

Vom Bohren harter Bretter, fester Gesteine und von schwierigem Perspektivenwechsel

Auf der Suche nach Endlagern für hochradioaktive Abfälle. In Deutschland, der Schweiz und anderswo.

› Thomas Flüeler

Vor einem Vierteljahrhundert bereits schrieb ein langjähriger Kenner der Szene, der Umgang mit (hoch)radioaktiven Abfällen „hat den verdienten Ruf, einer der vertracktesten Politikbereiche zu sein, vor die die USA und andere Staaten mit Kernreaktoren für die Stromerzeugung gestellt sind“ [North 1999]¹. Das stimmt, von Ausnahmen abgesehen, auch heute noch.

Allerdings lässt sich an einigen Stellen Licht am Ende des Tunnels erkennen, wenn die Zeichen der Zeit erkannt werden: Es ist eine lange Wanderung, in steilem Gelände, bei schlechter Sicht und ungefähigem Ziel; wir brauchen einen sicheren und akzeptablen sowie von den Betroffenen tolerierten Standort, an dem ein Lager gebaut, betrieben und innert nützlicher Frist mit gutem Gewissen von einer späteren Generation verschlossen werden kann. Der Beitrag zeigt nicht den Königsweg auf (den es nicht gibt), sondern einige Kriterien und Charakteristika, die in der Historie der „Endlagerung“ nicht beachtet wurden, aber beachtet werden müssen. Es braucht adäquate Ressourcen: stabile Strukturen, kompetente Institutionen, lernendes Personal (der Institutionen und der Zivilgesellschaft), reifen offenen Diskurs und mehr Zeit als bis 2031.

Ausgangslage: Sachzwang, komplex, multidimensional, systemisch „ungerecht“

Die (End-)Lagerung radioaktiver Abfälle ist ein technologischer Sachzwang – sie wurde uns und späteren Generationen durch frühere Entscheide (Nukleartechnik zu nutzen) auferlegt. Diese Abfallentsorgung ist ein komplexes soziotechnisches System [Ropohl 1978/1999, Flüeler 2001b, Röhlig 2022]. Es gilt viele Einzelmerkmale zu beachten, oft gleichzeitig und in ihrer Vernetztheit, d.h. mit ihren Neben- und Fernwirkungen technischer, aber auch institutioneller und politischer Art. Diese Wechselwirkungen sind nicht statisch, sondern dynamisch und äußerst langfristig. Die

Eigendynamik des Systems mit seinen technischen, institutionellen und politischen Untersystemen ist in ihren Entwicklungstendenzen abzuschätzen. Dabei ist die Situation für die Akteure oft intransparent – sie besitzen nicht vollständige Information, ja wissen oft nicht einmal genau, in welcher Situation sie sich zurzeit befinden. Ungewissheiten über den Lagerzustand und noch mehr über die soziale Umwelt nehmen mit der Zeit zu. Der US-amerikanische Nationale Forschungsrat nannte Hochaktivlager bereits vor über 20 Jahren „Unikate und komplexe Langzeitprojekte, in denen man die Gefahrenstoffe aktiv während vieler Jahrzehnte handhaben muss“. [NRC 2002]

Die weltweite erkennbare Blockade in der Entsorgung (hoch)radioaktiver Abfälle hängt maßgeblich damit zusammen, dass in diesem Politikfeld versäumt worden ist, frühzeitig die verschiedenen Dimensionen einzubeziehen. Der – weiter unten erläuterte – Aspekt der Kontrolle ist ein Beispiel dafür, wie bei einem komplexen Sachthema, besonders einem technologischen Sachzwang, die Dimensionen oft in verkehrter Reihenfolge zur Sprache kommen: zuerst technisch und betriebswirtschaftlich, dann politisch und volkswirtschaftlich, hernach sozial und zuletzt unter ethischen Gesichtspunkten. Dabei sollte idealerweise die Reihenfolge umgekehrt sein: Erst wäre eine breite politische Grundsatzebene und -entscheidung über ethische Leitlinien zu führen, die dann unter Berücksichtigung von Wirtschaft, Gesellschaft und Ökologie zur Wahl der hierfür optimalen technischen Variante führen müsste.

¹ Alle Übersetzungen stammen vom Verfasser.

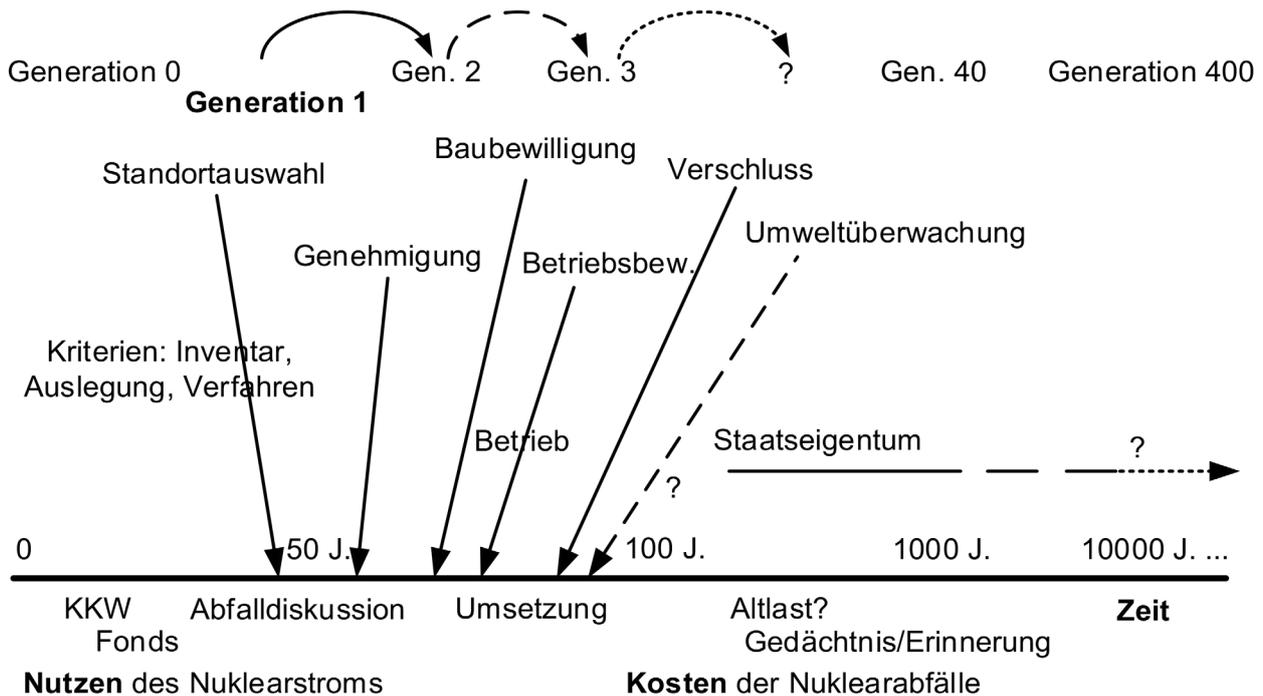


Abb. 1.

Der Umgang mit radioaktiven Abfällen hat sicherheitstechnisch und organisatorisch Langzeitcharakter. Das Entsorgungsprogramm muss über Jahrzehnte von der Technikgemeinschaft, den politischen Entscheidungsträgern und der (allgemeinen und betroffenen) Öffentlichkeit getragen werden. Wir, die wir noch von Nuklearstrom profitieren, sind „Generation 1“ – wir müssen ein Konzept entwerfen und die Programmumsetzung beginnen. Einige Aufgaben wie das Monitoring sind auf „Generation 2“ und „3“ zu übertragen, spätere Generationen werden zu verschließen haben. Informations- und Wissensweitergabe spielt eine entscheidende Rolle für Erfolg oder Misserfolg des Unternehmens.

Quelle: Flüeler 2004a, übersetzt, leicht verändert

Unbestritten ist, dass der sicherheitstechnische Umgang mit (zumindest hoch-)radioaktiven Abfällen Langzeitcharakter hat. Er ist aber auch institutionell langwierig, weil mehrere technische, gesellschaftliche und politische Generationen damit befasst sein müssen: von der Standortauswahl bis zum Lagerverschluss und allenfalls darüber hinaus. Außerdem sind wir vor bedeutende verteilungsethische Fragen gestellt. Wer aus nukleartechnischen Anlagen Nutzen zieht (z. B. heutige Stromverbrauchende), trägt voraussichtlich kein oder nur ein geringes Risiko aus den sich daraus ergebenden Abfallsystemen (**Abbildung 1**). Entsprechend ist ein „strategisches Monitoring“ zur Langzeitprogrammüberwachung vorgeschlagen worden [Flüeler 2019, 2023].

Die Entscheidungssituation ist die, dass wir heutigen Generationen Entscheide für übermorgen fällen müssen, so oder so, denn auch ein Aufschub ist eine Entscheidung. Neben Gewinnern, den abfallproduzierenden Generationen, gibt es potenzielle Verlierer: die direkt Betroffenen und die nach uns kommenden Generationen. Dies ist eine herausragende

Risiko-Nutzen-Asymmetrie.² Die Verteilungsfrage stellt sich dreifach [Flüeler 2005a]:

- Bürden vor Ort (Lager) vs. Nutzen der Allgemeinheit: Frage der *intragenerationellen* Verteilungs(un)gerechtigkeit
- Laien- vs. Expertensichtweisen: fachliche Verteilungsfrage („evidentiary equity“)
- Heutige vs. kommende Generationen: *intergenerationelle* Verteilungsfrage

Die toxischen Abfälle sind nach Beck als sogenanntes „Modernisierungsrisiko“ folgendermaßen [Beck 1986] charakterisiert³:

- Sie sind nach Ort, Zeit und betroffener Bevölkerung nicht eingrenzbare.
- Kausalität und Haftung sind letztlich niemandem zurechenbar.
- Die Irreversibilität allfälliger Folgen ist nicht kompensierbar.

Luhmann spricht, auch im Abfallbereich, von „Rationalitätszumutungen“ bei der Verschiebung vom (selbstgetragenen, kalkulierten) Risiko des Entscheiders zur

2 Eine solche gibt es allerdings auch in anderen Technikbereichen: konventionelle Sonderabfälle (Seidl et al. 2021, Flüeler 2014b, 2013), Kohlendioxidsspeicher (Flüeler 2024a, 2014b, 2012a), die allenfalls aus den Erfahrungen Lehren ziehen können/sollten (Flüeler 2024b, 2023).

3 Bei den radioaktiven Abfällen steht nicht die akute Gefahr für Individuen im Vordergrund, sondern ein chronisches, „schleichendes“ Risiko (Flüeler 2006a,17).

(auferlegten) Gefahr für später allenfalls davon Betroffene, ja „[d]as riskante Verhalten des einen wird zur Gefahr des anderen, und die Differenz von Gefahr und Risiko wird zum politischen Problem“ [Luhmann 1990].

Ansatz: von Robustheit zu Resilienz

Bei komplexen Sachverhalten ist es möglich, dass konkurrierende Ziele bestehen (für den Bereich gerafft beschrieben in Flüeler 2006a oder ENTRIA 2014). Das Zauberwort „Nachhaltigkeit“, ein Komplexziel, umfasst Schutz von und Handlungsspielraum für Generationen der Zukunft. Im Fall der sicheren Lagerung radioaktiver Abfälle sind also passiver Sicherheit und „aktiver“ Kontrolle bzw. Überwachung parallel Beachtung zu schenken (ausgeführt in Flüeler 2001a/b, 2006a). Angestrebt wird, wie dort dargelegt, ein konservatives, passives, stabiles System mit eingebauten Kontroll- und Eingreifmechanismen. Der Überlegung liegt die Annahme zugrunde, dass nach Pearce eine integrierte Sichtweise nötig ist, um mit komplexen soziotechnischen Systemen angemessen umzugehen [Pierce 1979]. Übertragen auf radioaktive Abfälle bedeutet dies, dass technische Barrieren gegen den Austritt von Radioaktivität gefragt sind wie auch gesellschaftliche Kontrollen, um Zuversicht in die technischen Risikoanalysen und Vertrauen in die damit beauftragten Personen und Institutionen zu erlangen und aufrecht zu erhalten. In der Tat ist es die Integration gesellschaftlicher Aspekte und Forderungen in das Mehrbarrieren-Konzept der „tiefgestaffelten Verteidigung“ oder „defence in depth“, mit dem die technische Gemeinschaft vertraut ist [IAEA 1996, Risk Engineering 2024].

Allgemein gilt ein System als „robust“, wenn es nicht empfindlich auf bedeutsame Änderungen der Parameter, beispielsweise infolge Einfluss von außen, reagiert. Offensichtlich können Verfahren nur dann als im strengen Sinne robust bezeichnet werden, wenn das Problem ausschließlich technischer Art ist. Die Systemeigenschaften radioaktiver Abfälle sind aber derart, dass in Bezug auf Langzeitsicherheit „nicht beabsichtigt ist, einen im mathematischen Sinn strengen Nachweis der Sicherheit zu führen, sondern eher einen überzeugenden Satz von Argumenten aufzustellen, die eine Sicherheitsanalyse abstützen“ [NEA 1999, NEA et al. 1991]. Entsprechend kann hier nicht einmal „technische“ Robustheit wie in anderen, herkömmlichen technischen Systemen angepeilt werden. Trotzdem sind es gerade robuste Kontrollsysteme, die der Charakterisierung und Bewertung der vielfältigen Ungewissheiten dienen, die ihrerseits die vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen technischen und gesellschaftlichen Aspekten dokumentieren.

Damit lässt sich nach Rip „soziale Robustheit“ erzielen, wenn die meisten Argumente, die Faktenlage, die sozialen Koalitionen, Interessen und Werte zu einer konsistenten Option führen [Rip 1986]. Diese Überlegungen führen dazu, dass Robustheit in unserem Fall langfristiger Komplexität zu kurz greift. Das weitergehende Konzept der Resilienz [Walker et al. 2004, Buzzanell 2010] bedeutet, dass ein System Störungen aufnehmen kann, bevor es umgebaut werden muss, proaktiv, nicht nur in Form einer zusätzlichen Schutzbarriere – und dies überall: auf der Mikroebene (individuell, Personal), der Mesoebene (Gruppe, Institution, Firma) und der Makroebene (regional, national, international, supranational)⁴.

Erstes Fazit: Die Langzeitsicherheit von Endlagern radioaktiver Abfälle kann nicht wirklich „bewiesen“ werden. Deren „Ent-Sorgung“ als der Gesellschaft auferlegter technischer Sachzwang ist sicherheitstechnisch komplex und gesellschaftlich umstritten. Das Problem ist verzwickelt, oft „wicked“ [Brunnengräber 2019, Rittel & Webber 1973], m.E. besser „messy“ [Metlay & Sarewitz 2012] genannt, da im Ganzen schlecht definiert und ohne klare Stoppregeln, wann und wie genau eine Lösung erreicht wird. Die Auswahl eines sicherheitstechnisch geeigneten und gesellschaftlich geduldeten Standorts ist ein erster Schritt zu einer resilienten „Lösung“. Es gibt keinen Königsweg, aber der Ansatz muss insofern ganzheitlich sein, als alle relevanten Dimensionen gebührend und kontinuierlich zu berücksichtigen sind. Aus verschiedenen Gründen, die hier nicht erläutert werden, stehen nationalstaatliche „Lösungen“ im Vordergrund, die aber nach dem Stand von Wissenschaft und Technik anzugehen sind. Dieser schließt ausdrücklich die Sozial- und Geisteswissenschaften ein (in einem weiten Feld: Ethikforschung, Institutionenanalyse, Technikfolgenabschätzung bis zur Partizipationsforschung, vgl. Flüeler 2006b). Der stufige Nachweis über die Zeit ist entscheidend: von der Standortauswahl bis zum Verschluss des Lagers. Grundsätzlich müssen verschiedenartige Argumentationsketten zum selben Ergebnis führen

Hochkomplexes System: Produkt und Prozess müssen gut sein

Wir stehen vor einem außerordentlich komplexen Gebilde: inhaltlich, zeitlich und mit vielen, wechselnden Akteuren. Die Sicherheitsnachweisführung ist schwierig und wenige Fachleute haben den vollen Durchblick (vgl. fachliche Verteilungsgerechtigkeit oben). 99 Prozent Aller sind Laien – auch die Experten in Bereichen, in denen sie keine Expertise haben. Das Ganze zieht sich über Jahrzehnte hin. Daraus ist zu schließen, dass gesellschaftlich der Prozess, nicht nur

⁴ Ausgeführt mit entsprechenden Referenzen in Flüeler (2023).

das Produkt, im Zentrum steht [Krütli et al. 2012]. Es geht nur mit Vertrauen der Akteure in den Prozess und zueinander. Dies braucht Ressourcen: Strukturen, kompetente Institutionen, Personal, Diskurs, Zeit, Geld

Viele Personen sind beteiligt. Das Personal der Schlüsselinstitutionen Vorhabenträger, Behörden, Begleitgremien braucht, wie eigentlich jedermann und jedefrau,

- eine entwickelte (Gesprächs-)Kultur,
- Achtung vor anderen Menschen und Meinungen,
- die Größe, Fehler zugeben zu können,
- Durchsetzungsvermögen und Flexibilität gleichzeitig,
- die Fähigkeit zum Perspektivenwechsel und
- die Fähigkeit zur Empathie.

Dies gilt umso mehr, als das deutsche Standortauswahlverfahren gemäß Gesetz partizipativ, wissenschaftsbasiert, transparent, selbsthinterfragend und lernend zu sein hat [StandAG 2017]. Eine solche Vorgabe ist nötig, da die lange Geschichte der Endlagerung, gerade in Deutschland, aber lange Zeit auch in der Schweiz [Hasler-Flüeler 2022], im Grunde bisher eine Misserfolgsgeschichte gewesen ist, die keine Rückschläge mehr verträgt (**Abbildung 2**). Ein Befreiungsschlag war, dass die Vorhabenträgerin Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) zu Beginn des neuen Suchverfahrens Gorleben aus dem Rennen genommen hat [BGE 2020a]. Auch wenn die Begründung angefochten werden kann, es blieb ihr nichts Anderes übrig; zu lange war ohne Sicherheitsanalysen darauf beharrt und gleichzeitig dagegen gekämpft worden [Tiggemann 2019]. Weder abzusehende Altlasten [vgl. Asse: Ilg et al. 2017, Bundestag 2020, Flüeler 2005b] noch Dauerprovisorien in den Zwischenlagern können „Lösungen“ sein. Nur ein fachlicher und gesellschaftlicher Diskurs in einer systematischen Standortsuche und -findung hat eine Chance auf Erfolg.

Umfassende Beteiligung und Interessenberücksichtigung, gerade in der Konzeptphase, sind zentral, da nur so tragfähige Entscheide über Probleme von großer Tragweite langfristig legitimiert werden können. Wynne hat zudem darauf hingewiesen, dass Information nur für jene Informationscharakter hat, die ihr zugrundeliegende Annahmen teilen, ansonsten wird sie als Artefakt (ab)gewertet [Wynne 1989]. Ein dynamisches, gegenseitiges Lernen der Akteure nimmt zwar Zeit in Anspruch, kann aber auf die Dauer effektiver (zielgerichteter) und effizienter (mit weniger Reibungsverlusten verbunden) sein.

Da offensichtlich nicht alle Ziele aller Akteursgruppen erreicht werden können, müssen sie nach ihrer jeweiligen Verantwortung ausgehandelt werden [Linnerooth-Bayer & Fitzgerald 1984]. Es wäre vermessen und naiv anzunehmen, dass Akteure durch diese Debatte ihr Wertesystem ändern, jedenfalls nicht im Kern. Doch ist es vorstellbar, dass sie es in seinen von Sabatier so genannten „Sekundäraspekten“



Misstrauende Bürgerinnen und Bürger



„Gorleben ist verbrannte Erde“



Erkundungsbergwerk Gorleben

Abb. 2.
Dystopia oder Negativziel: Fixer und intransparenter (Standort-)Entscheid provoziert harschen Widerstand auf der Straße. *SZ 2010
Quellen (von oben nach unten):
Focke Strangmann DDP, Philipp Schulze DPA (2)

modifizieren könnten [Sabatier 1987], und zwar in so weit, als sie ein gemeinsames Interesse identifizieren oder, wie es Carter 1987 noch unspezifisch nannte, „gemeinsamen Boden“ finden [Carter 1987]. Die erwähnte Definition der „sozialen Robustheit“ nach Rip verdeutlicht, dass „Prozess“ nicht „nur“ eine Frage der Beteiligung ist, sondern dass hier ganz verschiedene Aspekte aus verschiedenen Perspektiven integriert bzw. problematisiert werden.

Die Konzentration auf „gemeinsamen Boden“ (und nicht auf Konsens) verdeutlicht, dass nicht so viele

Stimmen, sondern so viele Perspektiven wie möglich gesucht werden, um alle relevanten Facetten der Dimensionen einzuschließen: ethisch, technisch, ökologisch, wirtschaftlich, politisch, gesellschaftlich, räumlich und zeitlich. Dies ist keine Absage an Repräsentativität oder gar breite Beteiligung, sondern ein Aufruf zu einem inklusiven deliberativen Diskurs. Mit „Deliberation“ soll eine genügende Übereinstimmung in zentralen Themen durch Beratung und Überzeugung mittels sachlicher Argumente erreicht werden [Habermas 1981]: zumindest Konsent (niemand/wenige sagen nein) statt Konsens (alle sagen ja) zum Standort. Im Hinblick auf diese Multidimensionalität kann dies ein Weg sein, dass die Gesellschaft einen nachhaltigen Abschluss („closure“) des Problems findet [Bijker 1995]. Zumindest lassen sich so jeweilige Tunnelperspektiven jeder Akteursgruppe etwas und gegenseitig erhellen.

Mithilfe von Kriterien aus der Entscheidungsforschung und umfassenden Gouvernanzkonzepten lässt sich „gemeinsamer Boden“ in einem schrittweisen Verfahren und auf drei Diskursebenen finden [Flüeler 2023]:

Wenn die drei Diskursebenen zur Gewinnung „gemeinsamen Bodens“ in ausgewählten nationalen Entsorgungsprogrammen angewandt werden, lassen sich vor dem Hintergrund der jeweiligen Gesetzgebung und von Technik- sowie empirischen Wahrnehmungsstudien einige Aussagen machen [Flüeler 2004b, 2006b, 2009, 2014a,d, 2016, 2023] (**Tabelle 1**):

- 1. Problem(an)erkennung:** Es besteht Übereinkunft, dass radioaktive Abfälle bestehen und „entsorgt“ werden müssen, unabhängig vom Ort ihrer Erzeugung.
- 2. Konsens zu Hauptzielen:** „Lösungen“ im Inland werden bevorzugt. Der Grad von Schutz bzw. Eingriffsmöglichkeiten ist nicht überall der gleiche (keine Rückholung in den USA, 500 Jahre Rückholbarkeit in Deutschland, Rückholbarkeit solange Pilotlager offen in der Schweiz). Doch vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitszielbeziehung „Schutz vs. Kontrolle“ bzw. „Prozess-“ vs. „Zielorientierung“ ist es mittlerweile klar, dass das Abfallsystem dynamisch, anpassungsfähig, ja experimentell in seinen Instrumenten sein muss [Cook 1990], aber nicht in seinem „End“-Ziel, dem passiven Schutz der heutigen und künftigen Menschen und

| Rahmen | Entscheidungsforschung (Diskursebenen) | Gouvernanz |
|--------------------|---|--|
| Schritt 1 | Sich informieren Informationssammlung | Integrierte Wissenserzeugung |
| Diskutieren | Problemerkennung Problemidentifizierung Problemformulierung | Diagnose |
| Schritt 2 | Entscheiden | |
| Entscheiden | Konsens zu Hauptzielen Optionen Auslegung (Konsent) Umgang mit Unsicherheiten und verschiedenen Wissensarten Resilienz/Anpassungsfähigkeit: Umkehrbarkeit, Rückholbarkeit, Kontrolle, Pilotlager (Konsent) Konfliktmanagement „Spielregeln“ | Ziele und Prioritäten Starkes Netzwerk <u>und</u> flexible Strukturen Verfahrenstrategie Regeln, Verfahren: Gesetzgebung, Richtlinien Handlungen festlegen: Programm, Ressourcen |
| Schritt 3 | Organisieren | Kohärentes Handeln |
| Ausführen | Resilienz: (regionaler) Sinn für Problemaneignung und Sorge | Ressourcen zur Umsetzung: anpassungsfähige Institutionen |
| (Schritt 4 | Überprüfung/Validierung | Überwachung |
| Evaluieren) | Vergleich von Ist- und Zielzustand | Langzeitauswirkungen der Maßnahmen Überprüfung der interaktiven strategischen Entwicklung |

| Diskursebene Stand der Einigung | (Gute) Gouvernanz | Schweiz | Deutschland |
|---|-----------------------------------|---|--|
| Schritt 1 Gesellschaftlicher Diskurs | | | |
| Problem(an)erkennung | Rechtssicherheit, Gesetzgebung | Abfall existiert Kernenergiegesetz 2005, Ausstieg in Volksabstimmung entschieden | Abfall existiert StandAG 2013/2017 |
| (Organisierte) Debatte? (Regionen) | Partizipativ | National: Abstimmungen in der Vergangenheit, geplante mögliche Abstimmung zum Standort (ca. 2031) Regional (6->3->1): Sachplan | National: Endlagerforum, Beschluss Bundesrat und Bundestag Regional: geplant (mehrere) |
| Schritt 2 Gemeinsamer Boden | | | |
| Zielkonsens | Konsensorientiert | Standort im Inland (Gesetz/Umfragen) | Standort im Inland (Gesetz/Umfragen) |
| Schritt 3 Umsetzung | | | |
| Verfahrensstrategie (instrumentelle und institutionelle Ziele) | Partizipativ | Nationale Abstimmung Regionale Zusammenarbeit | Künftiger Beschluss im Parlament |
| | Transparent | Publizierung, umfassend, Sachplan | Publizierung, umfassend, StandAG |
| | Verantwortlich/ zurechenbar | Nationales Parlament, natl. Abstimmung ca. 2031 | Nationales Parlament (Bundestag und Bundesrat) |
| | Rasch reagierend | Verschiedene Gremien mit Überprüfung | Nach 50 J. Standort Gorleben auf- gegeben von verantwortlicher BGE |
| Schritt 4 Bewertung | | | |
| Evaluation | Validiert | Keine | Keine, Forschungsprogramm |
| Vertrauen in die Regierung (s. u.) | | 82/93/-/84 | 59/82/-/61 |
| Demokratieindex | Deliberativer Demokratie-Index | 0.98 | 0.98 |
| Quellen: Vertrauen: OECD 2018/Our World 2020/OECD 2021/World Pop. Review 2024, %, gerundet. | UNESCAP 2009 V-Dem 2024 | BFE Sachplan 2008/2011, BFE 2024 | Kommission 2016, BGE 2020a/b |

Quelle: Flüeler 2023, erweitert

Umwelten. Also müssen zentrale Themen wie Endlagerung vs. Rückholbarkeit der Abfälle bzw. Umkehrbarkeit der Entscheide auf den Tisch, und zwar umfassend, auch wenn dies explosiv ist [Flüeler 2012b]. Sonst werden sie uns oder unseren Nachkommen durch die Hintertür wieder serviert. Simplistische Forderungen nach „Umkehr aller Entscheidungen“ sind aufzudecken. Ob und wie sich technisches Monitoring und Rückholbarkeit positiv auswirken, ist noch zu zeigen [z. B. Mintzloff et al. 2022]. Auswirkungen schlecht begründeter Entscheidungen geraten zum Nachteil kommender Generationen, Inkonsistenzen untergraben die Glaubwürdigkeit des gesamten Unternehmens und nachträgliche Korrekturen sind, wie wir mittlerweile alle wissen, teuer.

Die Langfristigkeit eines Lagerprojekts macht ein konsistentes Management und eine angemessene

Ressourcenallokation schwierig, selbst wenn man den absehbaren Verschluss als „definitive“ Projektbeendigung erklärt [im Folgenden nach Flüeler 2002a]. Zu Beginn des ersten definierten Programms in der Schweiz (Projekt „Gewähr 1985“) war man sich der Vielschichtigkeit der Problematik nicht bewusst (oder wollte sie nicht wahrhaben). So hiess es vonseiten der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) 1982: „Dass das Projekt machbar ist, wissen wir heute schon, doch der Sicherheitsnachweis steht noch aus“. Auch die „Politik“ wies keine angemessene Ziel-Mittel-Relation auf. Trotz Erklärung der Entsorgung als „nationale Aufgabe“ wurde sie der Nagra als Genossenschaft der KKW-Betreiber überantwortet, nach einem eng verstandenen Verursacherprinzip. So befand 1979 die Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung AGNEB, dass wegen Erzeugerverantwortung „die Aufgabe der Arbeitsgruppe, ein

| USA | Kanada | Finnland |
|--|---|---|
| Abfall existiert Nuclear Waste Policy Act 1982 | Abfall existiert Nuclear Fuel Waste Act 2002 | Abfall existiert Regierungsentscheidung 1983 |
| National: keine Regional: keine | Choosing a Way Forward (Nationaler Dialog: 2002-2005) | National: keine Regional: Gemeindeabstimmung (positiv 2001) |
| Standort im Inland (Gesetz/Umfragen) | Standort im Inland (Umfragen) | Standort im Inland (Importverbot) |
| Nicht entschieden, offen (Stand August 2022) | Adaptive Phased Management (2007) | Decision in Principle 2001 |
| Publizierung | Publizierung | Publizierung |
| Kongress (unbestimmte Zukunft) | Standortauswahlverfahren (2008-2010), aktuell 2 Standorte in Ontario | Parlament |
| Für Yucca Mtn.: Reg. Bush und Trump Dagegen: Reg. Obama, Trump-Aussage vom März 2020, Präs. Biden vom Aug. 2021 | | Kein Widerstand, nach Plan laufend |
| Keine | Keine | Keine |
| 33/53/-/31 (Pew 2020/2023: 20/16) | 63/73/45/51 | -/81/62/78 |
| 0.84 | 0.82 | 0.94 |
| NWTRB 2015, Politico 2020, EPA 2024, IAEA 2024b, www.yuccamountain.org | Nuclear Fuel Waste Act 2002, NWMO 2005, NWMO 2024 | Posiva 2018, 2024a, Choi 2018, Lagerlöf et al. 2018, Kojo et al. 2019 |

Tab. 1.

Übereinstimmung von Kriterien „guter Gouvernanz“ und „gemeinsamen Bodens“ in ausgewählten staatlichen Entsorgungsprogrammen.

bundeseigenes Entsorgungsprojekt auszuarbeiten, fallen gelassen werden konnte“. Die Aufsichtsbehörde war schlecht ausgestattet, aber auch die Sicherheitsforschung im Bereich Entsorgung wurde fast ausschließlich der Nagra bzw. dem von dieser alimentierten Paul-Scherrer-Institut überlassen.

Eine angemessene Zielanalyse hat die angestrebte Leistungsfähigkeit eines Systems zu durchleuchten, ebenso die soeben erwähnten Ziel-Mittel-Beziehungen (Einsatz von Ressourcen zur Zielerreichung) und die Verfahrensbeteiligung („Prozessnutzen“). Nach wie vor Ziel im Umgang mit radioaktiven Abfällen in der Schweiz ist, dass „die dauernde, sichere Entsorgung und Endlagerung der ... radioaktiven Abfälle gewährleistet“ werden muss. Dies wurde 1979 in einer Abstimmung über den Bundesbeschluss zum Atomgesetz festgesetzt. In Deutschland konnte ein diesbezüglicher Konsens

erst mit der Entsorgungskommission und der darauffolgenden Formulierung des Standortauswahlgesetzes 2013/2017 erreicht werden.

3. Verfahrensstrategie: Da für Nichtexperten die technische Argumentation schwierig verständlich ist, steht für sie ein nachvollziehbares Verfahren im Vordergrund. Insofern müssen Technikexperten lernen, dass ein Laienpublikum eher prozess- als ergebnisorientiert ist [Krütli et al. 2012]. Ebenso steht ihre Glaubwürdigkeit zur Debatte; Vertrauen in Verfahren hängen zusammen mit vertrauten und vertrauenswürdigen Akteuren. Klare „Spielregeln“ ab Start wurden in der Schweiz 2008 mit dem Sachplan geologische Tiefenlager und in Deutschland 2013 (2017) mit dem Standortauswahlgesetz festgelegt. In den USA dagegen bestimmte der Kongress 1987 Yucca Mountain (Utah) als einzigen Standort für hochradioaktive Abfälle, wogegen das Gesetz fünf Jahre zuvor je einen Standort im

Osten und im Westen des Landes allein aufgrund technischer Kriterien vorgesehen hatte. Als Sonderfall kann Finnland betrachtet werden, der einzige Staat, der den einmal gesetzten Fahrplan eingehalten hat [NEA 2019, Metlay 2021]. Zusammen mit Schweden steht es bisher mit Erfolg allein – geologisch schwierige Verhältnisse werden mit technischen Barrieren kompensiert, dies an bestehenden Nuklearstandorten und bei hohem Vertrauen in die staatlichen Stellen [Choi 2018, Lagerlöf 2023]. Das Vertrauen in die institutionellen Akteure ist – wie in Schweden – so gross, dass Kontrolle (Überwachung) kleingeschrieben wird und Rückholbarkeit nicht vorgesehen ist [Lagerlöf et al. 2018]. Dies ganz im Gegensatz etwa zu Frankreich [Kojó et al. 2019].

Mittlerweile ist „Lernen“ in aller Munde: „Unablässiges Lernen als Teil eines schrittweisen Prozesses verschafft die Fähigkeit, den Entsorgungsprozess während seiner Umsetzung anzupassen, so dass die Flexibilität besteht, die ganze Breite von Optionen für die Erhöhung der Sicherheit, je nach Angemessenheit und Bedarf, ins Auge zu fassen, und Entscheidungen umgestoßen werden können“ [NEA 2020]. Die Entsorgungskommission verwendete das Stichwort „Lernen“ 20-mal in ihrem Schlussbericht [Kommission 2016]. Entsprechend fordert das StandAG ein „lernendes Verfahren“ (wobei damit wohl lernende Akteure oder Institutionen gemeint sind). Ein erstaunliches Beispiel dafür ist, dass, wie gesagt, die neue Projektträgerin BGE zu Beginn des Standortauswahlverfahrens im September 2020 Gorleben aus dem Rennen genommen hat [BGE 2020b], das über ein halbes Jahrhundert das Standbein der offiziellen deutschen Entsorgungspolitik gewesen war und seit je in der Kritik gestanden hatte [Tiggemann 2019]. Was institutionelles Lernen angeht, wird Argyris' Definition bestätigt, dass Lernen in der Organisation ein Prozess der Anerkennung und Korrektur von Fehlern bedeutet [Argyris 1982].

„Weiche Faktoren“: Sicherheitskultur, Fehlerkultur, Organisationskultur

Wir stehen vor einem komplexen gekoppeltem System, das ein Lernen erschwert, Prozesse sind schwer durchschaubar, oft eingleisig definiert und mit wenig Handlungsspielraum ausgestattet. Zuweilen braucht es erst schwere Unfälle, die Denk- und Kurswechsel provozieren. Der Nuklearunfall von Harrisburg [Three Mile Island 1979] rückte den Faktor Mensch in den Brennpunkt der Reaktorsicherheit. Nach der Katastrophe von Tschernobyl im April 1986 entwickelte die nukleare Gemeinschaft das Konzept der Sicherheitskultur [IAEA 1991, 2024a]. Zu Beginn desselben Jahres ereignete sich der bis dahin schwerste Unfall des US-amerikanischen Raumfahrtprogramms: die Explosion der Challenger 73 Sekunden nach dem Start. Den Leitspruch „Failure is not an option“ des Flugdirektors von Apollo 13 musste die NASA von da an in einem anderen Licht sehen [NASA 2011].

Versagen ist immer eine Option und führt manchmal zu Verbesserungen. Fehler zuzugeben heißt oft, die Schuld auf sich zu nehmen; aber es kann auch Mut machen – ja eine Gruppe, eine Unternehmung, eine Einrichtung kann sogar gestärkt aus einem Missgeschick oder Ereignis hervorgehen, wenn sie wahrhaftig daraus Lehren zieht. Beispiele sind eben die Aufgabe von Gorleben oder der Fokuswechsel von Kristallin zu Sedimenten im Schweizer Programm in den 1990er-Jahren [HSK 2001]. Manchmal ist es unklar, wie weit das Lernen fortgeschritten ist (Unfälle im amerikanischen WIPP 2014, Klaus 2019). Im Wissen um die Langzeitlichkeit des Entsorgungsprozesses können Informations- und Wissensweitergabe zu Fehlern, Missverständnissen und Fehlinterpretationen führen.

Gemäß dem hier vorgeschlagenen Konzept der Integration von Themen und Sichtweisen erfolgt die Umsetzung einer „Fehlerkultur“ auf mehreren Ebenen:

- Konzeptuell: Durchführung einer „robusten“ Standortauswahl, Zulassung von Rückschritten falls wesentlich
- Behördlich: Durchführung phasenweiser Sicherheitsüberprüfungen (Standortauswahl, Auslegung, Planung, Bau, Betrieb, Verschluss, Nachverschlussphase)
- Auslegungsbezogen: Integration von Kontrollmechanismen (Pilotlager zur Überwachung und Validierung der Sicherheitsanalysen), begrenzte Rückholbarkeit
- Organisatorisch, kulturell: Sicherung eines umfassenden Informations- und Wissenstransfers (mit möglichem Informationsverlust als Versagen), transparenter und dokumentierter Umgang mit Minderheitsmeinungen, erweiterte Überprüfung (u. a. mit einem übergeordneten Wächtergremium)

Sicherheitskultur – und Organisationskultur als Ganzes – erfasst alle Ebenen: vom Topmanagement bis zu den einzelnen Mitarbeitenden. Nach der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) ist sie „die Gesamtheit aller Eigenschaften und Haltungen in Organisationen und Individuen, die es als übergeordnetes Ziel schafft, dass Schutz- und Sicherheitsfragen die Aufmerksamkeit kriegen, die ihnen ihrer Bedeutung nach zusteht“ [IAEA 2022, 2007, nach IAEA 1991].

Es ist entscheidend, dass ein umfassender gesellschaftlicher Diskurs stattfindet, ohne zentrale Themen über Bord gehen zu lassen. Die Ansätze in verschiedenen Staaten haben sich über die Zeit entwickelt [Flüeler 2004b, 2006b, 2009, 2024b; IAEA 2024b], im Grunde von technokratischen zu mehr pluralistischen Modellen – weil erstere in allen Fällen missrieten (**Abbildung 3**). So sind Japan [Amekawa 2023] und Großbritannien („working with communities“), auch Spanien, zu einem Freiwilligkeitsansatz übergegangen, während sich in Schweden, Finnland und Belgien (hier für schwachaktive Abfälle mit sog. „local partnerships“) die Projektanten mit „nuklearisierten“ Kommunen einigen

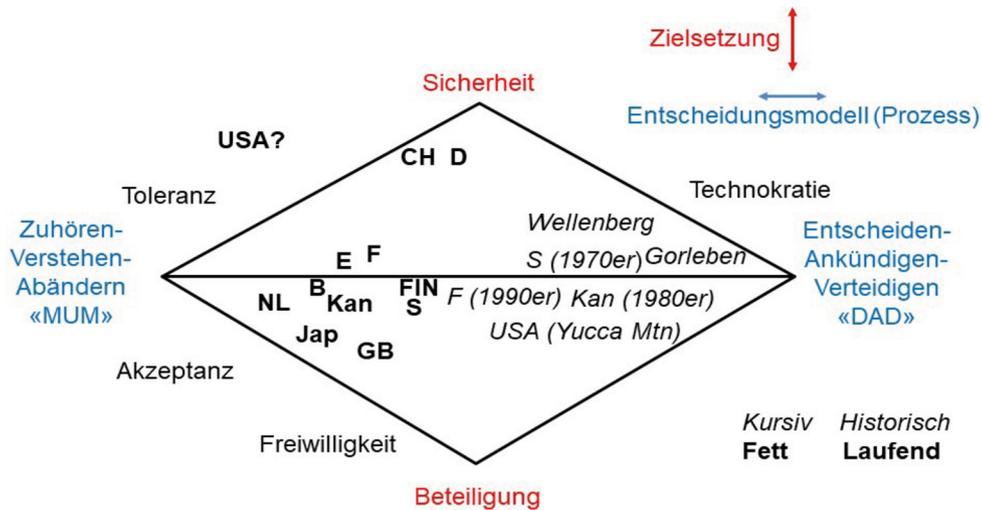


Abb. 3. Wechsel der Herangehensweisen in verschiedenen Staaten: Betonung von „Sicherheit“ oder „Beteiligung“ mit den Gegenspielern in Entscheidungsansätzen „MUM“ („Meet-Understand-Modify“) und „DAD“ („Decide-Announce-Defend“). Eine Neigung zu „Beteiligung“ bedeutet nicht automatisch eine Absage an die „Sicherheit“. B Belgien, CH Schweiz, D Deutschland, E Spanien, F Frankreich FIN Finnland, GB Großbritannien, Jap Japan, Kan Kanada, NL Niederlande, S Schweden, USA Vereinigte Staaten von Amerika. Quellen: Flüeler 2016, 2023, 2024; IAEA 2024b

konnten. Deutschland und die Schweiz haben unmissverständlich die (passive) Sicherheit eines End- oder Tiefenlagers an oberste Stelle gesetzt, wollen jedoch regional (Schweiz) oder auf allen Ebenen (Deutschland) gezielt die Öffentlichkeit beteiligen. Die Eidgenossenschaft braucht doppelt so lang wie von der Bundesregierung einst vorgesehen (20 statt 10 Jahre), doch man ist, wie es aussieht, auf dem Weg zum Ziel. Nach einem hoffnungsvollen Start mit einem nationalen Dialog (2005-2010) ist Kanada mit zwei möglichen Standorten stecken geblieben [NWMO 2024]. Die Niederlande verfolgen nur die Option eines oberirdischen (Zwischen-)Lagers. Das französische Konzept versucht, mit zeitlich unbestimmter Rückholoption und massiven technologischen Investitionen in einer wirtschaftlich schwachen Region gesellschaftlichen Forderungen nachzukommen [Andra 2024].

Das Bohren harter Bretter ... und vieler Gesteinsschichten

Langwierig ist der Prozess, und doch muss er zielgerichtet sein. Es geht um ein (gemeinsames) Finden des „bestmöglichen“ („sichersten“) Standorts im Rahmen eines systematischen, sicherheitsgerichteten Verfahrens. „Bestmöglich“ heißt hier offensichtlich, dass aufgrund nachvollziehbarer Kriterien der „beste“ aller systematisch untersuchten Standorte zu finden ist – und nicht etwa der beste aller überhaupt möglichen (da erkenntnistheoretisch unmöglich), aber der beste aller „geeigneten“ [Thomauske 2023, 17]. In der Schweiz wurde 2003 vom Parlament ein Kernenergiegesetz verabschiedet, das die Entsorgung radioaktiver Abfälle im Inland vorschreibt, und zwar in einem „geologischen Tiefenlager“, will heißen: einer erweiterten Endlagerung mit einem **Pilotlager**, das zeitlich beschränkt zu kontrollieren ist, und Rückholbarkeit innerhalb einer von der Schweizer

Regierung zu definierenden „Beobachtungsphase“ [KEG 2003]. Dagegen wurde kein Referendum ergriffen, also darf man sagen, dass das Konzept in der Schweiz breit abgestützt ist. Wie erwähnt hatte die Stimmbevölkerung bereits in den 1970er-Jahren einen Bundesbeschluss angenommen, wonach die „dauernde, sichere Entsorgung und Endlagerung der radioaktiven Abfälle gewährleistet“ werden muss (Bundesbeschluss 1978). Umfragen haben immer wieder gezeigt, dass die Entsorgung, primär im Inland, zügig angegangen werden soll [Dichter-Institut 1992ff., BFE 2013, gfs.bern 2023]. 84 Prozent der Befragten wollen heute, dass es „nur fair ist, dass die Abfälle nun auch in der Schweiz gelagert werden“. 71 Prozent finden, dass im Inland eine Lagerung „technisch“, 61 Prozent „politisch lösbar“ ist [gfs.bern 2023]. Eine Grundsatzdebatte über die Thematik hat also faktisch stattgefunden. Doch brauchte es erst zwei negative Volksentscheide (gegen das Projekt Wellenberg der Nagra im Kanton Nidwalden 1995 bzw. 2002), bis mit dem **Kernenergiegesetz** ein systematisches Standortauswahlverfahren, der **Sachplan** geologische Tiefenlager mit einer „**weisen Landkarte**“ als Ausgangspunkt [Nagra 2022a], vorgeschrieben wurde (**Tabelle 2**). Obwohl Deutschland mit dem **AkEnd** zur Jahrtausendwende bahnbrechende Arbeit im Hinblick auf eine systematische sicherheitsgerichtete Standortauswahl leistete (AkEnd 2002, Ahlström et al. 2003, BASE 2024), was eben von der Schweiz aufgenommen wurde, Flüeler 2003), hat die eigentliche **nationale Debatte** über die Endlagerung erst 2020 mit der Veröffentlichung der Teilgebiete durch die BGE begonnen [BGE 2020b].

Nachdem die Nagra – nach Diskussionen der Fachgremien und auf Betreiben der damaligen Aufsichtsbehörde – Kristallingesteine Mitte der 1990-er Jahre aufgegeben hatte (HSK 2001), stellte sich nach und nach **Opalinuston** als geeignetes Sedimentgestein heraus. Im Gegensatz zu vor allem tektonisch überprägtem und

| Aspekte | Schweiz | Deutschland |
|------------------------------|---|---|
| Ansatz | AkEnd (übernommen 2008) „Weisse Landkarte“ | AkEnd (2002) „Weiße Landkarte“ |
| Naturwissenschaft/Technik | Opalinuston | Kristallin, Salz, Tone |
| Gesetzesvorgabe Verfahren | Tiefenlager (mit Pilotlager) Kernenergiegesetz: Sachplan | Endlager StandAG Lernend, Selbstorganisation |
| Zeitraumen | Offen, Sachplan (2008 bis ~2031) | StandAG: Standort: <u>2031</u> (2020: 54% Deutschlands) |
| Gesellschaft | Kernenergiegesetz 6 → 3 → 1+ RK (mit Gemeinden) | Nationale Debatte FKT → FES → RdR → x RK |
| Fachöffentlichkeit | Technisches Forum Sicherheit, Fachgruppen | Fachkonferenz Teilgebiete Nachprüfauftrag RK |
| Staatsebenen | Kantone (mit Expertise) | <u>Bundesländer</u> |
| Geschichte | <u>Wellenberg</u> | <u>Gorleben, Asse, Morsleben</u> |
| Reflexion | <u>1 Dissertation</u> | ENTRIA, TRANSENS usw. |
| Begleitung | <u>Beirat Entsorgung</u> | Nationales Begleitgremium (NBG) |
| Diskurskultur | <u>Nat. Ges. für die Lagerung rad. Abfälle</u> (Nagra) → Nagra | <u>BfS/DBE</u> → Bundesgesellschaft für Endlagerung BGE |
| „Aussteiger“ | Wenige (Grüne Unterland) | (BUND, versch. Bürgerinitiativen) |
| Ausblick | <u>Argumentationslücke Nördlich Lägern,</u> Forschungschance Mont Terri | Beteiligungslücke, Argumentationschance Einengung Kristallin |

Tab. 2.

Herausforderungen (unterstrichen) und „Lösungen“ bzw. Ansätze (**fett**) im Umgang mit radioaktiven Abfällen in der Schweiz und in Deutschland

Quelle: Flüeler 2024c

RK Regionalkonferenz(en) FKT Fachkonferenz Teilgebiete FES Forum Endlagersuche
RdR Rat der Regionen BfS Bundesamt für Strahlenschutz BUND für Umwelt und Naturschutz Deutschland
DBE Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe

kleinräumig zerklüftetem, schlecht explorierbarem **Kristallin** hat der Opalinuston mit seinen quellfähigen Tonmineralien ein ausgeprägtes Selbstabdichtungsvermögen, womit eine gewisse Deformation in Kauf genommen werden kann. Entsprechend baut das finnisch-schwedische Konzept im Granit sicherheitsmäßig auf technische Barrieren [Posiva 2024b]. Auch wenn die geologischen Verhältnisse in Deutschland anders sein mögen, sind Granitformationen sicherheitstechnisch grundsätzlich nachteilig. Dies gilt es vor dem gesetzlichen Zielpunkt zu beachten, wonach die „Festlegung des Standortes ... für das Jahr 2031 angestrebt [wird]“ [StandAG 2017], und vor dem Hintergrund, dass die BGE aktuell von einer „günstigen“ Teilfläche von 54 Prozent der Bundesrepublik ausgeht, also gegen 200 000 Quadratkilometer Ton, Salz und eben auch Kristallin [BGE 2020b]. Dass Granit und Gneis weder von der Fachgemeinde noch dem Gesetzgeber vertraut wird, zeigt die StandAG-Option „Endlager-system Typ 2“ (ohne einschlusswirksamen Gebirgsbereich), wonach wie im europäischen Norden eine technische Barriere die Hauptsicherheitslast zu tragen hätte [BGE 2022a].

Gesteinsschichten mussten und müssen mit großem Aufwand erbohrt und erkundet werden, doch

dasselbe – auf einer anderen Ebene – gilt für Gesellschaft und Politik: „Die Politik bedeutet ein starkes langsames Bohren von harten Brettern mit Leidenschaft und Augenmaß zugleich“, wie Max Weber vor über hundert Jahren feststellte [Weber 1919]. Auf Anraten der Endlagerkommission ist die Botschaft im Bundestag angekommen: Das Auswahlverfahren für einen geeigneten Standort soll laut StandAG partizipativ, transparent, selbsthinterfragend und lernend sein. So haben sich in Phase 1 die Fachkonferenz Teilgebiete (Schritt 1, Identifikation von Teilgebieten) und das Endlagerforum (Schritt 2, Identifikation möglicher Standortregionen) gebildet, und es stehen der Rat der Regionen und die Regionalkonferenzen in Phase 2 (der übertägigen Erkundung) bevor.

Die **Fachkonferenz Teilgebiete** von Phase 1 wurde zur „Fachöffentlichkeit“, einer Art pluralistischer Kompetenzbasis „von unten“. Wenn dem neu gegründeten **Forum Endlagersuche** die Chance gegeben wird, den bundesweiten Experten-Laien-Dialog zu gewährleisten, kann es als Bindeglied zu den Regionalkonferenzen in Phase 2 dienen [Flüeler 2021].

Die **Regionalkonferenzen** (RK) im schweizerischen Verfahren haben sich innert zwölf Jahren von einer

„Alibipartizipation“ zu ernstzunehmenden Akteuren gemauert. So hat seit September 2011 allein die RK Zürich Nordost 40 Vollversammlungen abgehalten, die **Fachgruppen** „Oberflächeninfrastruktur“, „Sicherheit“, „Regionale Entwicklung“ und „Infrastrukturgemeinden“ gebildet, viele Workshops durchgeführt und Ausbildungsmodule besucht. Inhaltlich stand der unerbittliche Einsatz für sauberes Grundwasser im Vordergrund, zu dem die Nagra 2015-2017 umfangreiche hydrogeologische Untersuchungen vornehmen musste; die **Fachgruppe Sicherheit** erstellte 2018 einen bemerkenswerten sogenannten „Prozesssicherheitsbericht“ und die gesamte RK forderte 2020 eine Zusatzrunde mit der Analyse weiterer Standortareale für eine Oberflächenanlage [RK ZNO 2022]⁵. Die Regierung des – in der Zwischenzeit von der Nagra auserwählten – Standortkantons Zürich hielt 2018 Ende Etappe 2 fest: „Die regionale Partizipation ... hat sich bewährt: ... Engagement und erlangte Kompetenz der Regionalkonferenzen im Allgemeinen und der Fachgruppen im Besonderen waren beeindruckend und wertvoll. Sie haben sich für die Kantone zu wichtigen Partnern entwickelt“ (Regierungsrat Kt. ZH 2018). Mit der Möglichkeit für sogenannte **Nachprüfaufträge** gibt das bundesdeutsche Gesetz den künftigen RK ein schlagkräftiges Instrument in die Hand.

Auch die Rolle der Ebene zwischen den Gemeinden und dem Bund hat sich in der Schweiz geschärft. Wurde den **Kantonen** nach dem Wellenberg-Debakel mit dem Kernenergiegesetz 2003 das Vetorecht entzogen, war ihre Rolle auf die von „Betroffenen“ reduziert. Doch bündelten sie ihre Kräfte [Flüeler 2014a,c] mit einem Gremium politischer Entscheidungsträger (dem Ausschuss der Kantone mit den zuständigen Ministern), einem Projektleitungsteam und vor allem der Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone und renommierten externen Fachleuten (in der Kantonalen Expertengruppe Sicherheit) [KES 2024]. Es waren deren Experten, die die Nagra zur Rücknahme ihres Vorentscheids in Etappe 2 mahnten: „Die Zurückstellung von Nördlich Lägern (NL) ist nicht gerechtfertigt. Das Argument eines zu geringen Platzangebots wegen Einschränkungen durch Tiefenlage und Tektonik hält einer näheren Überprüfung nicht stand“ (dokumentiert in AG SiKa/KES 2016). Darauf erhob die Aufsichtsbehörde ENSI Nachforderungen, und die Nagra untersuchte das Standortgebiet Nördlich Lägern weiter. Dieses wurde im September 2022 von der Nagra als das in allen Aspekten am besten geeignete zum Bau eines Tiefenlagers in der Schweiz vorgeschlagen [Nagra 2022b]. Politische Überlegungen spielten dabei, jedenfalls nach Sichtung aller verfügbaren Unterlagen und

Einschätzung der kantonalen Fachleute, keine Rolle. Eine ähnliche tragende Rolle der Bundesländer ist im deutschen Verfahren nicht zu erkennen.

Anders sieht es in der wissenschaftlichen Begutachtung oder auch der Begleitung des Verfahrens aus. Auch wenn es zumeist aus Vertretungen der Academia besteht, ist das **Nationale Begleitgremium (NBG)**, jedenfalls bisher, von den meisten Akteuren als Vertrauensbildner und Garant der Öffentlichkeitsbeteiligung anerkannt. Der Beirat Entsorgung im schweizerischen Verfahren dagegen ist wenig in der Öffentlichkeit aufgetreten und hat keine wirkliche Schlichtungsfunktion innegehabt, auch wenn er vom Pflichtenheft her „den Dialog unter allen Beteiligten fördern und mithelfen [soll], Prozessrisiken und -blockaden frühzeitig zu erkennen“ [Beirat Entsorgung 2024]. Auf der Reflexionsseite ist schmerzlich einzugestehen, dass es im insgesamt gesehen bisher recht erfolgreichen Schweizer Verfahren keine **wissenschaftliche Begleitforschung** gibt⁶. Ganz im Gegensatz zu früher ist dagegen in Deutschland geradezu eine Vielzahl von Forschungsplattformen entstanden (**Abbildung 4**).

Fazit: Im Diskurs, selbsthinterfragend und lernend ist Stabübergabe möglich

Ein erster Schritt in der „Entsorgung“ radioaktiver Abfälle ist die Auswahl eines sicherheitstechnisch geeigneten und gesellschaftlich geduldeten Standorts. Allein – dies ist erst das Ende vom Anfang des gesamten Unternehmens, es ist kein Sprint, nicht einmal ein Marathon, sondern eine beschwerliche Wanderung in steilem und sumpfigem Gelände bei schlechter Sicht und ungefähigem Ziel. Doch wir haben gute Ausrüstung (Sachplan, StandAG) und gute Kameradinnen und Kameraden (verschiedene) mit gutem Teamgeist (auch wenn die Aufgaben gemäß Rollenteilung andere sind). Die Stabübergabe muss überall klappen: von heute auf morgen, von einer technischen, gesellschaftlichen und politischen Gemeinschaft zur nächsten, von Regionalkonferenzen zu (bundesweit) künftigen Generationen, immer im Bestreben, möglichst viele Akteure im Prozess mitzunehmen, also möglichst wenige „**Aussteiger**“ beklagen zu müssen (**Tab. 2**). Meines Erachtens sollte ein „Zukunftsrat“ (oder wie auch immer er heißen möge) über die Einhaltung der Ziele und des Umsetzungsprogramms als – trans-generationaler, trans-politischer – Hüter wachen [Flüeler 2005a, 2021], der nicht nur den NIMBY⁷-, sondern auch den NIMTOO-Effekt überwinden helfen könnte.

5 Im **Technischen Forum Sicherheit (TFS)**, unter der Leitung der Aufsichtsbehörde ENSI, können sämtliche Interessierte Fragen zum laufenden Sachplan stellen und Antworten von denjenigen Fachpersonen bzw. Institutionen verlangen, die sie wünschen (<https://www.ensi.ch/de/themen/technisches-forum-sicherheit-schweiz>).

6 Lediglich eine Dissertation zum Sachplan ist entstanden: Alpiger C. (2019). Partizipative Entsorgungspolitik in der Schweiz. Evaluation von Beteiligungsverfahren bei der Suche nach Lagerstätten für radioaktive Abfälle. Diss. Univ. Bern. Nomos, Baden-Baden. Außerdem gibt es eine Studie über Beteiligungswerkzeuge: Planval (2014). Aufbau der regionalen Partizipation im Sachplanverfahren zur Standortsuche von geologischen Tiefenlagern. Umsetzung und Erfahrungen. Bundesamt für Energie, Bern.

7 NIMBY: Not In My Back Yard (~ St. Florian). NIMTOO: Not In My Term Of Office (“nicht in meiner Wahlperiode”).

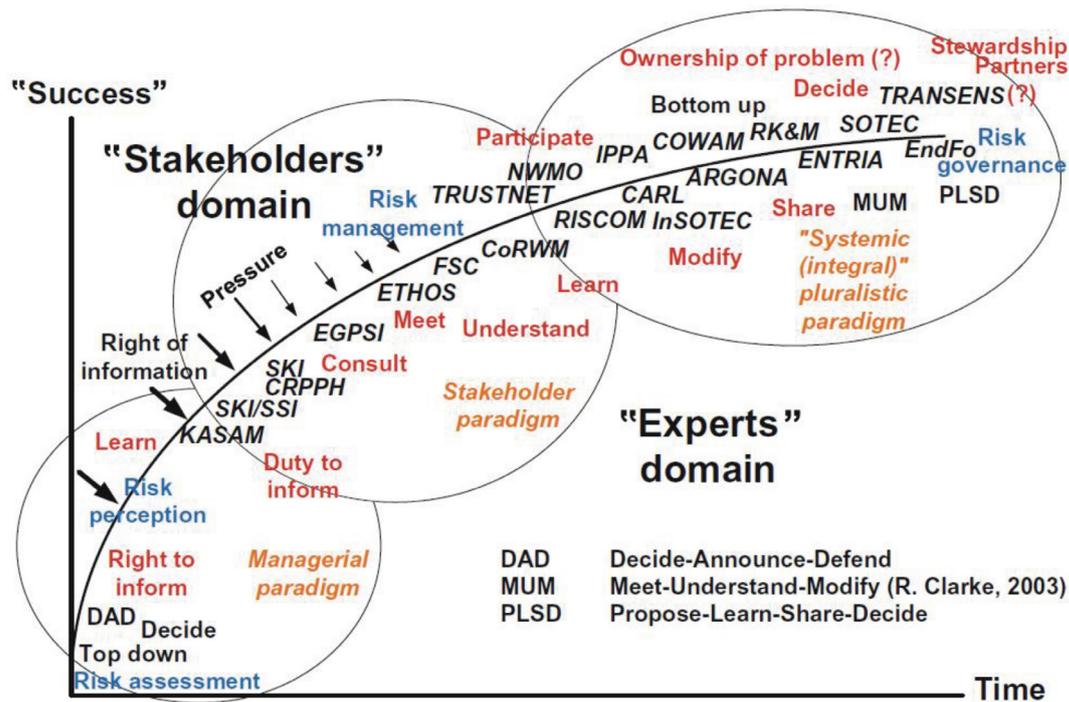


Abb. 4. „Lernkurve“ zur Öffentlichkeitsbeteiligung im Umgang mit radioaktiven Abfällen, Forschungsaktivitäten, Entscheidungsansätzen („Blasen“) und Sichtweisen der Risikoanalyse. ENRIA, EndFo, SOTEC und TRANSENS sind deutsche Forschungsplattformen. Der Kurvenverlauf dient als beispielhafter Anhaltswert. Quellen: Flüeler 2023, erweitert nach Flüeler 2006a, 198

Schließlich geht es nicht nur um technische Kontrolle (z. B. mit einem Pilotlager), sondern um ein langfristiges strategisches Monitoring der gesamten Unternehmung [Flüeler 2019]. Ein Lichtblick ist, dass sich in den letzten Jahren in beiden Ländern die **Diskurs- und Fehlerkultur** der Vorhabenträger massiv verbessert hat, u. a. durch Generationen- und auch Managementwechsel.

In der Schweiz sind die meisten Kriterien Rips einer „sozial robusten“ Herangehensweise berücksichtigt worden: Argumente (zeitlich begrenzt kontrolliertes und rückholbares Tiefenlager im Inland), Faktenlage (ein Wirtsgestein, nämlich Opalinuston), soziale Koalitionen (die meisten Schlüsselakteure nehmen am Sachplan teil) und Interessen (Prozessfragen wie Transparenz und Nachvollziehbarkeit). Tiefere Werte von Kernenergiebefürwortenden oder AKW-Gegnern lassen sich nicht vereinen. Ob soziale Robustheit auch langzeitliche Resilienz bedeutet, wird sich weisen.

Ausblick oder Das Schließen von Lücken und Nutzen von Chancen

In Deutschland etablierte sich das Forum Endlagersuche und die BGE qualifiziert nun die 90 Teilgebiete mit den „Noten“ A („beste Eignung“) bis D („ungeeignet“); das Schweizer Verfahren verzeichnet den Meilenstein Standortwahl durch die Projektantin Nagra. Von Stabübergabe an nächste Generationen war oben die Rede, doch ist das nicht eine diskrete, schlagartige Aufgabe nach, sagen wir, 30 Jahren, sondern Wissensübergabe muss kontinuierlich erfolgen – es dürfen keine Lücken jedweder Art entstehen bzw. Chancen sollten genutzt werden.

Konkret heißt das im Fall Schweiz, dass die Nagra ihre Argumentationslücke zum gewählten Standort Nördlich Lägern schließen muss (Tab. 2). Es war nämlich nicht „überevorsichtig“ [Braun 2022], dass sie sieben Jahre zuvor denselben Standort ausgeschlossen hatte – im Gegenteil: Vorsichtig wäre gewesen, ihn im Verfahren zu belassen, sonst könnte ja nicht „die Geologie gesprochen haben“, wie es heute heißt [ebd., Nagra 2022c]. Diese war 2015 dieselbe wie 2022, doch die Datenlage und die bautechnische Einschätzung sind heute weit besser als damals. Dies, weil die externen Experten die Nagra gezwungen hatten, 3D-Seismik flächendeckend anzuwenden und ausreichend Bohrungen abzuteufen. Diesen damaligen Kapitalfehler sollte man unumwunden zugeben: Wer Fehler eingesteht, steht nicht schlechter da – das Gegenteil ist der Fall: Dies ist Lernfähigkeit und auch Lernwilligkeit. Ebenso positiv wäre das Signal, Forschungsgelder hochzufahren im **Opalinuston-Labor Mont Terri**, nicht wie zurzeit auf 200 000 Franken jährlich zu drosseln. Denn in den zehn Jahren, dem noch verbleibenden Zeitfenster, bis in der Nordschweiz erste Bagger auffahren dürfen (falls überhaupt die Genehmigung erteilt wird), lassen sich einige Fragen schon näherungsweise und standortunabhängig beantworten, z. B. Verfüllung und Versiegelung, Rückholbarkeit oder Anforderungen an das Pilotlager. Dann weiß die Nagra ungefähr, was sie konzeptionell in einem Jahrzehnt erwartet, und kann die dazumal anfallenden erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertags einigermaßen entspannt angehen. Auch die Aufsichtsbehörde ENSI sollte endlich, nach zwei Jahrzehnten Gesetzesvorgabe [KEG 2003/2005], konkret untersuchen (zum Beispiel im Mont Terri), was sie mit dem Pilotlager vom Gesuchsteller will.

Im Fall Deutschland ist zu hoffen, dass das Forum Endlagersuche die heutige „Beteiligungslücke“ (zu den Regionalkonferenzen in Phase 2) schließen kann und die BGE die **Argumentationschance Ausschluss des Kristallins** nutzt; denn auch so muss sie innert nunmehr acht Jahren noch 83 Teilgebiete in Salz und Ton auf etwa zehn Standortregionen zur übertägigen und später untertägigen Erkundung reduzieren, um dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) zwei Standorte vorlegen zu können, damit erst das Bundesumweltministerium BMUV und dann die Bundesregierung fähig sind, Bundestag und Bundesrat einen Gesetzesentwurf für einen Standort zu unterbreiten. Dass zum Zeitplanbericht der BGE vom November 2022 [BGE 2022b] die „Fachcommunity ... bisher geschwiegen“ hat [Röhlig 2023, 54], ist unverständlich. Es ist dem Autor zuzustimmen, wenn er meint: „Die Möglichkeit, nach § 13 StandAG Empfehlungen zum Umgang mit Gebieten mit unzureichender Datenlage zu geben, wurde nicht genutzt“ (ebd.). Ohne Gouvernanzkriterien und entsprechendes Rollenverständnis zu verletzen, könnten und sollten sich alle Hauptakteure (auch BASE und BMUV) aktiv einbringen und den Fachdiskurs mit der Fachöffentlichkeit (einschließlich Forum Endlagersuche⁸) suchen, wie dies in der Schweiz in der Umfokussierung auf Nördlich Lägern der Fall war. In unzähligen Sitzungen im Technischen Forum Sicherheit, an Workshops usw. kamen die Akteure⁹ hier überein, das Standortgebiet Nördlich Lägern aus Sicherheitsgründen zu favorisieren. Dabei ging es nicht darum, Abkürzungen zu nehmen, sondern durch sachbasierte Beratung aller wichtigen Argumente eine genügende Übereinstimmung zu erlangen. Transparenz, Kritik und Kritikwilligkeit sind wirksame Gegengifte, falls sich allenfalls befürchtete „Insichgeschäfte“ entwickeln würden [Thomasske 2023, 17]. International erlangtes Wissen (wie Untergrundlabors in verschiedenen Gesteinen oder Ausschluss von Kristallin) könnte eine Hilfestellung bieten. Nicht jedes Wirtsgestein braucht 2- und 3D-Seismik, x Tiefbohrungen sowie inländische Erkundungsbergwerke und Untertage-labors¹⁰, um ausreichend qualifiziert zu werden. Eine quasi fachlich und politisch geeinte StandAG-Öffentlichkeit hätte gute Chancen, den Gesetzgeber zu überzeugen, das StandAG adäquat anzupassen (ebenso wie die Zivilgesellschaft, die sich nicht auf der Zielgeraden noch mit Rechtsmitteln wehren müsste). O-Ton BASE: „Denn nur als pluralistische Gesellschaft können wir unsere Ziele gemeinsam erreichen“¹¹.

Es geht nicht einfach darum, auf Biegen und Brechen einen unrealistischen Termin einzuhalten, sondern wir brauchen einen sicheren und akzeptablen sowie von den Betroffenen tolerierten Standort, an dem ein Lager gebaut, betrieben und innert nützlicher Frist mit gutem Gewissen verschlossen werden kann. Gras wächst nicht schneller, wenn man daran zieht.

■ Referenzen

- AG SiKa/KES (2016) Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2 – Fachbericht vom 11. Januar 2016 zum 2x2-Vorschlag der Nagra. Ausschuss der Kantone, Zürich. <https://www.zh.ch/radioaktiveabfalle> (>Ausschuss der Kantone) (alle Links aufgerufen am 11.4.2024)
- Ahlström P.-E., Flüeler T., Leijon B., Ström A. (2003). ILK-Stellungnahme zu den Empfehlungen des Arbeitskreises Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd). Internationale Länderkommission Kerntechnik. Juli 2003. Stockholm/Zürich/Augsburg
- AkEnd, Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (2002) Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlungen des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. W&S Druck GmbH, Köln. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Projekte/Standortauswahl/abgeschlossen/AkEnd_Auswahlverfahren_Endlagerstandorte.html?nn=9999498
- Amekawa Y. (2023) High-level radioactive disposal policy in Japan: a sociological appraisal. *Sustainability* 2023, 15, 7732, 1-26. <https://doi.org/10.3390/su15097732>
- Andra (2024) Website. Cigéo. Protéger des déchets radioactifs les plus dangereux. <https://www.andra.fr/cigeo>
- Argyris C. (1982) Reasoning, learning and action. Jossey-Bass Publishers, San Francisco
- Beirat Entsorgung (2024) Website. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/kernenergie/radioaktive-abfalle/sachplan-geologische-tiefenlager/beirat-entsorgung.html>
- BASE (2024) Website. „Endlagerkommission findet zum AkEnd zurück“. <https://endlagerdialog.de/2014/05/endlagerkommission-findet-akend-zurueck>
- Beck U. (1986) Risikogesellschaft – auf dem Weg in eine andere Moderne. Suhrkamp, Frankfurt a.M., 120
- BFE, Bundesamt für Energie (2008/2011/2024). Sachplan geologische Tiefenlager. Konzeptteil. BFE, Bern. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/kernenergie/radioaktive-abfalle/sachplan-geologische-tiefenlager.html>
- BFE (2013) Umfrage über radioaktive Abfälle: Die Entsorgung darf nicht anderen Generationen überlassen werden. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-50291.html>
- BFE (2024) Übersicht SGT. Aufgaben und Mitglieder der Gremien des Standortauswahlverfahrens. Stand 14.6.2023. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/kernenergie/radioaktive-abfalle/sachplan-geologische-tiefenlager.html>
- BGE, Bundesgesellschaft für Endlagerung (2020a) § 36 Salzstock Gorleben. Zusammenfassung existierender Studien und Ergebnisse gemäß §§ 22 bis 24 StandAG im Rahmen der Ermittlung von Teilgebieten gemäß § 13 StandAG. BGE, Peine. <https://www.bge.de/de/suche>
- BGE (2020b). Zwischenbericht Teilgebiete gemäß § 13 StandAG. BGE, Peine. <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete>
- BGE (2022a) Methodenbeschreibung zur Durchführung der repräsentativen vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen gemäß Endlagersicherheitsuntersuchungsverordnung. Stand 28.03.2022, 72. <https://www.bge.de/de/suche>
- BGE (2022b) Zeitliche Betrachtung des Standortauswahlverfahrens aus Sicht der BGE. Rahmenterminplanung für Schritt 2 der Phase I bis zum Vorschlag der Standortregionen und zeitliche Abschätzungen für Phase II und III.

8 Entsprechende Anträge (z. B. „begleitende Aufsicht praktizieren“) wurden im Forum Endlagersuche gestellt (siehe Anträge anlässlich des 2. Forums Endlagersuche in Halle (Saale) vom 17. und 18.11.2023).

9 Alle wichtigen Akteure sitzen hier an einem Tisch: verfahrensleitende Behörde BFE, überprüfende bzw. unterstützende Behörden (Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, swisstopo), Kommissionen (Kommission für nukleare Sicherheit KNS, Expertengruppe geologische Tiefenlagerung EGT), dt. Expertengruppe Schweizer Tiefenlager ESchT, Nagra, Beirat Entsorgung, Kantone samt deren Experten, Umweltministerium Baden-Württemberg, Umweltbundesamt Österreich, Landesregierung Vorarlberg, Nichtregierungsorganisationen (auch BUND Hochrhein) sowie Vertreter der Standortregionen (BFE 2024).

10 Die deutschen Partner (v.a. BGE, BGR, GRS, Helmholtz) werden im Forschungslabor Mont Terri zunehmend und verstärkt aktiv (<https://www.mont-terri.ch/de/mont-terri-projekt/organisation.html>).

11 <https://www.base.bund.de/DE/base/mediathek/bildergalerien/base-werte-demokratie.html>

- Bijker W.E. (1995) *Of bicycles, bakelites, and bulbs: Toward a theory of socio-technical change*. MIT Press, Cambridge, MA
- Braun M. (2022) Aussage an der Medienkonferenz vom 12.9.2022 in Bern: „Wir waren damals übervorsichtig. Aber nun ist der Entscheid erfreulich eindeutig: Die Geologie hat gesprochen“. <https://www.andelfinger.ch/themen/weinland/absage-heisst-nicht-totale-entwarnung>
- Brunnengräber A. (2019) The wicked problem of long term radioactive waste governance. In: Brunnengräber A., Di Nucci M.R. (eds.) *Conflicts, participation and acceptability in nuclear waste governance. An international comparison*. Vol. 3. Springer, Wiesbaden, 335-355. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27107-7_17
- Bundesbeschluss (1978) Bundesbeschluss zum Atomgesetz vom 6. Oktober 1978, Änderung 1983 (Verlängerung um 10 Jahre), Änderung vom 22.6.1990 (Verlängerung bis zum 31.12.2000), Änderung vom 4.10.2000 (in Kraft ab 1.1.2001, Verlängerung bis Ende 2010). Abgelöst durch Kernenergiegesetz 2003/2005
- Bundestag (2020) „Abfall-Rückholung aus Asse II bleibt ein Projekt für Jahrzehnte“. 22. April 2020. <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2020/kw17-pa-umwelt-asse-688010>
- Buzzanell P.M. (2010) Resilience: talking, resisting, and imagining new normalcies into being. *Journal of Communication* 60(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2009.01469.x>
- Carter L.J. (1987) *Nuclear imperatives and public trust: dealing with radioactive waste*. Resources of the Future, Washington, DC
- Choi Y. (2018) Trust in nuclear companies and social acceptance of a nuclear waste repository in Finland. *Journal of Environmental Information Science* 2018(1), 44-55. https://www.jstage.jst.go.jp/article/ceispapersen/2018/1/2018_44/_pdf
- Cook B.J., Emel J.L., Kasperson R.E. (1990) Organizing and managing radioactive waste disposal as an experiment. *Policy Analysis Management* 9(3), 339-366
- Dichter-Institut (1992) Schweizer Stimmbürgerinnen und Stimmbürger erwarten von Politikern und Parlamentariern tatkräftiges Vorwärtsmachen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Dichter-Institut, Zürich
- ENTRIA (2014) Memorandum zur Entsorgung hochradioaktiver Reststoffe. Röhlig K.-J. et al. Niedersächsische Technische Hochschule, Hannover
- EPA, US Environmental Protection Agency (2024) Summary of the Nuclear Waste Policy Act 1982. <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-nuclear-waste-policy-act>
- Flüeler T. (2001a) Options in radioactive waste management revisited: a proposed framework for robust decision making. *Risk Analysis* 21(4), 787-799. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.214150>
- Flüeler T. (2001b) Robustness in radioactive waste management. A contribution to decision-making in complex socio-technical systems. In: Zio E., Demichela M., Piccinini N. (eds.) *Safety & reliability. Towards a safer world*. Proceedings of the European Conference on Safety and Reliability. ESREL 2001. Torino, 16-20 September. Vol. 1. Politecnico di Torino, Torino, Italy, 317-325. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004336170>
- Flüeler T. (2002) Radioaktive Abfälle in der Schweiz. Muster der Entscheidungsfindung in komplexen soziotechnischen Systemen. Band I und II. Dissertation Nr. 14645. ETH, Zürich. dissertation.de, Berlin. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004443549>
- Flüeler T. (2003) Die Einbettung der Arbeit des AkEnd in den internationalen Kontext. Kommentar aus der Sicht eines Beobachters. In: Dally, A. (Hg.) *Atomwille und sozialer Friede. Strategien der Standortsuche für nukleare Endlager*. Loccum Protokolle 05/03. Evangelische Akademie, Rehburg-Loccum, 121-147
- Flüeler T. (2004a) Long-term radioactive waste management: challenges and approaches to regulatory decision making. In: Spitzer C., Schmockler U., Dang V.N. (eds.) *Probabilistic safety assessment and management 2004*. PSAM 7 – ESREL '04. Berlin, 14-18 June. Vol. 5. Springer, London, 2591-2596
- Flüeler T. (2004b). Stellungnahme zum Dokument „Grundsätze für die sichere Endlagerung. Die Sicherheitsphilosophie des Bundesamtes für Strahlenschutz“ (BfS-01/04). Gutachten für das BfS. ETH Zürich, Zürich
- Flüeler T. (2005a) Long-term knowledge generation and transfer in environmental issues – A challenge to a knowledge-based society. Setting the scene. In: Carrasquero J.V., Welsch F., Oropeza A., Flüeler T., Callaos N. (eds.) *Proceedings PISTA 2005*. The 3rd International Conference on Politics and Information Systems: Technologies and Applications. 14-17 July, 2005, Orlando, Florida. International Institute of Informatics and Systemics. IIS Copyright Manager, Orlando, FA, 1-3
- Flüeler T. (2005b) Kommentar zum Abschlussbericht von DBE u. a. (2005): „Untersuchung der Möglichkeiten und der sicherheitstechnischen Konsequenzen einer Option zur Rückholung eingelagerter Abfälle aus einem Endlager“. Workshop „Sicherheitsstechnische Einzelfragen der Endlagerung“, 28./29.9.2005, Hannover. ETH Zürich, Zürich
- Flüeler T. (2006a) Decision making for complex socio-technical systems. Robustness from lessons learned in long-term radioactive waste governance. *Series Environment & Policy*. Vol. 42. Springer, Dordrecht NL. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3529-2>
- Flüeler, T. (2006b) Von der Fachöffentlichkeit zum öffentlichen Diskurs. Schweizer Erfahrungen und Ansätze zu einem erweiterten Entscheidungsmodell. In: Hocke P., Grunwald A. (Hg.) *Wohin mit dem radioaktiven Abfall? Perspektiven für eine sozialwissenschaftliche Endlagerforschung*. Gesellschaft – Technik – Umwelt. Neue Folge, Bd. 8. edition sigma, Berlin, 221-239
- Flüeler, T. (2009). Vergleich internationaler Sicherheitsanforderungen mit deutschen Sicherheitsanforderungen an ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle. Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Umweltrecherchen & -gutachten, Hausen AG, Schweiz
- Flüeler T. (2012a) Technical fixes under surveillance – CCS and lessons learned from the governance of long-term radioactive waste management (Chapter 10). In: Spreng D., Flüeler T., Goldblatt D.L., Minsch J. (eds.) *Tackling long-term global energy problems: the contribution of social science*. Series Environment & Policy. Vol. 52. Springer, Dordrecht NL, 191-226. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2333-7_10
- Flüeler, T. (2012b). Reflections on reversibility and retrievability by an „intermediate“ stakeholder. In: *Reversibility and retrievability in planning for geological disposal of radioactive waste*. Proceedings of the „R&R“ international conference and dialogue. Nuclear Energy Agency NEA. Reims, 14–17 Dec, 2010. OECD, Paris
- Flüeler T. (2013) Nuklearabfall im Vergleich mit Sonderabfall – Umgang und Wahrnehmung. Systemstudie, Teil I, Schlussbericht. Modul 3 des ETH-Swiss-nuclear-Kooperationsprojekt „Wege in eine Allianz der Verantwortung“. ETH Zürich, Zürich
- Flüeler T. (2014a) Inclusive assessment in a site-selection process – Approach, experience, reflections and some lessons beyond boundaries. In: DAEF Conference: Key topics in deep geological disposal, Cologne, 24-26 September, 2014.
- Flüeler T. (2014b) Radioactive and conventional toxic waste compared – An integrated approach, useful for an appraisal of carbon capture and storage (CCS). In: Nuclear Energy Agency, NEA (ed.) *The safety case for deep geological disposal of radioactive waste: 2013 state of the art*. Symposium proceedings. NEA, Paris, 7-9 October, 2013. OECD, Paris, 351-361
- Flüeler T. (2014c) Extended reviewing or the role of potential siting cantons in the ongoing Swiss site selection procedure („Sectoral Plan“). In: NEA (ed.) *The safety case for deep geological disposal of radioactive waste: 2013 state of the art*. Symposium proceedings. NEA, Paris, 7-9 October, 2013. OECD, Paris, 405-412. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/027/46027355.pdf
- Flüeler T. (2014d). Standortauswahl für geologische Tiefenlager als Entscheidungsfindung in komplexen soziotechnischen Systemen: Lehren aus internationalen Erfahrungen und Versuch einer ganzheitlichen Herangehensweise. 6. Sitzung der Endlagerkommission, Anhörung Internationale Erfahrungen. Paul-Loebe-Haus, Berlin, 5.12.2014. K-Drs. 63. https://www.bundestag.de/resource/blob/343514/6f6a1652b585abch1b-cff0550f58e0c9/drs_063-data.pdf
- Flüeler T. (2016). On the final report of the German Commission on nuclear waste disposal. Reflections by an external observer. 2nd DAEF Conference on key topics in deep geological disposal. Cologne, 26-28 September 2014 (Folien)
- Flüeler T. (2019) Strategic Monitoring—a proposal for the institutional surveillance of complex and long-term disposal programmes. In: MODERN 2020 Consortium (ed.) *Development and demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal*. Contract No. 622177. Deliverable no 6.3. Final conference proceedings. 2nd International Conference on Monitoring in geological disposal of radioactive waste: strategies, technologies, decision making and public involvement. Paris, 9-11 Apr 2019, 291-298. <http://www.modern2020.eu/deliverables.html>
- Flüeler T. (2021) Öffentlichkeitsbeteiligung in der Beteiligungslücke nach Schritt 1 – aber sicher! Ein Blick von außen auf und Empfehlungen für Schritt 2 der Phase 1 des Standortauswahlverfahrens für Endlager für hochradioaktive Abfälle. Gutachten im Auftrag des Nationalen Begleitgremiums. Berlin. https://www.nationales-begleitgremium.de/DE/WasWirMachen/Publikationen/publikationen_node.html
- Flüeler T. (2023) Governance of radioactive waste, special waste and carbon storage. Literacy in dealing with long-term controversial sociotechnical issues. Series Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment. Springer Nature Switzerland, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-03902-7>
- Flüeler T. (2024a) From caprock integrity to system integration. Lessons for siting of CO₂ storage locations. 1st Caprock Integrity & Gas Storage Symposium at the Mont Terri Rock Laboratory, 24-25 January 2024, St-Ursanne, Switzerland (slides, invited key presentation). <https://www.cigss.ch/>

- Flüeler T. (2024b) Lessons from national approaches. A long uphill struggle in search of sites for nuclear waste repositories. General Assembly 2024 of the European Geosciences Union (EGU), Vienna, 14-19 April 2024. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-6514>
- Flüeler T. (2024c) Herausforderung der Verfahren und Lösungsansätze. Die Suche nach einem Lager für hochradioaktive Abfälle. In der Schweiz und in Deutschland. In: Müller, M.C.M. (Hg.) Die Suche nach einem Lager für hochradioaktive Abfälle. In der Schweiz und in Deutschland. Loccumer Protokolle 27/2022. Evangelische Akademie Loccum, Rehburg-Loccum, 75-95. <https://www.loccum.de/publikationen/9783817226221/>, <https://www.loccum.de/tagungen/2226>
- gfs.bern (2023). Mehrheitliche Akzeptanz in der betroffenen Region. Bevölkerungsbefragung Tiefenlager [im Auftrag der Nagra]. Dezember 2023. Forschungsinstitut GfS Bern, Bern
- Habermas J. (1981) Theorie kommunikativen Handelns. Suhrkamp, Frankfurt a.M.
- Hasler-Flüeler U. (2022) Mediative Prozesse in der nuklearen Entsorgung der Schweiz: Erfahrungen, Reflexionen und Erkenntnisse. Zertifikatsarbeit CAS Konfliktmanagement und Mediation 2021/2022. ZHAW Soziale Arbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Zürich
- HSK, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (2001) Kurzer Überblick über das Auswahlverfahren eines Sedimentstandortes für die Endlagerung hochaktiver Abfälle. HSK 23/62. HSK, Villigen, Schweiz. <https://www.ensi.ch/de/2001/04/01/auswahlverfahren-eines-sedimentstandortes-fuer-die-endlagerung-hochaktiver-abfaelle>
- IAEA, International Atomic Energy Agency (1991) Safety culture: a report by the International Nuclear Safety Group. Safety Series No. 75-INSAG-4. IAEA, Wien
- IAEA (1996) Defence in depth in nuclear safety. INSAG-10. A report by the International Nuclear Safety Advisory Group. IAEA, Wien
- IAEA (2007) Factors affecting public and political acceptance for the implementation of geological disposal. TECDOC-1566. IAEA, Wien
- IAEA (2022) IAEA nuclear safety and security glossary. Terminology used in nuclear safety, nuclear security, radiation protection and emergency preparedness and response. IAEA, Wien. <https://doi.org/10.61092/iaea.rrxi-t56z>
- IAEA (2024a) Website. Independent safety culture assessment (ISCA). <https://www.iaea.org/services/review-missions/independent-safety-culture-assessment-isca>
- IAEA (2024b) Website. Country nuclear power profiles. 2022. <https://www.iaea.org/publications/15285/country-nuclear-power-profiles>. Online: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/cnpp2022/pages/index.htm> (Section 2.7 Fuel cycle including waste management)
- Ilg P., Gabbert S., Weikard H.P. (2017) Nuclear waste management under approaching disaster: a comparison of decommissioning strategies for the German repository Asse II. Risk Analysis 37(7), 1213-1232. <https://doi.org/10.1111/risa.12648>
- KEG, Schweizerische Eidgenossenschaft (2003) Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand: 1. Januar 2022). 732.1. AS 2004 4719. In Kraft seit 2005. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2004/723/de>
- KES, Kantonale Expertengruppe Sicherheit (2024) Website. <https://www.zh.ch/radioaktiveabfaelle> (>Ausschuss der Kantone)
- Klaus D.M. (2019) What really went wrong at WIPP: an insider's view of two accidents at the only US underground nuclear waste repository. Bulletin of the Atomic Scientists 75(4), 197–204. <https://doi.org/10.1080/00963402.2019.1628516>
- Kojo M., Lehtonen M., Jartti T. Kari M., Litmanen T. (2019) Passive trust or active mistrust? The Finnish and French approaches to monitoring of radioactive waste repositories. In: MODERN 2020 Consortium (ed.) Development and demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal. Contract No. 622177. Deliverable no 6.3. Final conference proceedings. 2nd International Conference on Monitoring in geological disposal of radioactive waste: strategies, technologies, decision making and public involvement. Paris, 9-11 Apr 2019, 271-279. <http://www.modern2020.eu/deliverables.html>
- Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe (2016) Abschlussbericht. Verantwortung für die Zukunft. Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandortes. K-Drs. 268. Bundestag, Berlin, 683 S. https://www.bundestag.de/resource/blob/434430/35fc29d72bc9a98ee71162337b94c909/drs_268-data.pdf
- Krüti P., Stauffacher M., Pedolin D., Moser C., Scholz R.W. (2012) The process matters: fairness in repository siting for nuclear waste. Social Justice Research 25, 79–101. <https://doi.org/10.1007/s11211-012-0147-x>
- Lagerlöf H. Sundqvist G., Liebenstund A.-L., Bergmans A. (2018) Monitoring the underground: What role for repository monitoring in the governance of geological disposal for nuclear waste? Work Package 5. MODERN 2020 Consortium (ed.) Development and demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal. Contract No. 622177. Deliverable no 6.3. <http://www.modern2020.eu/deliverables.html>
- Lagerlöf H. (2023) Consenting publics: fair nuclear waste repository siting? Environmental Politics 32/7, 1255–1274 <https://doi.org/10.1080/09644016.2023.2172867>
- Luhmann N. (1990, 2¹⁹⁹³) Soziologische Aufklärung 5. Konstruktivistische Perspektiven. Westdeutscher Verlag, Opladen. Kapitel „Risiko und Gefahr“ auch in: Krohn W., Krücken G. (Hg., 1993) Riskante Technologien: Reflexion und Regulation. Einführung in die sozialwissenschaftliche Risikoforschung. Suhrkamp, Frankfurt a.M., 138-185, 150, 161
- Linnerooth-Bayer J, Fitzgerald K.B. (1996) Conflicting views on fair siting processes: evidence from Austria and the U. S. Risk: Health, Safety & Environment 7 (spring), 119-134
- Metlay D., Sarewitz D. (2012) Decision strategies for addressing complex, „messy“ problems. The Bridge – linking engineering and society. Social Sciences and Engineering Practice. Fall 2012, 42(3), 6-16 (The National Academy of Engineering. National Academy Press, Washington, DC). <https://www.nae.edu/62558/Decision-Strategiesfor-Addressing-Complex-Messy-Problems>
- Metlay D. (2021) Social acceptability of geologic disposal. In: Greenspan E. (ed.) Encyclopedia of nuclear energy. Elsevier, Amsterdam, 684-697. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819725-7.00157-4>
- Mintzlaff V., León Vargas R.P., Stahlmann J., Epkenhans I. (2022) Requirements for geotechnical monitoring of deep geological repositories with retrievability. In: Hocke P., Kuppler S., Smeddinc U., Hassel T. (Hg.) Technical monitoring and long-term governance of nuclear waste. Gesellschaft – Technik – Umwelt, Bd. 21. edition sigma. Nomos, Baden-Baden, 61-70
- Nagra (2022a) Website. „Ausgangspunkt war eine weisse Landkarte der Schweiz, das heisst, es wurden in der ganzen Schweiz in Frage kommende Gebiete und Gesteinsschichten betrachtet.“ <https://nagra.ch/wissensforum/standortsuche>
- Nagra (2022b) Website. Der Standortvorschlag. <https://nagra.ch/mediendossier-standort-tiefenlager>
- Nagra-Website (2022c) Website. „Die Geologie hat gesprochen.“ <https://nagra.ch/nagra-schlaegt-noerdlich-laegern-als-standort-vor-3>
- NASA (2011) „Failure is not an option“ (2024, web). https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_2073.html
- NEA, Nuclear Energy Agency (1999) Confidence in the long-term safety of deep geological repositories. Its development and communication. OECD, Paris, 11. <https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-12/confidence.pdf>
- NEA (2019) Country-specific safety culture forum: Finland. NEA No. 7488. WANO, STUK, NEA. OECD, Paris
- NEA (2020) Management and disposal of high-level radioactive waste: global progress and solutions. NEA No. 7532 OECD, Paris, 24. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_32567/management-and-disposal-of-high-level-radioactive-waste-global-progress-and-solutions
- NEA/IAEA/CEC (1991) Disposal of radioactive waste: Can long-term safety be evaluated? An international collective opinion. OECD, Paris, 10, 13
- North D.W. (1999) A perspective on nuclear waste. Risk Analysis 19(4), 751-758, 751. „... high-level nuclear waste has the deserved reputation as one of the most intractable policy issues facing the United States and other nations using nuclear reactors for electric power generation.“ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1539-6924.1999.tb00444.x>
- NRC, National Research Council (2002) One step at a time. The staged development of geologic repositories for high-level radioactive waste. Board on Radioactive Waste Management. The National Academies Press, Washington, DC, 1. High-level nuclear repositories are „first-of-a-kind, complex and long-term projects that must actively manage hazardous material for many decades“
- NWMO, Nuclear Waste Management Organization (2005) Choosing a way forward. The future management of Canada's used nuclear fuel. Final study. NWMO, Toronto. <https://www.nwmo.ca/Documents-and-reports>
- NWMO (2024) Website. „Site selection. Canada's plan will only proceed in an area with informed and willing hosts“. <https://www.nwmo.ca/Site-selection>
- NWTRB, US Nuclear Waste Technical Review Board (2015) Designing a process for selecting a site for a deep-mined geologic repository for high-level radioactive waste and spent nuclear fuel. Detailed analysis. NWTRB, Washington, DC
- Nuclear Fuel Waste Act (2002) S.C. 2002, c. 23. Canada. Minister of Justice. <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/N-27.7/>

OECD (2018/2023). Trust in government., survey 2018 / Trust in national government 2021. <https://www.oecd.org/publication/government-at-a-glance/2023/>

Our World in Data (2020) Trust. Global monitor 2020. Ortiz-Ospina E, Roser M (2016) „Trust“. <https://ourworldindata.org/trust>

Pearce D.W. (1979) Social cost-benefit analysis and nuclear futures. In: Goodman G.T., Rowe W.D. (eds.) Energy risk management. Academic Press, London, 253-267, 265

Pew Research Center (2020/2023) Public trust in government 1958-2023. <https://www.pewresearch.org/politics/2023/09/19/public-trust-in-government-1958-2023/>

Politico (2020) Trump's Nevada play leaves nation's nuclear waste in limbo. The president wants to win the state he narrowly lost in 2016, but he may be jumping into an energy issue. 22 Feb 2020. <https://www.politico.com/news/2020/02/22/trump-nevada-nuclear-waste-yucca-mountain-116663>

Posiva (2018) Nuclear waste management at Olkiluoto and Loviisa power plants: review of current status and future plans for 2019–2021. Summary. Dec 2019. YJH-2018. Posiva Oy, n.n., 7

Posiva (2024a) Website. „Geological final disposal. Posiva has solved final disposal in a safe manner, which is a precondition for the operation of nuclear power plants in Finland also in the future.“ <https://www.posiva.fi/en/index/finaldisposal/geologicalfinaldisposal.html>

Posiva (2024b) Website. „... the final disposal canisters are designed to remain tight and impervious in their final deposition place long enough for the radioactivity of spent fuel to decrease to a level not harmful to the environment.“ <https://www.posiva.fi/en/index/finaldisposal/long-termsafety/spentfuel.html>

Regierungsrat des Kantons Zürich (2018) Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 2 (Stellungnahme). RRB Nr. 264/2018, 16

Rip A. (1987) Controversies as informal technology assessment. Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization 8(2), 349-371, 359

Risk Engineering (2024) Website. The defence in depth principle. A layered approach to safety barriers. <https://risk-engineering.org/concept/defence-in-depth>

Rittel H.W.J., Webber M.M. (1973) Dilemmas in a general theory of planning. Policy Sciences 4,155-169

RK ZNO, Regionalkonferenz Zürich Nordost (2022) Website. „Die Regionalkonferenz Zürich Nordost setzt sich aus 42 Gemeinden aus den im Planungsperimeter vertretenen Kantonen Zürich, Thurgau, Schaffhausen und dem benachbarten Deutschland zusammen. Diese haben 132 Vertreterinnen und Vertreter aus Behörden, Interessengruppen und der Bevölkerung in die Regionalkonferenz delegiert.“ <http://www.zuerichnordost.ch> (4.2024)

Röhlig K.-J. (2022) Geology, engineering, and society: repository siting as a socio-technical problem. In: Röhlig K.-J. (ed.) Nuclear waste. Management, disposal and governance. IOP Publishing, Bristol, UK. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-3095-4>

Röhlig K.-J. (2023) Zum Zeitplan des Standortauswahlverfahrens für die Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle in Deutschland. atw, Vol. 68, Ausgabe 4, 52-61

Ropohl G. (1978, 1999) Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. Carl Hanser, München

Sabatier P. (1987) Knowledge, policy-oriented learning, and policy change. Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization 8(4), 649-692

Seidl R., Flüeler T., Krütli P. (2021) Sharp discrepancies between nuclear and conventional toxic waste: technical analysis and public perception. Journal of Hazardous Material 414:125422. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125422>

StandAG (2017) Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert. https://www.gesetze-im-internet.de/standag_2017/

SZ, Süddeutsche Zeitung (2010) Endlager Gorleben. Ein Stollen für die Ewigkeit. 17.5.2010. <https://www.sueddeutsche.de/wissen/endlager-gorleben-einstollen-fuer-die-ewigkeit-1.836245>

Tiggemann A. (2019). The elephant in the room. The role of Gorleben and its site selection in the German nuclear waste debate. In: Brunnengräber A., Di Nucci M.R. (eds.) Conflicts, participation and acceptability in nuclear waste governance. An international comparison. Vol. 3. Springer VS, Wiesbaden, 69–87. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27107-7_5

Thomaske B. (2023) Ist das Standortauswahlverfahren gescheitert? Auswahl von Endlagerstandorten für hochradioaktive wärmeentwickelnde Abfälle. atw, Vol. 68, Ausgabe 3, 7-22

UNESCAP, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (2009) What is good governance? UNESCAP, Bangkok, Thailand

V-Dem (2024). Website. The V-Dem dataset. 14th edition, March 2024. Democracy winning and losing at the ballot. V-Dem Institute, University of Gothenburg. <https://www.v-dem.net/data/the-v-dem-dataset/>

Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A. (2004) Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology & Society 9(2), 5. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>

Weber M. (1919) Politik als Beruf. Duncker & Humblot, München und Leipzig, 66

World Population Review (2024) Trust in government by country 2024. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/trust-in-government-by-country>

Wynne B. (1989) Understanding public risk perceptions. In: Saltelli A., Stanners D.A., D'Alessandro M. (eds.) Risk analysis in nuclear waste management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, 3-24

Autor



Thomas Flüeler, Dr. sc. nat. ETH

Forschungspartner (Senior Research Associate) am Institut für Umwelentscheidungen der ETH Zürich, Experte der Commission de suivi des Untergrundlabors Mont Terri, Schweiz

thomas.flueeler@env.ethz.ch

Thomas Flüelers Forschungsschwerpunkte sind: Umwelentscheidungen in komplexen soziotechnischen Systemen, institutionelle und behördliche Langzeitaspekte, umfassende Wissenserzeugung/-sicherung (Robustheit, Resilienz, Vulnerabilität), Mitwirkung, transdisziplinäre Fragen. Gutachterliche Tätigkeit für IAEA, NEA, Bundesamt für Strahlenschutz, Nationales Begleitgremium, US Nuclear Waste Technical Review Board, belgische SCK•CEN usw. (seit 1991). Zusätzlich zu Forschung und Beratung hat Thomas Flüeler umfangreiche Erfahrung in behördlichen Belangen: Bereichsleiter Kerntechnik in der Baudirektion Kanton Zürich (u. a. technisch-wissenschaftliche und Beteiligungsfragen im Schweizer Sachplan geologische Tiefenlager, <http://www.radioaktiveabfaelle.ch>, 2009-2022, <https://www.zh.ch/radioaktiveabfaelle>). Experte in der Begleitkommission (Commission de suivi, <https://www.mont-terri.ch/de/mont-terri-projekt/organisation.html>) des Forschungslabors Mont Terri (Schweiz, ab 2012), Mitglied der ehem. Eidg. Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen KSA (1992-2004, Vorsitzender des ständigen Ausschusses Strahlenschutz und Entsorgung 2001-2004), Kantonale Fachgruppe Wellenberg (2000-2002), Einsitz in der Untergruppe Abfallinventar der Arbeitsgruppe des Bundes für die Nukleare Entsorgung AGNEB (2002-2005), Mitglied des Bundesstabs Bevölkerungsschutz (2010-2022).