

Soziotechnische Analoga als Erfahrungshintergrund für ein Endlager

Windkraft, Fracking, Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) und das Endlager für hochradioaktive Abfälle im Vergleich

Dörte Themann, Achim Brunnengräber

Zusammenfassung

Die Suche nach einem Endlager in Deutschland ist in ihrer Gesamtheit ein beispielloser Unterfangen. Um zumindest indirektes Erfahrungswissen hinsichtlich möglicher gesellschaftlicher Dynamiken und Herausforderungen im Zusammenhang mit der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle zu erzeugen, stellt sich die Frage, ob ein Vergleich mit ähnlichen Technologien möglich ist. Der folgende Beitrag stellt eine explorative Untersuchung dar, ob die Verpressung von CO₂ in der Erde (CCS), die Extraktion von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten (Fracking) oder auch die Errichtung von Windparks als soziotechnische Analoga betrachtet und Erkenntnisse daraus auf die Endlagerung übertragen werden können. Hierzu werden die vier Energietechnologien, verstanden als soziotechnische Ensembles, anhand eines Kriterienrasters bestehend aus vier zentralen Dimensionen und acht Vergleichskriterien analysiert und in Relation zueinander gesetzt. Die Analyse dieser, im Gegensatz zum Endlagerprojekt weiter fortgeschrittenen Energietechnologien, weist auf einige Dynamiken und Herausforderungen hin, die auch für das Endlager-Ensemble zutreffen können. Diese betreffen etwa Risikowahrnehmungen, Herausforderungen hinsichtlich der Partizipationsverfahren, die Rolle von Narrativen, die hinter den Technologien stehen, und wie diese sich auf bestehende Energiepfade auswirken können oder auch das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Gesellschaft und welche Rolle der kritischen Öffentlichkeit zukommt. Der Ansatz der soziotechnischen Analoga scheint somit sehr vielversprechend, muss aber in zukünftigen Untersuchungen detaillierter beforscht werden.¹

1 Dieser Text ist am Forschungszentrum für Umweltpolitik (FFU) der FU Berlin im Rahmen des Projektes »Konzepte und Maßnahmen zum Umgang mit soziotechnischen Herausforderungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle – SOTEC-radio« entstanden, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) von 2017 bis 2020 gefördert wurde (FK 02E11547C).

Einleitung

Die kriterienbasierte Standortsuche für ein Endlager², in dem hochradioaktive Abfälle so sicher wie möglich untergebracht werden können, ist in der Bundesrepublik Deutschland ein bisher einmaliger Prozess. Die Bestimmung des Standortes Gorleben, bei der vor allem politisches Kalkül eine Rolle spielte, kann nicht als Modell für einen solchen Suchprozess herangezogen werden – außer es wird als politisches Lehrstück angesehen, wie es nicht gehen kann. Der Möglichkeit, Erfahrungswissen zur Endlagerung aus anderen Ländern auf Deutschland zu übertragen, wurde bereits in anderen Kontexten nachgegangen (Brunnengräber 2019; Brunnengräber et al. 2018; Di Nucci et al. 2017). Immer aber zeigten sich auf Grund der unterschiedlichen gesellschaftlichen Kontextbedingungen auch die Grenzen der Übertragbarkeit. Deshalb haben wir methodisch einen anderen Weg gewählt, der uns indirektes Erfahrungswissen zu Dynamiken und Gestaltung eines solchen Endlagersuchprozesses eröffnen soll. Wir suchen nach *socio-technical analogues*; d.h. nach Erkenntnissen, die wir aus sich ähnelnden soziotechnischen Projekten gewinnen und auf die Standortsuche und den Bau eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle übertragen können. Auf diese Weise sollen mögliche Probleme bei der Standortsuche und beim Bau des Endlagers, die an der Schnittstelle von Sozialem und Technischem angesiedelt sind, frühzeitig erkannt werden. Im Idealfall lassen sich durch *socio-technical analogues* entsprechende Maßnahmen gegen zu erwartende Probleme frühzeitig ergreifen.

Insgesamt werden wir drei Energietechnologien³ bzw. Aspekte ihrer jeweiligen Ensembles anhand eines Kriterienrasters analysieren: Windfarmen, Hydraulic Fracturing (Fracking) und Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS). Die Auswahl der Technologien erfolgte aufgrund der Ähnlichkeiten mit einem Endlager entweder hinsichtlich des tiefeingeologischen Eingriffs (wie bei CCS und Fracking) oder der oberirdischen Infrastruktur oder deren Konfliktpotenzialen (wie beim Ausbau erneuerbarer Energien). Solche Technologien können als soziotechnisches Ensemble verstanden werden, in das soziale, politische, ökonomische und technische Dimensionen eingeschrieben sind. Ziel der Analyse ist es, die soziotechnischen Ensembles der drei Energietechnologien genauer zu beschreiben, ihre Entwicklungsdynamiken aus soziotechnischer und gesellschaftspolitischer Perspektive zu erfassen und ihre jeweiligen Vergleichsmerkmale und Verbindungslinien mit dem Endlager kriterienbasiert herauszuarbeiten.

-
- 2 Wir verwenden nachfolgend den gängigen Begriff des Endlagers, wohlweislich, dass dieser politisch konnotiert und unpräzise ist: Manche der Reststoffe strahlen für Millionen von Jahren. Die absolute Sicherheit eines Endlagers kann für einen solch langen Zeitraum nicht garantiert werden. Das Problem wird also nie vollständig und zufriedenstellend gelöst werden können. Ähnliches gilt für den Begriff der Entsorgung. Von den Sorgen über die Reststoffe wird die Menschheit nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nie frei sein.
 - 3 Unter Energietechnologien fassen wir nicht nur Technologien, die der Energiegewinnung dienen, sondern auch diejenigen, die sich unmittelbar aus deren Nutzung ergeben. Dazu gehören etwa CCS oder das Endlager. Wir wollen durch diese Begriffserweiterung verdeutlichen, dass alle Glieder einer Wertschöpfungskette ineinandergreifen bzw. Bestandteil eines soziotechnischen Ensembles sein können.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Zunächst erläutern wir den Begriff des soziotechnischen Ensembles und welche Kriterien zum Vergleich genutzt werden (Kapitel 2). Im Anschluss werden die Energietechnologien kurz vorgestellt (Kapitel 3). Im Hauptteil des Beitrags werden die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede dieser Technologien herausgearbeitet (Kapitel 4). Zum Schluss werden wir die empirischen Ergebnisse mit unseren theoretischen Vorüberlegungen zum soziotechnischen Ensemble abgleichen (Kapitel 5) und darlegen, welche möglichen Implikationen unsere Analyse für das soziotechnische Ensemble des Endlagers hat (Kapitel 6).

Das soziotechnische Ensemble

Wissenschaftliches Wissen ist keineswegs neutral oder apolitisch. Wissen integriert das Soziale und ist gleichzeitig Bestandteil davon. Die gleiche Wechselwirkung lässt sich auch für Technologien feststellen (Jasanoff 2004: 3). Durch das Ineinandergreifen verschiedener technischer, sozialer, politischer und ökonomischer Dimensionen kommt es zwischen dem Sozialen und der Technologie zu einem ko-evolutionären (Markusson et al. 2012) bzw. ko-produktiven (nach Jasanoff 2004) Prozess. Es gibt diverse Ansätze verschiedener Disziplinen, wie und warum sich Technologien gegenüber anderen durchsetzen. Nach Bijker (1995) ergreifen soziale Akteure die Initiative, bilden Netzwerke und stoßen Prozesse der Entscheidungsvorbereitung und -findung über die Entwicklung bestimmter Technologien an. Dadurch bildet sich ein soziotechnisches Regime, das eine Technologie in spezifischer Art und Weise ausformt. Daher müssen auch gesellschaftliche Interessen und Erwartungen ebenso wie Bedeutungszuschreibungen und Diskurse betrachtet werden, wenn die Gründe dafür gesucht werden, warum sich eine bestimmte Technologie durchsetzt. Selten nur handelt es sich dabei um »reine« technologische Innovationen.

Ein zusätzliches Verständnis für die Entwicklungsdynamiken von Technologien bietet das Konzept der Multi-Level Perspektive nach Geels an. Er versteht Transitionen als Resultat eines Zusammenspiels multidimensionaler Entwicklungen auf drei analytischen Ebenen: »niches (the locus of radical innovations), sociotechnical regimes (the locus of established practices and associated rules that enable and constrain incumbent actors in relation to existing systems), and an exogenous socio-technical landscape« (Geels 2014: 23; 2002). Technologien entwickeln sich demzufolge in einem Mehrebenensystem, in dem sowohl kleinteilige Einflussfaktoren an den Rändern als auch die tief verankerten soziotechnischen Paradigmen und Pfade im Zentrum des Systems in die Betrachtung mit einbezogen werden müssen. Ein solches Regime besteht nach Geels aus kulturellen Dimensionen, aus Märkten, Infrastruktur, techno-wissenschaftlichem Wissen, aus Industrie, Politiken und aus Netzwerken (Geels 2002: 1263). Nach Grieshammer und Brohmann ist das *sociotechnical regime* die dominante und vorherrschende Ebene. Denn in solche Regime sind spezifische Machtverhältnisse, der Einfluss bestimmter Institutionen oder unterschiedliche Ressourcenverfügbarkeiten eingeschrieben. Durch dieses Zusammenspiel können konkurrierende Technologien oder inkrementelle Innovationen auf der Regimeebene gefördert, aber umfassende Veränderungen auch verhindert werden. Oft findet die Entwicklung von Visionen oder ra-

dikalen Innovationen in Nischen statt, die das Regime herausfordern. Die Landschaft hingegen stellt übergeordnete Prozesse und Ereignisse dar, welche ebenso wie Nischen einen bestimmten Druck zur Veränderung auf die Regime ausüben können (Grießhammer/Brohmann 2015: 17). Die Landschaft kann aber auch so gestaltet sein, dass Innovationen durch *lock-ins*, Pfadabhängigkeiten (vgl. Isidoro Losada in diesem Sammelband) oder fehlende Exnovation (Heyen 2017) verhindert werden.

Wir ziehen das soziotechnische Ensemble (Bijker 1995: 249) dem Begriff des Systems vor, da dieses die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten, ihren Dynamiken und den von Geels identifizierten Ebenen stärker fokussiert. Das Ensemble-Konzept lässt sich illustrativ wie folgt auf den Umgang mit hochradioaktiven Abfällen beziehen: Auf der Regime-Ebene wird die Kernenergie von machtvollen kollektiven Akteur*innen genutzt, die an der Endlagerung kein Interesse haben. Denn diese ist schwierig in der Realisierung, kostenaufwendig und kann daher zur Delegitimierung der Kernenergie beitragen. In den Nischen haben sich die kritische Öffentlichkeit, zivilgesellschaftliche (Umwelt-)Bewegungen und der Protest gegen die nukleare Energiegewinnung herausgebildet (Brunnengräber/Syrovatka 2016) und mit Nachdruck auf die unerledigte Aufgabe der möglichst sicheren Einlagerung hingewiesen. Akteure aus diesen Nischen bildeten Parteien (Die Grünen) oder trugen das Problem in staatliche Apparate, setzten sich für den Ausstieg aus der Kernenergie und für die Weiterentwicklung erneuerbarer Energietechnologien ein und forderten das Regime heraus. Als soziotechnische Landschaft können wiederum externe Ereignisse wie die Reaktorkatastrophen in Tschernobyl (1986) und Fukushima (2011) angesehen werden. Aber auch technologische Innovationen (etwa Photovoltaik und Windenergie), die auf der Nischen-Ebene entwickelt wurden, haben einen gesellschaftlichen Diskurs hin zu erneuerbaren Energien befeuert (Geels 2002: 1263). Die Dynamiken und Interaktionen, die sich zwischen diesen Ebenen identifizieren lassen, bilden schließlich das soziotechnische Ensemble der Kernenergie. Beim Vergleich der Ensembles unterschiedlicher Energietechnologien spielen folglich nicht nur einzelne Faktoren eine Rolle, sondern die komplexen Wechselwirkungen oder auch deren Kopplung innerhalb dieser Ensembles (Bijker 1995: 250, 1997; Weingart 1994).

Zu welchen Dynamiken und Interaktionen es innerhalb des soziotechnischen Ensembles eines Endlagers kommen kann, möchten wir nun anhand soziotechnischer Analoga untersuchen. Diese Methode eines Vergleichs von *socio-technical analogues*, oder in ihrem Fall *historical analogues*, wurde bereits bei Markusson et al. (2012) zur Analyse der CCS-Technologie angewandt.⁴ Demnach kann ein Vergleich von Analoga nur

4 Markusson et al. (2012) haben versucht, die Wechselwirkungen einzelner Elemente aufzuzeigen. Hierzu haben sie in einem ersten Schritt sozialwissenschaftliche Literatur zu CCS ausgewertet und sieben »Unsicherheiten« (uncertainties) benannt, welche sie mit Blick auf CCS analysieren. Sie nennen: Variety of pathways, safe storage, scaling up and speed up of development and deployment, integration of CCS systems, economic and financial viability, policy, politics and regulation and public acceptance (Markusson et al. 2012: 906). In einem zweiten Schritt identifizierten sie case studies, die historische Analoga für jede dieser Unsicherheiten darstellen. Sie wollten herausfinden, welche politischen Implikationen sich aus der Analyse der Analoga für die CCS-Governance ergeben (Chalmers et al. 2013).

anhand von Kriterien erfolgen, die Reduktion der Komplexität ermöglichen und einen Orientierungsrahmen geben. Markusson et al. nennen folgende Elemente: »(s)ocio-technical systems are therefore conceptualised as clusters of aligned elements, such as technical artefacts, knowledge, markets, regulation, policies, cultural meaning, rules, infrastructure etc.« (2012: 905). An diesen sowie den von Geels (2002) identifizierten Einflussfaktoren innerhalb der Regimeebene orientieren sich auch die Kriterien, die in diesem Beitrag für den Vergleich herangezogen werden.

Um soziotechnische Ensembles beschreiben und schlussendlich miteinander vergleichen zu können, haben wir nach der Sichtung von Fachliteratur zu den jeweiligen Energietechnologien ein Analyseraster gebildet. Wir haben vier zentrale Dimensionen und acht Vergleichskriterien identifiziert, die sich auf unsere vier Energietechnologien gleichermaßen anwenden lassen. Unser Kriterienraster sieht demnach wie folgt aus:

- **Kulturelle Bedeutung:** 1) Ziele, Leitbilder, Visionen; das Narrativ der Technologie, 2) Konflikte (vor allem in Form von Widerstand/Protesten), 3) Akzeptanz
- **Wissen:** 4) Sicherheit, Risikopotenziale und Risikowahrnehmung, 5) Rolle der Wissenschaft
- **Policy und Regulierung:** 6) Partizipation, 7) Schlüsselinstitutionen, Regulationsmechanismen und Märkte
- **Technische Artefakte:** 8) Möglichkeit zur Reversibilität (Rücknahme oder Veränderung von Entscheidungen)

Von Ensembles zu sprechen, bedeutet die Anerkennung komplexer Interaktionen. Damit ist eine große Bandbreite von verschiedenen Einflussfaktoren und Dimensionen in der Entwicklung eines Ensembles verknüpft, von denen hier nur Ausschnitte dargestellt und mittels des Kriterienrasters systematisiert werden können. Entsprechend müssen die hier getroffenen Aussagen in zukünftigen Untersuchungen weiter vertieft werden, um ein umfassenderes Bild der jeweiligen Ensembles und ihres Vergleichs zeichnen zu können.

Vier Energietechnologien im Überblick

In diesem Kapitel werden die vier zu betrachtenden Energietechnologien kurz vorgestellt. Die Auswahl der Technologien folgte – wie oben schon erwähnt – zum einen der Überlegung, dass diese technische Ähnlichkeit mit einem Endlager (bei CCS⁵ und Fracking) oder aber politische Ähnlichkeit hinsichtlich der Intensität der staatlichen Regulierung oder des Protestpotenzials aufweisen (wie bei der Windkraft zum Ausbau erneuerbarer Energien). Zudem stellen alle vier Technologien großinfrastrukturelle Projekte dar, die mit teilweise tiefgreifenden Eingriffen in die Natur, mit Flächenverbräuchen, neuen Infrastrukturen und auch mit Risiken einhergehen. Dementspre-

5 Neben der tiefengeologischen Perspektive wird CCS von kritischen Teilen der Bevölkerung auch stark mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle assoziiert (»Atom Müll 2.0«) oder gar gleichgesetzt (Schulz et al. 2010: 292).

chend rufen Energietechnologien immer auch gesellschaftliche Widerstände hervor, die eine umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung notwendig machen.

Windenergie

Die Windenergie, wie wir sie heute kennen, hat sich in den letzten Jahrzehnten als »technische Umweltinnovation« etabliert (Ohlhorst 2009: 22). Im Gegensatz zu Kern- oder Kohlekraftwerken, die zu zentralistischen Versorgungsstrukturen führten, ist die Windenergie eine dezentral einsetzbare Technologie aus dem Bereich erneuerbarer Energien (Fuchs 2016). Sie hat sich zunächst in Nischen und als Bürgerenergie entwickelt und wird deshalb als demokratischere Form der Energieerzeugung angesehen. Heute wird die Windenergie aber vor allem in großen Windfarmen gewonnen, die gesellschaftlich umkämpft sind und auf zivilgesellschaftlichen Protest stoßen (Di Nucci/Krug 2018). Dennoch ist die Windenergie – neben Photovoltaik und Biomasse – die wichtigste erneuerbare Energiequelle in Deutschland. Bis Ende 2017 wurde weltweit eine Nennleistung von 539.123 MW installiert (Statista 2018a). In Deutschland sind 2018 29.213 Onshore-Energieanlagen am Netz, diese erzeugten eine Leistung von 52.913 MW. Damit hat Deutschland die größte Windleistung in Europa und die drittgrößte weltweit (BWE 2019). Seit 2018 allerdings ist hier der Ausbau der Windenergie an Land durch den EEG-Umstieg auf ein Ausschreibungssystem stark zurückgegangen.

Hydraulic Fracturing

Hydraulic Fracturing oder auch Fracking ist eine Methode, die zur Förderung von Erdöl und Erdgas aus vornehmlich nicht-konventionellen Lagerstätten angewandt wird. Nicht- oder unkonventionell bedeutet unter anderem, dass das Gas oder Öl nicht frei aus dem Bohrloch strömt, sondern herausgepresst werden muss. Praktiziert wurde Fracking in Deutschland bisher vor allem in Niedersachsen. Hier gab es laut UBA drei Fracks zur Förderung von Schiefergas und 325 Fracks zur Förderung von Tight Gas und konventionellen Vorkommen (UBA 2014). Seit 2017 ist in Deutschland Fracking zur Förderung aus unkonventionellen Lagerstätten verboten, da die Methode weiterhin Umwelt- und Gesundheitsrisiken sowie Wissenslücken birgt. Zu wissenschaftlichen Zwecken sind jedoch vier Probebohrungen zugelassen, von denen jedoch bisher keine begonnen wurde (Bundesregierung 2017).⁶ Die weltweit größten Förderer von Erdgas sind die USA und Russland. Beide Länder haben ihre Fördermenge kontinuierlich gesteigert. Russland hat zwischen 2010 und 2017 eine Menge von 610-692 Mrd. Kubikmeter pro Jahr gefördert und die USA hat seine Fördermenge von 2009 mit 593 Mrd. Kubikmeter auf 761 Mrd. Kubikmeter im Jahr 2017 ausgeweitet (Statista 2019a). Die USA ist hierbei mit Abstand der größte Förderer von Gas aus nicht-konventionellen Lagerstätten mit einer Produktionsmenge von 543,6 Mrd. Kubikmeter im Jahr 2014 (Russland:

6 Siehe auch: Bundesrat setzt Fracking-Kommission ein. https://www.deutschlandfunk.de/energie-bundesrat-setzt-fracking-kommission-ein.697.de.html?dram:article_id=419929 (zuletzt geprüft am 26.06.2019).

21,3 Mrd. Kubikmeter 2014) (Statista 2017). Weltweit wurde die Fördermenge von Erdgas stetig von 0,976 Billionen Kubikmeter im Jahr 1970 auf 3,68 Billionen Kubikmeter im Jahr 2017 erhöht (Statista 2019b). Mit dem Ölpreisverfall Anfang 2020 hat sich der Trend der Fördermenge weltweit allerdings deutlich abgeflacht.

Carbon Dioxide Capture and Storage

Mithilfe der Technologien für Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) soll die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre gemindert bzw. der Ausstoß von CO_2 in die Atmosphäre reduziert werden. Anfallendes Kohlenstoffdioxid wird aufgefangen und in unterirdischen Speichern in der Erde verpresst (UBA 2018). Bekannt wurde die Großtechnologie vor allem durch die Berechnungen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), demzufolge das Ziel des Pariser Klimaabkommens (2015) nur noch durch »negative Emissionen« möglich ist (Masson-Delmotte et al. 2018). Inwiefern diese Technologie allerdings tatsächlich im großen Maßstab realisiert werden kann, ist wissenschaftlich umstritten.⁷ Sie gehört zum Bereich des Geo-Engineerings, und befindet sich mit weiteren Technologien aus diesem Bereich noch in der Erprobung. Ob sie einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten können, kann noch nicht zweifelsfrei vorhergesagt werden. Für das UBA ist der Einsatz der CCS-Technologie in Deutschland nicht notwendig, um dessen Klimaschutzziele zu erreichen, vorausgesetzt der Ausbau der erneuerbaren Energien wird weiter vorangetrieben (UBA 2018). International existieren bereits 17 groß-industrielle sich im Betrieb befindende Projekte, darunter 13 Projekte im Sektor der Erdölproduktion, in denen CO_2 aus bspw. industriellen Prozessen aufgefangen und zur Förderung von Erdöl und -gas genutzt wird, um hierdurch abschließend das eingesetzte CO_2 in die ausgeschöpften Erdöllagerstätten zu verpressen.⁸ Durch diese Projekte werden bereits jährlich 27,4 Mio. Tonnen CO_2 in ausgebeuteten Erdöllagerstätten gespeichert. Zudem gibt es vier CCS-Projekte mit einer insgesamten CO_2 -Einspeicherung von 3,7 Mio. t/Jahr, bei denen eine direkte CO_2 -Verpressung erfolgt (Schmidt-Hattenberger 2018: 36). Bekanntes Beispiel ist die CCS-Anlage Sleipner in Norwegen.⁹ Darüber hinaus befinden sich weltweit bereits weitere Anlagen und Projekte in der Planung oder schon im Bau (ebd.).

7 Weitere unausgereifte Technologien mit zum Teil unkalkulierbaren Folgen sind Carbon Dioxide Removal (CDR – Entfernung von Kohlendioxid aus der Atmosphäre) oder Solar Radiation Management (SRM – künstliche Reduzierung der Sonneneinstrahlung), siehe <https://www.boell.de/de/2019/02/1/fuel-fire> (zuletzt geprüft am 19.03.2019).

8 Diese spezifische CCS-Technologie wird »Enhanced Oil Recovery« (EOR) genannt.

9 Siehe auch: <https://www.norway.no/de/germany/norwegen-germany/aktuelles-veranstaltungen/aktuelles/weltweit-erste-co2-lagerstatte-feiert-jubilaum--und-weist-in-die-zukunft/> (zuletzt geprüft am 10.08.2020).

Endlager für hoch radioaktive Abfälle

Laut der World Nuclear Association (WNA) haben sich in den letzten 75 Jahren weltweit mehr als 370.000 Tonnen hochradioaktive Atomabfälle angesammelt.¹⁰ In Deutschland werden nach vorsichtigen Schätzungen etwa 30.000 m³ hochradioaktive Abfälle einzulagern sein (EndKo 2016: 113). Bestandteile dieses Abfalls müssen einige Millionen Jahre von Menschen und der Umwelt isoliert und so sicher wie möglich gelagert werden (so der Bericht des AkEnd 2002, das StandAG 2017 und die EndKo 2016). In Deutschland hat nach dem gescheiterten Versuch in Gorleben, die Standortsuche mit einem neuen Gesetz (dem Standortauswahlgesetz, kurz StandAG) an Fahrt aufgenommen. Das Ziel ist es, bis 2031 einen Standort zu finden, an dem in tiefen geologischen Schichten ein solches Endlager errichtet werden kann (Deep Geological Disposal, DGD). Endlager für schwach und mittel radioaktive Abfälle gibt es weltweit bereits einige. In Deutschland lagern in der Schachthanlage Morsleben¹¹ und in der Schachthanlage Asse II¹² schwach- und mittelfradioaktive Abfälle. Schacht Konrad wird zurzeit zum Endlager für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung umgerüstet; die Schachthanlage Asse II ist einsturzgefährdet und ein Sanierungsfall, weil tägliche 13,5 Kubikmeter Grundwasser in die Schachthanlage eindringen.¹³ Ein Endlager für hochradioaktive Abfälle aus dem Betrieb von KKW ist weltweit aber noch nicht in Betrieb.

Systematischer Vergleich der vier Energietechnologien

Im Folgenden werden die Energietechnologien entlang der oben genannten acht Kriterien miteinander verglichen, um zu prüfen, ob sich aus dem Vergleich Probleme und Maßnahmen ableiten lassen, die für die Standortsuche und den Bau des Endlagers von Bedeutung sein können. Der Vergleich der soziotechnischen Analoga verbleibt hierbei nicht nur auf der empirischen Ebene, sondern weist im Zuge der Analyse einen gewissen Abstraktionsgrad auf, um zu generelleren Aussagen zu gelangen. Als Grundlage für die nachfolgend präsentierten Befunde diente die tabellarische Gegenüberstellung der Energietechnologien, die auf der umfangreichen Analyse von Sekundärliteratur von

10 Siehe: www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx (zuletzt geprüft am 07.12.2018).

11 In die Schachthanlage Morsleben wurde bis 1998 schwach- und mittelfradioaktives Material eingelagert. Es soll nun stillgelegt werden. Siehe: www.endlager-morsleben.de/Morsleben/DE/themen/endlager/endlager_node.html;jsessionid=CBC4390D051D2C21D65CD72B257FF7BD.2_cid349 (zuletzt geprüft am 01.10.2018).

12 Hier zeigen sich bereits erhebliche Probleme und Störfälle. So dringt mittlerweile Wasser in das Bergwerk ein. Radioaktive Abfälle, die dort lagern, müssen nun zurückgeholt werden und die Schachthanlage wird stillgelegt. Siehe: www.asse.bund.de/Asse/DE/themen/was-ist/was-ist_node.html;jsessionid=38812BB3329A923EF155FA1C957961CB.1_cid349 (zuletzt geprüft am 01.10.2018).

13 Siehe: <https://www.bge.de/asse/themenswerpunkte/themenswerpunkt-das-wasser-in-der-asse/> (zuletzt geprüft am 04.08.2020).

jeweils sechs bis zehn Veröffentlichungen zu den jeweiligen Energietechnologien beruhen.

Ziele, Leitbilder, Visionen, Narrative

Bei Windenergie, Fracking und CCS wird das Narrativ des Weges in die *low-carbon technologies* formuliert – Fracking und auch CCS werden dabei häufig als Brückentechnologien angesehen. Die politischen Erzählungen über die Technologien werden mit ihrem Potenzial zur Abschwächung der Klimaerwärmung verknüpft (Schirrmeister 2014; IPCC 2011; Metz et al. 2005; Ladage et al. 2016). Fracking, Windenergie sowie auch CCS-EOR-Projekte entsprechen darüber hinaus dem Leitbild bzw. Narrativ der Unabhängigkeit von Energieimporten. CCS wird, z.B. auch in Kombination mit der Produktion von Bioenergie (BECCS), als »negative emissions technology« (NET) bezeichnet; darunter werden großtechnologische Maßnahmen zusammengefasst, ohne die – so das Narrativ – das Pariser Klimaziel nicht mehr erreicht werden können. Die jüngsten Szenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) beinhalten die Nutzung von Atomkraft, um das 1,5 Grad Klimaziel zu erreichen (Masson-Delmotte et al. 2018). Das Endlager fügt sich jedoch nur indirekt in diese Narrative ein und erscheint im Grunde lediglich als »Ewigkeitslast« (Brunnengräber 2019). Es lässt sich weder als Brückentechnologie noch als Sicherheitstechnologie oder als Bewahrer von Wohlstand bezeichnen. Die Ewigkeitslast wird als notwendiges Übel der scheinbar klimafreundlichen Großtechnologie, dem KKW, angesehen und das erhöhte Risiko auf Grund fehlender Endlager in Kauf genommen. Anders dürfte es sich verhalten, wenn weltweit hinreichend Endlager gebaut worden sind, und ohne Probleme oder Zwischenfälle ihren Zweck erfüllen. Das aber wird noch viele Jahrzehnte dauern, so dass heutiger Klimaschutz durch Atomkraft einer ungewissen Wette auf die Zukunft gleicht.

Mit Fracking und Kernenergie, vor allem aber mit CCS, lassen sich zudem gesamtgesellschaftliche Transformationsprozesse hinsichtlich einer nachhaltigeren Energieproduktion und -nutzung vermeiden (für CCS siehe Krüger 2015). Denn alle drei Technologien basieren auf einer fossil-nuklearen sowie zentralisierten Energieinfrastruktur. Sie unterstützen die etablierten Wachstums- und Wohlstandsmodelle und stellen eine vermeintliche Weiterentwicklung (Innovation) des alten Energienutzungspfades dar. Mit einer solchermaßen angelegten Priorisierung bestimmter technologischer Innovationen sind daher auch *lock-in-Effekte*¹⁴ verbunden: bisherige Formen der Energiegewinnung sowie Produktions- und Konsummuster werden nicht in Frage gestellt. Dies zeigt sich etwa sehr deutlich in Großbritannien, wo die verstärkte Nutzung von Fracking und Kernenergie als »part of the incumbent sociotechnical regime in the UK energy sector« gedeutet wird (Johnstone et al. 2017: 155).

14 Unter *lock-ins* verstehen wir nach Wieland (2009) »(...) einen lokal stabilen Gleichgewichtszustand, aus dem sich der gefangene Prozess nicht mehr aus eigener Kraft befreien kann« (S. 27). Wenn also ein vormals offener Prozess aufgrund einer Pfadabhängigkeit eingeeengt oder gar determiniert wird, liegt ein *lock-in* vor. Dies bedeutet aber nicht, dass der Prozess unumkehrbar ist bzw. sein Zustand nicht mehr verändert werden kann, jedoch benötigt der Prozess im *lock-in* Zustand dann Anreize von außen oder einen »Schock«.

Bei der Endlagerung wird auf Erfahrungen verwiesen, die bereits während der Nutzung der Kernenergie gesammelt wurden. So wurden schon schwach- und mittlerradioaktive Abfälle untertage eingelagert (BfE 2017). Mit diesen Projekten sind insbesondere in Deutschland negative Assoziationen – und Narrative – durch den unsachgemäßen Umgang mit den nuklearen Abfällen verbunden (siehe Gorleben oder Asse II). Es zeigt sich darüber hinaus, dass die gesamtgesellschaftliche Beurteilung von Technologien mit vorherrschenden Wertemustern und dem darauf gründenden Vergleich von Technologien eng verbunden ist. So kommt es bspw. zur Ablehnung von CCS aufgrund der Präferenz für erneuerbare Energien (Schulz et al. 2010: 293). Die möglichst sichere Einlagerung dagegen kann nicht mehr grundsätzlich in Frage gestellt werden: Nur das »wie« wird verhandelt und ist konfliktträchtig. Vereinzelt werden heute noch Alternativen in Nischen diskutiert u.a. die Transmutation, die unbegrenzte Oberflächenlagerung oder die Endlagerung in Bohrlöchern. Diese stellen jedoch Nischen-Diskurse dar, die heute wenig Einfluss auf die Ausformulierung von Endlagerpolitik in Deutschland und somit auf die Regimeebene der tiefeingeologischen Endlagerung haben. Die tiefeingeologische Einlagerung wird derzeit als die sicherste Einlagerungsoption angesehen (EU-Directive 2011/70; Nuclear Energy Agency (NEA) 2015; EndKo 2016). Sie ist nach derzeitigem Stand von Wissenschaft und Technik zwar die beste Option. Falls die Standortsuche und der Bau eines Endlagers aber scheitern sollten, neue wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen oder sich die gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen und Interessen wandeln, dann können alternative Narrative – so zeigen die Erfahrungen – aus der Nische treten. Diese können je nach Entwicklungen innerhalb des Ensembles an Bedeutungsgehalt gewinnen und destabilisierend auf die Regimeebene wirken.

Konflikte beim Einsatz von Technik

Technikkonflikte sind keine schnell vorübergehenden Auseinandersetzungen. Sie haben sich in der Gesellschaft konsolidiert und können sich über die Jahre hinweg verstärken und flachen dann nur langsam wieder ab. Bei Fracking wie auch bei der Windenergie haben sich die Konflikte gesellschaftlich ausgeweitet (Hoeft et al. 2017). Insbesondere die Windenergie, die zunächst massiven Zuspruch erfahren hat, hat im Verlauf ihres intensiven Ausbaus immer stärker zu regionalen Konflikten in Form von Widerständen geführt. Für diese Konfliktverschärfung können unterschiedliche Gründe, wie umkämpfte Landnutzung, Natur-, Tier- und Landschaftsschutz, verfehlte Verteilungs- und Beteiligungsgerechtigkeit oder Wertekonflikte etc. benannt werden (Linnerud et al. 2020: 29). Ähnliche Dynamiken lassen sich für Fracking beobachten (Dodge/Metze 2017: 2). Es zeigt sich eine deutliche Parallele zur Endlagerung. Der Konflikt ist sehr stark von Gutachten und Gegengutachten geprägt und von politischen Entscheidungsträger*innen, die die Mittel und die Macht haben, sich durchzusetzen. Die Enttäuschungen gegenüber staatlichen Stellen, die einer spezifischen Energietechnologie zum Durchbruch verhelfen oder die Endlagersuche zu einer politischen Entscheidung machten (Gorleben), prägt bis heute den Konflikt, der – wenn auch abgeschwächt – fortbesteht und durch Wertungen aufgeladen ist. Auf Grund des Generationswechsels, der mit dem »Jahrhundertprojekt Endlager« (Brunnengräber 2017) einhergehen wird, dürfte sich der historisch gewachsene Konflikt jedoch mit der Zeit abschwächen.

Insgesamt hat auch das Vertrauen gerade in die Akteure, die das vorherrschende System (Ebene des Regimes) repräsentieren – etwa die großen Energieversorgungsunternehmen (EVU) – abgenommen. Ähnliche Beobachtungen wurden beim Fracking gemacht. Den Gasförderunternehmen wird eine starke politische und rechtliche Macht zugeschrieben (vgl. Gullion 2015: 78). Für Deutschland konstatieren Bornemann und Saretzki: »Hier zeigt sich, dass der Fracking-Konflikt im Kontext eines seit Jahren andauernden energiepolitischen Großkonflikts über die zukünftige Ausrichtung der Energieversorgung stattfindet, der sich seit 2011 um die Energiewendepolitik der Bundesregierung dreht« (Bornemann/Saretzki 2018: 566). Gleichzeitig würden diese Konflikte wie bspw. der um die Fracking-Technologie mit einer veränderten Stimmungslage der Bürger*innen zusammenfallen, welche womöglich als Ausdruck einer neuen Protestkultur sowie einer verringerten Legitimation etablierter Formen demokratischer Entscheidungsfindung im Bereich von Hochrisikotechnologien oder Großinfrastrukturprojekten gesehen werden kann (vgl. Locke 2010, zit.n. Bornemann/Saretzki 2018: 566). Hier wird ein *empowerment* der kritischen Öffentlichkeit erkennbar, welches sich auf der Regime-Ebene zu verfestigen scheint und somit auch zukünftig für Konflikte im gesamten Bereich der Energietechnologien – fossil-nuklear oder erneuerbar – sorgen wird.

Gesellschaftliche Akzeptanz

Die Akzeptanz der Windenergie ist im Vergleich zur Atomenergie hoch. Allerdings war auch die Akzeptanz für Atomenergie zu Beginn der Nutzung dieser Technologie höher als heute. Mittlerweile formieren sich aber auch gegen Windenergieprojekte immer häufiger Gegenbewegungen, vor allem in Bürgerinitiativen vor Ort oder in Netzwerken.¹⁵ Auffallend ist hier die Lücke zwischen einer (noch) hohen gesamtgesellschaftlichen Akzeptanz und einer Ablehnung direkt vor Ort oder in der Region. Die Ablehnung scheint umso höher, je ländlicher die Region bzw. dünner sie besiedelt ist (Weber et al. 2017). Da auch das Endlager kaum in einem dichtbesiedelten Gebiet gebaut werden wird (siehe StandAG 2017, Anlage 12 zu den Planungswissenschaftlichen Abwägungskriterien), dürften hier ähnliche Effekte zu erwarten sein.

CCS und Fracking weisen eine ähnliche Zweiteilung ihrer Akzeptanz auf: diejenigen, die die Technologie für sinnvoll und zukunftsweisend halten und diejenigen, die darin nur Risiken und das Festhalten am *business as usual* sehen (Schulz et al. 2010; Schirrmeister 2014). Auch hier verminderte sich im Laufe der Zeit die Akzeptanz gegenüber den Energietechnologien und Gegenbewegungen nahmen zu (siehe auch Konflikte). Eine höhere Akzeptanz bzgl. Fracking und CCS ist hingegen im US-amerikanischen Kontext in den Gegenden zu beobachten, die bereits eine Extraktionshistorie bzw. Erfahrung mit der Förderung fossiler Energien haben (L'Orange Seigo et al. 2014; Gullion 2015; Wolff/Herzog 2014). Auf die Standortsuche bzw. das Endlager ist dieser positive Effekt allerdings nicht direkt übertragbar, da bei der Endlagerung die Integrität des Untergrunds gewahrt sein muss. Frühere Nutzungsformen (Bergbau, Gasförderung)

15 Dennoch ist die Zustimmung für erneuerbare Energien generell sehr viel höher als für die fossile Energiegewinnung in der Nachbarschaft (siehe Statista 2018b).

oder bereits erfolgte Erkundungsbohrungen zu anderen Zwecken als der Standortauswahl für ein Endlager schließen den Standort oder die Region aus. Allerdings müssten KKW-Standortgemeinden (*nuclear communities*) nach dieser Lesart ebenfalls eine eher positive Einstellung gegenüber dem Endlager haben, weil man – wie im Sinne einer Extraktionshistorie – bereits mit Kernenergie in der Umgebung vertraut ist. An dieser Schlussfolgerung sind allerdings Zweifel angebracht. So warnt ASKETA, die Arbeitsgemeinschaft der Standortgemeinden kerntechnischer Anlagen in Deutschland, davor, die Zwischenlager in Gorleben und Ahaus zu räumen und die dort eingelagerten Castor-Behälter an die jeweiligen Herkunfts-Standorte zurückzubringen (Brunnengräber 2019: 116).

Für die Akzeptanz scheint auch Vertrauen ein wichtiger Faktor zu sein. Vertrauen wird den unabhängigen Expert*innen und Umweltorganisationen im Zusammenhang mit CCS in höherem Maße zugesprochen als privaten Unternehmen bzw. der Industrie und teilweise auch staatlichen Institutionen (L'Orange Seigo et al. 2014: 857). Eine ähnlich schwierige Lage zeigt sich auch bei der Endlagerung, zumal das Vertrauen in die staatlichen Institutionen und die EVU über Jahrzehnte verloren gegangen ist. Gleichzeitig wird es gerade dann schwierig Vertrauen aufzubauen, wenn Daten und Fakten umstritten bzw. nicht vorhanden sind (Neville/Weinthal 2016: 591), wie das Zusammentragen der Geodaten in Deutschland im Rahmen der Standortsuche zeigt.¹⁶ Die Akzeptanz eines Verfahrens dürfte mit der Menge an sozialen sowie technischen Schwierigkeiten, die auftreten, sinken.

Sicherheit, Risikopotenziale und Risikowahrnehmung

Bei den Energietechnologien Fracking, CCS und Endlagerung werden ähnliche Ängste und Gefahren gesehen. Dazu gehören gesundheitliche Gefahren, die Kontamination des Grundwassers oder die Verschmutzung des Bodens. Auch bei Windenergieanlagen gibt es Ängste vor einem Ölaustritt in den Boden.¹⁷ Diese Ängste sind jedoch oftmals diffus, weil die negativen Auswirkungen der Technologien nicht ohne Weiteres beobachtet werden können. Gleichzeitig werden etliche Risiken wie etwa CO₂-Leckagen bei CCS, der Austritt radioaktiver Stoffe bei der Endlagerung, die Verseuchung des Bodens oder der in der Umgebung angebauten Nahrungsmittel befürchtet. Bei den jeweiligen Technologien werden darüber hinaus auch spezifische Aspekte adressiert, wie der Verlust einzelner Arten (z.B. Fledermäuse, Vögel) oder bestimmter Ökosysteme bei der Windenergie (z.B. Wälder).

Insgesamt gibt es bei Fracking und CCS noch viele Unsicherheiten und Unvorhersehbarkeiten (z.B. Gullion 2015: 55; Meyer-Renschhausen/Klippel 2017: 84; Krüger 2015: 177f.; SRU 2013). Gleichzeitig wird die Fähigkeit von Politik und Betreibern, diese Risiken bewältigen und kontrollieren zu können, als eher gering eingeschätzt (Schulz et al.

16 Siehe hierzu die Veranstaltung »Geodaten im Brennpunkt« des Nationalen Begleitgremiums NBC: https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Geodaten_im_Brennpunkt/Artikel_Geodaten-im-Brennpunkt.html (zuletzt geprüft am: 04.08.2020).

17 Diskussion beim zweiten thematischen Workshop WinWind zu Windenergie im Wald, Erfurt, 18.10.2018. Siehe: <http://winwind-project.eu/resources/outputs/> (zuletzt geprüft am: 11.12.2018).

2010: 289). Es zeigen sich große Ähnlichkeiten zu den *unknown unknowns* (Eckhardt/Rippe 2016) der Endlagerung (vgl. Themann/Brunnengräber 2018). Damit werden völlig unvorhersehbare Folgen des Technikeinsatzes beschrieben, auf die sich Gesellschaften folglich auch nicht einstellen können. Letztlich geht es auch darum, welches Maß an Risiko noch akzeptabel ist. Hier zeigt sich bei der Endlagerung sowohl die Zwangslage als auch das deliberative Moment, das der Situation innewohnt. Denn die Frage, ob mit den Hinterlassenschaften verfahren werden muss, stellt sich nicht mehr. Allerdings kann das Risikopotenzial verschiedener Endlageroptionen wie die tiefengeologische oder oberirdische Lagerung weiterhin gesellschaftlich verhandelt werden. Gerade die Unsicherheiten, die sich aus dem Einsatz der Technologien mittel- und langfristig ergeben, delegitimieren eine rein politisch-regulatorische oder rein wissenschaftlich begründete Herangehensweise. Über die Unsicherheiten muss unter Einbezug wissenschaftlicher Expertise – die nicht immer eindeutig ist, sondern auch vom Expert*innenendissens geprägt sein kann (vgl. Chaudry/Seidl sowie Themann in diesem Sammelband) – debattiert werden, um Entscheidungen treffen zu können.

Dies kann auch zu Dilemma-Situationen führen. So ergab sich bei der Tiefenlagerung sowohl die Möglichkeit des sofortigen Verschlusses als auch die Option der Rückholbarkeit. Unter Sicherheitsaspekten ist der sofortige Verschluss die zu präferierende Option. Allerdings widerspricht dies dem Bedürfnis der Bevölkerung nach Umkehrbarkeit von Entscheidungen, die sich auch aus den Erfahrungen der Asse II speisen. Auch deshalb führten gesellschaftliche Diskurse zur Wahl der Option der Rückholbarkeit, was zwar den Werten der Bevölkerung entspricht, jedoch zu Lasten der Sicherheit gehen könnte (EndKo 2016: 32, 219).

Darüber hinaus fehlt es für die drei hier genannten Technologien im Untergrund an hinreichenden Monitoringstrategien und -möglichkeiten (SRU 2013: 26; Meyer-Renschhausen/Klippel 2017: 122f.; Gullion 2015: 55). Ähnlich wie bei der Endlagerung hat man es bei Fracking und CCS mit Umwelt- und Gesundheitsrisiken zu tun, die ein ungewollter Austritt an toxischen Gasen und Substanzen bergen könnte. Auch gibt es methodische Probleme, mögliche Effekte der Kontamination des Grundwassers abzuschätzen, weil Baseline Daten fehlen. So können zeitlich verzögerte Schadenswirkungen auftreten (Meyer-Renschhausen/Klippel 2017: 84f.). Bezüglich CCS gibt es bisher noch keine ausreichende Monitoringstrategie zur Überwachung und Kontrolle des gespeicherten CO₂ (Krüger 2015: 164). So bewertet der SRU (2009), dass es für ein Monitoring von CCS-Projekten, gerade mit Blick auf die tieferen Gesteinsschichten, noch »unzureichende Kenntnisse« hinsichtlich Dauer und technischer Erfordernisse gebe (SRU 2009: 9). Auch bei Fracking äußert sich der SRU skeptisch, ob der Machbarkeit eines umfassenden Monitorings. Sie fassen zusammen, dass »sich bei bergbaulichen Vorhaben die Umweltauswirkungen im Unterschied zu vielen anderen umweltrelevanten Vorhaben nur schwer abschätzen lassen«, sodass sich Umweltauswirkungen schwer vorhersagen lassen (SRU 2013: 41). Ähnliche Probleme stellen sich auch beim Monitoring eines Endlagers.

Rolle der Wissenschaften

Aus dem Vergleich der Energietechnologien wird deutlich, dass die Entwicklung einer Großtechnologie stark von den Technik- und Naturwissenschaften beeinflusst werden, aber trotz – oder gerade auf Grund von Unsicherheiten – immer auch politisch verhandelt werden müssen. Denn gerade für Großtechnologien gilt, dass hier disziplinäre Wissensansprüche stark umkämpft sein können (*contested knowledge*), was zu schwierigen politischen Entscheidungsprozessen führen kann. In Bezug auf Fracking nutzen die oppositionellen Diskurskoalitionen jeweils wissenschaftliche Erkenntnisse für ihre Argumente (Gullion 2015). So kommt es zu einer politischen Konfrontation von wissenschaftlichen Fakten und Gegenfakten (ebd.: 134ff.). Ähnliches war auch schon in Gorleben zu beobachten. In diesem Zusammenhang wurden Wissen und Argumente von Aktivist*innen und Gegner*innen sowohl bei Fracking als unwissenschaftlich und emotional gekennzeichnet (ebd.: 137) als auch bei der Anti-Atom-Bewegung (vgl. Brunnengräber et al. in diesem Sammelband). In Bezug auf Gorleben hat sich eine immer stärkere Skepsis gegenüber der etablierten Wissenschaft entwickelt, da diese als nicht mehr objektiv und neutral angesehen wurde (Brunnengräber 2018). Auch bei Fracking werden die Wissenschaften nicht mehr als neutral oder als apolitisch wahrgenommen (Neville/Weinthal 2016: 595).

Daneben zeigt sich, dass bei CCS (und in bestimmten Ländern auch bei Fracking) eine kritische Expert*innencommunity eher zu marginalisieren versucht wird (Krüger 2015). Es gibt viele mächtige Unterstützer*innen von CCS in Politik und Wirtschaft, die sich auf die wissenschaftliche Expertise stützen. Der Einsatz von Geo-Engineering bzw. Großtechnologien für den Klimaschutz wird von wissenschaftlichen Machbarkeitsstudien begleitet. Weil dabei viele Annahmen hinsichtlich der positiven Effekte noch nicht bewiesen werden können, der Einsatz in großem Maßstab erst in einigen Jahrzehnten möglich sein wird und Langfristprobleme nicht ausgeschlossen werden können (*unknown unknowns*), ist das Misstrauen groß. Somit können falsche Prioritäten gesetzt werden (ETC Group et al. 2017), wenn der technologischen Nachsorge trotz aller Unsicherheit größeres Gewicht gegeben wird als den Vermeidungsstrategien.

Die Sozialwissenschaften haben umfangreiche Forschungsarbeiten zu CCS-Projekten vorgelegt, wie sie etwa von Markusson et al. (2012: 905) beschrieben werden. Laut einer Beobachtung Krügers (2015) zu CCS-Projekten werden die Sozialwissenschaften jedoch oftmals als »Akzeptanzforscher*innen« einbezogen. Es komme zu einem »instrumentellen Rückgriff« auf Sozialwissenschaften, um durch eine verbesserte Kommunikation die Akzeptanz für CCS zu erhöhen (ebd.: 24f.). Eine ähnliche Beobachtung machten die Anti-Atomkraft-Initiativen in Deutschland. Auch hier haben die Sozialwissenschaften den Eindruck vermittelt, Akzeptanzbeschaffer*innen zu sein; und sie haben diese Aufgabe auch aktiv erfüllt. Daraus ergibt sich die schwierige Rolle der Sozialwissenschaften: sie werden (teilweise zu Recht) gesellschaftlich diskreditiert oder nur eingeschränkt ernstgenommen. In der Beforschung des Standortauswahlprozesses werden solche Probleme mit den Sozialwissenschaften heute durchaus reflektiert. In der Konsequenz wurde der Anspruch der Inter- und Transdisziplinarität formuliert und in Forschungsprojekten wie ENTRIA (2013-2019) (ENTRIA 2019) und TRANSENS (2019-2024) auch praktiziert.

Partizipation

Zu den verschiedenen Technologien wurden sehr ähnliche Erfolgsfaktoren für Partizipation formuliert. Wesentlich für eine gute Partizipation sind demnach übergeordnete Faktoren wie Vertrauen, frühzeitige Beteiligung über den Gesamtprozess hinweg und Informationen. Auch Werte wie Gleichheit und Ermächtigung (*empowerment*) der zu Beteiligten, die Zusammenführung von wissenschaftlichem und lokalem Wissen sowie eine Institutionalisierung sind erforderlich für Prozesse, in denen Ziele noch verhandelt werden (nach Reed 2008). In großen Technologieprojekten wird Partizipation allerdings oftmals zu spät ermöglicht. Partizipationsmöglichkeiten werden häufig erst eingeräumt, wenn das Projekt praktisch schon konzipiert wurde und begonnen hat. Dann hat sich in vielen Fällen bereits eine Opposition gebildet, die eine Folge der zu späten Angebote zur Beteiligung sein kann (Dütschke et al. 2017: 307f.). Auch für die Endlagerung sind die gesetzlich abgesicherten Beteiligungsformate laut Standortauswahlgesetz (StandAG) nicht von Beginn an vorgesehen, sondern erst in einer späteren Planungsphase. Allerdings bemüht sich das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) um eine frühe Öffentlichkeitsbeteiligung und spricht diesbezüglich von informeller Öffentlichkeitsbeteiligung (BfE 2018). Ob damit einer oppositionellen Dynamik, wie sie bei den anderen Großtechnologien entstanden ist, entgegengewirkt werden kann, ist heute noch nicht absehbar.

In Untersuchungen zu US-amerikanischen Fracking-Projekten wird festgestellt, dass ein in vergangenen Prozessen verlorenes Vertrauen auf neue Prozesse zurückwirken kann (Neville/Weinthal 2016: 590). Eine bedeutsame Rolle können dabei Personen oder Akteursgruppen haben, die an vergangene Vertrauensbrüche erinnern (Levi 1998: 86). Mit langjährigen Bürgerinitiativen wie der aus Gorleben könnte eine solche Erinnerungsdynamik auch im deutschen Endlagerprozess wirksam werden. Der historische Kontext hat großen Einfluss auf den gesellschaftlichen Verlauf der Standortsuche und das Endlager-Ensemble.

Ähnlichkeiten der CCS-Technologie mit dem Endlager zeigen sich auch bei den geforderten Formen der Beteiligung. So wurde etwa für die Erprobungsphase von CCS die Einsetzung eines Begleitgremiums vorgeschlagen (Schulz et al. 2010: 294). Dass eine ebensolche Institution 2016 auch für den Standortsuchprozess eingesetzt wurde (Nationales Begleitgremium), ist vor dem Hintergrund der ähnlich gelagerten Assoziationen, Unsicherheiten und Herausforderungen der beiden Technologien interessant. Im Zusammenhang mit Fracking in Deutschland wurde von 2011-2012 der InfoDialog Fracking eingerichtet. In diesem Dialogprozess sollten ein wissenschaftlicher »neutraler Expertenkreis« und ein »Arbeitskreis gesellschaftlicher Akteure« erstmalig im Dialog mit den Bürger*innen die Sicherheits- und Umweltbedenken hinsichtlich der Fracking-technologie untersuchen. Dieser Prozess mündete in eine Risikostudie.¹⁸ Hier wird die Entwicklung hin zu einem stärkeren Austausch von Wissenschaft und Bürger*innen deutlich, um Risiken abzustecken. Der Vorschlag im Bereich CCS, die Wissenschaft in

18 Für weitere Informationen siehe: <https://www.erdgas-aus-deutschland.de/de-de/im-dialog/infodialog/infodialog-fracking> (zuletzt geprüft am 20.08.2020). Für eine kritische Auseinandersetzung mit diesem Prozess empfiehlt sich der Aufsatz von Saretzki und Bornemann (2014).

ihrer Kommunikation transparenter zu machen, den Dialog über Unsicherheiten mit der Bevölkerung einzugehen und diese Aktivitäten durch ein unabhängiges Gremium begleiten zu lassen, war zudem explizit mit dem Verweis auf die Wiederherstellung von Vertrauen unterbreitet worden (Schulz et al. 2010). Quasi analog wurde dies im StandAG §8 für das Nationale Begleitgremium formuliert, welches »Vertrauen in die Verfahrensdurchführung« ermöglichen soll. Unabhängige Begleiter*innen der Partizipationsprozesse scheinen folglich in einem Kontext wichtig, in dem das Vertrauen in die Regulierungsbehörden und den Staat zuvor abgenommen hat oder dieses gar erodiert ist. Hinsichtlich der Endlagerung in Deutschland gab es bereits verschiedene Bemühungen, die Standortsuche durch das Einsetzen von Kommissionen voran zu bringen (Isidoro Losada et al. 2019, siehe auch den Beitrag von Losada et al. »Rolle und Entwicklung politischer Beratungs- und Begleitgremien nach dem Konzept des Science-Policy Interfaces« in diesem Band).

Weiterhin ist für eine erfolgreiche Beteiligung zunächst notwendig, dass Menschen überhaupt wissen, was mit dem Entscheidungsgegenstand gemeint ist. Gerade bei den Energietechnologien Fracking und CCS sind einerseits sehr geringe Wissens- und Informationsniveaus in der Bevölkerung zu beobachten (Duetschke et al. 2014; Costa et al. 2017). Andererseits scheinen vor allem wesentliche Aspekte von Großtechnologien und deren Risiken nur gering verhandelbar. Vor allem technische Komponenten, Themen wie Sicherheit oder die Energiestrategie selbst, welche Teil des verfestigten bestehenden Energieregimes sind, werden in einem Beteiligungsprozess i.d.R. nicht zur Diskussion gestellt (siehe LOrange Seigo et al. 2014 zu CCS). Im Umgang mit der Kernenergie und dem hochradioaktiven Abfall, lassen sich hier durchaus Parallelen erkennen. Neue Beteiligungsformen und neue Formen der Öffentlichkeitsarbeit werden seit der Verabschiedung des StandAG aus dem Jahr 2013 ausprobiert; es ist aber offen, ob es auch zukünftig Themen geben wird, die öffentlich als nicht verhandelbar angesehen werden und zu Konflikten führen.

Schlüsselinstitutionen, Regulationsmechanismen und Märkte

Als Treiber für die Fortentwicklung einer Technologie wirken, nachdem der Staat eingangs durchaus initiiierend und fördernd eingegriffen hat (siehe das Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), der Markt und die dort herrschenden Wettbewerbsbedingungen. Dies spielt bei Fracking und Windenergie eine Rolle, mittels derer aus Gründen der Versorgungssicherheit, des Klimaschutzes oder der Profiterwartungen Energie gewonnen werden soll. Schlüssel für die Fortentwicklung und Investitionen in eine Technologie sind in diesen Fällen Subventionen oder einfache Marktzugänge. Bei der Nutzung der Windenergie wurde die Bundesregierung zur Initiatorin und Gestalterin des rechtlich-ökonomischen Rahmens (Ohlhorst 2009: 237). Durch die regulierenden Eingriffe des Staates nahmen die Unsicherheits- und Risikofaktoren teilweise ab und die Technologie weckte das Interesse kommerziell orientierter Akteure, die durch ihre Investitionen den Entwicklungsprozess vorantrieben (ebd.: 238), wodurch die Technologie von der Nischenebene Eingang in das Regime fand. Allerdings ist der Fall bei der Endlagerung anders, weil es keinen (großen) Markt bzw. kommerzielles Interesse und somit keinen Wettbewerb um die beste Technologie und ihre Durchsetzung gibt.

Somit könnten hier die Innovationsmotive und -potenziale wegfallen, die sich beim EEG durch Anreize und zunächst einigermaßen verlässliche Rahmenbedingungen ergaben. Allerdings deuten bereits einige Ökonom*innen auf die Irrtümlichkeit der Grundannahme hin, dass technologische Innovationen vor allem durch marktbasierende Wettbewerbsanreize entstünden. Gerade der Staat setze in Bezug auf langfristige und risikobehaftete Investitionen eher Innovationspotenziale frei als die private Wirtschaft (vgl. etwa Mazzucato 2013). Ob und inwiefern im Fall der Endlagerung – u.a. durch Forschung – trotz eines fehlenden Marktes neue Technologien entwickelt und Innovationen ausgelöst werden können, bleibt entsprechend abzuwarten. Zur Endlagerung sortiert sich die Forschung gerade (strategisch) neu.¹⁹ Kritisch zu beobachten ist jedoch der drohende Fachkräftemangel und das mangelnde Interesse an der Nukleartechnik, die für die Endlagerung von Relevanz ist. Auch in den Gesellschaftswissenschaften lässt sich kaum Nachwuchs zu den Themen erwärmen, wenngleich die Standortsuche und die Endlagerung von erheblicher gesellschaftlicher Relevanz für diese und zukünftige Generationen sind.

Energietechnologien können aber auch durch staatliche Regularien torpediert werden. So hat die große Koalition in Deutschland die Energiewende und somit den Ausbau von erneuerbaren Energien deutlich ausgebremst, indem sie in der EEG Novelle 2016/17 einen systemischen Modellwechsel von der garantierten Einspeisevergütung zum Ausschreibungsmodell vollzog. Eine weitere Beobachtung in diesem Zusammenhang ist, dass ständige Änderung von Politiken Investments unattraktiv machen (Bsp.: UK) (Johnstone et al. 2017: 151). Oder die Prozesse verfangen sich in der komplexen Mehrebenen-Politik zwischen Bund und Ländern, wie dies in der Entsorgungspolitik in Deutschland der Fall war (Hocke/Brunnengräber 2019).

Diese Befunde deuten auf mögliche Vor- und Nachteile in der staatlichen – und zentralen – Organisation des Endlagers hin. Bei der Standortsuche wie der Endlagerung ist die Bundesregierung bzw. das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Hauptregulator. Es wird folglich durch eine zentrale staatliche Steuerung realisiert werden – und damit unabhängiger von Markt- und Wettbewerbsbedingungen. Dies könnte ein höheres Maß an Innovationspotenzialen freisetzen und Flexibilität im »lernenden Verfahren« ermöglichen, welches laut StandAG vorgeschrieben ist. Im Zusammenhang mit der Regulation des Ausbaus von Erneuerbaren Energien durch das EEG zeigt sich, dass Gesetzgebungen durchaus flexibel angepasst werden können. Insofern könnte das EEG als Vorbild dienen, tatsächlich das lernende Verfahren auch gesetzlich umzusetzen, indem das StandAG an die aufkommenden Herausforderungen angepasst wird. Dabei scheint es eine Gratwanderung zu sein zwischen einer reaktiven Gesetzgebung, die sich bspw. den Forderungen nach mehr Teilhabe anpasst und daher positiv aufgenommen wird, und einer Destabilisierung des Prozesses durch Verunsicherung der Beteiligten aufgrund eines sich ständig anpassenden Verfahrens, das die Kontinuität und Planungssicherheit unterminiert.

19 So formulierte das BASE etwa eine eigene Forschungsstrategie: https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/fachinfo/fa/forschungsstrategie_final.html (zuletzt geprüft am 20.08.2020).

Reversibilität

Gerade die Windenergie weist mit dem EEG eine äußerst flexible *policy* auf, die an sich verändernde Rahmenbedingungen bis zu einem gewissen Grad angepasst werden kann. Das StandAG könnte auch der Endlagersuche Räume zur Erprobung unterschiedlicher Regulationsmöglichkeiten bieten, die allerdings häufig mit dem Argument des Zeitdrucks konfrontiert werden: die Standortfestlegung soll bis 2031 erfolgt sein. CCS und Endlagerung sind darüber hinaus beides Technologien, die ab einer gewissen Entwicklungsphase »harte Fakten« schaffen, sodass ein Abrücken von eingeschlagenen Pfaden mit der Zeit immer schwerer wird (infrastruktureller *lock-in*, siehe zu diesem Aspekt auch den Beitrag von Losada »Pfadabhängigkeiten in der Endlagerpolitik« in diesem Band). Auch im Verlauf der Standortsuche wie während des Baus eines Endlagers wird es zu infrastrukturellen Verfestigungen kommen, so dass sich das voranschreitende Verfahren und anpassende und flexible Regularien ab einem gewissen Zeitpunkt ausschließen. Auch ein politischer *lock-in* ist vorstellbar. Einmal getroffene Entscheidungen werden verteidigt und nicht mehr in Frage gestellt, was einer hybridform von DAD entsprechen würde: Decide-Announce-Defend. Die Entscheidungen wurden unter Öffentlichkeitsbeteiligung getroffen, werden aber während ihrer Umsetzung ggf. staatlich durchgesetzt.

Mit Blick auf das bestehende soziotechnische Energiesystem, stellt sich die Frage, ob es sich mit der Endlagerung nicht ähnlich wie mit CCS verhalten könnte, für dessen Technologie ebenfalls die Befürchtung eines *carbon lock-in* im Raum steht (Krüger 2015). Demnach unterstützt die CCS-Technologie den alten Pfad der fossilen Energie-nutzung und verhindert den gesellschaftlichen Wandel hin zu CO₂-armer oder -freier Energiegewinnung. Eine solche Stabilisierung alter Pfade könnte Innovation und Wandel ausbremsen bzw. Investitionen in den alten Pfad anreizen und diesen für eine gewisse Zeit irreversibel machen. Ähnlich könnte sich ein *nuclear lock-in* gestalten. Wenn ein Endlager im Bau oder im Betrieb ist, kann die Kernenergie weiter genutzt werden.

Erkenntnisse aus den Analoga

Um es gleich vorweg zu nehmen: Insgesamt sind die Erkenntnisse, die sich aus den soziotechnischen Analoga ergeben, nicht eins zu eins übertragbar. Denn die Entsorgung nuklearer Abfälle weist zu den anderen, hier behandelten Energietechnologien teils gravierende Unterschiede auf; einer dabei ist zentral: Windfarmen, CCS und Fracking sind in ihrer Nutzung optional und durch gesellschaftlichen Diskurs bejah- oder verneinbar. Bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle ist das anders. Mit der Erzeugung des radioaktiven Abfalls wurden soziale und materielle Tatsachen geschaffen, die nicht ignoriert werden können, die unumkehrbar sind und zu erheblichen Pfadabhängigkeiten geführt haben, die als *lock-ins* zu verstehen sind und Handlungsspielräume stark eingrenzen. Es wurde aber auch deutlich, dass aus den *socio-technical analogues* einige Lehren gezogen werden können.

Bei den Leitbildern und Narrativen zeigte sich, dass der Einsatz neuer Technologien in der fossilen Energiewirtschaft zur Behinderung von Transformationsprozessen

führen könnte. Die Auswahl eines Standorts und der Bau eines Endlagers kann zur Argumentationsbasis von Akteuren werden, um auch weiterhin Strom aus der Kernenergie gewinnen zu können. Dies zeigt sich etwa an der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Debatte hinsichtlich der Etablierung der CCS-Technologie. Die Technologie könnte die Verhinderung eines klimapolitischen Umschwungs bedeuten und birgt von daher die Gefahr eines *carbon lock-in* in den fossilen Energien (Krüger 2015: 22). Eine ähnliche Entwicklung könnte sich auch in der Debatte um das Endlager vollziehen. So wird die Nutzung der Kernenergie vom IPCC in einigen seiner Szenarien als wesentlicher Baustein zur Erreichung des 1,5 Grad-Ziels genannt (Masson-Delmotte et al. 2018) und kann sich somit auch diskursiv verfestigen bzw. als Argumentationsgrundlage von Befürworter*innen der Kernenergie verwendet werden. Unternehmen, Parteien oder Zivilgesellschaft treten auf der Grundlage von wissenschaftlichen Expertisen dem energiepolitischen Wandel entgegen und kämpfen um Deutungsmacht. Sie wirken auf das soziotechnische Regime ein und werden möglicherweise zum wichtigen Treiber bei der Beibehaltung von *lock-ins* und Pfadabhängigkeiten (Geels 2014).

Konflikte ergeben sich aber nicht nur zwischen Politik und Wissenschaft, sondern auch innerhalb der Wissenschaften. Auch dort sind die Erkenntnisse um bestimmte Technologien und ihre Konsequenzen nicht selten umstritten. Verschiedene wissenschaftliche Erkenntnisse und Szenarien (mit oder ohne Kernenergie) können diametral zueinander verlaufen. Dies erzeugt Verunsicherungen und Misstrauen von Seiten der Gesellschaft. Aus dieser Analyse geht hervor, dass vor allem ein Dialog um Expertendissense und um Werte geführt werden muss. Dass ein Wertedialog notwendig ist, zeigt sich auch angesichts der Unsicherheiten (*unknown unknowns*), mit denen uns CCS, Fracking und die Endlagerung konfrontieren. Verschiedene Entwicklungen bei der Endlagerung lassen sich über die langen Zeiträume, die hier von Belang sind, wissenschaftlich nicht zweifelsfrei bestimmen; die Beherrschung der Natur kommt – wie beim Klimawandel – im Anthropozän an ihre Grenzen (Brunnengräber 2016; Themann/Brunnengräber 2018).

Identifizierte, aber auch unbekannte Unsicherheiten erfordern eine gesellschaftliche Debatte darüber, welches Risiko mit der Technologie verbunden ist, welches Risiko eine Gesellschaft zu tragen bereit ist und welche Maßnahmen unter den Bedingungen der Unsicherheit ergriffen werden. Hier ist eine Zusammenführung von wissenschaftlichem und weiteren Wissensarten (z.B. lokalem Wissen) zentral. Je stärker Schutzgüter wie Wasser, Boden oder Luft gefährdet sind, desto eher organisieren sich Akteure in Koalitionen oder Netzwerken. Gleichzeitig wird für umstrittene Technologien wie CCS ein instrumenteller Rückgriff auf die Sozialwissenschaften festgestellt, der in der kritischen Bevölkerung den Eindruck von Akzeptanzbeschaffung hervorruft. Hier muss die Wissenschaft aktiv gegensteuern. Eine stärkere Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zur Verknüpfung verschiedener Wissensformen ist dabei genauso dringlich, wie eine sozialwissenschaftliche Forschung, die ihre Annahmen, Vorgehensweisen und Erkenntnisse offenlegt und begründet.

Bei Energietechnologien und besonders dem Endlager lässt sich ein deutlich vermindertes Vertrauen in staatliche Institutionen, wissenschaftliche Einrichtungen oder die Anlagenbetreiber feststellen. Gleichzeitig wird unabhängigen Expert*innen und Umweltorganisationen viel Vertrauen entgegengebracht (siehe 4.3). Für einen gelingen-

den Suchprozess sollten diese Akteursgruppen angemessen einbezogen werden, zumal sich eine kritische Zivilgesellschaft am bisherigen Prozess bereits intensiv beteiligt. Aus den genannten Ergebnissen bzw. aus den *socio-technical analogues* der hier betrachteten soziotechnischen Ensembles ergeben sich schließlich auch allgemeine Einsichten über die Partizipation. Eine frühe und durchgängige Beteiligung – auch an der Formulierung der Beteiligungsstrategie selbst – sind zu empfehlen. Die Konflikte um die Windenergie lassen den Schluss zu, dass auch für die Endlagerung die Verteilung von Kosten und Nutzen im Sinne einer sozialen Gerechtigkeit, aber auch der Aspekt der Umweltgerechtigkeit im Blick zu behalten sind.

Es stellt sich die Frage, ob und wie die Endlagerung trotz geringer marktwirtschaftlicher Anreize innovative Potenziale aufbauen kann bzw. ob die staatlichen Instanzen Innovationspotenziale freisetzen. Hinzu kommt, dass dem Endlager im Gegensatz zu den anderen Technologien ein positives Narrativ bzw. die positive Vision fehlt. So wird deutlich, dass Windenergie, CCS und in Teilen auch Fracking eine diskursive Einbettung als Technologien zur Abschwächung des Klimawandels bzw. als Brückentechnologie in eine CO₂-ärmere Energiegewinnung erfahren. Im Gegenteil: Die vielen Probleme, die ein Endlager hervorruft, könnten die positive Konnotation der Kernenergie als Klimainstrument wieder aushebeln. Dies würde somit auch die Gefahr eines *nuclear lock-in* geringhalten, könnte aber auch innovative Kräfte hemmen, weil es dann bloß als Ewigkeitslast erscheint, ohne positiven Zweck. Um diesem Dilemma zu entgehen, könnte man versuchen bei der Endlagerung über den Verantwortungsbegriff gegenüber künftigen Generationen zu operieren. Ein solcher Verantwortungsbegriff könnte innovative Kräfte entfalten.

Das StandAG bietet durchaus Räume für flexible Anpassungen, um dem lernenden Verfahren auch gesetzlich gerecht zu werden (Smeddinck 2017). Andererseits birgt diese Flexibilität auch Planungsunsicherheiten und das Risiko der Verunsicherung der Öffentlichkeit, wie die Betrachtung des EEG zeigte. Viele Akteure wurden von den häufigen Veränderungen abgeschreckt oder bewusst politisch ausgebremst, was sich deutlich auf das Markt- und Investitionsverhalten auswirkte. Da das Endlager aber kein industriepolitisches Projekt darstellt, das unter Markt- bzw. Wettbewerbsbedingungen realisiert wird, kann die Möglichkeit zur gesetzlichen Anpassung auch positiv betrachtet werden: Gerade die Marktförderung ermöglicht das lernende Verfahren, das ansonsten zwischen konkurrierenden Akteuren des Marktes organisiert wird. Die experimentellen Räume, die das Gesetz eröffnet, sollten aber mit Blick auf die genannten potenziellen Verunsicherungen und Frustrationen nur in gewissen Grenzen, argumentativ gut begründet und sehr sensibel genutzt werden. Auch Gesetzesänderungen sind zu verhandeln, wie es ja beim StandAG 2013 und seiner Nachjustierung 2017 in gewissem Maße der Fall war.

Fazit – Implikationen für das Endlager-Ensemble

Aus den ähnlichen Merkmalen, die die verschiedenen Technologien aufweisen, lassen sich einige interessante Rückschlüsse auf das soziotechnische Ensemble der Endlagerung ziehen. Enttäuschungen aus vergangenen Entscheidungsprozessen, die sich

bei anderen Energietechnologien offenbaren und die sich bei der Endlagerung historisch entwickelt haben, macht Proteste und Widerstände wahrscheinlich. Es zeigt sich aber, dass auch eine Technologie, die vormalig auf hohe gesellschaftliche Zustimmung stieß, zu einem späteren Zeitpunkt große Konflikte auslösen kann. Dafür können unterschiedliche Gründe wie umkämpfte Landnutzung, Natur-, Tier- und Landschaftsschutz, verfehlte Verteilungs- und Beteiligungsgerechtigkeit, Misstrauen in Regimeakteure oder Wertekonflikte verantwortlich sein. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass eine vertiefte und umfassende Analyse der dominanten Akteursnetzwerke und -konstellationen in dieser Arbeit nicht geleistet werden konnte. Ihr Einfluss auf die hier beschriebenen soziotechnischen Ensembles müssen in weiteren Untersuchungen vertiefend behandelt werden.

Darüber hinaus ist die kritische Öffentlichkeit ein Schlüsselakteur in den soziotechnischen Ensembles großtechnischer Systeme. Sie stellt bisherige Systemlogiken in Frage und zwingt Institutionen zum Wandel sowie zum Dialog über bestehende Strategien und Werte. Dies wird nötig, um den gesellschaftlichen Konflikt aufzufangen und diesen produktiv zu wenden. Die neue Institutionenarchitektur in der bundesdeutschen Endlagerpolitik ist vor diesem Hintergrund in Deutschland auch eine Reaktion auf die Schlüsselakteure, die sich vielfach schon über Jahrzehnte gegen die Atomenergie und für die sichere Einlagerung aussprachen (Drögemüller 2018). Um deren Kritik zu begegnen und Vertrauen in staatliche Institutionen wiederaufzubauen, ist eine frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung und ein offener Dialog über die Risiken notwendig. Auch die wichtige Rolle unabhängiger Begleitgremien zur Wiederherstellung von Vertrauen muss mit Blick auf das soziotechnische Ensemble betont werden. Die Beteiligung der Öffentlichkeit bzw. die Integration der Akteure aus den Nischen in das Regime sollte weiterverfolgt werden, um das verlorene staatliche Vertrauen zurückgewinnen zu können.

Das soziotechnische Ensemble ist auch von einem neuen Verhältnis zwischen Gesellschaft und Wissenschaften geprägt. Wissenschaftliche Erkenntnisse werden nicht mehr unhinterfragt aufgenommen. Gerade bei den Technologien, die noch mit etlichen Unsicherheiten behaftet sind, ist eine kritische Zivilgesellschaft bzgl. der unabhängigen Rolle der Wissenschaft irritiert und desillusioniert worden. Hinzu kommt, dass in manchen Zusammenhängen der Eindruck von »akzeptanz erzeugender« Forschung oder auch Legitimationsforschung entstanden ist. Daher scheint es wichtig, der Endlagersuche eine kritische (unabhängige) wissenschaftliche Begleitung zur Seite zu stellen sowie von Seiten der Wissenschaft in direkten Austausch mit der Bevölkerung zu treten. Die Bekräftigung des Regimes auf der Grundlage der *einen* gesicherten Wissensbasis ist zwar weiterhin möglich, aber sicher nicht zielführend.

Die Themen Sicherheit und Risiko, die häufig von Naturwissenschaftler*innen und von Techniker*innen mit entsprechenden Technologien oder Konzepten beantwortet werden, bieten hierfür wichtige Ansatzpunkte. Bei den untertägigen Technologien CCS, Fracking und Endlagerung bestehen jenseits aller wissenschaftlichen Erkenntnisse noch erhebliche Unsicherheiten und ungelöste Probleme. Dazu gehören etwa die Fragen, wie die Ökosysteme langfristig beeinflusst werden oder wie das Monitoring gestaltet werden soll. Das soziotechnische Ensemble mit seinen impliziten Unsicherheiten macht einen offenen Wertedialog, der sich mit dem zu (er-)tragenden

Risiko auseinandersetzt, sowie die Integration weiterer Wissensformen zwingend erforderlich.

Schließlich sollte die energiepolitische Ambivalenz in das Gesamtbild des soziotechnischen Ensembles aufgenommen werden. So könnte ein Endlager den fossil-nuklearen Energiepfad stützen oder aber die Möglichkeit geben, ihn zu verlassen. Eine Abweichung vom fossil-nuklearen Energiepfad scheint möglich, wenn die erneuerbaren Energien weiter ausgebaut und die Energiewende von staatlichen, politischen und privatwirtschaftlichen Akteuren vorangebracht werden. Die ersten Tendenzen, die auf eine Destabilisierung des alten Energiepfades hinweisen, sind bereits erkennbar. Dennoch: die in Deutschland umstrittenen und bisher wenig genutzten Technologien CCS und Fracking werden als Brückentechnologie in eine CO₂-neutrale Energiegewinnung angesehen und weiterhin beforscht. Auch die abnehmende Akzeptanz von großen Windfarmen lässt sich nicht bestreiten. Somit stellt sich die Frage, ob die erfolgreiche Suche eines Endlagerstandortes bei gleichzeitiger Ausbremsung von Erneuerbaren sowie dem Ausstieg aus der Kohlekraft in den nächsten Jahrzehnten die erneute Nutzung von angeblich klimafreundlicher Atomenergie legitimieren könnte. Dabei werden die Narrative, welche die jeweiligen Technologien nach Geels begleiten und mitformen, eine wichtige Rolle einnehmen. In Zeiten des Postfaktischen werden Erzählungen zu treibenden Kräften für oder gegen bestimmte technologische Entwicklungen. Zumindest ist dem soziotechnischen Ensemble der Endlagerung in dieser Hinsicht ein mögliches transformationshemmendes Potenzial – der *nuclear lock-in* – eingeschrieben, welches weiterhin kritisch beobachtet werden muss.

Literatur

- AkEnd (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlung des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte. Köln.
- BfE (2017): Was sind Endlager? https://www.bfe.bund.de/DE/ne/endlager/einfuehrung/einfuehrung_node.html;jsessionid=A64ECA4845864C66D9889A481D8FAA03.2_cid349, zuletzt geprüft am 20.10.2018.
- BfE (2018): Entwurf des Konzeptes »Information, Dialog, Mitgestaltung – Öffentlichkeitsbeteiligung in der Startphase der Endlagersuche«. https://www.endlagersuche-infoplatform.de/SharedDocs/IP6/BASE/DE/20180816_Konzept_Oeffentlichkeitsbeteiligung_Startphase_Entwurf.pdf;jsessionid=8822FCA950597C4BB4DA1DCF726AF59A.1_cid391?__blob=publicationFile&v=7, zuletzt geprüft am 20.08.2020.
- Bijker, Wiebe E. (1995): Sociohistorical Technology Studies. In: Jasanoff, Sheila/Markle, Gerald E./Petersen, James C./Pinch, Trevor (Hg.): Handbook of science and technology studies. Thousand Oaks, Calif.: Sage Publ, 229-256.
- Bijker, Wiebe E. (1997): Of bicycles, bakelites and bulbs. Toward a theory of sociotechnical change. 1 Band, Cambridge Mass.u.a.: MIT Press (Inside technology).
- Bornemann, Basil/Saretzki, Thomas (2018): Konfliktfeldanalyse – das Beispiel »Fracking« in Deutschland. In: Holstenkamp, Lars/Radtke, Jörg (Hg.): Handbuch Energiewende und Partizipation. Wiesbaden: Springer VS, 563-581.

- Brunnengräber, Achim/Syrovatka, Felix (2016): Konfrontation, Kooperation oder Ko-optation? Staat und Anti-Atom-Bewegung im Endlagersuchprozess. In: Prokla, Zeitschrift für kritische Sozialwissenschaft 46(184): 283-402.
- Brunnengräber, Achim (2016): Das wicked problem der Endlagerung. Zehn Charakteristika des komplexen Umgangs mit hochradioaktiven Reststoffen. In: Brunnengräber, Achim (Hg.): Problemfälle Endlager. Gesellschaftliche Herausforderungen im Umgang mit Atommüll. Baden-Baden: edition sigma in der Nomos Verlagsgesellschaft, 145-166.
- Brunnengräber, Achim (2017): Jahrhundertprojekt Endlagerung. In: GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society 26 (2): 94-95.
- Brunnengräber, Achim (2018): Klimaskeptiker im Aufwind. Wie aus einem Rand- ein breiteres Gesellschaftsphänomen wird. In: Kühne, Olaf/Weber, Florian (Hg.): Bausteine der Energiewende. [1. Auflage]. Wiesbaden: Springer VS (RaumFragen), 271-293.
- Brunnengräber, Achim (2019): Ewigkeitslasten. Die »Endlagerung« radioaktiver Abfälle als soziales, politisches und wissenschaftliches Projekt. 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage, Baden-Baden: Nomos.
- Brunnengräber, Achim/Di Nucci, Maria Rosaria/Isidoro Losada, Ana María/Mez, Lutz; Schreurs, Miranda A. (Hg.) (2018): Challenges of Nuclear Waste Governance. An International Comparison Volume II. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Bundesregierung (2017): Kein Fracking in Deutschland. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/07/2016-07-08-fracking-gesetz.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2018.
- BWE (2019): Zahlen und Fakten. Statistische Kennziffern zur Erfolgsgeschichte Windenergie. Hg. v. Bundesverband WindEnergie e.V. (BWE). <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/>, zuletzt geprüft am 18.06.2019.
- Chalmers, Hannah/Gibbins, Jon/Gross, Rob/Haszeldine, Stuart/Heptonstall, Phil/Kern, Florian et al. (2013): Analysing Uncertainties for CCS: From Historical Analogues to Future Deployment Pathways in the UK. In: Energy Procedia 37: 7668-7679.
- Costa, D./Pereira, V./Góis, J./Danko, A./Fiúza, A. (2017): Understanding public perception of hydraulic fracturing: a case study in Spain. In: Journal of environmental management 204 (Pt 1): 551-562.
- Di Nucci, M. R./Krug, Michael (2018): Akzeptanz von Windenergie in Regionen mit schwachem Windenergieausbau. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 68 (4): 40-43.
- Di Nucci, Maria Rosaria/Brunnengräber, Achim/Isidoro Losada, Ana María (2017): From the »right to know« to the »right to object« and »decide«. A comparative perspective on participation in siting procedures for high level radioactive waste repositories. In: Progress in Nuclear Energy 100: 316-325.
- Dodge, Jennifer/Metze, Tamara (2017): Hydraulic fracturing as an interpretive policy problem: lessons on energy controversies in Europe and the U.S.A. In: Journal of Environmental Policy & Planning 19 (1): 1-13.
- Drögemüller, Cord (2018): Schlüsselakteure der Endlager-Governance. Entsorgungsoptionen und -strategien radioaktiver Abfälle aus Sicht regionaler Akteure. 1. Auflage

- 2018, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (Energiepolitik und Klimaschutz).
- Duetschke, Elisabeth/Schumann, Diana/Pietzner, Katja/Wohlfarth, Katharina/Höller, Samuel (2014): Does it Make a Difference to the Public Where CO₂ Comes from and Where it is Stored? In: *Energy Procedia* 63: 6999-7010.
- Dütschke, Elisabeth/Schneider, Uta/Wesche, Julius (2017): Knowledge, Use and Effectiveness of Social Acceptance Measures for Wind Projects. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 41 (4): 299-310.
- Eckhardt, Anne/Rippe, Klaus Peter (2016): Risiko und Ungewissheit bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle. 1. Auflage, Zürich: vdf Hochschulverlag.
- EndKo (2016): Verantwortung für die Zukunft – Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes. Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe.
- ENTRIA (2019): Abschlussbericht. Ergebnisse und Leistungsbilanz. Technische Universität Clausthal. https://dokumente.ub.tu-clausthal.de/servlets/MCRFileNodeServlet/clausthal_derivate_00000549/ENTRIA%20Abschlussbericht.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2019.
- ETC Group; Biofuelwatch; Heinrich Böll Foundation (2017): The Big Bad Fix: The Case Against Climate Geoengineering. https://www.boell.de/sites/default/files/bigbadfix.pdf?dimension1=division_iup, zuletzt geprüft am 19.08.2020
- Fuchs, Gerhard (2016): Die Energiewende im Ländervergleich: Deutschland und das Vereinigte Königreich verfolgen eigene Transformationspfade. In: *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society* 25 (3): 222-224.
- Geels, Frank W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. In: *Research Policy* 31 (8-9): 1257-1274.
- Geels, Frank W. (2014): Regime Resistance against Low-Carbon Transitions: Introducing Politics and Power into the Multi-Level Perspective. In: *Theory, Culture & Society* 31 (5): 21-40.
- Griesshammer, Rainer/Brohmman, Bettina (2015): Wie Transformationen und gesellschaftliche Innovationen gelingen können. Transformationsstrategien und Models of Change für nachhaltigen gesellschaftlichen Wandel, Baden-Baden: Nomos.
- Gullion, Jessica Smartt (2015): *Fracking the neighborhood. Reluctant activists and natural gas drilling*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Heyen, Dirk Arne (2017): Governance of exnovation: phasing out non-sustainable structures. In: *Öko-Institut Working Paper 2/2017*, Freiburg: Öko-Institut.
- Hocke, Peter/Brunnengräber, Achim (2019): Multi-Level Governance of Nuclear Waste Disposal. Conflicts and Contradictions in the German Decision Making System. In: Brunnengräber, Achim/Di Nucci, Maria Rosaria (Hg.): *Conflicts, Participation and Acceptability in Nuclear Waste Governance. An International Comparison Volume III*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 383-401.
- Hoefst, Christoph/Messinger-Zimmer, Sören/Zilles, Julia (Hg.) (2017): *Bürgerproteste in Zeiten der Energiewende. Lokale Konflikte um Windkraft, Stromtrassen und Fracking*, Bielefeld: transcript Verlag.

- IPCC (2011): IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Isidoro Losada, Ana María/Themann, Dörte/Di Nucci, Maria Rosaria (2019): Experts and Politics in the German Nuclear Waste Governance. Advisory Bodies between Ambition and Reality. In: Brunnengräber, Achim/Di Nucci, Maria Rosaria (Hg.): Conflicts, Participation and Acceptability in Nuclear Waste Governance. An International Comparison Volume III. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 231-259.
- Jasanoff, Sheila (2004): States of knowledge. The co-production of science and the social order, London: Routledge (International library of sociology).
- Johnstone, Phil/Stirling, Andy/Sovacool, Benjamin (2017): Policy mixes for incumbency: Exploring the destructive recreation of renewable energy, shale gas ›fracking,‹ and nuclear power in the United Kingdom. In: Energy Research & Social Science 33: 147-162.
- Krüger, Timmo (2015): Das Hegemonieprojekt der ökologischen Modernisierung. Die Konflikte um Carbon Capture and Storage (CCS) in der internationalen Klimapolitik, Bielefeld: transcript.
- LOrange Seigo, Selma/Dohle, Simone/Siegrist, Michael (2014): Public perception of carbon capture and storage (CCS): A review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews (38): 848-863.
- Ladage, Stefan; et al. (2016): Schieferöl und Schiefergas in Deutschland. Potenziale und Umweltaspekte. Hannover: BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Levi, Margaret (1998): A State of Trust. In: Braithwaite, Valerie A./Levi, Margaret (Hg.): Trust and governance. New York: Russell Sage Foundation, 77-101.
- Linnerud, Kristin/Aakre, Stine/Dotterud Leiren, Merethe (2020): Deliverable 2.1: Technical and socio-economic conditions. A literature review of social acceptance of wind energy development, and an overview of the technical, socio-economic and regulatory starting conditions in the wind energy scarce target regions. Hg. v. Win-Wind. EU.
- Locke, Stefan (2010): Neue Protestkultur – Revolte unter deutschen Dächern. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 07.09.2010.
- Masson-Delmotte, V./Zhai, P./Pörtner, H. O./Roberts, D./Skea, J./Shukla, P. R. et al. (2018): Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Genf: IPCC. <https://www.de-ipcc.de/256.php>, zuletzt geprüft am 11.12.2018.
- Mazzucato, M. (2013): The Entrepreneurial State: debunking public vs. private sector myths, London: Anthem Press.
- Metz, Bert/Davidson, Ogunlade R./Coninck, Heleen de/Loos, Manuela/Meyer, Leo (Hg.) (2005): IPCC special report on carbon dioxide capture and storage, Cambridge, New York, Beaconsfield: Cambridge University Press; Canadian Electronic Library.

- Meyer-Renschhausen, Martin/Klippel, Philipp (2017): Schiefergas-Boom in den USA. Technologie – Wirtschaftlichkeit – Umwelteffekte, Marburg: Metropolis-Verlag.
- Neville, Kate J./Weinthal, Erika (2016): Mitigating Mistrust? Participation and Expertise in Hydraulic Fracturing Governance. In: Review of Policy Research 33 (6): 578-602.
- NEA (2015): Stakeholder Involvement in Decision Making: A Short Guide to Issues, Approaches and Resources, Paris: OECD.
- Ohlhorst, Dörte (2009): Windenergie in Deutschland. Konstellationen, Dynamiken und Regulierungspotenziale im Innovationsprozess. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss (VS Research Energiepolitik und Klimaschutz).
- Reed, Mark S. (2008): Stakeholder participation for environmental management: A literature review. In: Biological Conservation 141 (10): 2417-2431.
- Saretzki, Thomas/Bornemann, Basil (2014): Die Rolle von Unternehmensdialogen im gesellschaftlichen Diskurs über umstrittene Technikentwicklungen: Der »InfoDialog Fracking«. In: Forschungsjournal Soziale Bewegungen 27 (4): 70-82.
- Schirrmeister, Mira (2014): Controversial futures – discourse analysis on utilizing the »fracking« technology in Germany. In: European Journal of Futures Research 2 (1).
- Schmidt-Hattenberger, Cornelia (2018): Globale Entwicklung der CCS-Technologie und ihre Rolle als mögliche Klimaschutzmaßnahme. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 68 (7/8): 35-38.
- Schulz, Marlen/Scheer, Dirk/Wassermann, Sandra (2010): Neue Technik, alte Pfade? Zur Akzeptanz der CO₂-Speicherung in Deutschland. In: GAIA 19 (4): 287-296.
- Smeddinck, Ulrich (2017): Die Fortentwicklung des Standortauswahlgesetzes (StandAG). Novellierungen, Beispiele, Reflektionen. In: EurUP – Zeitschrift für Europäisches Umwelt- und Planungsrecht 15 (3): 195-205.
- SRU (2009): Abscheidung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid. Der Gesetzesentwurf der Bundesregierung im Kontext der Energiedebatte. Stellungnahme, Nr. 13.
- SRU (2013): Fracking zur Schiefergasgewinnung. Ein Beitrag zur energie- und umweltpolitischen Bewertung. Sachverständigenrat für Umweltfragen. Stellungnahme, Nr. 18.
- StandAG (2017): Gesetz zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetzte. StandAG, vom 20.07.2017.
- Statista (2017): Fracking. Dossier. Hg. v. Statista, <https://de.statista.com/statistik/studie/id/37920/dokument/fracking-statista-dossier/>, zuletzt geprüft am 11.12.2018.
- Statista (2018a): Installierte Windenergieleistung weltweit in den Jahren 2001 bis 2017 (kumuliert in Megawatt). Hg. v. Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/158323/umfrage/installierte-windenergie-leistung-weltweit-seit-2001/>, zuletzt geprüft am 11.12.2018.
- Statista (2018b): Welche Stromerzeugungsanlagen in ihrer Nachbarschaft finden Sie sehr gut bzw. eher gut?, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/77156/umfrage/zustimmung-zur-stromerzeugung-in-der-nachbarschaft/>, zuletzt geprüft am 17.08.2020.

- Statista (2019a): Länder weltweit mit der höchsten Erdgasförderung in den Jahren 2009 bis 2018. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37383/umfrage/laender-nach-erdgasfoerderung/>, zuletzt geprüft am 17.08.2020.
- Statista (2019b): Weltweite Erdgasförderung insgesamt in den Jahren von 1970 bis 2019. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/40814/umfrage/welt-insgesamt-erdgasproduktion-in-milliarden-kubikmeter/>, zuletzt geprüft am 17.08.2020.
- Themann, Dörte/Brunnengräber, Achim (2018): The nuclear legacy in the Anthropocene: interrelations between nature, technology and society. In: Hickmann, Thomas/Partzsch, Lena/Pattberg, Philipp H./Weiland, Sabine (Hg.): The anthropocene debate and political science. London, New York: Routledge, 182-199.
- UBA (2014): Wo wurden in Deutschland bisher Fracking-Operationen zur Erdgasförderung durchgeführt? <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wo-wurden-in-deutschland-bisher-fracking>, zuletzt geprüft am 30.10.2018.
- UBA (2018): Carbon Capture and Storage. Hg. v. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/grundwasser/nutzung-belastungen/carbon-capture-storage>, zuletzt geprüft am 17.08.2020.
- Weber, Florian/Roßmeier, Albert/Jenal, Corinna/Kühne, Olaf (2017): Landschaftswandel als Konflikt. In: Kühne, Olaf/Megerle, Heidi/Weber, Florian (Hg.): Landschaftsästhetik und Landschaftswandel. Wiesbaden: Springer VS (RaumFragen), 215-244.
- Weingart, Peter (1994): Großtechnische Systeme. Ein Paradigma der Verknüpfung von Technikentwicklung und sozialem Wandel. In: Ulrich Hilpert (Hg.): Zwischen Scylla und Charybdis? Zum Problem staatlicher Politik und nicht-intendierter Konsequenzen. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 175-192.
- Wieland, Thomas (2009): Neue Technik auf alten Pfaden? Forschungs- und Technologiepolitik in der Bonner Republik. Eine Studie zur Pfadabhängigkeit des technischen Fortschritts, Bielefeld: transcript Verlag.
- Wolff, Josh/Herzog, Howard (2014): What lessons can hydraulic fracturing teach CCS about social acceptance? In: Energy Procedia 63: 7024-7042.

