachtungsphase) wird voraussichtlich von Bild 1 (verschlossenes Tiefenlager) gefolgt werden.

Anzumerken ist noch: Bild 4 soll nicht als Option bzw. mögliche Entwicklung für die Politik gesehen werden, sondern wird eher als Wunschtraum und Ergänzung aufgenommen.

5. Megatrends und künftige gesellschaftliche Entwicklungen

Es gibt eine Reihe von grundlegenden gesellschaftlichen Entwicklungen, über die in der Fachwelt Konsens besteht, dass sie sich auch in Zukunft fortsetzen werden: Die sogenannten Megatrends. Sie können folgendermassen charakterisiert werden: „Megatrends sind langfristige soziale, ökonomische, politische oder technische Veränderungen, die Gesellschaft, Wirtschaft, Politik und Technologie über mehrere Jahrzehnte hinweg strukturell beeinflussen“ (Walker et al. 2012: 11).

Es besteht kein allgemeiner und abschliessender Katalog dieser Megatrends. Im vorliegenden Kapitel werden zentrale Megatrends vorgestellt, die sich entweder direkt auf die Chancen und Risiken eines Tiefenlagers für radioaktive Abfälle auswirken oder künftige gesellschaftliche Entwicklungen beeinflussen, die wiederum einen Einfluss auf die mit einem Tiefenlager einhergehenden Chancen und Risiken haben.

5.1. Ausgewählte Megatrends

Wertewandel

Wertewandel wird in einer Studie der Credit Suisse (2011: 21) definiert als „die Veränderung der gesellschaftlichen und individuellen Normen und Wertvorstellungen“. Es wird beobachtet, dass ein verstärkter Individualismus in der Gesellschaft hervortritt (Hillmann 2003), dies führt teilweise zu einer Vereinsamung (Allesch in Giordano & Patry 2005). Hillmann (2003) vertritt die Meinung, dass Individualismus Konfliktpotentiale hervorruft, da der Mensch beispielsweise vermehrt versucht, Gesetzeslücken zu seinem Vorteil auszunutzen. Die Kombination von grossen Wohlstandsunterschieden und Individualismus, der mit einer starken Selbstbezogenheit assoziiert ist bzw. sein kann, kann schliesslich zu erhöhter Aggressivität führen (Hillmann 2003). Dem in gewisser Weise entgegengesetzt hat sich eine Bevölkerungsgruppe herausgebildet, die ein ausgeprägtes ökologisches und gesundheitsorientiertes Bewusstsein entwickelt hat, die sogenannten LOHAS („Lifestyle of Health and Sustainability“) (Walker et al. 2012).

Technischer Fortschritt in verschiedenen Facetten bis hin zu Science Fiction

Walker et al. (2012) identifizieren die prägenden technischen Fortschritte der kommenden Jahre vor allem in den Bereichen Nano- und Gentechnologie. Die Veränderungen in diesen Bereichen sind vermutlich am schwierigsten vorauszusehen: „Manches, was zum Jahrhundertbeginn noch als Science Fiction galt, ist all-

tägliche Selbstverständlichkeit geworden“ (Walker et al. 2012: 26). Was ebenfalls in den Bereich des technologischen Fortschritts fällt, ist das vermehrte Recycling von verschiedensten Materialien aus (knappen) Rohstoffen (Walker et al. 2012). Demgegenüber ist nicht auszuschliessen, dass sich ein starker Gegentrend entwickelt und sich technikfeindliche Gruppierungen bilden (Walker et al. 2012). Diese Divergenz könnte sich in gewaltsamen Konflikten entladen.

Ressourcenverknappung

Die vor allem in Asien voranschreitende wirtschaftliche und demografische Entwicklung und das globale Wachstum führen zu einem Mehrverbrauch von vielen Rohstoffen und natürlichen Ressourcen (Bundeskanzlei 2011). Für die Schweizer Unternehmen stellt die dadurch entstehende Knappheit eine grosse Herausforderung dar (Credit Suisse 2011), insbesondere wenn befürchtet werden muss, dass der freie Marktzugriff auf diese Ressourcen langfristig nicht gesichert ist, da sich die Grossmächte geopolitisch und durch strategische Investitionen ihre Zugriffsoptionen sichern. Auch durch den Klimawandel kann es zu Wasserknappheit und Ernährungskrisen kommen (Bundeskanzlei 2011). Wasser- und Nahrungsmittelknappheit bergen insgesamt ein grosses Konfliktpotential. Andererseits kann die Rohstoffknappheit auch Chancen mit sich bringen: Eine Umfrage der Credit Suisse (2011) kommt zum Schluss, dass Ressourcenknappheit die Innovation fördern kann.

Globalisierung

„Unter Globalisierung versteht man die zunehmende internationale Verflechtung von Wirtschaft, Politik, Kultur, Umwelt und Kommunikation – also nahezu aller Bereiche unseres Daseins.“ (Credit Suisse 2011: 18). In vielen Studien wird davon ausgegangen, dass die Globalisierung weiter anhält. Dies bringt zwar einen verschärften Standortwettbewerb mit sich, kann jedoch auch ein Antrieb für Innovationen sein (Bundeskanzlei 2011, Credit Suisse 2011, Walker et al. 2012). Laut Hillmann (2003) nimmt grundsätzlich der Nationalstolz bei höher entwickelten Gesellschaften eher ab, dadurch wird die Einführung eines supranationalen Staatensystems begünstigt. Walker et al. (2012) betonen allerdings, dass die Globalisierung bei den Personen auch die Suche nach einer starken regionalen Identität hervorruft, also gleichzeitig ein Gegentrend stattfindet. Ausserdem existieren extreme Globalisierungsgegner und Globalisierungsgegnerinnen, welche möglicherweise eine Tendenz zur Aggressivität besitzen (Allesch in Giordano & Patry 2005). Insgesamt kann es sowohl bei Globalisierungs- wie auch bei Regionalisierungsentwicklungen zu Verschiebungen der Entscheidungskompetenzen kommen. Dies

kann bedeuteten, dass eine andere politische Instanz für ein bestimmtes Thema (wie z. B. die Entsorgung radioaktiver Abfälle) zuständig sein wird.

Klimawandel

Durch den Klimawandel und die Erderwärmung werden sich in Zukunft extreme Wetterereignisse wie Temperaturextreme, Starkniederschläge oder Stürme häufen. Auch können längere Trockenperioden eine Folge sein (Walker et al. 2012, OcCC & ProClim 2007).

In einigen Ländern und Gebieten wird dies voraussichtlich zu einer klimabedingten Auswanderung führen. Wahrscheinlich ist, dass die Schweiz als weniger klimaexponiertes Land auch noch in der (fernen) Zukunft ein attraktives Einwanderungsland darstellt (BFS 2010, Bundeskanzlei 2011).

Wissensgesellschaft

Walker et al. (2012) prognostizieren, dass sich ein vierter Sektor – die „Wissensarbeit“ – entwickelt. In diesem Sektor werden Arbeitsprozesse und denkerische Herausforderungen bewältigt, welche in dieser Art erst durch das Internet ermöglicht wurden. Die Herausforderung besteht darin, das vorhandene Wissen effizient und zielgerichtet zu filtern und zur Verfügung zu stellen. Lebenslanges Lernen wird zur Selbstverständlichkeit, der Wissensaustausch immer wichtiger (Credit Suisse 2011).

Demografie, Langlebigkeit

Die Lebenserwartung und das Durchschnittsalter der Bevölkerung steigen stetig an (BFS 2012, Siemens 2007). Demnach wird über die längere Frist der Anteil der Erwerbsbevölkerung an der gesamten Bevölkerung sinken (Credit Suisse 2011). In Kombination mit einer niedrigen Geburtenziffer verändert sich die Struktur der Bevölkerung (Walker et al. 2012). Diese Strukturveränderung beeinflusst die Medizin und auch die Sozialversicherungen (Siemens 2007).

Bevölkerungswachstum

Die Gesamtbevölkerung auf der Welt wächst (BFS 2010). Für die Schweiz hat das BFS (2010) unterschiedliche Szenarien der Bevölkerungszahl bis 2060 entwickelt, welche teilweise eine erhöhte Immigration berücksichtigen. Durch eine einfache Fortschreibung dieser vom BFS erstellten Prognosen lässt sich grob die Bevölkerungszahl für die Schweiz für den Anfang des 22. Jahrhunderts abschätzen. Demnach werden in der Schweiz im Jahr 2112 zwischen 6 und 16 Mio. Menschen le-

ben. In der Schweiz wird man also bei weitem keine Bevölkerungsdichten wie in den grossen Megacities erreichen (BFS 2010, PDWB 2001, eigene Berechnungen).

Urbanisierung

2007 leben weltweit zum ersten Mal überhaupt mehr Menschen in Städten als in ländlichen Gebieten und dieser Trend hält an (Siemens 2007). Verdichtetes Bauen und Megacities sind weltweit die Konsequenz (Walker et al. 2012).

Sicherheitspolitische und geopolitische Megatrends

Walker et al. (2012) machen darauf aufmerksam, dass die Entwicklung in Richtung einer multipolaren Welt geht. Zu nennen ist u. a. die Machtverschiebung von USA / Europa zu den BRIC Staaten.

5.2. Auswirkungen auf Tiefenlagerung

Die in der Literatur beschriebenen Megatrends wirken sich entweder unmittelbar oder indirekt via mögliche induzierte künftige gesellschaftliche Veränderungen auf die Lagerung radioaktiven Abfalls aus. Basierend auf den oben skizzierten Trends und auf die Expertenbefragung können folgende Aspekte, Probleme oder gesellschaftliche Veränderungen identifiziert werden, die für die verschiedenen aufgezeigten Bilder unterschiedliche Risiken und Chancen bedeuten.

Chancen: Technische Entwicklungen und neue Erkenntnisse im Hinblick auf radioaktiven Abfall, alternative Lagerkonzepte.

Risiken: Bürgerkrieg, Terrorismus, gesellschaftliche Zerrüttung, Verlust von Fachwissen, veränderte Einstellung zum Thema, veränderte Zuständigkeiten (Governance Tiefenlager), Prioritätenverschiebung in der Politik, Entscheidungskompetenzen verändern sich, Kriege, Probleme bei der Finanzierung des Tiefenlagers, mangelnde technische Ressourcen, unbeabsichtigtes Eindringen in das Tiefenlager, Nicht-Entdecken eines Lecks beim Tiefenlager / Austritt von Radioaktivität.

Diese Chancen und Risiken werden im folgenden Kapitel für alle vier Bilder bewertet.

Zwei künftige Entwicklungen bzw. Aspekte künftiger Entwicklungen werden in Kapitel 8 gesondert unter ethischen Aspekten beurteilt: erstens finanzielle Aspekte und zweitens die möglichen Beschränkungen der Nutzung des Untergrunds (z. B. für Infrastrukturbauten oder auch im Rahmen der Rohstoffsuche), die mit dem Bau des Tiefenlagers einhergehen.

6. Risiken und Chancen gesellschaftlicher Entwicklungen

Im vorliegenden Kapitel werden gesellschaftliche Entwicklungen aufgezeigt, welche sich einerseits als Chancen, andererseits auch als Risiken für die Gesellschaft und die Umwelt im Zustand der vier Zukunftsbilder auswirken können. Zur vereinfachten Lesbarkeit werden die vier Bilder an dieser Stelle nochmals kurz erläutert:

- Bild 1: Verschlossenes Tiefenlager, verfüllte Lager- und Zugangsstollen
- Bild 2: Tiefenlager in Beobachtungsphase
- Bild 3: kein Tiefenlager (Bau konnte politisch nicht durchgesetzt werden)
- Bild 4: kein Tiefenlager, weil andere technische Lösung zum Umgang mit radioaktiven Abfällen gefunden wurde.

Die Beurteilung der Chancen und Risiken werden als kurze Übersicht in Tabellen mit den Zeichen + für Chancen, – für Risiken und 0 beschrieben. Eine Null bedeutet, dass die Entwicklung bzw. der Trend keinen Einfluss auf dieses Bild hat. Das Ausmass einer Chance oder eines Risikos wird mit Anzahl der Zeichen (1 bis 4) grösser. Die Bedeutung ist folgendermassen:

- + Die gesellschaftliche Veränderung stellt eine geringe Chance dar.
- +++ Die gesellschaftliche Veränderung stellt eine sehr grosse Chance dar.
- Die gesellschaftliche Veränderung stellt ein geringes Risiko dar.
- – – Die gesellschaftliche Veränderung stellt ein sehr grosses Risiko dar.
- 0 Die Chance oder das Risiko ist in diesem Bild nicht relevant.

Als Richtschnur zur Unterscheidung von Chancen und Risiken verwenden wir das normativ-ethische Prinzip, den Handlungsspielraum zukünftiger Generationen möglichst nicht einzuschränken. Entwicklungen oder Ereignisse, die den Spielraum erhalten oder erweitern, etwa Lernprozesse, werden als Chancen gewertet. Entwicklungen oder Ereignisse, die zu einer langfristigen Einschränkung des Spielraums führen, werden als Risiken gewertet. In diesem Kapitel ist dies dahingehend konkretisiert, als dass eine erhöhte Wahrscheinlichkeit, dass Mensch und Umwelt durch radioaktive Strahlung belastet werden, als Risiko gesehen wird. In der in Kapitel 8 unten vorgenommenen ethischen Beurteilung werden die Risiken einer andauernden finanziellen Belastung oder auch Kompetenzverluste thematisiert.

Die vorliegende Analyse stellt einen Zusammenzug der Meinungen der Expertinnen und Experten aus den Fachgesprächen und dem Workshop dar, bei dem möglichst alle Sichtweisen berücksichtigt wurden. Trotzdem ist es möglich, dass ein-

zelne Expertinnen und Experten eine andere Meinung vertreten haben als hier dargestellt.

6.1. Chancen

Technische Entwicklungen und neue Erkenntnisse

Es ist davon auszugehen, dass die Gesellschaft weiterhin in die Forschung investiert. Als Resultat könnten technische Fortschritte erzielt werden, welche ein Tiefenlager sicherer machen können (z. B. noch bessere / sicherere Verpackung der Behälter). Solche neuen Erkenntnisse könnten auch in Tiefenlagern anderer Länder gewonnen werden, in denen (wie heute in Schweden und Finnland) die Umsetzung geologischer Tiefenlager bereits weiter fortgeschritten ist. Darüber hinaus könnte ein Verfahren gefunden werden, welches die Weiterverwendung radioaktiver Abfälle ermöglicht. Von diesen neuen Erkenntnissen kann deutlich mehr bzw. einfacher profitiert werden, wenn sich die Behälter mit den radioaktiven Abfällen noch an der Oberfläche befinden. Sind die Behälter bereits in einem Tiefenlager, ist eine Abwägung nötig, ob die Behälter rückgeholt werden sollen.⁷ Die Rückholbarkeit muss zwar möglich sein (Art. 67 Abs. 2 KEV⁸), es handelt sich aber um einen aufwändigen Prozess, umso mehr, wenn das Lager vollständig verschlossen ist.

Tabelle 2 Chance: Technische Entwicklungen und neue Erkenntnisse

Chance	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Technische Entwicklungen und neue Erkenntnisse	+	++	++++	++++

Alternative Lagerkonzepte

Eine weitere mögliche Chance besteht darin, dass grundsätzlich andere Lagerkonzepte gefunden werden, die für Umwelt und Bevölkerung grössere Sicherheit bieten. Befinden sich die Abfälle jedoch bereits im Tiefenlager, werden sie vermutlich dort belassen – vorausgesetzt, dass kein Austritt von Radioaktivität droht oder bereits erfolgt ist.

⁷ Ein Experte hat darauf hingewiesen, dass neue technische Möglichkeiten auch eine Quelle für weitere Konflikte der Gesellschaft sein könnten – dies umso mehr, wenn wir uns in Bild 1 oder 2 befinden, wo eine Abwägung nötig ist, ob die Abfälle zurückgeholt werden sollen.

⁸ Der Wortlaut in der Verordnung besagt, dass die Rückholung „ohne grossen Aufwand möglich“ sein muss. Nach heutigem Wissen stellt die Rückholung aber eine grössere Herausforderung dar (vgl. auch Abschnitt 8.1.1. „Erschwerte Rückholbarkeit“).

Tabelle 3 *Chance: Alternative Lagerkonzepte*

Chance	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Alternative Lagerkonzepte	+	+	++++	++++

6.2. Risiken

Die im vorliegenden Kapitel aufgezeigten gesellschaftlichen Veränderungen werden isoliert betrachtet und analysiert. Mehrere Veränderungen können aber auch gleichzeitig auftreten, was gewisse Risiken verstärken kann.

6.2.1. Gesellschaftliche Instabilität

Gesellschaftliche Krisen

Unter gesellschaftlichen Krisen werden hier Bürgerkriege und Terrorismus subsumiert. Verschiedene Megatrends (siehe Kapitel 5) können die Entstehung solcher gesellschaftlichen Krisen begünstigen.

Bei Bürgerkriegen besteht die Gefahr, dass ein Tiefenlager (oder Zwischenlager) durch Aktivitäten der verfeindeten Gruppierungen in Mitleidenschaft gezogen wird und unbeabsichtigt Radioaktivität austritt. In einem beschränkten Ausmass besteht auch die Gefahr, dass radioaktive Abfälle entwendet werden, um damit „schmutzige Bomben“ zu bauen. Die Proliferation stellt ein grösseres Risiko dar, wenn die Abfälle an der Oberfläche gelagert werden, als wenn sie bereits in ein Tiefenlager verbracht sind.

Terroristinnen und Terroristen könnten ebenfalls Interesse an den Abfällen für die Herstellung von „schmutzigen Bomben“ haben. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass radioaktives Material an Orten zu finden ist, welche einfacher zugänglich sind als verpackte (bzw. verglaste) Materialien im Zwischenlager oder gar bereits ins Tiefenlager verbrachte Abfälle. Folglich kann gefolgert werden, dass Terroristinnen und Terroristen andere, günstigere Quellen für radioaktives Material als das Zwischenlager oder gar das Tiefenlager wählen würden, sollten sie Interesse an dem Material haben. Für Terroristinnen und Terroristen könnte aber ein Lager radioaktiver Abfälle ein Anschlagziel sein (bspw. Sprengen oder Flüssigkeiten einleiten).

Tabelle 4 Risiko: Gesellschaftliche Krisen

Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Gesellschaftliche Krisen:				
Bürgerkrieg	–	--	---	----
Terrorismus	–	--	---	----

Gesellschaftliche Zerrüttung

Unter gesellschaftlicher Zerrüttung versteht man ein Ereignis, welches die Gesellschaft ganz plötzlich trifft und andere Probleme weit in den Hintergrund rücken lässt. Solche Ereignisse könnten beispielsweise eine verstärkte und anhaltende Klimamigration sein, eine Naturkatastrophe, eine Grippewelle, eine Nahrungsmittelkrise oder auch ein längerer Ausfall kritischer Infrastrukturen wie z. B. der Stromversorgung. Die Frage stellt sich, ob die Abfälle auch in einem Zustand der gesellschaftlichen Zerrüttung und damit ohne den kontrollierenden Einfluss des Menschen noch weiterhin problemlos gelagert werden können. Wenn die Abfälle, wie in Bild 1, in einem verschlossenen Tiefenlager sind, ist der passive Schutz gewährleistet. Bei den restlichen Bildern kann der aktive Schutz versagen. Durch ungenügenden Unterhalt könnte beispielsweise Wasser in das Lager eintreten. Zudem wäre der Zugriff und das Entwenden von Abfällen einfacher, wenn aufgrund der Zerrüttung nicht genügend Sicherheitspersonal vor Ort ist.

Tabelle 5 Risiko: Gesellschaftliche Zerrüttung

Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Gesellschaftliche Zerrüttung	0	--	---	----

Verlust von Fachwissen

Eine Seuche oder Epidemie könnte einen Grossteil der Menschheit auslöschen, wobei das menschliche Wissen um Jahrzehnte oder sogar Jahrhunderte zurückgeworfen würde. Aber das für den Umgang mit radioaktiven Abfällen benötigte Fachwissen kann auch durch einen schleichenden Prozess verloren gehen, etwa wenn die Ausbildung im Kernphysik nach dem Ausstieg aus der Kernenergie deutlich an Attraktivität verliert. Ein Verlust dieses Wissens stellt für die Mehrheit der Bilder ein Risiko dar, insbesondere beim Umgang mit den Behältern oder im Falle von auffälligen Werten bei den Messungen. Zudem müssen Planung, Bau oder Verfüllung des Lagers fachlich sichergestellt werden (Bild 2). Möglicherweise sind

im Ausland noch Expertinnen und Experten verfügbar (in Ländern, in denen noch eine aktive Atomwirtschaft besteht). Wenn im Ausland die Fachleute ebenfalls fehlen, dauert es rund 15 Jahre, bis das benötigte Wissen wieder im Inland aufgebaut ist.

Tabelle 6 Risiko: Verlust von Fachwissen

Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Verlust von Fachwissen	0	–	---	---

Einstellung zum Thema ändert sich

Heute sind sich die meisten Personen bewusst, dass radioaktive Abfälle gefährlich sind. Durch Ereignisse (atomare Unfälle) kann sich die Einstellung der Gesellschaft ändern. Beispielsweise hat der Unfall in Fukushima eine deutlich stärkere Ablehnung der Kernenergie hervorgerufen. Denkbar ist aber auch, dass ein atomarer Unfall eine Reduktion des Gefahrenbewusstseins auslöst, wenn z. B. nach einem Reaktorunfall (z. B. wegen günstiger Windverhältnisse) die radioaktive Ver-seuchung weniger stark ist als zunächst befürchtet. So könnte die Meinung entstehen, dass die Gefahr bisher überschätzt wurde – und der Umgang mit radioaktiven Abfällen könnte künftig sorgloser werden.

Aufgrund der allgemeinen technischen Entwicklung könnte in der Bevölkerung auch eine „Illusion der Unverwundbarkeit“ entstehen: Man sorgt sich nicht mehr um die technische Umsetzung und Machbarkeit bei der Begrenzung von Risiken. Dies könnte eine Nachlässigkeit mit sich bringen, beispielsweise bei der Erstellung des Lagers, Überwachung an der Oberfläche oder bei der Markierung. Ebenfalls besteht die Gefahr, dass man versucht, die Abfälle zu vergessen und das Problem verdrängt. Letztere Entwicklungen sind auch bei Bild 1 möglich, da künftige Generationen sich entschliessen könnten, die Messungen an der Oberfläche aufzugeben – und zwar auch in Situationen (z. B. bei einem Unfall), die aus heutiger Sicht Messungen vorsehen.

Tabelle 7 Risiko: Einstellung der Bevölkerung zum Thema

Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Einstellung zum Thema	--	–	---	---

6.2.2. Veränderte Rahmenbedingungen

Die Gesellschaft bewegt sich innerhalb bestimmter Rahmenbedingungen, welche durch die Politik und die Wirtschaft gegeben werden. Diese Rahmenbedingungen können sich im zu betrachtenden Zeithorizont massgebend ändern bzw. geändert haben. Im Folgenden werden mögliche Veränderungen aufgezeigt.

Politische Risiken

Es besteht eine Reihe politischer Rahmenbedingungen, welche sich auf die Bilder eines Tiefenlagers auswirken können. Zu diesen Rahmenbedingungen zählen:

- **Politische Zuständigkeit / Governance:** Wie bereits beim Megatrend „Globalisierung“ festgestellt (siehe Kapitel 5), besteht eine Tendenz, die Entscheidungskompetenzen auf übergeordnete, interregionale oder globale Instanzen zu übertragen. Eine solche Übertragung der Kompetenzen im Hinblick auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle kann dazu führen, dass das Thema nicht mehr prioritär bzw. mit der notwendigen Sorgfalt betreut wird.
- **Politische Prioritäten:** Die Politik beschäftigt sich zwar auch mit langfristigen Themen, wie bspw. dem radioaktiven Abfall. Ein grosser Teil der Aufgaben wird aber durch das aktuelle Geschehen bestimmt. Dominiert nun also plötzlich ein akuteres Thema die politische Diskussion, treten längerfristige Probleme in den Hintergrund und es besteht die Gefahr, dass sie dauerhaft von der politischen Agenda verdrängt werden.
- **Entscheidungskompetenz:** Einige Expertinnen und Experten legten Wert auf die Feststellung, dass die Entscheidungskompetenz im Energiesektor (inkl. der Entsorgung radioaktiver Abfälle) künftig ganz bei privaten Firmen liegen könnte. Kurzfristige geschäftliche Interessen könnten dazu führen, nicht eine sichere, sondern eine möglichst billige Lösung für die Entsorgung radioaktiver Abfälle zu suchen.
- **Krieg:** Es gibt nur wenige Länder, in denen es in den vergangenen 100 Jahren keinen Krieg gab. Im Kriegsfall bestehen einerseits ähnliche Risiken wie beim Terrorismus (Proliferation, radioaktive Abfälle als Angriffsziel), zudem sind weitere Risiken denkbar wie Bombentests, welche in der Nähe des Tiefenlagers durchgeführt werden. Darüber hinaus ist es fraglich, inwiefern der Unterhalt eines Lagers (Tiefenlager oder Zwischenlager) während eines Krieges aufrecht erhalten werden kann. Je länger der Krieg dauert, umso schwieriger ist die Aufrechterhaltung des Lagers.

Tabelle 8 Risiko: Politische Risiken

Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Politische Risiken:				
Zuständigkeit	0	–	---	–
Prioritätenverschiebung	0	--	----	----
Entscheidungskompetenz	0	--	----	----
Krieg	–	--	----	----

Risiken, die aus gesellschaftlicher Instabilität resultieren, sind bei einer Situation ohne Tiefenlager als deutlich grösser einzuschätzen als wenn die radioaktiven Abfälle in ein Tiefenlager verbracht wurden. Das geringste Risiko stellt gesellschaftliche Instabilität dar, wenn das Tiefenlager verschlossen ist.

Ökonomische Risiken

Auch von ökonomischer Seite her können Risiken für die vier Bilder entstehen.

Ein ausführlich diskutiertes Thema stellt die Finanzierung der Lagerung radioaktiver Abfälle dar. Auch bei den Megatrends wurden die finanziellen Mittel bereits aufgegriffen (siehe Kapitel 5). Je nach Bild könnte das Fehlen ausreichender finanzieller Ressourcen für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle grössere Risiken darstellen. Mangelnde finanzielle Mittel können ein Resultat der Rendite der im Entsorgungsfonds vorhandenen Gelder sein (wenn die erwirtschaftete Rendite viel tiefer als erwartet ist). Sollte der Bau eines Tiefenlagers noch nicht begonnen haben (Bild 3), dann ist denkbar, dass das Fehlen ausreichender finanzieller Mittel auch künftig den Bau eines Tiefenlagers verunmöglicht. In Bild 2 können Unterhalt und Überwachung eventuell nicht länger aufrechterhalten werden und die Verfüllung kann nicht wie geplant ausgeführt werden. Tatsächlich ist aus heutiger Sicht noch unklar, wie die Finanzierung einer Weiterführung der Beobachtung und Kontrolle nach 50 Jahren gewährleistet werden kann⁹. Bei Bild 4, in dem dann je nach Technologie auch weiterhin neue Abfälle produziert werden, kann die Umwandlung oder Wiederverwertung bei fehlenden finanziellen Ressourcen eventuell nicht mehr sichergestellt werden.

Ein weiteres ökonomisches Risiko kann durch fehlende technische Ressourcen verursacht werden. Die Betreiber eines Tiefenlagers sind abhängig von Zulieferern für Ersatzteile, welche für den Unterhalt der Anlage notwendig sind: Kann ein

⁹ Wie in Kapitel 3 erwähnt, ist mit dem Entsorgungsfonds eine 50 Jahre dauernde Beobachtungsphase abgedeckt.

Wassereintritt in die Stollen nicht mehr verhindert werden, weil beispielsweise Dichtungen fehlen, führt dies vermutlich zu einer schnelleren Korrosion der Behälter. Aufgrund ökonomischer Entwicklungen kann die Zulieferindustrie verschwinden oder die Herstellung der Ersatzteile kann sich extrem verteuern.

Bei Bild 4 entsteht das akuteste Sicherheitsrisiko: Wenn der Wiederverwertungszyklus oder die Umwandlung unterbrochen werden und weiterhin Kernkraftwerke in Betrieb sind, wächst die Menge der radioaktiven Abfälle ständig weiter an.

Tabelle 9 Risiko: Ökonomische Risiken

Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Ökonomische Risiken:				
Finanzierung	0	--	---	----
Fehlende technische Ressourcen	0	--	---	----

6.2.3. Vergessen

Verschiedene Quellen weisen darauf hin, dass ein Tiefenlager, wenn es einmal verschlossen ist (also nur Bild 1), in Vergessenheit geraten kann (Carboneras 2001, SKB 2010). Dies würde bedeuten, dass die Markierung versagt hat (BFE 2010). Die Risiken, welche durch diese Situation erzeugt werden, gehen in zwei Richtungen: a) unbeabsichtigtes Eindringen in das Tiefenlager und b) Austritt von Radioaktivität, ohne dass die Ursache gefunden werden kann.

Unbeabsichtigtes Eindringen

In der Literatur (Carboneras 2001, SKB 2010) wird die Gefahr vor allem in einem unbeabsichtigten Eindringen gesehen: Aufgrund der Rohstoffknappheit (siehe Kapitel 5) könnte bei Bodenuntersuchungen bzw. bei der Rohstoffförderung das Tiefenlager touchiert oder beschädigt werden.

Nicht-Entdecken eines Lecks

Die Expertinnen und Experten, welche im Rahmen dieses Projekts befragt wurden, sahen die Gefahr eher bei einem Unfall im Tiefenlager. Je länger es dauert, bis die Ursache gefunden wird, desto mehr Radioaktivität kann austreten und möglicherweise das Grundwasser kontaminieren.

Tabelle 10 Risiko: Vergessen

Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Vergessen:				
Unbeabsichtigtes Eindringen	---	0	0	0
Nicht-Entdecken eines Lecks	---	0	0	0

6.3. Kurzfazit Risiken und Chancen

Tabelle 11 zeigt die diskutierten Chancen- und Risikoausprägungen im Überblick.

Tabelle 11 Übersicht Chancen und Risiken

Chance / Risiko	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
Technische Entwicklungen und neue Erkenntnisse	+	++	++++	++++
Alternative Lagerkonzepte	+	+	++++	++++
Bürgerkrieg	-	--	---	---
Terrorismus	-	--	---	---
Gesellschaftliche Zerrüttung	0	--	---	---
Verlust von Fachwissen	0	-	---	---
Einstellung zum Thema	--	-	---	---
Zuständigkeit	0	-	--	-
Prioritätenverschiebung	0	--	---	---
Entscheidungskompetenz	0	--	---	---
Krieg	-	--	---	---
Finanzierung	0	--	---	---
Fehlende technische Ressourcen	0	--	---	---
Unbeabsichtigtes Eindringen	---	0	0	0
Nicht-Entdecken eines Lecks	---	0	0	0

In Tabelle 12 und Tabelle 13 werden die Ausprägungen des Ausmasses der Chancen und Risiken für die vier Bilder summarisch dargestellt.

Chancen

Insgesamt konnten zwei Chancen identifiziert werden, welche man sich in erster Linie aus Investitionen in die Technik erhofft. Tabelle 12 bietet eine Übersicht über die Anzahl Nennungen des Ausmasses beider Chancen.

Tabelle 12 Chancen für die 4 Bilder in der Übersicht: Anzahl Ausprägungen

	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
+	2	1		
++		1		
+++				
++++			2	2

Bezüglich Ausmass der Chancen überwiegen die Bilder 3 und 4, da die direkte Verfügbarkeit der radioaktiven Abfälle deutlich höher ist als bei der Lagerung in einem geologischen Tiefenlager (Bilder 1 und 2). Bild 1 bietet die geringsten Chancen.

Risiken

Die Summe des Ausmasses der Risiken wird in Tabelle 13 dargestellt. Die Gesamtzahl innerhalb eines Bildes widerspiegelt die Anzahl relevanter Risiken aufgrund gesellschaftlicher Veränderungen für dieses Bild.

Tabelle 13 Risiken für die 4 Bilder in der Übersicht: Anzahl Ausprägungen

	Bild 1	Bild 2	Bild 3	Bild 4
-	3	3		1
--	1	8	1	
---	2		10	8
----				2

Die Chancen- und Risikoausprägungen werden bewusst nicht addiert, weil es sich um eine qualitative Betrachtung handelt und nicht vorausgesetzt werden kann, dass zwischen den verschiedenen Stufen der gleiche Abstand besteht. Eine Quantifizierung der Chancen und Risiken ist aufgrund der hohen Unsicherheit, die in der Natur solcher Zukunftsbetrachtungen liegt, nicht auf seriöse Weise möglich.

7. Wie gelangt man zu den vier Bildern?

Im vorliegenden Kapitel wird analysiert, wie es zu den vier im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Bildern kommen könnte. Im Fokus steht also der Zeitraum von heute bis in ca. 100 Jahren.

In einem ersten Schritt werden mehr oder weniger plausible Entwicklungen dargelegt, die schliesslich zum Erreichen des entsprechenden Bildes führen können. Im zweiten Schritt wird hingegen diskutiert, welche „Wild Cards“ die vorab skizzierten Entwicklungen wiederum verunmöglichen würden. Die Zukunftsforschung benutzt den Begriff „Wild Cards“ für Ereignisse, deren Auftreten eine sehr niedrige Wahrscheinlichkeit aufweist, wenn sie jedoch eintreten den Laufe der Dinge völlig ändern. Anzumerken bleibt, dass die Einschätzung, ob es sich bei den Wild Cards um Ereignisse mit niedriger Wahrscheinlichkeit handelt, durchaus umstritten sein kann.

Viele Ereignisse, welche die Entwicklung zu einem bestimmten Bild stark begünstigen, verhindern natürlich gleichzeitig das Eintreten der restlichen Bilder. Ereignisse dieser Art wurden nur bei dem Bild erwähnt, welches dadurch begünstigt wird.

Es wird bewusst darauf verzichtet, die Wahrscheinlichkeit des Eintritts der vier Bilder abzuschätzen.

7.1. Bild 1 (versiegeltes Tiefenlager)

Entwicklungen, die zu Bild 1 führen können

Folgende Entwicklungen können zu Bild 1 führen:

Es stellt sich ein gesellschaftlicher Konsens ein, wonach ein verschlossenes Tiefenlager die sicherste Lösung für die Lagerung des radioaktiven Abfalls ist. Möglicherweise hat zu diesem Konsens die Erkenntnis beigetragen, dass die Gesellschaft mit all ihren unvorhersehbaren Entwicklungen und Veränderungen grundsätzlich keine langfristige Garantie für die Sicherheit der radioaktiven Abfälle geben kann und die Wahrscheinlichkeit von grundlegenden Veränderungen im Untergrund sehr viel tiefer ist. Das Problem der sicheren Verwahrung der radioaktiven Abfälle wird gewissermassen von der Gesellschaft an die Geologie übergeben.

Eine Voraussetzung für eine solche Konsensfindung ist vermutlich, dass sich die politische Diskussionsführung von den Polen der klaren Befürworterinnen und Gegner eines Tiefenlagers wegbewegt, hin zur „Mitte“ dieser Diskussion bzw. hin

zur breiten gesellschaftlichen Gruppe, die weit weniger emotional bzgl. des Themas ist und argumentiert.

Eine offene Kommunikation kann dazu beitragen, dass die lokale Bevölkerung das Projekt mitträgt – dies ist auch die Erfahrung aus Belgien und Schweden mit vergleichbaren Projekten (BFE 2009). Insbesondere Personen, die gegenüber dem Tiefenlager ambivalent eingestellt sind, können durch eine entsprechende Kommunikation für das Projekt gewonnen werden (Seidl. et al. 2011).

Darüber hinaus bedingt Bild 1 die finanziellen Mittel zur Planung und zum Bau des Tiefenlagers, Bild 1 bedingt also einen gewissen Wohlstand, den die Gesellschaft in den kommenden Jahrzehnten geniesst. Fundamentale gesellschaftliche Veränderungen, ökonomischer Niedergang oder gar eine völlige Deindustrialisierung würden hingegen Bild 1 eher verunmöglichen.

Alternativ zum aufgezeigten Weg der Konsensfindung können jedoch auch Probleme gesellschaftlicher, politischer oder klimatischer Natur in den Fokus treten, welche ein rasches Verschiessen des Tiefenlagers nötig machen und so den Weg zu Bild 1 ebnen, vorausgesetzt natürlich, dass das Tiefenlager überhaupt gebaut wird.

Keine Einigkeit besteht unter den involvierten Expertinnen und Experten in der Frage, ob ein Ausstieg aus der Kernenergie für das Erreichen von Bild 1 zwingend ist.

Wild Cards, die Bild 1 verhindern

Es gibt eine Reihe mit geringer Wahrscheinlichkeit eintretende Ereignisse, welche einen Weg zu Bild 1 schwierig machen oder verunmöglichen können:

- Ein Erdbeben, welches zu Wassereinbrüchen in ein geologisches Tiefenlager im Ausland führt: Ein Tiefenlager in der Schweiz wäre politisch nicht mehr durchsetzbar.
- Eine grosse Naturkatastrophe (Meteoriteneinschlag, Polumkehrung) kann dazu führen, dass sich die Prioritäten völlig ändern und weder Zeit noch Geld in den Bau eines Tiefenlagers investiert werden kann.
- Die Existenz eines Energiekonzerns, welcher die Macht über den Staat und die Gesellschaft ausübt, könnte ebenfalls ein Tiefenlager verhindern (z. B. weil dieser Konzern aus Kostengründen die radioaktiven Abfälle weiterhin in einem Lager an der Oberfläche lagert bzw. dauerhaft entsorgt).
- Kriege könnten den Bau eines Tiefenlagers verhindern.

- Die radioaktiven Abfälle werden (aus heute wenig plausiblen Gründen) als interessantes Forschungsobjekt identifiziert, weswegen von einem Verschluss des Tiefenlagers abgesehen wird.

7.2. Bild 2 (Beobachtungsphase)

Entwicklungen, die zu Bild 2 führen können

Bei Bild 2 stellt sich primär die Frage, warum das Tiefenlager nicht verschlossen worden ist.

Es besteht die Möglichkeit, dass sich die Gesellschaft auf dem Weg zu Bild 1 befindet, aber die Beobachtungsphase noch nicht abgeschlossen hat. Der Entscheid des Verschlusses wird auf Basis der gesammelten Daten in der Beobachtungsphase gefällt.

Ein Wunsch der Gesellschaft, sich alle Optionen offen zu halten, kann daher zu Bild 2 führen. Dies beispielsweise aufgrund von positiven Erwartungen im Hinblick auf weitere technische Entwicklungen und die Erarbeitung eines spezifischen Know-hows, um den Umgang mit radioaktiven Abfällen zu verbessern.

Möglich ist aber auch, dass sich nach dem Bau des Tiefenlagers eine politische Pattsituation einstellt, welche den Verschluss verhindert. Das offene Tiefenlager wäre dann eine demokratiebedingte Kompromisslösung.

Darüber hinaus kann das Tiefenlager offen gelassen werden, um weitere radioaktive Abfälle darin unterzubringen. Dies zum Beispiel, wenn die Kernkraft eine Renaissance erlebt (möglicherweise ausgelöst durch Energieknappheit und/oder aufgrund der durch den Klimawandel ausgelösten Erkenntnis, dass die Nutzung von fossiler Energie deutlich reduziert werden muss). Die dann wieder entstehenden radioaktiven Abfälle würden im bereits gebauten Tiefenlager untergebracht werden, eine Verschliessung würde deshalb nicht erfolgen. Weiter ist denkbar, dass Medizin, Industrie und Forschung weiterhin radioaktive Abfälle produzieren, welche ebenfalls in das bestehende Lager gebracht werden sollen. Schliesslich ist es auch möglich, dass in 100 Jahren Abfälle aus dem Ausland im Tiefenlager in der Schweiz eingelagert werden.

Eine Voraussetzung, um zu Bild 2 zu gelangen, ist die Verfügbarkeit von finanziellen Mitteln (möglicherweise auch generiert durch die weitere Einlagerung von radioaktivem Abfall), da der Betrieb eines halboffenen Lagers grundsätzlich einen gewissen Aufwand generiert. Falls diese finanziellen Mittel nicht verfügbar sind bzw. die für das Tiefenlager geäuften Reserven aufgebraucht sind, würde das

geologische Tiefenlager verschlossen, da dies eine deutlich günstigere Lösung als z. B. eine verlängerte Beobachtungsphase darstellt.

Wild Cards, die Bild 2 verhindern

Wiederum gibt es Ereignisse, welche zwar nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit eintreten, jedoch Bild 2 verhindern würden:

Zunächst sei auf die Wild Cards unter Bild 1 oben verwiesen, die auch Bild 2 verhindern können. Weiter können folgende Wild Cards Bild 2 entgegenwirken:

- Ein Diebstahl von radioaktivem Material aus dem Tiefenlager und ein Einsatz dieses Materials als schmutzige Bombe würden zu einer sofortigen Verschliessung des Lagers führen.
- Eine sich abzeichnende politische, gesellschaftliche oder finanzielle Krise würde dazu führen, dass man das Tiefenlager so schnell wie möglich verschliesst.
- Auswirkungen des Klimawandels, welche für ein offenes Tiefenlager als zu grosse Gefahr erkannt werden, würden ebenfalls zu einem Verschluss führen. Als Beispiele ist hier weniger an höhere Temperaturen oder weniger Niederschlag in der Schweiz zu denken, sondern an unkontrollierbare Flüchtlingsströme, die wiederum die Schweiz zu destabilisieren drohen.
- Die Messungen im Pilotlager weisen auf zu grosse Probleme hin, um das Lager auf diese Weise weiter zu führen. Die Abfälle müssten rückgeholt werden.

7.3. Bild 3 (kein geologisches Tiefenlager, politische Gründe)

Entwicklungen, die zu Bild 3 führen können

Bild 3 geht davon aus, dass ein Tiefenlager politisch nicht umgesetzt werden kann. Dies kann Realität werden, wenn sich die heutigen Positionen der Befürworterinnen und Gegner weiter polarisieren. Es ist vorstellbar, dass eine radikale Gegnerschaft des Tiefenlagers und/oder auch die lokale Bevölkerung nach dem definitiven Standortentscheid starken Widerstand leisten.

Weiter ist auch denkbar, dass die Mehrheit der Bevölkerung das Konzept des Tiefenlagers zum Zeitpunkt einer entsprechenden Volksabstimmung nicht mehr mitträgt. Ein besonderes Ereignis wie z. B. ein Nuklearunfall in einem Kernkraftwerk oder in einem Tiefenlager könnte dazu führen, dass das Tiefenlager von einer Mehrheit der Bevölkerung abgelehnt wird. Nach einem solchen ablehnenden Volksentscheid wäre das Thema möglicherweise für Jahre blockiert, Ermüdungserscheinungen im Hinblick auf die Diskussion um das Thema Tiefenlager wären

vorprogrammiert und es fragt sich, ob, insbesondere auch in Anbetracht des eher kurzfristigen Zeithorizonts der Politik, in den darauffolgenden Jahren oder Jahrzehnten nochmals ein Anlauf zu einer endgültigen Lösung des Problems des nuklearen Abfalls genommen würde.

Eine weitere mögliche Entwicklung, die zu Bild 3 führen kann, ist betrieblicher bzw. technischer Natur: Bei einem Verlust der Dokumentation der im Zwischenlager gelagerten Behältnisse würde die Frage aufgeworfen werden müssen, ob unter diesen Umständen die Behälter in das Tiefenlager verbracht werden dürfen. Der Zeitaufwand für eine Nachdokumentation würde den ganzen Prozess deutlich verzögern und zumindest temporär zu Bild 3 führen.

Weiter stellen einige der in Kapitel 5 skizzierten gesellschaftlichen Veränderungen mögliche Entwicklungen dar, die zu Bild 3 führen können, namentlich:

- Gesellschaftlicher Zusammenbruch bzw. gesellschaftliche Zerrüttung, gesellschaftliche Krisen
- Einstellung der Bevölkerung ändert sich (beispielsweise wird ein Zwischenlager als permanente Lösung akzeptiert)
- Fehlende (technische) Ressourcen
- Verlust von Fachwissen (z. B. durch eine Krise)
- Tiefenlager ist keine politische Priorität mehr, z. B. wegen grosser Probleme aufgrund klimatischer Veränderungen.

Analog dazu gibt es auch eine Reihe technischer Szenarien, die zu Bild 3 führen können:

- Neue geologische Risiken werden entdeckt, diese führen mindestens zu einer Verzögerung, weil neue technische Abklärungen nötig sind.
- Bakterien gelangen in den Prozess: Das technische Konzept muss überdacht werden.
- Es fehlen die Ressourcen zum Bau des Tiefenlagers.

Wild Cards, die Bild 3 verhindern

- Die Schweiz wird zur Diktatur. Die Entscheidungsträgerin oder der Entscheidungsträger setzt das Tiefenlager um oder kauft sich Lagerungsrechte im Ausland.
- Eine Überschwemmung des Zwischenlagers zeigt die Dringlichkeit eines geologischen Tiefenlagers auf.

- Das Kriegsrisiko wird immer grösser und macht eine rasche Tiefenlagerung nötig. Dies würde dann vermutlich in einer Zwischenlösung resultieren und nicht zum bestehenden Tiefenlagerkonzept und Bild 1 führen.

7.4. Bild 4 (kein Tiefenlager – technischer Fortschritt)

Entwicklungen, die zu Bild 4 führen können

Voraussetzungen, um zu Bild 4 zu gelangen, sind technische Entdeckungen für ein Recycling radioaktiver Abfälle oder gar für eine Weiterentwicklung einer Transmutation.

Welche Entwicklungen könnten zu diesem Bild führen? In Anbetracht der Problematik der sicheren Lagerung radioaktiven Abfalls stellt die Gesellschaft, so eine mögliche Entwicklung, umfangreiche finanzielle Mittel für die entsprechende Forschung und Entwicklung zur Verfügung. Auch denkbar ist weiterhin, dass eine derartige Entdeckung zufällig gemacht wird, also ohne sehr umfangreiche Forschungsprogramme.

Eine weitere Voraussetzung für dieses Bild ist, dass die Bevölkerung die radioaktiven Abfälle an der Oberfläche mindestens während einer Übergangsfrist bis zu deren Recycling oder Transmutation akzeptiert.

Eine weitere Entwicklung, die zu Bild 4 führen kann, ist die bereits oben diskutierte mögliche künftige Renaissance der Kernenergie.

Wild Cards, die zur Verhinderung von Bild 4 führen

Da die Wahrscheinlichkeit, dass Bild 4 erreicht wird, sehr klein ist, kann dieses Bild selbst bereits als Wild Card bezeichnet werden. Wild Cards, die Bild 4 verhindern würden, sind hingegen:

- Ein weltweit vollständiger Rückzug aus der Forschung und Produktion der Nukleartechnologie würde Bild 4 verhindern, da für die Entwicklung einer entsprechenden Recyclingtechnologie eine aktive Nuklearindustrie notwendig ist.
- Ein Zusammenbruch der Wirtschaft, welcher die Finanzierung der Forschung unmöglich macht, führt zur gleichen Problematik.

7.5. Wild Card, die jedes Bild verhindert

Es kam auch eine Wild Card zur Sprache, welche alle Bilder verhindern würde: Die Existenz sicherer, effizienter und finanzierbarer Raumfahrten. Diese Wild Card würde es ermöglichen, die radioaktiven Abfälle ausserhalb der Erde sicher zu

entsorgen. Ein Lager in der Schweiz – ob geologisches Tiefenlager oder Zwischenlager – wäre demnach obsolet.

8. Ethische und gesetzgeberische Implikationen

In den Kapiteln 6 und 7 wurden verschiedene Zukunftsbilder und die möglichen Wege dorthin aufgezeigt. Es fragt sich nun: Wie sind diese Bilder aus ethischer Sicht zu beurteilen? Und bestehen die gesetzlichen Voraussetzungen, um diese Bilder auch zu erreichen? Und haben die Analysen der Bilder Chancen und Risiken aufgezeigt, die eine Anpassung der heutigen Gesetzgebung nahelegen?

8.1. Ethische Beurteilung

8.1.1. Spielraum der zukünftigen Generationen

Bei langfristigen Betrachtungen, wie sie für den Umgang mit radioaktiven Abfällen nötig sind, stellt sich das ethische Problem, dass wir Werturteile stellvertretend für zukünftige Generationen fällen müssen, deren Wertesystem wir uns nicht vorstellen können. Einen logischen Ausweg aus diesem Dilemma bildet die sogenannte *Freiraumtheorie*. Diese besagt, dass jene Handlungsalternativen ethisch besser sind, die für die Zukunft grössere Freiräume für Entscheidungen erhalten bzw. schaffen (Beyer 1992).

Es ist aus heutiger Sicht deshalb wünschenswert, dass der Spielraum für die zukünftigen Generationen erhalten bleibt. Ein zentraler Aspekt dabei ist, dass die finanzielle Belastung für zukünftige Generationen möglichst tief gehalten wird. Aber auch die Möglichkeiten eines raschen definitiven Verschlüssens des Tiefenlagers und – falls sich die Abfälle im Tiefenlager befinden – die Rückholbarkeit der Abfälle wird als Spielraum zukünftiger Generationen verstanden (EKRA 2000, OECD/NEA 2001). Diese drei Aspekte der Erhaltung von Handlungsspielraum werden im Folgenden näher diskutiert. An ihnen kann die Wünschbarkeit der Zukunftsbilder „gemessen“ werden, wobei aber nicht der Anspruch erhoben wird, dass sich die Abwägung und Gewichtung dieser drei Kriterien objektiv und quantitativ vornehmen lässt.

Finanzielle Belastung

Die radioaktiven Abfälle werden so lange wie nötig überwacht und kontrolliert. Dafür muss eine Infrastruktur unterhalten werden und auch ständig Personal vor Ort sein. Einerseits geht es darum, bei technischen Problemen einen möglichen Austritt von Radioaktivität frühzeitig zu verhindern, andererseits spielt auch der Schutz der Abfälle vor dem Menschen eine entscheidende Rolle (Stichwort „Proliferation“). Es braucht also sowohl Fachleute für Radioaktivität und Betriebspersonal als auch Sicherheitspersonal. Die grosse Ausnahme bildet ein verschlossenes

Tiefenlager (Bild 1). Möglicherweise findet noch eine Überwachung an der Oberfläche statt, auch diese kann aber eingestellt werden. Die anfallenden Kosten für die Überwachung an der Oberfläche sind deutlich tiefer als die Kosten bei den restlichen Bildern. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Unterhaltskosten.

Beim finanziellen Risiko ist die Prämisse zentral, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Falls in einem Tiefenlager (Bild 1 oder 2) ein Unfall geschieht, sind die Folgekosten für die zukünftigen Generationen möglicherweise sehr hoch, sofern die Abfälle rückgeholt werden müssten.

Reduzierte Handlungsoptionen

Ein weiteres Risiko besteht darin, dass ein Tiefenlager in Konkurrenz steht zu weiteren Aktivitäten oder Bauten im Untergrund. Ökonomisch betrachtet kann dies als Opportunitätskosten und damit als künftige finanzielle Belastung begriffen werden. Konkurrenz im Untergrund kann beispielsweise bestehen durch

- Gas-Sequestrierung
- Tiefenlagerung chemotoxischer Abfälle
- Energiespeicherung im Untergrund
- Geothermieprojekte
- Schiefergasgewinnung
- Infrastrukturbauten im Untergrund wie z. B. die Swissmetro (Swissmetro 1999, Tagesanzeiger 2012, Weidmann et al. 2006)
- Wohnbauten im Untergrund (Lowline 2011, Bild-Zeitung 2011, 2012)

Die Projekte in Konkurrenz werden dabei durch ein Tiefenlager nicht verhindert, aber beispielsweise können erhöhte Transportkosten bestehen, wenn geothermische Energie weiter transportiert werden muss (es besteht genügend Potential schweizweit). Bei weiteren Lagerungen im Untergrund müsste man an andere Orte ausweichen, bei der Swissmetro wäre denkbar, dass eine Station an einem anderen Ort geplant oder eine weitere Kurve gebaut werden muss. Diese Konsequenzen verursachen Zusatzkosten.

Anzumerken ist, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der Untergrund im Bereich des Tiefenlagers in den kommenden 100 Jahren, was der Zeithorizont dieser Studie ist, für Infrastrukturbauten oder Wohnbauten benötigt wird, sehr gering ist. Auch bei einer Verdoppelung der Bevölkerung in der Schweiz (s. Kapitel Megatrends) wird der Bevölkerungsdruck und der Bedarf an Infrastrukturen nicht in einem Masse steigen, dass sich ein eigentliches Ausweichen in den Untergrund abzeichnet.

Kein rascher Verschluss möglich

Um zukünftigen Generationen alle Optionen möglichst offen zu halten, sollte auch ein rasches sicheres Entsorgen der radioaktiven Abfälle möglich sein. Im Falle der Bilder 1 und 2 besteht bereits ein Tiefenlager. Hingegen sind die Abfälle bei den Bildern 3 und 4 weiterhin an der Oberfläche. In den letzteren Bildern wäre der Prozess der Entscheidungsfindung und der Bau des Tiefenlagers noch ausstehend, was einem grossen zeitlichen Aufwand gleichkommt.

Erschwerte Rückholbarkeit

Der letzte Aspekt der Aufrechterhaltung eines möglichst grossen Spielraums für zukünftige Generationen besteht in der Rückholung der Abfälle aus einem geologischen Tiefenlager. Wenn bereits alle Stollen und Zugänge des Tiefenlagers verschlossen sind, gestaltet sich die Rückholbarkeit schwieriger, als wenn ein Teil der Stollen noch offen ist. Wie bereits erwähnt, ist es gesetzlich vorgeschrieben, dass eine Rückholung möglich sein muss (Art. 67 Abs. 2 KEV), die technische Umsetzung ist jedoch noch nicht vollständig geklärt.

Möglichkeit des Lernens

Die Möglichkeit, Chancen, die sich aus einem Lernprozess ergeben, zu nutzen, sinkt mit der erschwerten Rückholbarkeit der radioaktiven Abfälle. Diesbezüglich beinhalten Bilder, bei denen die Rückholbarkeit einfach ist (also primär ohne Tiefenlager) mehr Chancen für künftige Generationen.

8.1.2. Neue ethische Fragestellungen

Trotz der oben angewendeten Freiraumtheorie stellt sich die Frage, ob die ethischen Fragestellungen und Dilemmata sich in Zukunft ändern werden und in welche Richtung die Entwicklung gehen könnte.

Die Ethik stellt eine Lehre dar, welche gleichbleibende oder wiederkehrende Grundfragen kennt (Erhaltung des menschlichen Lebens, Selbstbestimmung, Gerechtigkeit, usw.). Die Grundfragen selber haben sich über die Zeit nicht verändert. Die Moral hingegen, also die gesellschaftliche Praxis als Antwort auf diese Fragen, sieht sich Veränderungen ausgesetzt, welche sich kulturell und geografisch unterschiedlich entwickeln und ausprägen können.

Veränderungen der Moral können die Gewichtung und Auslegung der ethischen Prinzipien ändern, wodurch ein neues ethisches Verständnis entstehen kann. Dies lässt sich an einem Beispiel erläutern:

Die heutige Gesetzgebung sieht vor, dass ein verschlossenes Tiefenlager zu markieren ist (Art. 69 Abs. 3 KEV). Dies, um die Bevölkerung vor den Abfällen zu warnen, damit niemand unbeabsichtigt in das Tiefenlager eindringt. Im Gegensatz dazu könnte man die Meinung vertreten, dass die Markierung auch Neugier weckt, was ein Eindringen in das Tiefenlager wahrscheinlicher macht (S. Ackermann¹⁰). Es könnte in Zukunft durchaus als moralisch richtig und ethisch begründbar gelten, das Tiefenlager nicht zu markieren.

Das zukünftige ethische Verständnis lässt sich nicht prognostizieren, da heute als ethisch richtig betrachtete Entscheidungen und Lösungen in Zukunft als falsch angesehen werden können.

8.2. Gesetzgeberischer Handlungsbedarf?

Im Folgenden wird dargelegt, wie die vier Zukunftsbilder und die Wege dorthin aus Sicht der heutigen Gesetzgebung zu beurteilen sind und ob bzw. inwiefern Anpassungen beim heutigen Gesetz notwendig erscheinen. Dies wird im Folgenden für die verschiedenen Bilder analysiert.

Für die Analyse dieser Fragestellung wurde das Gespräch mit Herrn Werner Bühlmann gesucht, der vor seiner Pensionierung die Rechtsabteilung des BFE geleitet und das Kernenergiegesetz entscheidend mitformuliert hat. Die Konklusionen, die auf Basis dieses Gesprächs erarbeitet wurden, wurden dann in einem weiteren Schritt noch von Herrn Peter Koch vom Rechtsdienst des BFE, gegengelesen.

Bild 1

Dieses Bild entspricht den Vorgaben aus dem Gesetz. Es braucht folglich keinerlei gesetzliche Anpassung.

Bild 2

Grundsätzlich entspricht auch dieses Bild den Vorgaben im Gesetz, zumal im Gesetz die Dauer der Beobachtungsphase nicht festgelegt ist. Es stellt sich jedoch die Frage, ob im Falle einer Krise (z. B. eines Krieges) das Tiefenlager auch kurzfristig verschlossen werden kann. Tatsächlich ist dies möglich, da der Beschluss zum Verschliessen des Tiefenlagers laut dem Gesetz dem Bundesrat obliegt.

¹⁰ Aus Unterlagen, welche im Zusammenhang mit dem Expertengespräch ausgetauscht wurden.

Bilder 3 und 4

Diese Bilder entsprechen nicht dem heute gültigen Gesetz. Wenn eines dieser Bilder in 100 Jahren erreicht werden sollte, dann muss das Gesetz bereits viele Jahre zuvor geändert worden sein: In einer Revision des Kernenergiegesetzes müsste ein neues Entsorgungskonzept gesetzlich verankert worden sein.

Wenn z. B. in zehn Jahren der Bau eines Tiefenlagers durch die Annahme einer entsprechenden Volksinitiative gestoppt und die Verfassung dementsprechend geändert werden sollte, dann müsste in der Konsequenz das Kernenergiegesetz geändert werden.

9. Konklusion

Sich mit der Entsorgung radioaktiver Abfälle auseinanderzusetzen heisst, sich Gedanken über die langfristige Zukunft zu machen. In vier Bildern, die die Situation der Lagerung radioaktiver Abfälle ca. im Jahr 2112 (also in 100 Jahren) darstellen, wurde das Spektrum der heute vorstellbaren Möglichkeiten des Umgangs mit radioaktiven Abfällen weitgehend abgedeckt.

Die Bilder 1 und 2 zeigen einen Zustand mit einem Tiefenlager (Bild 1: verschlossen, Bild 2: offen bzw. Beobachtungsphase). In den Bildern 3 und 4 gibt es kein Tiefenlager, in Bild 3 aus politischen Gründen, in Bild 4, weil andere technische Lösungen gefunden wurden; das Bild 4 stellt tatsächlich aus heutiger Sicht einen Zukunftstraum dar.

Für die vier Bilder wurden sodann Risiken und Chancen unter Berücksichtigung möglicher künftiger gesellschaftlicher Entwicklungen beurteilt. Ohne Tiefenlager (Bilder 3 und 4) besteht die Chance, künftig von neuen Erkenntnissen bzgl. der Lagerung (oder gar des Recyclings) von radioaktiven Abfällen zu profitieren. Gleichzeitig sind die Ausprägungen der Risiken in diesen Bildern aus heutiger Sicht am grössten. In den kommenden 100 Jahren sind verschiedene gesellschaftliche Entwicklungen denkbar, bei deren Eintritt die mehr oder weniger ungeschützte Lagerung radioaktiver Abfälle an der Oberfläche zum grossen Risiko werden kann, zum Beispiel im Falle eines Bürgerkriegs, eines terroristischen Anschlages oder bei Verlust von Fachwissen.

Die Chancen- und Risikoausprägungen der einzelnen Bilder wurden in vorliegender Studie bewusst nicht addiert, weil es sich um eine qualitative Betrachtung handelt. Eine Quantifizierung der Chancen und Risiken ist aufgrund der hohen Unsicherheit, die in der Natur solcher Zukunftsbetrachtungen liegt, nicht auf seriöse Weise möglich.

Die Konsequenzen der verschiedenen Bilder für ethische und gesetzgeberische Fragestellungen können hingegen abgewogen werden. Aus heutiger Sicht ist es ethisch betrachtet wünschenswert, dass der Spielraum für die zukünftigen Generationen erhalten bleibt. Einen Zustand, der aus heutiger technischer Sicht mehr Sicherheit bietet, gibt es jedoch nur um den Preis eines verringerten Handlungsspielraums für zukünftige Generationen. Aus gesetzgeberischer Sicht entsprechen die ersten beiden Bilder dem heute gültigen Gesetz, die Bilder 3 und 4 würden zu einem Handlungsbedarf führen.

Literaturverzeichnis

Ackermann Birbaum, S. (2009): *Kernenergie in der Wechselspannung – Entwicklung der ethischen Argumentation von den 1970ern bis 2009*, Nuklearforum Schweiz, Bern.

Beyer, H.-M. (1992): *Das Vorsorgeprinzip in der Umweltpolitik*, Schriftenreihe Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Bd. 10; Verlag Wissenschaft & Praxis.

BFE (2009): *Sachplan geologische Tiefenlager – Forschungsprojekt „Kommunikation mit der Gesellschaft“: Grundlagen für die Kommunikation in den Standortregionen*, Bundesamt für Energie, Bern/Ittigen.

BFE (2010): *Literaturstudie zum Stand der Markierung von geologischen Tiefenlagern*, Bundesamt für Energie, Bern/Ittigen.

BFE (2012): „Lagerung“, <http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/01274/01280/01286/index.html?lang=de> (zuletzt besucht am 13.12.2012).

BFS (2010): *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2010–2060*, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

BFS (2012): „Bevölkerungsbewegung Indikatoren – Lebenserwartung“, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/06/blank/key/04/04.html> (zuletzt besucht am 29.11.2012).

Bild-Zeitung (2011): „Ein Wolkenkratzer, der in die Erde wächst“, <http://www.bild.de/reise/traumreisen/architektur-der-zukunft/mexiko-stadt-earthscraper-wolkenkratzer-in-der-erde-20457784.bild.html> (zuletzt besucht am 02.07.2012).

Bild-Zeitung (2012): „China baut unterirdisches Luxus-Hotel im Steinbruch“, <http://www.bild.de/reise/hotels/hotel/unterirdisch-hotel-china-hoehle-23160474.bild.html> (zuletzt besucht am 02.07.2012).

BMU (2003): *Ethische Aspekte bei der Endlagerung radioaktiver Stoffe*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn.

Bundeskanzlei (2011): *Perspektiven 2025 – Lage- und Umfeldanalyse sowie Herausforderungen für die Bundespolitik*, Bundeskanzlei, Bern.

Carboneras, P. (2001): *The Definition of Commonly Agreed Stylized Human Intrusion Scenarios for Use in the Long Term Safety Assessments of Radioactive Waste Disposal Systems*, in IAEA: Issues relating to safety standards on the geological

disposal of radioactive waste Proceedings of a specialists meeting held in Vienna, 18–22 June 2001: 169–181.

Credit Suisse (2011): *Megatrends – Chancen und Risiken für KMU (Schwerpunkt 2011: Innovation)*, Credit Suisse Economic Research, Zürich.

EKRA (2000): *Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (Schlussbericht)*, im Auftrag des UVEK.

Gabler Wirtschaftslexikon: „Ethik“, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/2794/ethik-v8.html>; „Moral“, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/6468/moral-v6.html> (zuletzt besucht am 08.12.2012).

Giordano, C. und J.-L. Patry (2005): *Wertkonflikte und Wertewandel – Eine pluri-disziplinäre Begegnung*, LIT Verlag, Münster.

Hillmann, K.-H. (2003): *Wertewandel – Ursachen, Tendenzen, Folgen*, Carolus, Würzburg.

Hilty, L., S. Behrendt, M. Binswanger, A. Bruinink, L. Erdmann, J. Fröhlich, A. Köhler, N. Kuster, C. Som und F. Würtenberger (2003): *Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft – Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt*, TA-Swiss, Bern.

IAEA (1995): “The Principles of Radioactive Waste Management”, *Safety Series No. 111-F*, International Atomic Energy Agency (IAEA), Wien.

IAEA (2012): “Member States of the IAEA”, <http://www.iaea.org> (zuletzt besucht am 04.12.2012).

Kolbert, E. (2009): “Hosed – Is there a quick fix for the climate?”, *New Yorker*, http://www.newyorker.com/arts/critics/books/2009/11/16/091116crbo_books_kolbert (zuletzt besucht am 29.11.2012).

Lowline (2011): The Lowline, <http://thelowline.org> (zuletzt besucht am 15.12.2012).

Nagra (2008): *Technischer Bericht 08-01 – Entsorgungsprogramm 2008 der Entsorgungspflichtigen*, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra), Wettingen.

OcCC und ProClim (2007): *Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*, OcCC / ProClim, Bern.

OECD/NEA (2001): *Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste: Reflections at the International Level*, Paris.

PDWB (2001): „Die Länder der Erde nach Bevölkerungsdichte“, <http://www.pdwb.de/dichtgru.htm> (zuletzt besucht am 21.06.2012).

Seidl, R., C. Moser, P. Krütli und M. Stauffacher (2011): *Werthaltungen und Meinungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle*, Institute for Environmental Decisions IED und Natural and Social Science Interface NSSI, Zürich.

Siemens (2007): *Globale Megatrends und ihre Wachstumschance – Die Welt von morgen gemeinsam gestalten*, Siemens Schweiz AG.

SKB (2010): *Handling of future human actions in the safety assessment SR-Site*, Technical Report TR-10-53, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.

Som, C., L. M. Hilty und A. R. Köhler (2009): “The Precautionary Principle as a Framework for a Sustainable Information Society”, *Journal of Business and Ethics*, Vol. 85: 493-505.

Streffer, C., C. F. Gethmann, G. Kamp, W. Kröger, E. Rehbinder, O. Renn und K.-J. Röhlig (2011): *Radioactive Waste – Technical and Normative Aspects of its Disposal*, Ethics of Science and Technology Assessment Vol. 38. Springer.

Swissmetro (1999): *Hauptstudie 94-98*, Chur.

Tagesanzeiger (2012): „Neuer Anlauf für die Swissmetro“, *Tagesanzeiger* vom 05.03.2012, <http://www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/Neuer-Anlauf-fuer-die-Swissmetro/story/31835463> (zuletzt besucht am 19.06.2012).

Walker, A. M., T. Steiner, J. Cachelin, R. Höin und P. Keller (2012): *Die Zukunft der akustischen Landschaft Schweiz – eine Analyse von langfristigen Megatrends*, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

Weidmann, U., S. Buchmueller, M. Rieder, A. Nash und A. Erath (2006): *Europäische Marktstudie für das System Swissmetro*, Kurzfassung, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

WOZ (2010): *Der Berg tut nie, was man von ihm erwartet*, Die Wochenzeitung Nr. 10/2010 vom 11.03.2010.

Anhang A

Risiken und Chancen, die nicht von gesellschaftlichen Veränderungen ausgehen

Im Verlauf der Arbeit, in erster Linie beim Workshop, wurden verschiedene Chancen und Risiken aufgegriffen, welche von den Bildern selber ausgehen und nicht auf gesellschaftlichen Veränderungen basieren. Die Chancen und Risiken werden hier der Vollständigkeit halber aufgelistet:

Bild 1

Chancen:

- Es handelt sich um eine definitive Lösung ohne weiteren Handlungsbedarf

Risiken:

- Technische Probleme, mit denen man nicht gerechnet hat (biochemische Prozesse zersetzen die Behälter schon früher, allgemeine technische Probleme) führen zu einem enormen finanziellen Mehraufwand
- Bakterien führen zu Rissen im Wirtgestein und zu Wassereintritt (WOZ 2010)

Bild 2

Risiken:

- Der Aufwand, die Abfälle zurückzuholen, ist gross: Die neue Technik ist nicht mehr kompatibel mit den heutigen Gegebenheiten, die Folgekosten bei einem technischen Problem sind daher sehr hoch

Bild 3

Chancen:

- Radioaktive Abfälle können bewusst als Forschungsobjekt genutzt werden

Risiken:

- Klimatische Veränderungen haben starke Auswirkungen auf alles, was an der Oberfläche ist

Bild 4

Chancen:

- Bei den notwendigen Fortschritten zur Erreichung von Bild 4 werden auch die Techniken der KKW massive Fortschritte gemacht haben, welche die bekannten Risiken reduzieren

Risiken:

- Klimatische Veränderungen haben starke Auswirkungen auf alles, was an der Oberfläche ist
- Zu den bekannten Risiken stossen neue unbekannte Risiken durch die neue Technologie

Anhang B

Weitere im Workshop diskutierte Aspekte

Es existieren weitere Aspekte, welche zwar keine gesellschaftlichen Veränderungen betreffen, aber trotzdem in den Expertengespräche wiederholt zur Sprache kamen. Im Folgenden wurden die Aspekte der Relativität der Risiken und die Finanzierung aufgenommen. Weitere Aspekte, welche Chancen und Risiken der Bilder darstellen, sich aber nicht auf das eigentliche Forschungsthema beziehen, befinden sich in Anhang A.

Relativität der Risiken

Tatsächlich existieren grössere Risiken als diejenigen, welche von radioaktiven Abfällen herrühren. Beispielsweise würde eine Atombombe viel mehr Schaden anrichten als ein Unfall in einem Lager radioaktiver Abfälle. Drohen grössere Risiken, können verschiedene gesellschaftliche Veränderungen auftreten (z. B. Einstellung zum Thema ändert sich oder politische Prioritäten verändern sich).

Finanzierung

Es besteht die Meinung, dass die Kosten für den Bau des Lagers und die Kontrollen sicherlich deutlich geringer sind als die Kosten, welche bei einer Havarie entstehen würden. Demnach gilt es abzuwägen, ob durch den Bau des Lagers Unfälle verhindert werden können.

Bei der Frage, aus welchen Quellen gegebenenfalls zusätzliche finanzielle Mittel gewonnen werden können, existieren unterschiedliche Meinungen: Einerseits wird gewünscht, dass die Kosten nach dem „Polluter Pays Principle“ auf den Verursacher abgewälzt werden, auch über die Betriebsphase des Lagers hinaus. Dies würde bedeuten, dass die (dann ehemaligen) Kernkraftwerksbetreiber weiterhin für die Kosten des Tiefenlagers aufkommen. Diese Bürde würde auf die Strombezieher der zukünftigen Generationen abgewälzt. Wenn der Staat für die Lagerung der radioaktiven Abfälle aufkommen müsste, wäre das Verursacherprinzip durchbrochen. Andererseits wird eine internationale Lösung als Alternative vorgeschlagen. Dies kann sowohl in die Richtung gehen, dass man frühzeitig in ein Tiefenlager im Ausland investiert, welches günstiger und sicherer ist, als auch in die Richtung der Einlagerung ausländischer Abfälle gegen Gebühr in ein Tiefenlager in der Schweiz. Zusätzlich ist denkbar, dass Verursachern von radioaktiven Abfällen in der Schweiz aus der Industrie und der Forschung, welche auch nach Abschaltung der Kernkraftwerke weiterhin Abfälle produzieren, gegen Gebühr eine weitere Einlagerung gestattet werden kann.

Anhang C

Liste der Teilnehmenden an den Expertengesprächen

Titel	Vorname	Name	Hintergrund	Organisation
	Sibylle	Ackermann Birbaum	Biologin/Theologin	Wiss. Mitarbeiterin Ressort Ethik, Akademien der Wissenschaften
Prof. Dr.	Heinz	Bonfadelli	Sozialpsychologe, Soziologe und Publizistikwissenschaftler	Institut für Publizistikwissenschaft und Medienforschung, Uni Zürich
Dr.	Werner	Bühlmann	Jurist	ENSI-Rat, ehemals BFE
Dr.	Markus	Fritschi	Physiker	Bereichsleiter Lagerprogramme, Öffentlichkeit Nagra
	Diana	Gallego Carrera	Philosophin und Soziologin	Institut für Sozialwissenschaften, Universität Stuttgart
Dr. phil. habil.	Elke	Geenen	Geologin, Soziologin, Psychologin und Geophysikerin	Leiterin ISOKIA, Institut für Sozioökonomische und Kulturelle Internationale Analyse
	Donat	Gubler	Chemiker FH	Abteilungsleiter Chemie/Strahlenschutz, Zwiilag Würenlingen
	Mathis	Güller	Architekt und Stadtplaner	Gründungsmitglied von Güller und Güller
	Marcel	Hänggi	Historiker, Germanist	Journalist
Dr.	Philipp	Hänggi	Ingenieur, Physiker	Swissnuclear
	Matthias	Holenstein	Umweltnaturwissenschaftler	Geschäftsführer Stiftung Risiko-Dialog
Prof. Dr.	Felix	Keller	Soziologe	Assistenzprof. Soziologie
Dr.	Pius	Krütli	Umweltwissenschaftler	Institute for Environmental Decisions
Dr.	Charles	McCombie	Physiker	arius, mcm international (Beratungsunternehmen für die Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle), ehemals Nagra

Titel	Vorname	Name	Hintergrund	Organisation
Dr.	Markus	Meyer	Jurist	Geschäftsführer Forum VERA
Prof. Dr. Dr. h.c.	Ortwin	Renn	Soziologe	Prof. Soziologisches Institut Uni Stuttgart
Prof. Dr.	Frank	Ritz	Psychologe	Hochschule für angewandte Psychologie, Plattform für Sicherheitsmanagement
	Michael	Sailer	Technischer Chemiker	Mitglied der Geschäftsführung des Öko-Instituts e.V., profilierter Atomgegner
Dr. sc. nat.	Reto	Schneider	Biologe	SwissRe Risiken SONAR
Dr.	Gunter	Siddiqi	Geophysiker	BFE Bereichsleiter Forschung Geothermie (und CCS)
Prof. Dr.	Rolf Peter	Sieferle	Historiker	Prof. em. HSG
Prof. Dr.	Michael	Siegrist	Psychologe	Institute for Environmental Decisions
Prof. Dr. Dr. h. c.	Klaus	Stierstadt	Physiker	Prof. em. Ludwig-Max. Uni München
	Sabine	von Stockar	Umweltnaturwissenschaftlerin	Projektleiterin Schweizerische Energiestiftung
Prof. Dr.	Walter	Wildi	Geologe	Institut für Umweltwissenschaft, Uni Genf

Anhang D

Liste der Teilnehmenden am Workshop vom 9. November 2012

Titel	Vorname	Name	Organisation
Dr.	Sergio	Belucci	TA-Swiss
	Simone	Brander	BFE (Leitung Projekt Auftraggeber)
Dr.	Stefan	Brem	BABS
	Jürg	Buri	Schweizerische Energiestiftung
Dr.	Markus	Fritschi	Nagra
	Kim	Giaquinto	B,S,S.
Prof. Dr.	Lorenz	Hilty	EMPA
	Matthias	Holenstein	Stiftung Risiko-Dialog
	Simon	Janele	Basler & Hofmann
Dr.	Wolfram	Kägi	B,S,S. (Leitung Projekt Auftragnehmer)
	Florian	Kasser	Greenpeace
Dr.	Pius	Krütli	Institute for Environmental Decisions, ETHZ
	Pascale	Künzi	BFE
Dr.	Patrick	Kupper	Institut für Technikgeschichte, ETHZ
	David	Liechti	B,S,S.
	Hanspeter	Lienhart	Präsident der Regionalkonferenz Nördlich Lägern
Dr.	Charles	McCombie	arius, mcm-international
Dr.	Markus	Meyer	Forum VERA
	Alain	Quere	SwissRe

Titel	Vorname	Name	Organisation
PD Dr.	Meinert	Rahn	ENSI
Prof. Dr.	Frank	Ritz	Plattform Sicherheitsmanagement
Dr.	Reto	Schneider	SwissRe
Dr.	Andreas	Walker	Walker Strategieberatung (Leitung Workshop)
	Urs	Weidmann	KNS, Axpo
Dr.	Helena	Zemp	Institut für Publizistikwissenschaft und Medienforschung, Universität Zürich