

Neuland im Untergrund : Visionen, Potenziale, Spannungsfelder

Autor(en): **Eckhardt, Anne / Graupner, Bastian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology**

Band (Jahr): **24 (2019)**

Heft 1

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-869518>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Neuland im Untergrund - Visionen, Potenziale, Spannungsfelder

Anne Eckhardt¹, Bastian Graupner²

Stichworte: Raumplanung im Untergrund, geologische Tiefenlager, radioaktive Abfälle, Forschungsprogramm.

Zusammenfassung

Die radioaktiven Abfälle der Schweiz sollen in geologischen Tiefenlagern entsorgt werden, um den Schutz von Menschen und Umwelt sicherzustellen. Die Sicherheit der Tiefenlager darf dabei weder durch menschliche Aktivitäten im Untergrund beeinträchtigt werden, noch durch vom Menschen verursachte Veränderungen der Umwelt. Neben Tiefenlagern von radioaktiven Abfällen beanspruchen weitere Objekte im Untergrund Schutz, beispielsweise einzigartige Geotope. Den Schutzinteressen stehen Nutzungsinteressen gegenüber, die sich vor allem auf räumliche, stoffliche und energetische Ressourcen beziehen. Aktuelle Entwicklungen wie die Energiewende in der Schweiz oder der Klimawandel begünstigen zunehmende menschliche Aktivitäten im Untergrund. Im Interesse einer nachhaltigen Nutzung der Geosphäre in der Schweiz sollten Nutzungspotenziale und Schutzinteressen im Untergrund breit evaluiert und die damit verbundenen Chancen und Risiken gegeneinander abgewogen werden. Ein entsprechendes Forschungsprogramm kann wesentliche, politisch relevante Entscheidungsgrundlagen bereitstellen.

Résumé

Les déchets radioactifs suisses doivent être éliminés dans des dépôts en couches géologiques profondes afin de protéger l'homme et l'environnement. La sécurité des dépôts en profondeur ne doit pas être compromise par les activités humaines dans le sous-sol, ni par des modifications de l'environnement causées par l'homme. Outre les dépôts en profondeur pour les déchets radioactifs, d'autres objets du sous-sol, tels que des géotopes uniques, revendiquent une protection. Les intérêts de la protection s'opposent aux intérêts de l'utilisation, qui concernent avant tout les ressources spatiales, matérielles et énergétiques. Les développements actuels tels que la transition énergétique en Suisse ou le changement climatique favorisent le développe-

ment des activités souterraines de l'homme. Dans l'intérêt d'une utilisation durable de la géosphère en Suisse, les utilisations potentielles et les intérêts de protection dans le sous-sol devraient être largement évalués et les opportunités et les risques associés pesés les uns par rapport aux autres. Un programme de recherche correspondant peut fournir des bases décisionnelles politiques essentielles.

Abstract

Switzerland's radioactive waste is to be disposed of in deep geological repositories to ensure the protection of people and the environment. The safety of repositories must not be impaired by human activity in the subsurface, nor by human induced changes in the environment. In addition to repositories for radioactive waste, other objects in the subsurface claim protection, such as unique geotopes. The interests of protection are opposed to interests of use, which refer above all to spatial, material and energetic resources. Current developments such as the energy transition in Switzerland or climate change favour increasing human underground activities. In the interest of a sustainable use of the geosphere in Switzerland, potential uses and protective interests in the underground should be widely evaluated and the associated opportunities and risks weighed against each other. A corresponding research program can provide essential political decision-making bases.

Vorwort

Seit jeher berichten Erzählungen, Märchen und Sagen von Gefahren und Schätzen im Untergrund. In Literatur und Film wird der Untergrund als Metapher verwendet, für Mysteriöses, Unheimliches und Verbotenes (Zürcher Hochschule der Künste zhdk 2014). Gegenwärtig eröffnen sich mehr und mehr Perspektiven auf Neuland im Untergrund, auf weitläufige unterirdische Transportsysteme, auf innovative Anlagen und attraktive Lebensräume. Der Untergrund birgt Ressourcen wie Raum, Wasser oder thermische Energie. Und er bietet Schutz – unter anderem vor Hitze und Kälte, vor Niederschlägen, Lärm und elektromagnetischer Strahlung. Schutz ist auch für die radioaktiven Abfälle der Schweiz gefragt. Im Untergrund sollen sie dereinst weitab von menschlichen Aktivitäten lagern, damit sie Menschen nicht gefährden aber auch damit Menschen nicht ohne Weiteres Zugang zu den Abfällen haben.

¹ ENSI-Rat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg, anne.eckhardt@ensi-rat.ch

² Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Industriestrasse 19, 5200 Brugg, bastian.graupner@ensi.ch

1 Schutz fernab der Menschheit

Radioaktive Abfälle gefährden Menschen und Umwelt. Ursache dafür ist vor allem die ionisierende Strahlung, die von den Abfällen ausgeht. Bis die Radiotoxizität auf ein unbedenkliches Mass abgeklungen ist, muss ein grosser Teil der Abfälle für lange Zeiträume sicher aufbewahrt werden. Deshalb wurden bereits früh Ideen entwickelt, wie radioaktive Abfälle fernab der Biosphäre entsorgt werden könnten, und Regionen gesucht, in denen sich noch keine oder kaum menschliche Aktivitäten entfaltet hatten.

Die Entsorgung radioaktiver Abfälle im Weltraum wurde seit den 1950er Jahren untersucht. 1976 kam eine Studiengruppe in den USA zum Schluss, dass die dauerhafte Entsorgung im Weltall machbar sei (Energy Research & Development Administration ERDA 1976, S. 184). Sie entwickelte ein Konzept, bei dem Space Shuttles zum Einsatz kommen sollten (Fig. 1).

Rechtlich steht der Entsorgung im Weltraum seit 1967 der «Vertrag über die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums

einschließlich des Mondes und anderer Himmelskörper», kurz Weltraumvertrag genannt, entgegen. Das Risiko, das mit einer Entsorgung im Weltraum aufgrund möglicher Unfälle verbunden wäre, wird heute allgemein als nicht akzeptabel eingestuft. Die Abstürze der Space Shuttles Challenger 1986 und Columbia 2003 verdeutlichten, dass die Weltraumfahrt auch dreissig Jahre nachdem die ERDA ihr Konzept veröffentlichte, keine ausreichende Sicherheit gewährleisten konnte. Die seit den 1960er Jahren diskutierte Lagerung radioaktiver Abfälle in Sedimenten der Tiefsee ist gemäss London Dumping Convention von 1972 nicht mehr zulässig. Das gilt ebenso für die Lagerung in Subduktionszonen unter dem Meeresboden. Die Entsorgung in Inlandeismassen, die in den 1950er Jahren vorgeschlagen wurde, verbietet der Antarktisvertrag von 1959. In Grönland steht dänisches Recht der Entsorgung entgegen (Appel et al. 2015). Inzwischen wird die sichere Entsorgung in Inlandeismassen auch durch den Klimawandel relativiert.

Seit mehreren Jahrzehnten konzentrieren sich die Bestrebungen, radioaktive Abfälle in

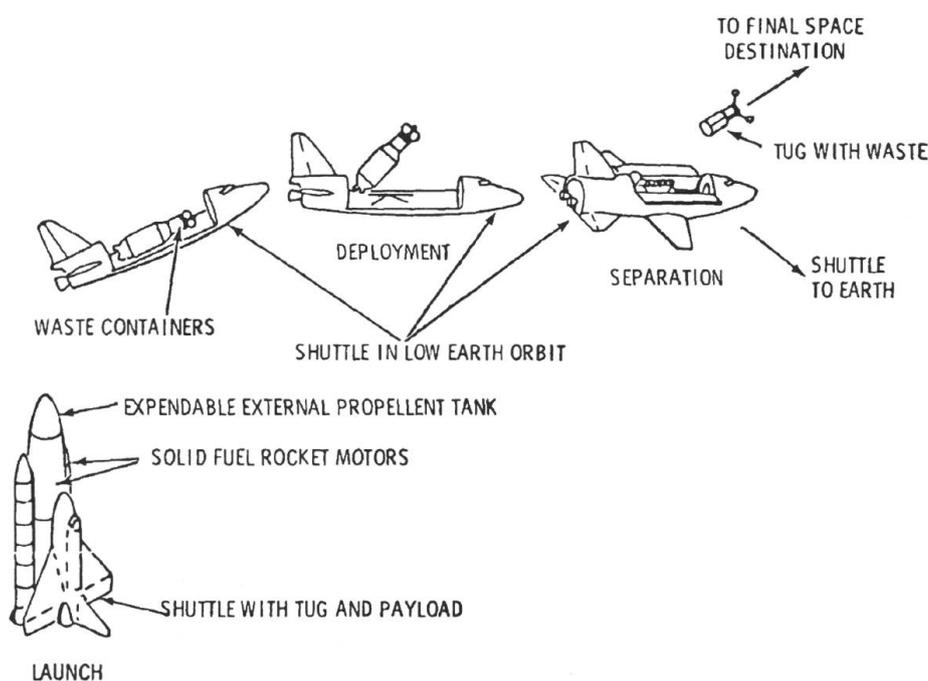


Fig. 1: Konzept zum Einsatz von Space Shuttles zur Entsorgung radioaktiver Abfälle im Weltraum (ERDA 1976, S. 186).

sicherer Distanz zur Biosphäre zu entsorgen, auf den tiefen Untergrund. Neben der Einlagerung in tiefen geologischen Schichten wird dabei vereinzelt auch die Lagerung in tiefen Bohrlöchern thematisiert. Dass die Entsorgung in tiefen geologischen Formationen die beste Entsorgungslösung für hochaktive Abfälle darstellt, ist internationaler Konsens. Im Gegensatz zu Vorstellungen wie der Entsorgung in Inlandeismassen oder im Weltall überzeugt dieser Entsorgungsweg sowohl politisch und ethisch als auch unter naturwissenschaftlich-technischer Perspektive und hält kritischen Argumenten gut stand. Mit umfassenden Untersuchungen wie dem Entsorgungsnachweis, den die Nagra 2006 erbrachte, wurde gezeigt, dass die mit der Entsorgung im tiefen Untergrund verbundenen jährlichen Strahlendosen klein im Verhältnis zur mittleren jährlichen Dosis der Schweizer Bevölkerung sind. Der dauerhafte Schutz von Mensch und Umwelt vor den von den Abfällen ausgehenden Risiken setzt allerdings voraus, dass die Sicherheit von Tiefenlagern für radioaktive Abfälle weder durch menschliche Aktivitäten im Untergrund beeinträchtigt wird, noch durch vom Menschen verursachte Veränderungen der Umwelt, die sich im Untergrund auswirken.

2 Schutzräume und Schutzbereiche

In der Schweiz sollen die radioaktiven Abfälle in einem geologischen Tiefenlager für schwach- und mittelaktive Abfälle sowie in einem geologischen Tiefenlager für hochaktive Abfälle entsorgt werden (Fig. 2). Möglich ist unter Umständen auch ein Kombilager, das sowohl schwach- und mittelaktive als auch hochaktive Abfälle enthält. Ein geologisches Tiefenlager ist ein unterirdisches Bauwerk, das die Abfälle in einer Tiefe von etwa 300 bis 900 m unter der Erdoberfläche aufnimmt. Nach der Einlagerung der Abfälle wird das Lager verfüllt. Ein Ausschnitt des Lagers wird beobachtet, bevor auch die verbliebenen Zugangsbauwerke vollständig verschlossen werden.

Die Auswahl der Standorte für die Tiefenlager in der Schweiz erfolgt im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager. Für die Auswahl werden 13 sicherheitstechnische Kriterien herangezogen. Eines dieser Kriterien thematisiert die Ressourcenkonflikte im Untergrund. Dabei werden insbesondere wirtschaftlich nutzungswürdige Rohstoffe, zum Beispiel Mineral- und Thermalwässer, sowie Energieressourcen wie Kohle, Kohlen-

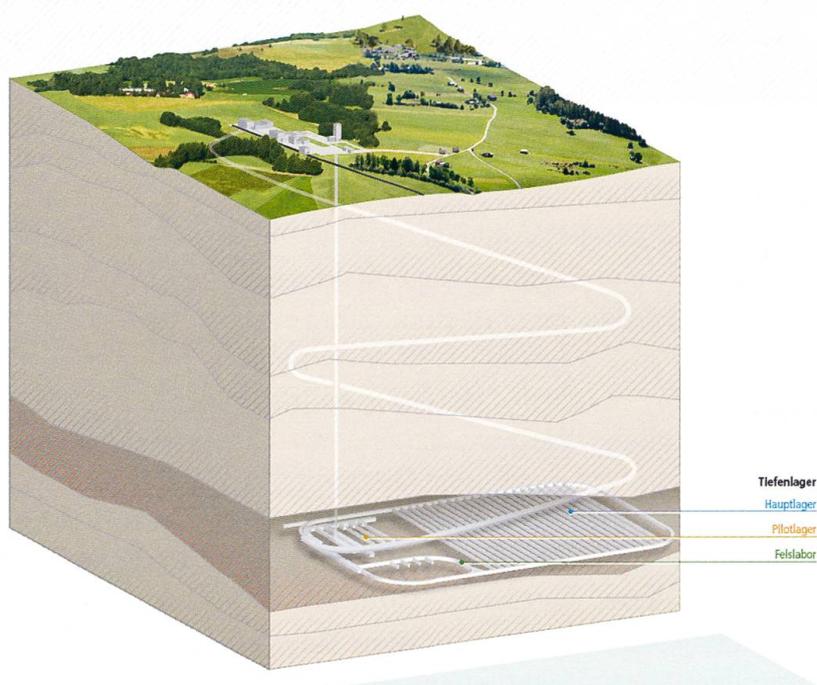


Fig. 2: Modellvorstellung eines geologischen Tiefenlagers (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI).

wasserstoffe und Erdwärme, die in besonderem Mass vorkommen, beurteilt.

Für das künftige Tiefenlager wird ein Schutzbereich festgelegt, der das Lager umgibt. Nutzungen des Untergrunds, die den Schutzbereich tangieren, sind bewilligungspflichtig und dürfen die Sicherheit des Lagers nicht beeinträchtigen (Bundesamt für Energie BFE 2018). Im Zentrum des Schutzbereichs steht der «einschlusswirksame Gebirgsbereich». Dieser Teil des geologischen Untergrundes stellt im Zusammenwirken mit den technischen Barrieren den Einschluss und die Rückhaltung der Radionuklide sicher.

Mögliche Nutzungen im Untergrund, die mit dem Tiefenlager konkurrieren, umfassen zum Beispiel den Abbau von Steinen und Erden, Wärmegewinnung sowie Kühlung über Erdwärmesonden, Elektrizitätsgewinnung durch tiefe Geothermie aber auch Verkehrsinfrastruktur, zu der zukünftig unter anderem unterirdische Gütertransportsysteme gehören könnten. Mit Hilfe des Schutzbereichs ist sicherzustellen, dass das Tiefenlager nicht durch diese Nutzungen beeinträchtigt wird. Dabei kann es durchaus sinnvoll sein, einwirkungsabhängige Schutzbereiche zu definieren, je nachdem, welcher mögliche Einflussbereich mit einer Nutzung verbunden sein kann. Ein Beispiel für den einwirkungsabhängigen Schutzbereich ist die Genehmigung von Erdwärmesonden im Bereich der möglichen Standortgebiete. Die zulässige Tiefe der Erdwärmesonden wird anhand aktueller Daten zur Tiefenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs geprüft. Damit wird eine Nutzung von Erdwärmesonden nicht prinzipiell ausgeschlossen, es kann aber zur Einschränkung in der zulässigen Tiefe kommen, um die Langzeitsicherheit eines möglichen Tiefenlagers nicht zu gefährden.

Ein geologisches Tiefenlager muss über lange Zeiträume Sicherheit gewährleisten. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI fordert von den Entsorgungspflichti-

gen, den Sicherheitsnachweis für ein Lager für hochaktive Abfälle für einen Zeitraum bis zu einer Million Jahre zu führen (ENSI 2009, S. 15). Der definitive Schutzbereich der geologischen Tiefenlager wird gemäss Artikel 37 des Kernenergiegesetzes mit der Betriebsbewilligung festgelegt. Nach Einschätzung der Nagra dürfte dies gegen 2060 der Fall sein (Nagra 2018).

3 Schutz und Nutzung im Untergrund

Tiefenlager für radioaktive Abfälle sind nur ein Beispiel für Objekte, die im Untergrund Schutz erfordern. Ein weiteres Beispiel sind mögliche künftige Speicher für Treibhausgase. Im Felslabor Mont Terri, in dem bisher vor allem Experimente zur Entsorgung radioaktiver Abfälle durchgeführt wurden, werden neu auch für die Lagerung von Kohlendioxid relevante Prozesse untersucht (Fig. 3). Die Speicherung von Kohlendioxid würde in Tiefen von 800 bis 5'000 m unter der Erdoberfläche erfolgen (Rietz 2019). Schutz beanspruchen zudem Anlagen im Untergrund wie Archive für Kulturgüter, unterirdische Spitäler und militärische Bauwerke.

Die Natur im Untergrund weist ein hohes Potenzial für geologische und biologische Schutzobjekte auf. Bereits Mitte der 1990er Jahre wies die «Arbeitsgruppe Geotopschutz Schweiz» darauf hin, dass Geotope, also geowissenschaftliche Naturdenkmäler, mehr Aufmerksamkeit verdienen. Ein Grund für den Schutz ist deren wissenschaftliche Bedeutung. Manche Fossil- und Mineralagerstätten der Schweiz stellen weltweit einzigartige Vorkommen dar (AGSS 1995, S. 6). Bereits geschützt werden geologische Naturdenkmäler wie die Kristallkluff Gerstegg beim Grimselpass, die der Kanton Bern 1974 unter Schutz stellte (Naturforschende Gesellschaft in Bern NGB 1987). Wichtig ist auch der Schutz von Vorkommen seltener Elemente und Mineralien, stofflichen und energetischen Ressourcen, die für die Zu-

kunft bewahrt werden sollen. Im speziellen Fall der Tiefengrundwässer ist der Schutz nutzbarer Vorkommen zwar durch die Gewässerschutzgesetzgebung geregelt. Bei deren Umsetzung bestehen aber noch viele Unklarheiten (Burger 2016, S. 81). Mit biologischen Lebensgemeinschaften, bei denen Wechselwirkungen zwischen Geologie und Mikrobiologie bestehen, befasst sich die Geomikrobiologie. In den letzten Jahren wurde zunehmend erkannt, wie umfangreich und vielfältig die Populationen an Mikroorganismen im Untergrund sind (Census of deep life CoDL 2019, Deep carbon observatory DCO 2019). In speziellen Lebensräumen finden sich auch grössere Lebewesen. In den letzten Jahren wurden in schweizerischen Höhlen beispielsweise drei neue Arten von Pseudoskorpionen entdeckt (Fischer 2018). Neben schützenswerten Geotopen verdienen daher auch schützenswerte Biotope im Untergrund Aufmerksamkeit.

Den Schutzinteressen stehen vielfältige Nutzungsinteressen gegenüber. In geringeren Tiefen richten sich diese Interessen oft auf räumliche Ressourcen. Im Untergrund finden sich grosse Raumreserven, die sich für neuartige Transportsysteme nutzen lassen. Projekte wie Swissmetro oder Cargo sous terrain zielen darauf ab, dieses Potenzial für den schnellen

und effizienten Transport von Menschen und Gütern zu nutzen. Dort, wo die obertägigen Raumreserven knapp und kostspielig sind, streben Nutzer mehr und mehr unter die Erdoberfläche. In der Vergangenheit wurden vor allem Nutzungen in den Untergrund verlegt, die von Menschen wenig frequentiert werden oder bei denen die Wahrnehmung durch Menschen unwesentlich erschien. Zu diesen Nutzungen zählen Versorgungsinfrastrukturen, Lager, Parkhäuser. Inzwischen erlauben es Architektur und Bautechnik, unter Tage attraktive Lebensräume zu gestalten, zum Beispiel unterirdische Einkaufs- und Sportzentren. International existieren bereits weitergehende Pläne und Projekte wie der unterirdische Park «Lowline» in New York (Wikipedia 2018). Räume untertage bieten Schutz vor der Witterung. Das macht sie in der Schweiz sowohl im Winter als auch in heissen Sommertagen attraktiv. Künftig könnte der Klimawandel dazu führen, dass Lebensräume im Untergrund insbesondere als Rückzugsmöglichkeiten bei Hitzeperioden an Attraktivität gewinnen. Dies würde auch der Strategie des Bundesrats zur Anpassung an den Klimawandel entsprechen, die darauf abzielt, die Risiken aufgrund des Klimawandels gering zu halten und die Anpassungsfähigkeit von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt an den Klimawandel zu steigern (Bundesrat 2012).



Fig. 3: Einblick in das Felslabor Mont Terri (ENSI).

Mit zunehmender Tiefe rückt die Nutzung von energetischen und stofflichen Ressourcen in den Vordergrund. Eine wichtige energetische Ressource ist die Erdwärme. Zu den stofflichen Ressourcen im Untergrund zählen Grundwasser, Tiefengrundwasser und Mineralwässer (Burger 2016). Potenziell von Bedeutung könnte künftig auch der Abbau von nicht-erneuerbaren Primärrohstoffen werden, deren zuvor genutzte Quellen sich erschöpft haben, die aufgrund neuer technologischer Entwicklungen gefragt sind resp. die sich mithilfe neuer Abbautechnologien aus Lagerstätten gewinnen lassen, die zuvor als nicht förderungswürdig eingestuft wurden. Mögliche Raumnutzungen im tieferen Untergrund umfassen die bereits erwähnte Entsorgung von Treibhausgasen, radioaktiven und chemischen Abfällen. Erwogen wird zudem die Speicherung von Treibstoffen, beispielsweise von gasförmigem Wasserstoff, im geologischen Untergrund als Teil eines stärker auf erneuerbaren Energien aufbauenden Energieversorgungssystems (Crotogino & Hamelmann 2008).

4 Nationales Forschungsprogramm als Grundlage für die strategische Planung

Bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle rief, wie oben dargestellt, die Aussicht, bisher kaum erschlossene Räume nutzen zu können, seit den 1950er Jahren immer wieder neue Ideen für Entsorgungslösungen hervor. Pläne, die Abfälle in Inlandeismassen, in Sedimenten und Subduktionszonen der Tiefsee oder im Weltall zu entsorgen, wurden jedoch bald durch rechtliche Regelungen, insbesondere internationale Verträge und Konventionen, gestoppt. Dies geschah aus Sicherheitsgründen, aber auch mit der Absicht, internationale Konflikte bei der Nutzung neuer Räume zu vermeiden und im Bestreben, diese Räume vorsorglich zu schützen – um ihrer selbst willen, oder um sie für spätere sinnvolle Nutzungen zu bewahren.

Eine ähnlich vorausschauende Perspektive darauf, wie das «Neuland im Untergrund» in der Schweiz zukunftsorientiert und nachhaltig genutzt werden kann, ist gegenwärtig wünschenswert und angezeigt.

In der Schweiz sind heute der Schutz und die Nutzung einzelner unterirdischer Ressourcen wie der Grundwässer grundsätzlich geregelt. Offene Fragen verbleiben dennoch, zum Beispiel zur Priorisierung nach optimierten Nutzungsmöglichkeiten bei Tiefengrundwässern. Diese Priorisierung vorzunehmen, wäre eine Verbundaufgabe von Bund und Kantonen (Burger, 2016). Einige Kantone haben bisher Gesetze zur Raumplanung im Untergrund erlassen, der Bund kann übergreifende Aufgaben wahrnehmen, wie der Sachplan geologische Tiefenlager zeigt. Von einer umfassenden vorsorglichen Planung der Erschliessung des Untergrunds kann aber noch keine Rede sein. Eine solche strategische Planung setzt voraus, dass die Schutzinteressen und Nutzungspotenziale im Untergrund bekannt sind, dass Interessenkonflikte erkannt und bewertet werden, so dass letztlich die Politik und Verwaltung über die notwendigen Entscheidungsgrundlagen verfügen, um Beurteilungen vorzunehmen und die Nutzung des Untergrunds differenzierter zu regulieren.

Mit Blick auf die Entwicklung von Entscheidungsgrundlagen für Politik und Administration haben das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), das Bundesamt für Energie (BFE) und das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) gemeinsam einen Vorschlag für ein Nationales Forschungsprogramm «Nutzung der Geosphäre: Umgang mit Chancen und Risiken» entwickelt. Mit dem Forschungsprogramm sollen folgende Ziele verfolgt werden:

- Synergien zwischen verschiedenen Nutzungsformen zukunftsgerichtet identifizieren und beschreiben, potenzielle Nutzungskonflikte erkennen und Lösungsansätze erarbeiten;

- das Spannungsfeld zwischen Nutzungs- und Schutzinteressen aus ganzheitlicher Perspektive ausloten;
- das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und der Nutzung der Geosphäre fördern;
- die Sicherheit und Effizienz bei der Erkundung und Nutzung der Geosphäre verbessern;
- interdisziplinäre Forschung zur Nutzung der Geosphäre stärken und den Nachwuchs in der Schweiz fördern;
- den Wirtschafts- und Forschungsstandort Schweiz stärken durch Technologie- und Wissensvorsprung.

In drei Modulen sollen dazu aufeinander abgestimmt die Potenziale von Nutzungen des Untergrunds, sicherheitsrelevante Fragen und gesellschaftliche Aspekte behandelt werden (Fig. 4). Die Nutzungspotenziale sollen unter anderem im Kontext der aktuellen und zu erwartenden künftigen Ressourcensituation betrachtet werden. Zu den gesellschaftlichen Aspekten zählen auch Fragen der gesellschaftlichen Wahrnehmung und Akzeptanz sowie ethische Fragen, deren Beantwortung eine wichtige Grundlage für politische Entscheidungen und künftige rechtliche

Regelungen bildet.

Die Forschungsgebiete «Nutzungspotenzial» und «Schutzanspruch» im Untergrund, resp. Chancen und Risiken von Nutzungen des Untergrunds werden heute weitgehend unabhängig voneinander bearbeitet und häufig auch gegeneinander ausgelegt. Dazu kommt, dass sich die sozioökonomische Forschung in der Schweiz noch kaum mit dem Thema der Nutzung der Geosphäre auseinandersetzt. Das NFP soll eine Chance bieten, nicht nur die disziplinäre, sondern auch die interdisziplinäre Erforschung des Untergrunds in der Schweiz zu stärken.

Der interdisziplinäre Ansatz des Vorhabens ist jedoch vor allem unabdingbar, um die Anforderungen und Anliegen von Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft ausgewogen zu berücksichtigen. Die wechselhafte Geschichte der Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz und in den Nachbarländern der Schweiz zeigt eindrücklich auf, dass Planungsprozesse, die viele Menschen betreffen, nicht allein naturwissenschaftlich-technisch oder durch politische Entscheidungen «über die Köpfe der Betroffenen hinweg» gelöst werden können. Mit dem laufenden

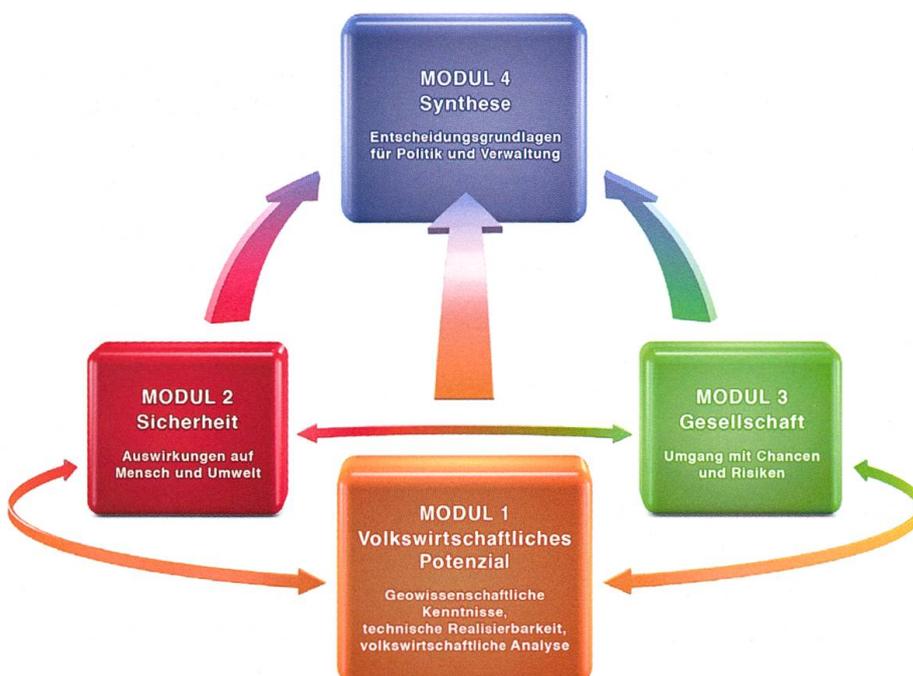


Fig. 4: Vorgeschlagene Module für ein Forschungsprogramm zum Umgang mit Chancen und Risiken bei der Nutzung der Geosphäre.

Sachplanverfahren geologische Tiefenlager, das der Standortauswahl für geologische Tiefenlager zugrunde liegt, wurde dagegen ein Ansatz gefunden, der einem breiten Spektrum von Anforderungen Rechnung trägt und Erkenntnisse aus verschiedenen Fachdisziplinen einbezieht.

ENSI, BFE und swisstopo planen, ihren Programmvorschlag bei der nächsten Ausschreibung des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation einzureichen.

Nationale Forschungsprogramme sollen einen wissenschaftlichen Beitrag zur Lösung wichtiger Gegenwartsprobleme von nationaler Bedeutung leisten (Schweizerischer Nationalfonds – SNF 2019). Bei der Raumplanung im Untergrund handelt es sich eindeutig um ein solches wichtiges Gegenwartsproblem.

Danksagung

Wir danken den Mitgliedern der Arbeitsgruppe von BFE, swisstopo und ENSI, die gemeinsam den Antrag für ein NFP «Nutzung der Geosphäre: Umgang mit Chancen und Risiken» entwickelt haben, und den Teilnehmenden an den Workshops, welche die Ausarbeitung dieses Antrags begleiteten.

Literatur

AGSS – Arbeitsgruppe Geotopschutz Schweiz 1999: Geotope und der Schutz erdwissenschaftlicher Objekte in der Schweiz: ein Strategiebericht. Fribourg 1995. https://naturwissenschaften.ch/uuid/6ad74190-fd3c-532c-9bf6-597a8aba0206?r=20181129105710_1543437275_66f936cde0-5990-a29d-5da7a2d0e5bd. Abgerufen am 20.01.2019.

Appel, D., Kreusch, J. & Neumann, W. 2015: Darstellung von Entsorgungsoptionen. ENTRIA-Arbeitsbericht-01. Hannover.

BFE 2018: Sachplan geologische Tiefenlager – Bericht über die Ergebnisse der Vernehmlassung zu Etappe 2 „Auswertungsbericht“

Bundesrat 2012: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bern.

Burger, H. 2016: Nutzung und Schutz von Tiefen Grundwasser im Spannungsfeld von Chancen,

Risiken, Konflikten und regulatorischen Anforderungen. Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 21/1, 2016, S. 69-90.

CoDL – Census of deep life 2019: Website des Projekts Census of deep life. <http://codl.coas.oregonstate.edu/>. Abgerufen am 17.01.2019.

Crotogino, F. & Hamelmann, R. 2008: Wasserstoff-Speicherung in Salzkavernen zur Glättung des Windstromangebots. Energie-Perspektiven. Themenheft des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik. Ausgabe 02/2008. <http://www2.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200802/>. Abgerufen am 21.01.2019.

DCO – Deep carbon observatory 2019: Website des Deep carbon observatory. <https://deepcarbon.net/>. Abgerufen am 17.01.2019.

ENSI – Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat 2009: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Ausgabe April 2009. Brugg.

ERDA – Energy Research & Development Administration 1976: Alternatives for managing wastes from reactors and post-fission operations in the LWR fuel cycle. Springfield, Virginia.

Fischer, R. 2018: Immer tiefer forscht der Mensch. Horizonte – Das Schweizer Forschungsmagazin Nr. 118. September 2018. 16-17.

Nagra 2018: Zeitplan. <https://www.nagra.ch/de/zeitplan.htm>. Abgerufen am 19.01.2019.

NGB – Naturforschende Gesellschaft in Bern 1987: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern. Band (Jahr): 44 (1987). Bern.

Rietz, H. 2019: Klimaschutz unter Tage. Neue Zürcher Zeitung. 19. Januar 2019.

SNF 2019: Nationale Forschungsprogramme (NFP). <http://www.snf.ch/de/fokusForschung/nationale-forschungsprogramme/Seiten/default.aspx>. Abgerufen am 23.01.2019.

Wikipedia 2018: Lowline (park). [https://en.wikipedia.org/wiki/Lowline\(park\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lowline(park)). Last edited on 31 October 2018.

zhdk – Zürcher Hochschule der Künste 2014: Unterirdisch – Das Spektakel des Unsichtbaren. Wegleitung zur Ausstellung vom 4.7. bis zum 28.9.2014. Museum für Gestaltung. Zürich