
Beratungsunterlage zu TOP 3
der 6. Sitzung
Zusammenfassung des Kurzvortrags
von Dr. Thomas Flüeler

Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe K-Drs. 63
--

Generationen. Dies ist eine herausragende Risiko-Nutzen-Asymmetrie.³ Die Verteilungsfrage stellt sich dreifach [29]:

- Bürden vor (Lager-)Ort vs. Nutzen der Allgemeinheit (Frage der intragenerationellen Verteilungs(un)gerechtigkeit)
- Laien- vs. Expertensichtweisen (fachliche Verteilungsfrage, «evidentiary equity»)
- Heutige vs. kommende Generationen (intergenerationelle Verteilungsfrage)

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 [71]. 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 intransparent – sie besitzen nicht vollständige Information, ja wissen oft nicht einmal genau, in welcher Situation sie sich zur Zeit befinden. Unsicherheiten über den Lagerzustand und noch mehr über die soziale Umwelt nehmen mit der Zeit zu. Annahmen und Wissen der Akteure über die Struktur dieses komplexen soziotechnischen Systems, ihr «Realitätsmodell», dürften unvollständig und grossenteils unrichtig sein.

Die toxischen Abfälle sind nach Beck 1988 als so genanntes «Modernisierungsrisiko» folgendermassen [45:120] charakterisiert⁴:

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

Luhmann 1990 spricht, auch im Abfallbereich, von «Rationalitätszumutungen» bei der Verschiebung vom (selbstgetragenen, kalkulierten) Risiko des Entscheiders zur (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» [59:150,161].

Bei komplexen Sachverhalten ist es möglich, dass konkurrierende Ziele bestehen (für den Bereich kürzlich kondensiert beschrieben in [54]). Das Zauberwort «Nachhaltigkeit», auch 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 (für Ausführungen siehe [24][38][39]). Angestrebt wird, wie dort dargelegt, ein konservatives, passives, stabiles System mit eingebauten Kontroll- und Eingreifmechanismen. Der Überlegung liegt die Annahme zugrunde, dass nach Pearce 1979 eine integrierte Sichtweise nötig ist, um mit komplexen soziotechnischen Systemen angemessen umzugehen [69:265]. 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 Konzept der «tiefgestaffelten Verteidigung» oder «defence in depth», mit dem die technische Gemeinschaft vertraut ist.

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

³ Eine solche gibt es allerdings auch in anderen Technikbereichen (konventionelle Sonderabfälle [3][4], Kohlendioxid-speicher [3][5]), die allenfalls aus den Erfahrungen Lehren ziehen können/sollten.

⁴ Bei den radioaktiven Abfällen steht nicht die akute Gefahr für Individuen im Vordergrund, sondern ein chronisches, «schleichendes» Risiko [38].

ausschliesslich technischer Art ist. Die Systemeigenschaften radioaktiver Abfälle sind aber derart, dass bzgl. 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» [64:11][65:10,13]. 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 Unsicherheiten dienen, die ihrerseits die vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen technischen und gesellschaftlichen Aspekten dokumentieren.

Die weltweite erkennbare Blockade in der Entsorgung radioaktiver Abfälle hängt massgeblich damit zusammen, dass in diesem Politikfeld versäumt worden ist, die verschiedenen Dimensionen einzubeziehen. Der 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 Grundsatzdebatte 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 (siehe Dreischritt unten).

Fazit: Die Langzeitsicherheit von Endlagern radioaktiver Abfälle kann nicht wirklich «bewiesen» werden. Deren «Entsorgung» ist sicherheitstechnisch komplex und gesellschaftlich umstritten. Die Auswahl eines sicherheitstechnisch geeigneten und gesellschaftlich geduldeten Standorts ist ein erster Schritt dazu. Es gibt keinen Königsweg, aber der Ansatz muss insofern ganzheitlich sein, als alle relevanten Dimensionen gebührend zu berücksichtigen sind.⁵ Aus verschiedenen Gründen, die hier nicht erläutert werden, stehen nationalstaatliche «Lösungen» im Vordergrund, die aber nach dem Stand von Wissenschaft und Technik anzuwenden sind. Dieser schliesst ausdrücklich die Sozial- und Geisteswissenschaften ein (in einem weiten Feld: Ethikforschung [14], Institutionenanalyse [1][19][21][28][29][33], Technikfolgenabschätzung [5][17] bis zur Partizipationsforschung [9][10][12][18][25][26][30]).

Konzeption

Zielsetzung des Unternehmens «Entsorgung radioaktiver Abfälle» ist deren sicherheitsgerichtete und sozialverträgliche Langzeitlagerung in tiefen geologischen Schichten. «Sicherheitsgerichtet» heisst, dass die passive Sicherheit das oberste Kriterium ist, nach dem Stand von Wissenschaft und Technik; «sozialverträglich» ist ein Lager dann, wenn es eingebettet ist in eine die Tiefenlagerung duldende Region.

Der oben skizzierte Systemansatz verdeutlicht die Tatsache, dass die verschiedenen Projektphasen eines Lagerstandorts – von der Standortauswahl über Charakterisierung, Auslegung und Betrieb zu Überwachung und Verschluss – mindestens einige Jahrzehnte benötigen. Demnach müssen Betriebsgrundsätze und -konzepte in einen konsistenten und schrittweisen Entscheidungsfindungsprozess integriert werden. Sie sind dynamisch, anpassungsfähig, ja experimentell [51] in ihren Instrumenten zu gestalten, jedoch nicht in ihrem Endziel, nämlich dem Schutz der heutigen und künftigen Generationen und Umwelten. Ein System ist nach Rip 1987 sozial robust, wenn die meisten Argumente, die Faktenlage, die sozialen Koalitionen, Interessen und Werte zu einer konsistenten Option führen [70:359]. Also müssen die betroffenen und entscheidenden Akteure zu einigen gemeinsamen Interessen eine Übereinkunft erzielen, was in der Folge skizziert wird.

Aufgrund internationaler Erfahrungen und Erkenntnisse [1][6][24][34][36][37][38] schlage ich einen Dreischritt vor:

⁵ Auch im deutschen Kontext liegen entsprechende Vorschläge und Ansätze vor [32][11].

1. Diskussion: umfassender gesellschaftlicher Diskurs
2. Entscheidung: gemeinsame Grundlage bei Zielsetzung und schrittweisem Vorgehen
3. Umsetzung: Programmstart und Sicherung des Langzeitwissens

Der Vorschlag setzt sich entschieden ab von anderen Ansätzen, seien sie rein technokratisch nach dem alten Schema Entscheiden-Ankündigen-Verteidigen/Durchsetzen (DAD), seien sie von sog. Freiwilligkeit (für die Wahl der Standortregion) geprägt, wie dies verschiedene Staaten nach gescheiterten Programmen nun handhaben (z. B. Schweden, Japan, Grossbritannien, USA), oder seien es unsystematische Verhandlungsversionen dazwischen [1]. Das laufende schweizerische Auswahlverfahren für Tiefenlager [48] kommt dem Anspruch vergleichsweise nahe – vielleicht kann es als fortgeschrittener technokratischer Ansatz der zweiten Generation (mit weitreichender Beteiligung) bezeichnet werden.

1. Diskussion: umfassender gesellschaftlicher Diskurs

Der erwähnte angebrachte Dimensionendiskurs heisst, dass das Thema von Beginn weg aus allen möglichen Blickwinkeln auszuleuchten ist. Zwar herrscht in der Technikgemeinde Übereinkunft, dass die Isolation, zumindest Fernhaltung von der Lebenswelt der hochaktiven Abfälle über Hunderttausende von Jahren zu gewährleisten ist [61]. Doch diese Meinung wird gesellschaftlich nicht geteilt, und diese Differenz ist nicht nur eine der Kommunikation. Denn letztlich ist Sicherheit eine politische Frage, an der die Gesellschaft breit zu beteiligen ist. Die Langzeitlagerung ist zwar technikgetrieben, muss aber von der Gesellschaft gelöst werden [39][62]. Beteiligung bedeutet nun aber nicht einfach, so viele Individuen wie möglich einzubeziehen, auch nicht nur eine Ja-Nein-Befragung, sondern so viele Sichtweisen zu erhalten, dass alle relevanten Gesichtspunkte systematisch berücksichtigt sind. Zielsetzung ist, diese (Werte, Normen, Umfeld, Evidenz usw.) offenzulegen, um nach und nach Problem-bereiche «abschliessen» zu können und zur nächsten Phase zu schreiten [36][23].⁶

Ein sozial robustes Verfahren muss offen sein für Flexibilität und Anpassungen, ohne jedoch immer wieder zurück auf Feld Eins gehen zu müssen. Es ist richtig, bei einem «nationalen Problem», wie es die Entsorgung von Nuklearabfall offensichtlich ist, eine nationale Debatte zu führen. Dabei sind Zielkonflikte (z. B. für oder wider Rückholbarkeit) offen auszutragen. Bleibt die Zieldiskussion aus, kann jede Akteursgruppe – gerade in dieser Frage – ihre eigenen Motive als Legitimation für die eine oder andere Strategie ins Feld führen. Fundamentale Widersprüche (wie etwa der Ruf nach «Reversibilität aller Entscheidungen») sind frühzeitig auszuräumen, da sich deren Auswirkungen meist auf Kosten späterer Generationen einstellen, ihre Unbrauchbarkeit der Glaubwürdigkeit des gesamten Systems abträglich ist und nachträglich eingebaute Korrekturen zumindest teuer zu stehen kommen. Allerdings bedeutet das Nachhaltigkeitsgebot der Handlungsfreiheit (neben Schutz) durchaus die Einführung begrenzter Kontrolle und Überwachung.

Damit der Diskurs nicht aus dem Ruder läuft bzw. zielführend ist (schliesslich ist ja ein Lager sicher zu bauen), könnte ein breit abgestütztes Gremium auf Bundesebene eingesetzt werden [38], z. B. ein «Nationaler Rat für den sicheren Umgang mit radioaktiven Abfällen» (siehe unten).

2. Entscheidung: gemeinsame Grundlage bei Zielsetzung und schrittweisem Vorgehen

Das Konzept der Nachhaltigkeit umfasst, wie erwähnt, Schutz und Kontrolle bzw. Handlungsfähigkeit späterer Generationen. Die Frage ist, worauf man eher Wert legt. Es wäre naiv anzunehmen, dass gesellschaftlicher Konsens in Kernwerten erreichbar ist [72] (Übersicht in Abbildung 2). Jedoch in folgenden Bereichen ist Übereinkunft zu erzielen⁷:

⁶ Wann ist ein Thema abgeschlossen? Nach Bijker u. a. 1989 «wenn sich eine Übereinkunft einstellt, dass die «Wahrheit» aus den verschiedenen Interpretationen herausgefiltert worden ist» [46:12].

⁷ Bereits in den 1980er-Jahren forderte Carter einen «gemeinsamen Boden», allerdings ohne dies zu konkretisieren [50:427].

1. Anerkennung des Problems: Abfall existiert, Problem ist anzugehen, zu «lösen»
2. Konsens bei den Hauptzielen: Grad des Schutzes und der Intervention
3. Klare Vorgehensstrategie («Spielregeln» und Kriterien)

Level	State of agreement	Perspective/goal/fields (examples)
<i>Secondary beliefs</i>		
Implementation (dependent on policies, funding, authority)	Compromise	“Real” project/site
Procedure/methodology Roles, decisions (instrumental and institutional goals)	Consensus	Siting, monitoring Performance assessment, quality assurance, inclusive reviewing
Protection goals (passive protection, active control, involvement, power of decision) (= “success criteria”)	Consensus	Safety and control goals
Factual constraints Concept of sustainability	Consensus Compromise (“weak” sustainability)	Waste existent Practical trade-off of dimensions (technical and social goals)
<i>Core beliefs</i>		
Attitudes of stakeholders Models of rationality	Dissent Dissent	Pro- vs. anti-nuclear Technocentric/anthropocentric vs. biocentric or even ecocentric worldview

Abbildung 2: Beziehungen und Hierarchie von Konsens und Dissens auf verschiedenen Ebenen. Die mittlere Region bietet sich an als kleinster gemeinsamer Nenner («common ground»), oberhalb der nichtverhandelbaren Kernwerte («core beliefs» [72]), aber unterhalb praktischen Projektmanagements, wo Kompromisse am besten möglich sind. Quelle: nach [24:214]

Im Rahmen des breiten Diskurses muss die Zielsetzung gesellschaftlich abgesichert werden. In Kanada wurde ein jahrelanger landesweiter Dialog initiiert [67], episodische Aktivitäten wie der «Débat public» [55] reichen wohl nicht aus. Die Schweiz hielt Volksabstimmungen ab (Zweidrittelmehrheit zu «Entsorgung und Endlagerung» bereits 1979) und führte weitreichende Vernehmlassungen durch, beispielsweise zum laufenden Sachplan geologische Tiefenlager [38][1][48]. Dieser wurde allerdings erst aufgesetzt, nachdem am Wellenberg, Kt. Nidwalden, die dortigen Stimmbürger und -bürgerinnen zweimal Nein gesagt hatten [8][10][13][16][24]. Das Primärziel der passiven Sicherheit eines Tiefenlagers geologischem Umfeld wurde auch im Kernenergiegesetz (von 2005) festgeschrieben [73], allerdings mit einer neuartigen Konzepterweiterung um ein Pilotlager, das während einer noch zu bestimmenden Beobachtungsperiode überwacht werden soll, u. a. zur Validierung der Sicherheitsanalysen. (End-)Lagerung im Inland ist immer wieder in zahlreichen nationalen und regionalen Umfragen grossmehrheitlich bestätigt worden. Geologische Tiefenlagerung, wie sie hier wegen der Konzeptentwicklung genannt wird, kann also für die Schweizer Gesellschaft als mehrheitlich gewollte (tolerierte) Entsorgungsoption angesehen werden. Der Sachplan sieht drei Etappen vor (vgl. Referat M. Aebersold, BFE) und liegt auf der Linie des «adaptive staging» des US-amerikanischen Nationalen Forschungsrats [66], mittlerweile auch von der internationalen Gemeinschaft als Standard eingeführt [62].

Die Verfahrensregeln und die Kriterien (für ein Auswahlverfahren, für Sicherheitsanalysen usw.) sind vor Verfahrensbeginn breit zu diskutieren und festzulegen. Angesichts der langen Zeitdauer(n) sind Abänderungen möglich, vielleicht nötig, sie müssten jedoch sorgfältig geprüft und im Konsens der Hauptakteure erfolgen. Eine scharfe Rollentrennung ist zentral. Die Aufsichtsbehörde muss eine Plattform für umfassende Wissenserzeugung und -erhalt schaffen, die auf einem vorgängig festgelegten Kritekensatz beruhen. Der Bedarf zur Integration verschiedener Erfordernisse, das lange und schrittweise Vorgehen, die institutionelle Konstanz und die besondere «nationale» Aufgabe erfordern sorgfältige Struktur und Arbeit der Behörden [33][63].

3. Umsetzung: Programmstart und Sicherung des Langzeitwissens

Für das Schweizer Auswahlverfahren lässt sich nach über fünf Jahren, in der Mitte der Etappe 2, sagen, dass es zwar lang, langwierig und aufwändig ist (heute geht man von 20 statt wie ursprünglich gemeint 10 Jahren aus [47], Änderungen vorbehalten), doch noch keine Hauptakteure sind abgesprungen, Kritik prozessualer und inhaltlicher Art ist – wenn auch nicht sofort – von der Verfahrensleitung BFE aufgenommen und das Instrument weiterentwickelt worden. Die Akteure respektieren einander zunehmend [1][2][7]. Allerdings ist Durchhaltewillen und -fähigkeit, einschliesslich ausreichender Ressourcen, gefragt. Ob die Akteure vorbereitet sind auf die Langzeitdimension (des Programms) mit Standortwahl, Bau, Betrieb, Verschluss, Nachverschlussüberwachung, bleibt dahingestellt. Im Hinblick auf die Stabsübergabe an kommende Generationen ist es entscheidend, dass Kontext(e), implizites Wissen ausgelotet, versteckte Agenden usw. aufgespürt werden, denn sie sind es letztlich, die Ausmass und Qualität des gesellschaftlichen Verständnisses für Lagerkonzept und -umsetzung ausmachen. Wenn Logik, Argumentationsstränge, Einsicht und Vertrauen nicht weitergegeben werden können (an die technische Gemeinschaft, die Politik und die – betroffene – Öffentlichkeit), ist das Unternehmen zum Scheitern verurteilt [28][29].

Kriterien: sicherheitsgerichtet, stufenweise Bewertung

Ein Auswahlverfahren braucht natur- und ingenieurwissenschaftliche sowie sozialwissenschaftliche und raumplanerische Kriterien, die in ihrer Gesamtheit zu bewerten sind. Nach dem Grundsatz des Primats der (passiven) Sicherheit steht die erdwissenschaftliche Eignung eines Standortgebiets im Vordergrund. Bereits hier geht es um das komplexe Zusammenwirken verschiedener Parameter (Kriterien, Indikatoren), womit die Sicherheit des Endlagers zu beurteilen ist [37]. Da ein gutes Verfahren allein noch kein gutes Produkt garantiert, sind stufenweise Sicherheitsbewertungen durchzuführen, die sicherstellen, dass das Unternehmen immer auf Kurs ist (nicht punktgenau, aber im sicherheitsgerichteten Vektor). U. a. aufbauend auf den Arbeiten des AkEnd [40] sind in der Schweiz gute Erfahrungen mit den folgenden Kriterien gemacht worden (Abbildung 3):

Kriteriengruppe	Kriterien
1. Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches	1.1 Räumliche Ausdehnung 1.2 Hydraulische Barrierenwirkung 1.3 Geochemische Bedingungen 1.4 Freisetzungspfade
2. Langzeitstabilität	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften 2.2 Einfluss Erosion 2.3 Lagerbedingte Einflüsse 2.4 Nutzungskonflikte
3. Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
4. Bautechnische Eignung	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung

Abbildung 3: Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit. Quelle: [56]

Es ist offensichtlich, dass gewisse Kriterien für die Eignung einer geologischen Formation wichtiger als andere sind (Gruppen 1 und 3, Kriterien 2.1 und 2.2)[41]. Ausserdem sind zu deren Messung/Bestimmung zusätzlich darauf abgestimmte Indikatoren nötig, was die Komplexität der Bewertung massiv erhöht. Entsprechend bestanden die kantonalen Experten für Etappe 2 des Sachplanprozesses auf gezielten sukzessiven Expertengesprächen. In sogenannten Zwischenhaltfachsitzungen mussten die Gesuchstellerin Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) und deren Auftragnehmer (Universitäten, Ingenieurbüros) Entwürfe zusätzlicher Arbeiten vorstellen, damit der Kenntnisstand der (sechs)

Standortgebiete mit vier verschiedenen geologischen Wirtsgesteinen nachzuvollziehen war. Denn um einen sachgerechten Vergleich anstellen zu können, forderten die Kantone ausreichende Grundlagen (ein Standortgebiet war schon früher weit besser erkundet worden als die anderen)[42].

Eine weitere Erkenntnis des Sachplans war, dass Arbeiten «oben» (Oberflächenanlagen) nicht von denen «unten», im oder zum Untergrund, zu trennen waren [43]. Somit sind technisch-erdwissenschaftliche Gesichtspunkte oft mit nichttechnischen wie raumplanerischen verknüpft. Eine Diskussion entfachte sich hier um die Bedeutung der als Trinkwasser nutzbaren Grundwasservorkommen; die Nagra verwies auf die Machbarkeit einer Brennelementverpackungsanlage, wogegen die kantonalen Grundwasserexperten im Sinn der Vorsorge darauf drängten, in der frühen Planungsphase bekannten Risiken aus dem Weg zu gehen, da eine Oberflächenanlage ja nicht wirklich standortgebunden sei. Auch das Thema der Zugangsbauten zwischen «oben» und «unten» (verkürzt als Schacht/Rampe-Frage) zeigt die Verzahnung von ursprünglich planerisch getrennten (und/oder später zu behandelnden) Problemfeldern.

Umgang mit Fehlern

Die Komplexität und Langzeitlichkeit der Entsorgung macht die Unternehmung anfällig auf Fehler. Das bedeutet, dass das System auf Fehlerfreundlichkeit hin angelegt werden muss:

- Konzeptionell: robuste Standortfindung [64][57][24], Rücksprünge
- Regulatorisch: phasengerechte Sicherheitsanalysen
- Auslegungsmässig: z. B. Einbau technischer Kontrollmechanismen (Pilotlager zur Überwachung/Kontrolle), (beschränkte) Rückholbarkeit (siehe gleich)
- Organisatorisch, kulturell: Umgang mit Minderheitsmeinungen, erweiterte Überprüfung [1][2], Nationaler Rat ([38][23], siehe unten)

Spätestens hier wird klar, wie wichtig Aufgabenteilung ist und welche wichtigen Rollen den – politischen und technischen – Behörden zukommt [33]. Nur sie sind es, die ein Verfahren entsprechend führen können. Zur Absicherung braucht es ein strategisches Leitgremium (Nationaler Rat) und wissenschaftliche Begleitforschung, die Regelverletzungen, Umgang mit Akteuren und kontroversen Themen, Diskursdynamik usw. laufend ansprechen müssen.

Rückholbarkeit

Richtigerweise wurde Rückholbarkeit im BfS-Workshop «Sicherheitstechnische Einzelfragen der Endlagerung» vom September 2005 in Hannover als «konzeptionelle Grundfrage» eingestuft [27]. Folglich muss sie begrifflich als strategisches Ziel neben (passiver) Sicherheit und (aktiver) Kontrolle positioniert werden. Wenn das Primärziel der Errichtung eines Endlagers die Langzeitsicherheit ist (worüber international Konsens herrscht), ist Rückholbarkeit die letzte Massnahme, wenn die Kontrolle mittels Überprüfung der Sicherheitsanalyse und Überwachung darauf hinweist, dass das System gravierende Mängel hat und eine Sanierung (Bergung) nötig ist. Es besteht also eine Abfolge von Vorbedingungen einer Sonderart von Rückholbarkeit, nämlich der Sanierung (engl. «recovery»): Kontrollierbarkeit (die Fähigkeit zur Kontrolle als solche und damit zur Rückholbarkeit, was ihre und deren Einplanung in der Lagerauslegung voraussetzt) – institutionelle Kontrolle (einschliesslich Wissen, Technik und Finanzierung) – effektive ingenieurmässige Kontrolle – Monitoring (zur Erfassung abnormaler und nichtduldbarer Situationen) – Rückholbarkeit – Sanierung/Bergung (Abbildung 4).

Kriterium Sicherheit (passive Sicherheit vor Schädigung):

Rückholbarkeit an sich hat nicht hohe Priorität. Das Haupt- oder Primärziel ist die Langzeitsicherheit (**fetter** Pfeil in Abbildung 4). Bei diesem Ansatz ist Rückholbarkeit die letzte Massnahme, wenn die Kontrolle mittels Überprüfung der Sicherheitsanalyse (sozusagen «living safety analysis») und Überwachung darauf hinweist, dass das System gravierende Mängel

hat und eine Sanierung nötig ist. Es herrscht also eine Abfolge von Vorbedingungen einer Sonderart von Rückholbarkeit, nämlich der Sanierung/Bergung (engl. «recovery»): Kontrollierbarkeit (die Fähigkeit zur Kontrolle als solche und damit zur Rückholbarkeit, was ihre und deren Einplanung in der Lagerauslegung voraussetzt) – institutionelle Kontrolle (einschliesslich Wissen, Technik und Finanzierung) – effektive ingenieurmässige Kontrolle – Monitoring (zur Erfassung abnormaler und nichtduldbarer Situationen) – Rückholbarkeit – Sanierung/Bergung.

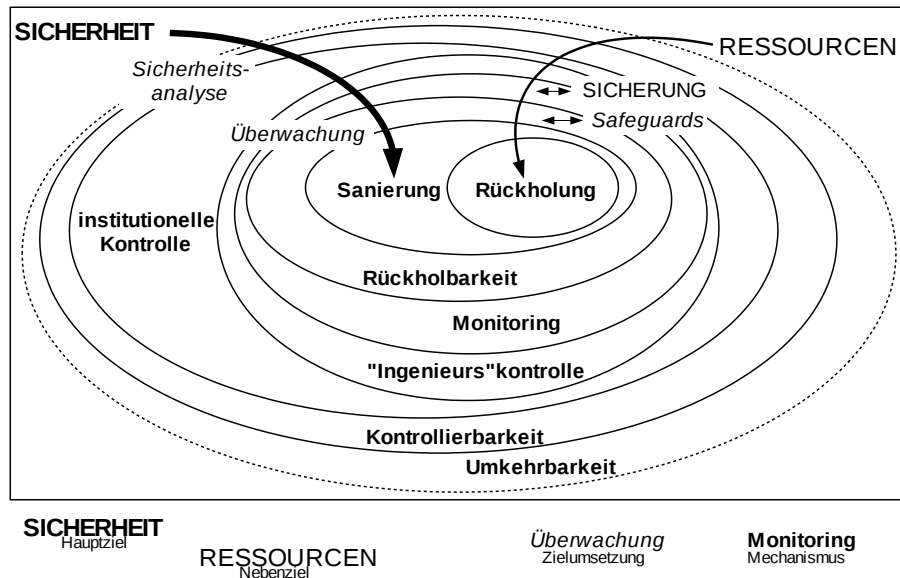


Abbildung 4: Rückholbarkeit mit Zielkonflikt. Zum einen ist Rückholbarkeit ein Unterziel der Sicherheit, und zwar als letzter logischer Schritt der Kontrolle eines Endlagers im Fall von gravierendem Systemversagen (Sanierung/Bergung). Zum andern kann Rückholbarkeit Ausdruck einer Ressourcenpolitik sein, die aber der Sicherung, also Massnahmen gegen den Missbrauch von Spaltstoffen, entgegensteht. Das Zwiebelschalenmodell soll hier verdeutlichen, dass einzelne Ziele oder Strategien Teilmengen Anderer sind bzw. andere Ziele/Strategien voraussetzen. Quelle: [38]

Kriterium Wertstofflager:

Das Material (vor allem Plutonium und Uran) wird nicht als Abfall, sondern als Wertstoff (Ressource) betrachtet. Dies muss ein Neben- oder Sekundärziel sein, ansonsten müssten die Stoffe in einem Zwischenlager an der Erdoberfläche lagern. Bisher herrscht international die Meinung, dass Abfallagerung («disposal») «ohne Absicht der Rückholung» erfolgt. Im Widerspruch zu dieser zweiten Sichtweise ist nicht nur das Hauptziel der (passiven) Sicherheit, sondern auch das (politische?) Ziel der Sicherung, die mit so genannten Safeguards-Massnahmen zu gewährleisten ist. In diesem zweiten Fall spricht man von Rückholung.

Kriterium Umkehrbarkeit:

Etwas abgesetzt von den genannten Kriterien ist die Idee der «Umkehrbarkeit» (Reversibilität). Diese weitet Rückholbarkeit aus auf alle oder die meisten Systemeigenschaften, Massnahmen und damit einher gehenden Entscheidungen. Meines Erachtens ist das illusorisch, da selbst bei kontrollierter Dauerlagerung («storage») Konditionierung erfolgen muss, die nicht vollständig rückgängig gemacht werden kann. Rücksprünge im Sinn des AkEnd [40: 71,77] sind ausgesprochen vorsichtig anzupacken, prozessual mögen sie angehen, räumlich nicht (ein – im Sinn des Schweizer Sachplans– einmal «zurückgestellter» Standort [48] kann m. E. nicht einfach aus der Versenkung hervorgeholt werden, wenn ein zuvor favorisierter aus sicherheitstechnischen Gründen entfällt).

In weiterer Verfolgung der Mehrbarrierenphilosophie scheint eine Verfüllung nach Einlagerung zwingend, was seinerseits die Wahl eines Zugangsbergwerks für eine allfällige Rückholung nach sich zieht. Damit wird klar, dass die «Alternativlösungen» nicht eigentlich «alternativ» zur Rückholung sind, sondern diese ergänzen bzw. eigentlich dieser im obgenannten

Sinn vorgeschaltet sind. Wir bewegen uns auf einer Linie Konzept – ... – umfassende Reversibilität – Bau – Einlagerung – erhebliche Reversibilität – Überwachung (Monitoring) – Teilreversibilität – Rückholbarkeit. Diese muss ins Gesamtprogramm integriert werden (aufgezeichnet ab Betriebsphase, Tabelle 1).

Phase	Etappe	Eingriff	
		«sanft» Kriterium/Indikator, gefolgt von:	«hart» Massnahme
Betrieb	Einlagerung	erdwiss. Langzeitmessung radiologische Überwachung	erhebliche Reversibilität
-50 J.	Nacheinlagerung mit offenen Lagerräumen	ebd.	volle Rückholbarkeit
Überwachung	Verfüllung der Lagerräume bei offenen Betriebstunneln	ebd.	Rückholbarkeit mit intakten Behältern
-100 J. (?)	Verfüllung und Versiegelung der Betriebstunnel	radiologische Überwachung Langzeitmonitoring	Rückholbarkeit mit intakten Behältern
Verschluss	Verfüllung und Versiegelung der Zugangstunnel	radiologische Umgebungsüberwachung Langzeitmonitoring	Rückholbarkeit mit intakten Behältern
Beobachtung	Nachbetrieb	radiologische Umgebungsüberwachung Langzeitmonitoring	Rückholbarkeit mit intakten Behältern

Tabelle 1: Art und Tiefe der Eingriffsmöglichkeiten je nach Lagerphase. Quelle: [27]

Das Eingriffskonzept «Überwachung/Monitoring» liefert die Entscheidungsgrundlagen, ob und wo Rückholung erfolgen kann (betrieblicher Strahlenschutz, konventioneller Arbeitsschutz) und soll. Wird ein Konzept nach EKRA [53] und schweizerischem Recht [73] gewählt, werden die Handlungsoptionen noch grösser, da Testbereiche, Pilotlager und Hauptlager (umgehende Verfüllung der eingelagerten Abfälle) differenziert betrieben werden. Hier soll das Pilotlager der Bestätigung der Sicherheitsanalyse(annahmen) und der Überprüfung der Zuverlässigkeit der Modelle dienen (dieser Ansatz geht viel weiter als die schwedische Demonstrationsanlage). Die Überwachung ist Teil des betrieblichen Sicherheitsmanagements. Die Zielhierarchie (Schutz > Überwachung > Rückholbarkeit > Rückholung) zeigt, dass Kontrollierbarkeit vor Rückholbarkeit sichergestellt sein bzw. gefordert werden muss, und zwar zur Überprüfung, ob das Hauptziel, die Langzeitsicherheit, eingehalten ist. Rückholbarkeit bzw. Rückholung wäre dann sozusagen Kontrolle zweiter Stufe, wenn Kontrollresultate dies als Konsequenz fordern. Umgekehrt wäre eine Überwachung um der alleinigen Messung willen sinnlos, sie muss mit einem sinnvollen Massnahmenkatalog verbunden sein. Der Vorschlag der EKRA dokumentiert, dass die eigentliche Knacknuss der angewandten Forschung die Frage der Kontrollierbarkeit unter Endlagerbedingungen ist, und nicht die Rückholbarkeit. Folgende Punkte stehen im Vordergrund [27]:

- Definition des Pilotlagers (d. h. inkl. Testnischen)
- spezifische Kriterien zur Wahl des Pilotlager-Standorts
- Kriterien zur Selektion der Abfälle
- Kriterien und Anforderungen zur Übertragbarkeit der Messergebnisse (abfallseitig, lagerseitig, geosphärenseitig, Wechselwirkungen)
- Überwachungsziele, Messstrategie und -verfahren (Art der Prüfung, Rolle der Kontrollstellen, Testbohrungen), Messparameter (z. B. Wasserzufluss, Aufsättigung, Wasserchemie, Gasaufbau usw.), Instrumentierung, Überwachungsperiode, Zugänglichkeit
- Aussagekraft der Ergebnisse.

Direkt auf die Frage der Rückholbarkeit bezogen lassen sich spezifische Probleme eruieren, beispielsweise:

- Anforderungen an Rückholtechnik und Lösungsmöglichkeiten in Bezug auf höhere Temperaturen an der Behältergrenze und im Nahfeld
- Tauglichkeit der Infrastruktur, Fernbedienung und Automatisierung der Rückholtechnik
- zeitabhängige Betriebs- und Nachbetriebsszenarien (Bis wann sind welche «sanften» und nachgeschalteten «harten» Massnahmen sinnvoll und machbar? Was geschieht im Fall von Behälterleckagen, also kontaminierten Bereichen?).

Wenn (nachdem) die Zielkonflikte gelöst sind, kann Rückholbarkeit ein sinnvolles Werkzeug sein, um Druck auf höhere Qualität von Prozess und Produkten aufzusetzen [7]:

- Entwicklung und Erhalt der Vertrauens in die Sicherheitsanalysen und die verantwortlichen Akteure
- Überprüfungsprozess(e) (für technisches und gesellschaftliches Lernen und entsprechende Verbesserung)
- Einhaltung der zu Beginn festgelegten Regeln (Transparenz, Sicherheitskriterien, Vergleichbarkeit der Standortgebiete usw.)
- Bewertung von Rückgriffoptionen
- Kritik an Akteuren (in Schweden «stretching» genannt [76]).

In jedem Fall setzt Rückholbarkeit (zu welchem Zweck und aus welchen Gründen auch immer) Planung und entsprechende Umsetzungsfähigkeit voraus (u. a. modulare Komponenten, Werkzeuge, Messgrößen, Schwellenwerte/Eingreifswerte, Massnahmen im Fall des Eingreifens, Folgen).

Alternativen zur Endlagerung in tiefen geologischen Formationen

Ich bin versucht, einfach zu sagen: keine. Da das aber nicht sehr überzeugend ist (weder für den Sender noch die Empfängerin der Botschaft) und die Frage immer wieder auftaucht, verweise ich auf den nötigen gesellschaftlichen Dialog. Anhand einer Zieldiskussion sind Vor- und Nachteile aller Entscheidungsoptionen auf den Tisch zu legen, z. B. anhand der folgenden Aufstellung mit den zwei Aspekten der Nachhaltigkeit als Referenzpunkten, Kontrolle und Schutz (Tabelle 2, ausgeführt in [24][38][39]).

Nach eingehender Analyse [39][38][33][31][24][21][19][7][1] komme ich zu folgendem Schluss: Oberziel bei der Lagerung radioaktiver Abfälle ist die Stabilität des Lagersystems, im Hinblick darauf, dass der Schutz vor gesundheitsgefährdendem Austritt von Radioaktivität zu gewährleisten ist. Komplementärziel ist Flexibilität, definiert als Interventionspotenzial. Dazu ist ein aussagekräftiges Überwachungs- und Kontrollprogramm zu konkretisieren, das selbstverständlich Publikation der Arbeiten, intensives Reviewing und entsprechende Qualitätssicherung umfasst.

Vorrangziele		
Kriterium	Kontrolle [Grad der Wichtigkeit]	Schutz [Grad der Wichtigkeit]
Schutz	gering (mit Verweis auf Reparaturfähigkeit Reduktion der Sicherheitsstandards in der Bauphase möglich)	grösser (Hauptziel)
Kurzfristige Sicherheit (z.B. betrieblicher Strahlenschutz)	hoch (abhängig von den Ausgaben)	hoch (abhängig von den Ausgaben)
Langfristige Sicherheit	geringer (Nebenziel)	höher (Hauptziel)
(Möglicher) Systemfluss	schnelle Bewegungen gesellschaftlicher/technischer Eigenschaften, instabil	langsame Degradation geologischer Systeme, natürliche Phänomene teilweise voraussagbar
Systemwechsel	möglicherweise abrupt	allmählich
Missbrauch von Spaltstoffen (Safeguards)	schlecht (relativ einfacher Zugang)	gut
Interventionspotenzial	gross (Hauptziel)	klein (Nebenziel)
Flexibilität	gross (Eingriffe: Änderung der technischen Barrieren) Proliferationsgefahr (Hauptziel) Gefahr des Aufschiebs	klein (Nebenziel)
Sachzwang	hoch (Kontrolle)	mittel (abhängig von der Güte der Sicherheitsanalysen)
Unsicherheit(en)		
Unschärfe	mittel (technische Barrieren)	gross (Streuung, Datensätze)
Ungewissheit	gross (Wirksamkeitsdauer des Kontrollsystems; unerwünschte Eingriffe)	mittel (abhängig von der Szenariorobustheit)
Erfahrung	kurz, schlecht	keine

(Tabelle 2: Forts. umseitig)

(Forts.)

Technikgläubigkeit (Fortschritts-Abhängigkeit)	gross (zukünftige Lösungen, Investitionen in Kerntechnikforschung vorausgesetzt)	mittel (heutige Lösungen)
Ressourcen (Wertstoffe)	greifbar (nur sinnvoll bei weiterer bzw. verstärkter Nutzung der Atomkernenergie)	schlecht greifbar
Verursacherprinzip	negiert	prinzipiell eingehalten
Entscheidungssträger	legitimierte Teile der heutigen Gesellschaft in Vertretung der heutigen und zukünftigen Risikoträger	
Interessenkollisionen (Gleichheitsaspekte)	heutige Generation(en): Nutzniesser, Teile als Risikoträger (intragenerationelle Gleichheitsfrage) künftige Generationen: Risikoträger (intergen. Gleichheitsfrage)	
Externalitäten/Kosten (Menschlich, technisch, finanziell)	sehr gross, zu Lasten kommenden Generationen (grösserer Diskontierungssatz), grösserer Glaube an technologischen und medizinischen Fortschritt	gross, hauptsächlich zu Lasten der nutznießenden Generationen (kleinerer Diskontierungssatz), Vertrauen auf heute vorhandene Technik (verfügbar bis zum definitiven Verschluss des Systems)
Strategischer Hintergrund: Variation möglicher «versteckter Agenden» (ohne Hierarchie)	1. Langfristige Aufgabe der Gesellschaft bzgl. radiologischer Altlasten («Hüteprinzip») 2. Wille zu Sanierungsmassnahmen bei Systemversagen (eine Interpretation von Handlungsfreiheit) 3. Ressourcenlager für eine nukleare Renaissance (Rückholbarkeit) 4. politischer Opportunismus (grösste Chance für Akzeptanz) 5. Argument der billigsten Lösung (Abfallerzeuger, heutige Generation) 6. Argument für den Ausstieg (keine dauerhafte Lösung des Abfallproblems) 7. Angst vor Technokratenlösung der Endlagerung (Rückholbarkeit)	1. «Aus den Augen aus dem Sinn»-Mentalität 2. Vorrang passiver Sicherheit, keine Bürde für künftige Generationen (zweite Interpretation von Handlungsfreiheit) 3. Wille zur Durchsetzung des Verursacherprinzips (Zwang zum Langzeitsicherheitsnachweis durch den Betreiber) 4. Abfallerzeuger könnten sich aus dem Staub machen (Kostenersparnis, «schlanke» Lösungen) 5. Kontrollierbarkeit könnte Sicherheitsstandards und Konzeptqualität unterlaufen (mit möglichem «angepasstem offenem Endlager») 6. Argument für Fortsetzung des Atompfads (Abfall«lösung» gefunden) 7. Angst vor Politikerlösung nie endender Zwischenlagerung (Dauerprovisorium)
Extreme Variante	Oberflächendauerlager	geologisches (Tiefen-)Endlager

Tabelle 2: Lagerkonzeptionen im Vergleich. Auswirkungen der Dominanz der zwei entgegengesetzten Nachhaltigkeitsziele (Umkehrbarkeit/Rückholbarkeit wird als extreme Variante von «Kontrolle» typisiert). Je nach Ausgestaltung sind Annäherungen möglich (Langzeitlager im Untergrund vs. Endlager ohne Validierung in der Nachbetriebsphase) oder Unterschiede werden noch grösser (Oberflächenlager vs. erweitertes Endlagerkonzept mit ausgedehnter Überprüfung der Sicherheitsanalyse(n)). Quelle: [38:192f.]

Öffentlichkeitsbeteiligung

Vor jeglicher Aktivität ist – durch die Verfahrens- oder Prozessleitung – zu klären, wer weshalb wozu und wie einzubeziehen ist (Abbildung 5)[6]. Sinnvoll ist wohl eine möglichst frühe und umfassende Beteiligung, soll der oben geforderte Dimensionendiskurs geführt werden; es geht um langfristige Beteiligungskonzepte.

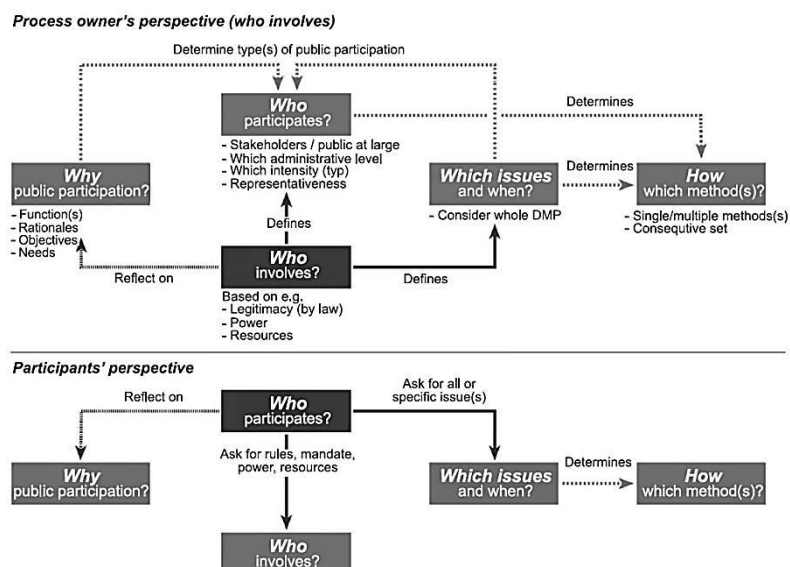


Abbildung 5: Schlüsselfragen bei der Beteiligung der Öffentlichkeit (schwarze Kästen und **fette** Pfeile). In der oberen Hälfte wird die Sichtweise der Prozessleitung (z. B. Behörde), unter der Beteiligten aufgeführt. Quelle: [9]

Voraussetzung ist in allen Fällen, dass den Beteiligten Respekt gezollt wird. Fragen sind nie dumm, nur die Antworten darauf; Fragende haben Anrecht auf verständliche, die Frage Ernst nehmende Antworten innert angemessener Frist. Bescheidenheit ist angebracht (einige Schritte neben meinem Fachgebiet bin ich bestenfalls informierter Laie). Intelligenz hilft: Einwohner und Einwohnerinnen einer Region sind Experten ihrer Region und können zur Qualität und Qualitätssicherung beitragen. Wenn diese Regeln (eigentlich schlicht: bürgerlichen Anstands) nicht eingehalten werden, ist es mit der «Beteiligungsbereitschaft» [40] einer möglichen Standortregion im Nu vorbei. In einem Auswahlverfahren bedeutet nicht nur das Fehlen einer geeigneten Geologie den sogenannten «worst case», auch der Absprung einer technisch als geeignet beurteilten Standortregion ist es.

Zur Frage der Mitsprache und Legitimation bzw. Rechtsstaatlichkeit eines partizipativen Verfahrens: Den Beteiligten/Betroffenen muss von Anfang an reiner Wein eingeschenkt werden (was haben sie zu sagen, was nicht?). Im Fall des Schweizer Sachplans wurde eine sogenannte «regionale Partizipation» in sechs technokratisch (aufgrund erdwissenschaftlicher Kriterien) festgelegten Standortregionen aufgezogen (mit einem klar beschränkten Pflichtenheft [48]. Die Hälfte der «Regionalkonferenzen» besteht aus behördlichen Vertretungen, um den Anschluss an rechtlich legitimierte Körperschaften sicherzustellen [68]. Den Beteiligten ist bewusst, dass sie wohl mitwirken, aber nicht eigentlich mitbestimmen können. Nichtsdestotrotz ist ihr Einfluss, beispielsweise auf die Platzierung der Oberflächenanlagen, aber auch auf die Bearbeitung von Fachfragen allgemein, nicht zu unterschätzen [60].

Was die Kantone angeht, haben sie formal auch kein Mitbestimmungsrecht, seit 2005 im Nachgang zum zweimaligen Nein am Wellenberg das Kantonsveto abgeschafft worden ist. Es bestehen jedoch umfassende Mitwirkungsrechte. Über ein politisches Leitgremium (mit Regierungsräten, in Deutschland: Landesminister) und verschiedene technische Arbeitsgruppen begleiten die betroffenen Kantone den Bund bei der Durchführung des Auswahlverfahrens und geben Empfehlungen ab. Diese haben schon mehrfach Wirkung gezeigt. So wurde aufgrund einer Empfehlung die Nagra verpflichtet, eine 2-D-Seismik zu erweitern, damit die Kantonsforderung nach erdwissenschaftlicher Vergleichbarkeit aller Standortregionen erfüllt werden kann. Auch bei der Findung von Arealen für Oberflächenanlagen musste die Nagra aufgrund von Beanstandungen aus den Kantonen und, wie gesagt, den Regionen ihre Vorschläge überarbeiten und erweitern.

Nach zweijähriger Vorbereitung und drei Jahren regionaler Partizipation hat sich eine gewisse Zusammenarbeit eingespielt. Die Regionen können sich mehr einbringen, als sie am Anfang befürchteten («Alibi-Partizipation») [68], jedoch besteht wegen der langen Programmdauer die Gefahr der Motivationsabnahme und der Frustrationszunahme auf Stufe Region. Ebenso kann sich eine Regionalkonferenz von ihrer Region mit der Zeit entfernen, da sie auch einen gewissen Expertenstatus aufbaut. Ausserdem bestehen unterschiedliche Interessen der Bevölkerung verschiedener Ebenen (nationales vs. kantonale/regionale/kommunale Interessen), denn das letzte Wort werden die Schweizer Stimmbürgerinnen und -bürger mittels eines nationalen Referendums haben (als finale Entscheidung zur Rahmenbewilligung, sprich Planfeststellung).

Schlussfolgerung

Um sowohl technisch-naturwissenschaftliche wie gesellschaftliche Themen in der Entsorgung (hoch-)radioaktiver Abfälle angemessen zu berücksichtigen, ist ein integrativer, systematischer und partizipativer Ansatz nötig, damit eine gesellschaftlich akzeptable Zielpriorisierung (mit passiver Sicherheit an oberster Stelle) erreicht werden kann. Wesentlich dabei ist eine nationale Führungsbehörde, verbunden mit einer klaren Rollenteilung der Akteure, klaren Verfahrens- bzw. Prozessregeln und Entscheidungskriterien (siehe Tabelle 3, umseitig). Die komplexen und langandauernden Verfahren setzen allseitig umfangreiche Ressourcen (Personal, Finanzen, Zeit) voraus.

Bereich	Ansatz/Konzept			
	„Gute Regierungsführung (Gouveranz)“	Voreingenommenheit (u a. Regulatory capture)	Sicherheitskultur	Pfadabhängigkeit, Lockins
Referenzen	UNDP 1997 [75]	Carpenter & Moss 2013 [49]	IAEA 1991 [58]	Crouch 1993 [52], Arthur 1989 [44]
A. Formale Struktur	Legitimierung	Asymmetrie	Kontinuierliches Lernen	
	<i>Gesetzgebung</i>	<i>Forschung und Entwicklung</i>	<i>Bildung, Weiterbildung</i>	
	<i>Beteiligung an ...</i>	<i>Ressourcen (Personal, Geld)</i>	<i>...</i>	
	<i>Akteure</i>	<i>Kompetenzen, Erfahrung</i>		
	<i>...</i>	<i>Abzug von Expertise ...</i>		
B. Rollenverständnis	Rollenteilung			Offene Entscheidungsfindung
	<i>Aufgaben im Programm</i>			<i>Optionenvergleich</i>
	<i>Strategische Planung/Führung</i>			<i>...</i>
	<i>Verantwortlichkeit ...</i>			
C. Interne Strukturen	Transparenz/Verbindlichkeit	Überprüfung(en)	Fehlerkultur	
	<i>Begründung der Entscheidungen</i>	<i>Überprüfungszyklen, -teams</i>	Kritische Grundhaltung	
	<i>Rahmen und Richtlinien</i>	<i>...</i>	<i>Offene Kommunikation</i>	
	<i>Controlling</i>		Vertrauen	
	<i>Qualitätsmanagement</i>		<i>...</i>	
<i>...</i>	<i>Überprüfung ...</i>			

Tabelle 3: Kriterien und dazugehörige Merkmale/Indikatoren (*kursiv*) für eine Beurteilung der Gouvernanz und anderer theoretischer Konzepte. Quelle: eigene Aufstellung, in Arbeit (...) [1]

Thesenhaft lassen sich im Einzelnen folgende Erfahrungen und Erkenntnisse formulieren (Doppelnennungen sind beabsichtigt):

Klare Zielsetzung: Sicherheit steht zuoberst, aber Einbettung in Region sicherzustellen
Entsorgung ist ein technischer Sachzwang, muss aber gesellschaftlich gelöst werden. Nicht über die Köpfe der Betroffenen hinweg. Übrigens: Betroffene einer Standortregion sind (auch) Experten ihrer Region. Es ist eine *Problemanerkennung* sowie *Problemaneignung* durch die Gesellschaft nötig: Mitentscheiden heisst mitverantworten (z. B. Nicht-Entscheidungen sind auch Entscheidungen ..., guter Prozess allein genügt nicht: Es braucht auch Umsetzung, d. h. Lager).

Verbindlichkeit von Regeln und Kriterien

Einmal konsensual festgelegte Regeln und Kriterien sind nicht ohne Not zu ändern.

Stufenweises Vorgehen mit genügend Ressourcen

Die Verfahren sind aufeinander abzustimmen; Standortauswahl und Plangenehmigung müssen den gleichen Kriterien, Anforderungen und Zielen unterworfen sein. Die technische Gemeinschaft braucht Zeit, durchdachte Argumente für Laien plausibel zu erklären, Gesellschaft und Politik brauchen Zeit zu verstehen und zu tolerieren (eher als «akzeptieren»).

Rollenteilung und -verständnis, Zuständigkeiten, Legitimation

Eine scharfe Rollentrennung ist zentral. Aufgabenteilung hat zu herrschen zwischen Verfahrensleitung (politische Behörde), technische Überwachung (Aufsichtsbehörde), Antragsteller, Forschungsinstitutionen, Weiteren (Länder, Regionen, Umweltverbände, Bürgerinitiativen).

Starke Führung, angemessene Struktur ...

Ausreichende Strukturen und Ressourcen sind wichtig, aber nicht genügend. Die Aufsichtsbehörde muss eine Plattform für umfassende Wissenserzeugung und -erhalt schaffen, die

auf einem vorgängig festgelegten Kriteriensatz beruhen. Der Bedarf zur Integration verschiedener Erfordernisse, das lange und schrittweise Vorgehen, die institutionelle Konstanz und die besondere «nationale» Aufgabe erfordern sorgfältige Struktur und Arbeit der Behörden [63]. Voreingenommenheit (v. a. der Behörden, «regulatory capture» [49], auch Anderer), Bindung von Fachkräften und -wissen /«expert blocking») oder Techniksackgassen («technological lockins» [44][52]) sind zu vermeiden.

... aber auch Kultur

Das Personal braucht eine angemessene entwickelte Kultur (Respekt für Andere, Fehler eingestehen, Standvermögen *und* Beweglichkeit, Perspektivenwechsel, Einfühlungsvermögen).

Transparenz, Nachvollziehbarkeit

Wenn das Verfahren den Akteuren ausreichend Zeit zum Diskurs lässt und die (Teil-)Produkte reif sind, d. h. sicherheitsgerichtet und plausibel für die Mehrheit der Akteure, müssen der politischen Schlussentscheidung (in der Schweiz an der Urne, in Deutschland im Bundestag) nicht notwendigerweise verschiedene Optionen zugrundeliegen.

Respekt, auf Augenhöhe, Minderheitenmeinungen, Ressourcen

Es gibt keine dummen Fragen, nur dumme (nichtplausible) Antworten. 99 Prozent der Leute sind Laien (auch Experten: Werkstofftechniker verstehen wenig von 3D-Seismik, und umgekehrt). Sie sind nicht imstande, die Sicherheitsanalysen in ihren Einzelheiten nachzuvollziehen (das müssen sie auch nicht, die Spezialisten müssen ihnen diese plausibel erklären, damit die Laien die Sachverhalte erkennen und akzeptieren können). Laien konzentrieren sich vielmehr auf den Prozess und die Akteure, die sie (ganzheitlich) sehr wohl einschätzen können: Wurden die Regeln eingehalten? Sind die Experten arrogant, geben sie Fehler zu, gehen sie auf Fragen (wirklich) ein? Gradmesser ist das Vertrauen der Öffentlichkeit in Prozess und Personal [15][20][35].

Umgang mit Wissensbestand und Unsicherheiten

Wie wurde auf Fragen/Meinungen geantwortet? (Wissensdatenbank). Etappierung bedeutet auch, dass Themen phasengerecht angegangen werden können/müssen. Das hat Erklärungsbedarf. Lernen aus Fehlern Anderer gehört zu guter Praxis (z. B. was bedeuten die Ereignisse im amerikanischen WIPP im Feb. 2014 [77] für mein Felslabor?).

Trans-Wächtergremium: transdisziplinär, transgenerationell, transpolitisch

Generationen lösen sich ab (Fachleute, Gesellschaften, Regierungen ...); diese Ablösung birgt Risiken (Konzeptun/miss/verständnis, St. Florian/NIMBY – Not In My Back Yard, NIM-TOO – Not In My Term Of Office). Zur institutionellen Absicherung über Jahrzehnte ist es sinnvoll, einen Nationalen Rat für den sicheren Umgang mit radioaktiven Abfällen (Namensvorschlag) einzurichten. Er sollte pluralistisch zusammengesetzt sein, unabhängig von der Industrie, aber fach- und prozesskompetent sowie nicht durch (Partei-)Politik getrieben [38][23][19].

Verweise

Siehe auch www.uns.ethz.ch/people/associated/thomasfl (alle Links abgerufen am 20.11.2014)

- [1] Flüeler, T. (2014c). Inclusive assessment in a site-selection process – Approach, experience, reflections and some lessons beyond boundaries. DAEF Conference: Key topics in deep geological disposal, Köln, 24.–26. Sept.
- [2] Flüeler, T. (2014b). Extended reviewing or the role of potential siting cantons in the ongoing Swiss site selection procedure (“Sectoral Plan”). In: The safety case for deep geological disposal of radioactive waste: 2013 state of the art. Symposium proceedings. Nuclear Energy Agency, Paris, 7–9 Oct, 2013. Paris: OECD: 405-412.
- [3] Flüeler, T. (2014a). Radioactive and conventional toxic waste compared – An integrated approach, useful for an appraisal of carbon capture and storage (CCS). In: The safety case for deep geological disposal of radioactive waste: 2013 state of the art. Symposium proceedings. NEA, Paris, 7–9 Oct, 2013. Paris: OECD: 351-361.
- [4] Flüeler, T. (2013). Nuklearabfall im Vergleich mit Sonderabfall – Umgang und Wahrnehmung. Systemstudie, Teil I, Schlussbericht. Modul 3 des ETH-Swissnuclear-Kooperationsprojekt «Wege in eine Allianz der Verantwortung». ETH Zürich.

- [5] Flüeler, T. (2012b). 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., Minsch, J. (eds., 2012): Tackling long-term global energy problems: the contribution of social science. Series Environment & Policy, Vol. 52. Dordrecht, NL: Springer, pp. 191-226.
- [6] Stauffacher, M., Krütli, P., Flüeler, T., Scholz, R. W. (2012). Learning from the transdisciplinary case study approach: A functional-dynamic approach to collaboration among diverse actors in applied energy settings (Chapter 11). In: Spreng, D. et al. (eds., 2012): Tackling long-term global energy problems: the contribution of social science. Series Environment & Policy, Vol. 52. Dordrecht, NL: Springer, pp. 227-245.
- [7] Flüeler, T. (2012a). 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. Paris: OECD.
- [8] Krütli, P., Flüeler, T., Stauffacher, M., Wiek, A., Scholz, R. W. (2010). Technical safety vs. public involvement? A case study on the unrealized project for the disposal of nuclear waste at Wellenberg (Switzerland). *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 7(3): 229-244.
- [9] Krütli, P., Stauffacher, M., Flüeler, T., Scholz, R. W. (2010). Functional-dynamic public participation in technological decision making: Site selection processes of nuclear waste repositories. *Journal of Risk Research*. 13(7): 861-875.
- [10] Flüeler, T. (2010). Partizipation im Schweizer Sachplan geologische Tiefenlager – ein Zwischenstand. Forum Endlager-Dialog, Hannover, 27. Jan. 2010.
- [11] Flüeler, T. (2009). Vergleich internationaler Sicherheitsanforderungen mit deutschen Sicherheitsanforderungen an ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle. Gutachten im Auftrag des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS). Hausen AG, Schweiz.
- [12] Schori, S., Krütli, P., Stauffacher, M., Flüeler, T., Scholz, R. W. (2009): Stakeholder preferences with respect to decision processes in repository site selection for radioactive waste. Lessons learnt from a multiple case study in Sweden and Switzerland. Zurich: ETH Zurich.
- [13] Flüeler, T., Krütli, P., Stauffacher, M., Wiek, A., Scholz, R. W. (2009). Lessons from failures in the governance of complex and contested socio-technical issues: the Wellenberg case of a radioactive waste repository project in Switzerland. Nordic Environmental Social Sciences 2009, London, 10–12 Jun 2009.
- [14] Krütli, P., Stauffacher, M., Flüeler, T., Scholz, R. W. (2009). Siting for nuclear waste repositories: Do fair processes enable the acceptance of the outcome? VALDOR 2009, Stockholm, 8–11 Jun 2009.
- [15] Dumas, M., Blumer, Y., Stauffacher, M., Flüeler, T., Krütli, P., Scholz, R. W. (2009). Stakeholder preferences with respect to decision processes in repository site selection for radioactive waste. Lessons learnt from a multiple case study in Sweden and Switzerland. VALDOR 2009, Stockholm, 8–11 Jun 2009.
- [16] Stauffacher, M., Flüeler, T., Krütli, P., Scholz, R. W. (2008). Analytic and dynamic approach to collaboration: A transdisciplinary case study on sustainable landscape development in a Swiss Prealpine region. *Systemic Practice and Action Research*. Vol. 21. No. 6: 409-422.
- [17] Stauffacher, M., Flüeler, T., Krütli, P., Scholz, R. W. (2007). Was kann die TA von transdisziplinärer Forschung lernen? Ein transdisziplinäres Forschungsprojekt zur Standortsuche für die Lagerung radioaktiver Abfälle. TA'07 Siebte österreichische TA-Konferenz, 4 Jun. Wien.
- [18] Hériard-Dubreuil, G., Mays, C., Espejo, R., Flüeler, T., Schneider, T., Gadbois, S., Paixà, A. (2007). CO-WAM 2. Cooperative research on the governance of radioactive waste management. Final synthesis report. Paris: Mutadis.
- [19] Flüeler, T. (ed., 2007). Decision-making processes in radioactive waste governance. Insights and recommendations. Work Package 3 “Quality of decision-making processes”.
- [20] Stauffacher, M., Flüeler, T., Krütli, P., Scholz, R. W. (2006). Systematic and dynamic approach to collaborative landscape planning: a transdisciplinary case study in a Swiss Pre-alpine region. Workshop “Formalised and Non-Formalised Methods in Resource Management. Knowledge and Learning in Participatory Processes”, 21–22 Sep, 2006, Osnabrück, Germany (in the framework of the German-Austrian research project PartizipA and of the EU Concerted Action Harmoni-CAWP 5).
- [21] Flüeler, T. (2006c). What is “long term”? Definitions and implications. In: Schneider, T., Schieber, C., Lavelle, S. (eds.), Long term governance for radioactive waste management. Annex of the Final Report of COWAM 2 – Work Package 4 (pp. 53-56). Community Waste Management 2, EURATOM/FP7, FI6W-CT-508856. CO-WAM2-D4-12-A.
- [22] Krütli, P., Stauffacher, M., Flüeler, T., Scholz, R. W. (2006). Public involvement in repository site selection for nuclear waste: a dynamic view. In: Andersson, K. (ed.): VALDOR 2006 – VALues in Decisions On Risk. Proceedings. Stockholm, 14–18 May, 2006. SKI, Naturvårdsverket, SGI, Formas, UK Nirex, OECD/NEA. Stockholm: Congrex Sweden AB: 96-105.
- [23] 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. Berlin: edition sigma: 221-239.
- [24] 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. Dordrecht NL: Springer.

- [25] Flüeler, T. (2005d). «Akzeptanz durch Partizipation?» Bern, 29. Juni 2005. Tagungsbericht für «Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis», Zeitschrift des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) im Forschungszentrum Karlsruhe. Nr. 3. Dez.: 145-148.
- [26] Stauffacher, M., Krütli, P., Flüeler, T. (2005). Partizipative Verfahren der Technik-Bewertung: Erfahrungen und Herausforderungen unterschiedlicher Techniken. In Zuberbühler, A., Baggenstos, M., Zoubek, N., Janett, A. (Hg.): Strahlenschutz-Aspekte bei der Entsorgung radioaktiver Stoffe. 5. Gemeinsame Jahrestagung des Dt.-Schweiz. Fachverbandes für Strahlenschutz und des Österr. Verbandes für Strahlenschutz. Basel, 20.–23. Sept. 2005. Köln: TÜV-Verlag: 492-499.
- [27] Flüeler, T. (2005c). 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 «Sicherheitstechnische Einzelfragen der Endlagerung», 28./29.9.2005, Hannover. Zürich: ETH Zürich.
- [28] Flüeler, T. (2005b). Long-term knowledge generation and transfer in radioactive waste governance. A framework in response to the "Future as an Enlarged Tragedy of the Commons". 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 Jul, 2005, Orlando, Florida. International Institute of Informatics and Systemics. Orlando, FA: IIIS Copyright Manager: 20-25.
- [29] Flüeler, T. (2005a). Long-term knowledge generation and transfer in environmental issues – A challenge to a knowledge-based society. Setting the scene. In: Carrasquero et al. (eds.): Proceedings PISTA 2005. 3rd Intl Conf on Politics and Information Systems. 14–17 Jul, 2005, Orlando, Florida. Intl Inst of Informatics and Systemics. Orlando, FA: IIIS Copyright Manager: 1-3.
- [30] Flüeler, T., Krütli, P., Stauffacher, M. (2005). Tools for local stakeholders in radioactive waste governance: Challenges and benefits of selected Participatory Technology Assessment techniques. Interim Report. Jan. 2005. Contribution to the EU STREP Community Waste Management COWAM 2.
- [31] Flüeler, T., Scholz, R. W. (2004). Socio-technical knowledge for robust decision making in radioactive waste governance. Risk, Decision and Policy. Vol. 9, Issue 2: 129-159.
- [32] Flüeler, T. (2004b). Stellungnahme zum Dokument «Grundsätze für die sichere Endlagerung. Die Sicherheitsphilosophie des Bundesamtes für Strahlenschutz» (BFS-01/04). Gutachten für das BfS. Zürich: ETH Zürich.
- [33] Flüeler, T. (2004a). Long-term radioactive waste management: Challenges and approaches to regulatory decision making. In Spitzer, C., Schmocker, U., Dang, V. N. (eds.): Probabilistic safety assessment and management 2004. PSAM 7 – ESREL'04. Berlin, 14–18 Jun. Vol. 5. London: Springer: 2591-2596.
- [34] Hériard Dubreuil, G., Gadbois, S., Appel, D., Åhagen, H., Flüeler, T., Kelly, N., Le Bars, Y., Mobbs, S., Neerdael, B., Prêtre, S., Schneider, T., Vila d'Abadal, M. (2004). Local communities in nuclear waste management: the COWAM European Project. Euradwaste '04 – Community policy and research initiatives. Sixth European Commission Conference on the Management and Disposal of Radioactive Waste. Luxemburg, 29 Mar–1 Apr.
- [35] Flüeler, T. (2003b). Robust decision making in radioactive waste management is process-oriented. In: Andersson, K. (ed.): VALDOR 2003 – VALues in Decisions On Risk. Proceedings. Stockholm, 9–13 Jun, 2003. Stockholm: SCK•CEN, SKI, SSI, NKS, OECD/NEA, UK Nirex: 79-87.
- [36] Flüeler, T. (2003a). Die Einbettung der Arbeit des AkEnd in den internationalen Kontext. Kommentar aus der Sicht eines Beobachters. In Dally, A. (Hg.): Atommüll und sozialer Friede. Strategien der Standortsuche für nukleare Endlager. Loccum Protokolle 05/03. Rehburg-Loccum: Evangelische Akademie: 121-147.
- [37] 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. www.stmuv.bayern.de/umwelt/reaktorsicherheit/ilk/doc/14.pdf
- [38] Flüeler, T. (2002). Radioaktive Abfälle in der Schweiz. Muster der Entscheidungsfindung in komplexen soziotechnischen Systemen. Diss. ETH, Zürich. Berlin: dissertation.de.
- [39] Flüeler, T. (2001). Options in radioactive waste management revisited: A framework for robust decision-making. Journal of Risk Analysis, 21(4): 787-799.

Externe Referenzen

- [40] AkEnd (2002): Auswahlverfahren für Endlagerstandorte. Empfehlung des AkEnd – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte. Köln: W&S Druck.
- [41] AG SiKa/KES, Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone und Kantonale Expertengruppe Sicherheit (2010). Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 1 – Fachbericht. Zürich: Ausschuss der Kantone (AdK). www.radioaktiveabfaelle.zh.ch (> Ausschuss der Kantone/ Sicherheit)
- [42] AG SiKa/KES (2011). Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2 – Fachbericht zu den ergänzenden Untersuchungen im Hinblick auf die Einengung. Zürich: AdK.
- [43] AG SiKa/KES (2012). Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2 – Überlegungen zu den Vorschlägen der Nagra für Standortareale der Oberflächenanlagen. Zürich: AdK.
- [44] Arthur, B. (1989). Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical events. Econ. J., 99, 106–131.
- [45] Beck, U. (1986). Risikogesellschaft – auf dem Weg in eine andere Moderne. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

- [46] Bijker, W. E., Hughes, T. P., Pinch, T. (1989). The social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology. Cambridge, MA: MIT Press.
- [47] BFE, Bundesamt für Energie (2014). Newsletter Tiefenlager. Nr. 12. April. Bern: BFE.
- [48] BFE (2008). Sachplan geologische Tiefenlager. Konzeptteil. BFE, Bern. www.radioaktiveabfaelle.ch (> Publikationen/Berichte > Sachplan geologische Tiefenlager)
- [49] Carpenter, D., Moss, D.A. (2014). Preventing regulatory capture. Harvard, MA: Harvard Univ.
- [50] Carter, L. J. (1987). Nuclear imperatives and public trust: dealing with radioactive waste. Washington, DC: Resources of the Future.
- [51] Cook, B. J., Emel, J. L., Kasperson, R. E. (1990). Organizing and managing radioactive waste disposal as an experiment. Policy Analysis and Management, 9(3): 339-366.
- [52] Crouch, C. (1993). Industrial relations and European state traditions. Oxford: Oxford Univ. Press.
- [53] EKRA, Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (2000). Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle. Schlussbericht. Bern: Dept. für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.
- [54] ENTRIA (2014). Memorandum zur Entsorgung hochradioaktiver Reststoffe. Röhlig, K.-J. et al. Hannover: Niedersächsische Technische Hochschule.
- [55] Débat public Cigéo, 15.5.-15.12.2013 (ohne April). <http://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-cigeo>
- [56] HSK, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heute ENSI) (2007). Sachplan geologische Tiefenlager. Herleitung, Beschreibung und Anwendung der sicherheitstechnischen Kriterien für die Standortevaluation. HSK 33/01. Villigen: HSK.
- [57] IAEA, International Atomic Energy Agency (1994). Safety indicators in different time frames for the safety assessment of underground radioactive waste repositories. First report of the INWAC Subgroup on Principles and Criteria for Radioactive Waste Disposal. TECDOC-767. Vienna: IAEA.
- [58] IAEA (1991). Safety culture. Safety Series, No. 75-INSAG-4. Vienna: IAEA.
- [59] Luhmann, N. (1990, ²1993). Soziologische Aufklärung 5. Konstruktivistische Perspektiven. Westdeutscher Verlag, Opladen. «Risiko und Gefahr» in Krohn, W., Krücken, G. (Hg., 1993): Riskante Technologien: Reflexion und Regulation. Einführung in die sozialwissenschaftliche Risikoforschung. Frankfurt a. M.: Suhrkamp: 138-185.
- [60] Nagra (2014). Standortareal NL-2-HAA im Planungssperimeter Nördlich Lägern für die Oberflächenanlage eines geologischen Tiefenlagers HAA. Planungsstudie. Arbeitsbericht NAB 14-04. Wettingen: Nagra. (Beispiel)
- [61] NEA, Nuclear Energy Agency (2009). Considering timescales in the post-closure safety of geological disposal. NEA No. 6424. Paris: OECD.
- [62] NEA (2004). Stepwise approach to decision making for long-term radioactive waste management. Experience, issues and guiding principles. NEA No. 4429. Paris: OECD.
- [63] NEA, 2003. The regulator's evolving role and image in radioactive waste management. Lessons learnt within the NEA Forum on Stakeholder Confidence. Paris: OECD.
- [64] NEA (1999). Confidence in the long-term safety of deep geological repositories. Its development and communication. Paris: OECD.
- [65] NEA/IAEA/CEC (1991). Disposal of radioactive waste: Can long-term safety be evaluated? An international collective opinion. Paris: OECD. (deutsche Fassung z. B. in: nagra informiert 1/92: 4-21)
- [66] 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. Washington, DC: The National Academies Press.
- [67] NWMO, Nuclear Waste Management Organization (2005). Choosing a way forward. The future management of Canada's used nuclear fuel. Final study. Toronto: NWMO.
- [68] Planval (2014). Aufbau der regionalen Partizipation im Sachplanverfahren zur Standortsuche von geologischen Tiefenlagern. Umsetzung und Erfahrungen. Bern: Bundesamt für Energie.
- [69] Pearce, D. W. (1979). Social cost-benefit analysis and nuclear futures. In: Goodman, G. T., Rowe, W. D. (eds.). Energy risk management. London: Academic Press: 253-267.
- [70] Rip, A. (1987). Controversies as informal technology assessment. Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization, 8(2): 349-371.
- [71] Ropohl, G. (1978, ²1999). Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. München: Carl Hanser.
- [72] Sabatier, P. (1987). Knowledge, policy-oriented learning, and policy change. Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization, 8(4): 649-692.
- [73] Schweiz. Eidgenossenschaft. Kernenergiegesetz (KEG) vom 21.3.2003. SR 732.1.
- [74] StandAG, Standortauswahlgesetz vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2553).
- [75] UNDP, United Nations Development Program (1997). Governance and sustainable human development. New York: UNDP.
- [76] Wene, C.-O., Espejo, R. (1999). A meaning for transparency in decision processes. In: Andersson, K. (ed.): VALDOR – VALues in Decisions On Risk. Proceedings. Stockholm, 13–17 Jun. Stockholm: 404-421.
- [77] WIPP, Waste Isolation Pilot Plant, www.wipp.energy.gov/wipprecovery/accident_desc.html (mit Untersuchungsberichten zu den Ereignissen vom 5. bzw. 14.2.2014).