



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Landesgeologie

Schlussbericht vom 30. April 2024

Untergrundnutzung in der Schweiz:

Potenziäle, Konflikte und Regulierungsbedarf

Fabienne Sierro, Christian Meyer, Katrin Pakizer, Andreas Abegg

ZHAW School of Management and Law



© 2017 www.wopu-fotografie.de

Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Seftigenstrasse 264
3084 Wabern



School of
Management and Law

Datum: 30.04.2024

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Seftigenstrasse 264
Postfach
3084 Wabern
<https://www.swisstopo.admin.ch/de>

Subventionsempfängerin:

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)
School of Management and Law
Theaterstrasse 17, 8400 Winterthur
<https://www.zhaw.ch/de/sml/>

Autorinnen und Autoren:

Arbeitspakete 1 und 2:

Fabienne Sierro, MA. Umweltwissenschaften, fabienne.sierro@zhaw.ch
Katrin Pakizer, Dr. sc. ETH Zürich. katrinmaria.pakizer@zhaw.ch

Arbeitspakete 3 und 4:

Andreas Abegg, Prof. Dr. iur. LL.M., Rechtsanwalt, andreas.abegg@zhaw.ch
Christian Meyer, Dr. iur., Rechtsanwalt, christian.meyer@zhaw.ch

swisstopo-Projektbegleitung:

Nathalie Andenmatten Berthoud
Roland Baumberger

swisstopo-Vertragsnummer: 5703006867

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autorinnen und Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Wir bedanken uns herzlich bei den Interviewpartnerinnen und -Partnern für Ihre Zeit und dafür, dass sie ihr Wissen grosszügig mit uns geteilt haben.

Zusammenfassung

Der Untergrund beherbergt eine grosse Vielfalt an Ressourcen, die für die Umwelt und das menschliche Leben elementar sind, wie beispielsweise Wasser, Wärme und verschiedenste Materialien. Angesichts der beschleunigten globalen Erwärmung, der Energiewende und einer stetig wachsenden Gesellschaft steigt das Interesse am Untergrund. Unterschiedliche Nutzungs- und Schutzansprüche können einander einerseits konkurrenzieren, andererseits aber auch positive Wechselwirkungen zwischen Technologien und Akteursgruppen hervorbringen. Bis heute sind solche Konflikt- und Synergiebeziehungen zwischen unterirdischen Ressourcen jedoch wenig untersucht worden. Die vorliegende Forschung verfolgt deshalb das Ziel, etablierte und zukünftige Untergrundnutzungen in der Schweiz zu identifizieren sowie ein Verständnis für (potenzielle) Konflikte und Synergien zwischen diesen Nutzungen zu schaffen. Zudem eruiert das Projekt das geltende Recht für wichtige Nutzungen im Untergrund und identifiziert regulatorischen Handlungsbedarf. Damit soll eine umfassende Grundlage zur Ausarbeitung eines nationalen Aktionsplans geschaffen werden (Kap. 1).

Arbeitspaket 1 erstellt eine systematische Übersicht zu bestehenden und zukünftigen Untergrundnutzungen. Anhand einer Webseitenanalyse der 26 Schweizer Kantone wurden 21 Nutzungen identifiziert. Diese Anzahl verdeutlicht, dass der Untergrund bereits heute auf unterschiedlichste Weise genutzt wird. Archäologische Untersuchungen, Deponien, Geomaterialienabbau, Grundwassernutzung, unterirdische Bauten und Verkehrsinfrastrukturen sowie unterirdische Leitungen und untiefe Geothermie sind in fast allen Kantonen etabliert. Einige Nutzungen sind hingegen stark standortabhängig, wie z. B. die Tiefenlagerung von nuklearen Abfällen und der unterirdische Gütertransport. Weitgehend etabliert sind schutzorientierte Nutzungen, wie Versickerung von Regenwasser und Grundwasserschutz zonen. Tiefengeothermie, Gas- und CO₂-Speicherung werden von der Hälfte der Kantone als zukünftige Nutzungen in Erwägung gezogen. Darüber hinaus zeigt die Webseitenanalyse auf, dass Nutzungen im Untergrund und damit verbundene Terminologien von Kanton zu Kanton stark variieren und somit die Schaffung einer Übersicht erschweren (Kap. 2.1).

Die Identifikation von Untergrundnutzungen dient als Grundlage für Arbeitspaket 2, welches Konflikt- und Synergiebeziehungen zwischen den Nutzungen analysiert. Hierzu wurden in den Kantonen Zürich, Aargau und Waadt Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern der kantonalen Behörden, der Industrie und lokaler Verbände (N=18) durchgeführt. Basierend auf ihren Aussagen wurden mit Hilfe der Sozialen-Netzwerk-Analyse (SNA) Konflikt- und Synergienetzwerke erstellt und analysiert. Daraus geht hervor, dass Grundwasser die meisten Konflikte mit anderen Untergrundnutzungen aufweist, was auf die Grösse des Grundwasservorkommens, dessen Oberflächennähe und dessen Schutzstatus zurückzuführen ist. Unterirdische (Verkehrs-)Infrastrukturen zeigen am meisten Synergiepotenzial mit anderen Nutzungen auf (z. B. unterirdische Leitungen, Geothermie, Recycling von Geomaterialien, etc.). Potenzial besteht darin, mit Multifunktionalität, Mehrfachnutzung und zirkulärer Ressourcennutzung den Untergrund effizienter und nachhaltiger zu nutzen (Kap. 2.2).

Das Arbeitspaket 3 untersucht, wie die unterschiedlichen Untergrundnutzungen (AP1) sowie deren Konflikt- und Synergienetzwerke (AP2) von der bestehenden Regulierung erfasst werden. Grundsätzlich liegt es in der Kompetenz der Kantone, über «ihren» öffentlichen Untergrund zu bestimmen. Die untersuchten Kantone Zürich, Aargau und Waadt tun dies in erster Linie durch ihre kantonalen Untergrundgesetze. Allerdings verfügen zahlreiche Kantone über keine derartigen Erlasse. Dem Bund kommt für bestimmte Sachbereiche eine Regelungskompetenz zu, sodass er den Kantonen (nur) sektoriell verbindliche Vorgaben machen kann (z. B. zum Schutz des Grundwassers). Vereinzelt erweist sich die Untergrundregulierung des Bundes auch als unmittelbar projektbezogen (z. B. Cargo Sous Terrain). Insgesamt ist die Untergrundregulierung zum heutigen Zeitpunkt stark fragmentiert. Mit Blick auf bereits etablierte und absehbare Nutzungsformen besteht Potenzial, mit zusätzlichen Regelungen Rechtssicherheit zu schaffen (Kap. 3.1).

Im Arbeitspaket 4 wird gestützt auf die Erkenntnisse des AP3 analysiert, welcher rechtswissenschaftliche und regulatorische Handlungsbedarf für eine nachhaltige Untergrundentwicklung besteht. Vordringlich ist, die Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen im Untergrund zu schärfen. Auf kantonaler Ebene können Untergrundgesetze für mehr Rechtssicherheit sorgen. Auf Bundesebene ist die zunehmende Bedeutung des Untergrunds in der Gesetzgebung noch kaum abgebildet bzw. die aktuellen und zukünftigen Nutzungsinteressen scheinen noch nicht angemessen durch Regelungen erfasst. Auch in Bereichen, in denen aktuelle Gesetzesrevisionen laufen (RPG, GeolG), bleiben

zentrale Fragen offen. Für den Bund sind Instrumente des Soft Law (z. B. ein Aktionsplan) zentral, um auf eine ganzheitliche und nachhaltige Entwicklung im Untergrund hinzuwirken. Entsprechende Impulse werden jedoch erst dann umfassend wirksam, wenn sie ins (kantonale) Recht überführt werden (Kap. 3.2).

Die Erkenntnisse dieses interdisziplinären Forschungsprojekts zeigen auf, dass ein schrittweiser, partizipativer Prozess zur Ausarbeitung des Aktionsplans zielführend ist (Kap. 4). Folgende fünf prioritäre Handlungsfelder wurden für eine nachhaltige Entwicklung des Untergrunds und der Ausarbeitung eines partizipativen Aktionsplans identifiziert (Kap. 4.3):

- In einem Dialog mit Kantonen sollten die Rolle und die Kompetenzen des Bundes geklärt werden.
- Die Kantone stellen zentrale Akteure in der Entwicklung des Untergrunds dar. Sie sollten gemeinsame Werkzeuge entwickeln, um ihre fachrelevanten Begriffe, Regelungen und Verfahren harmonisieren zu können.
- Um breit abgestützte, akzeptierte Massnahmen zum Untergrund zu schaffen, braucht es einen schrittweisen, partizipativen Prozess, der in einen Aktionsplan münden sollte. Hierzu braucht es die Beteiligung unterschiedlicher Akteure aus Behörden, Industrie und Verbänden.
- Die multifunktionale und mehrfache Nutzung des Untergrunds sowie die zirkuläre Wirtschaft bergen grosses Synergiepotenzial und sollten für innovative, sektorübergreifende und nachhaltige Untergrundprojekte genutzt und gefördert werden.
- Damit Entscheidungsgrundlagen nachvollziehbar und akzeptiert sind, braucht es weitere naturwissenschaftliche Forschung über den Untergrund.

Résumé

Le sous-sol abrite une grande diversité de ressources essentielles pour l'environnement et la vie humaine, comme l'eau, la chaleur et divers matériaux. Compte tenu de l'accélération du réchauffement climatique, de la transition énergétique et de la croissance démographique constante de la société, l'intérêt pour le sous-sol augmente. Les différents intérêts en matière d'utilisation et de protection du sous-sol ont tendance à entrer en compétition, mais l'utilisation du sous-sol peut également générer des interactions positives entre les technologies et les groupes d'acteurs. Jusqu'à présent, ces relations de conflits et de synergies entre les ressources souterraines ont été peu étudiées. La présente recherche a donc pour objectif d'identifier les utilisations souterraines actuelles et futures en Suisse et d'établir une compréhension des conflits et des synergies (potentiels) liés aux différentes utilisations. En outre, le projet étudie le droit en vigueur pour les principales utilisations du sous-sol et identifie les besoins en matière de réglementation. Ces éléments ont pour but d'alimenter l'élaboration d'un plan d'action national (chap. 1).

Le premier lot de travail (LdT) établit une vue d'ensemble systématique des utilisations actuelles et futures du sous-sol. Sur la base d'une analyse des sites web des 26 cantons suisses, 21 utilisations ont été identifiées. Ce nombre montre que le sous-sol est déjà utilisé de différentes manières. Les recherches archéologiques, les décharges, l'extraction de géomatériaux, l'exploitation des eaux souterraines, les constructions souterraines et les infrastructures de transport ainsi que les conduites souterraines et la géothermie peu profonde sont établies dans presque tous les cantons. Certaines utilisations dépendent en revanche fortement du site, comme le stockage en profondeur des déchets nucléaires et le transport souterrain de marchandises. Les utilisations axées sur la protection, comme l'infiltration des eaux de pluie et les zones de protection des eaux souterraines, sont largement établies. La géothermie profonde, le stockage de gaz et de CO₂ sont envisagés par la moitié des cantons comme des utilisations futures. En outre, l'analyse des sites web montre que les utilisations du sous-sol et la terminologie technique correspondante varient fortement d'un canton à l'autre, ce qui rend l'établissement d'une vue d'ensemble difficile (chap. 2.1).

L'identification des différentes utilisations du sous-sol sert de base au deuxième lot de travail. Celui-ci analyse les relations de conflits et de synergies entre les utilisations. Pour ce faire, des entretiens ont été menés dans les cantons de Zurich, d'Argovie et de Vaud avec des représentants des autorités

cantoniales, de l'industrie et des associations locales (N=18). Sur la base de leurs témoignages, des réseaux de conflits et de synergies ont été établis et analysés à l'aide d'une Social Network Analysis (SNA). Il en ressort que les eaux souterraines suscitent le plus de conflits avec d'autres utilisations du sous-sol, ce qui s'explique par le grand volume des nappes, leur proximité à la surface et leur statut de protection. Les infrastructures souterraines (de transport) présentent le plus grand potentiel de synergies avec d'autres utilisations (p. ex. conduites souterraines, géothermie, recyclage de géomatériaux, etc.). Le potentiel synergétique réside dans l'utilisation plus efficace et durable du sous-sol grâce à la multifonctionnalité, à l'utilisation multiple et à l'utilisation circulaire des ressources (chap. 2.2).

Le troisième lot de travail examine comment les différentes utilisations du sous-sol (LdT1) ainsi que leurs réseaux de conflits et de synergies (LdT2) sont pris en compte par la réglementation existante. En principe, il est de la compétence des cantons de décider de "leur" sous-sol public. Les cantons de Zurich, Argovie et Vaud le font en premier lieu par le biais de lois cantonales. Toutefois, de nombreux cantons ne disposent pas d'une telle législation. La Confédération dispose d'une compétence réglementaire dans certains domaines, de sorte qu'elle peut imposer aux cantons des prescriptions contraignantes (uniquement) au niveau sectoriel (p. ex. pour la protection des eaux souterraines). Dans certains cas, la réglementation du sous-sol par la Confédération est directement liée à des projets (p. ex. Cargo Sous Terrain). Dans l'ensemble, la réglementation du sous-sol est actuellement très fragmentée. Compte tenu des formes d'utilisation déjà établies et prévisibles, il est possible de créer une sécurité juridique par le biais de réglementations supplémentaires (chap. 3.1).

Le quatrième lot de travail analyse, sur la base des résultats du LdT3, les mesures juridiques et réglementaires nécessaires pour un développement durable du sous-sol. Il est prioritaire de renforcer la répartition des compétences entre la Confédération et les cantons dans le domaine du sous-sol. Au niveau cantonal, des lois sur le sous-sol peuvent assurer une plus grande sécurité juridique. Au niveau fédéral, l'importance croissante du sous-sol n'est pas encore reflétée dans la législation et les intérêts d'utilisation actuels et futurs ne semblent pas encore être pris en compte de manière adéquate par des réglementations. Même dans les domaines où des révisions législatives sont en cours (LAT, GeolG), des questions centrales restent ouvertes. Pour la Confédération, les instruments de la soft law (p. ex. un plan d'action) sont essentiels pour œuvrer en faveur d'un développement global et durable du sous-sol. Les impulsions correspondantes ne seront toutefois pleinement efficaces que lorsqu'elles seront transposées dans le droit (cantonal) (chap. 3.2).

Les résultats de ce projet de recherche interdisciplinaire montrent qu'un processus participatif et par étapes pour l'élaboration du plan d'action est pertinent (chap. 4). Les cinq champs d'action prioritaires suivants ont été identifiés pour un développement durable du sous-sol et l'élaboration d'un plan d'action participatif (chap. 4.3) :

- Un dialogue avec les cantons devrait permettre de clarifier le rôle et les compétences de la Confédération.
- Les cantons sont des acteurs centraux dans le développement du sous-sol. Ils devraient développer des outils communs afin d'harmoniser les termes techniques utilisés, leurs réglementations et procédures.
- Pour créer des mesures largement acceptées concernant le sous-sol, il faut un processus participatif par étapes qui devrait déboucher sur un plan d'action. Pour ce faire, la participation de différents acteurs issus des autorités, de l'industrie et des associations est nécessaire.
- L'utilisation multifonctionnelle et multiple du sous-sol ainsi que l'économie circulaire recèlent un grand potentiel de synergie et devraient être utilisées et encouragées pour des projets souterrains innovants, intersectoriels et durables.
- Pour que les bases de décision soient compréhensibles et acceptées, il est nécessaire de poursuivre la recherche en sciences naturelles sur le sous-sol.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	4
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1. Einleitung	9
1.1 Hintergrund und Ausgangslage	9
1.2 Projektzielsetzung	9
1.3 Methodisches Vorgehen	11
2 Ergebnisse Teilstudie 1: Nutzungsbedürfnisse, Konflikte und Synergien im Schweizer Untergrund	12
2.1 Arbeitspaket 1 (AP1): Systematische Übersicht zu aktuellen und zukünftigen Untergrundnutzungen	12
2.1.1 Zielsetzung	12
2.1.2 Vorgehen	12
2.1.3 Resultate.....	14
2.2 Arbeitspaket 2 (AP2): Konflikte / Synergien zwischen Untergrundnutzungen und Erwartungen an den Aktionsplan.....	20
2.2.1 Zielsetzung	20
2.2.2 Vorgehen	20
2.2.3 Resultate.....	21
2.3 Syntheseprozess und Wissenstransfer: Einordnung der Erkenntnisse aus Arbeitspaket 1 und 2.....	37
3 Ergebnisse Teilstudie 2: Anwendung und Erweiterung bestehender regulatorischer Grundlagen für Nutzungsbedürfnisse im Schweizer Untergrund	39
3.1 Arbeitspaket 3 (AP3): Einordnung der Nutzungen ins bestehende Recht	39
3.1.1 Zielsetzung	39
3.1.2 Vorgehen	39
3.1.3 Resultate.....	40
3.2 Arbeitspaket 4 (AP4): Regulierungs- und Forschungsbedarf.....	42
3.2.1 Zielsetzung	42
3.2.2 Vorgehen	42
3.2.3 Resultate.....	43
4 Schlussfolgerungen und Ausblick	47
4.1 Rechtliche Einordnung der Erwartungen an den Aktionsplan	47
4.2 Kritische Reflexion der Erkenntnisse und weiterer Forschungsbedarf	49
4.3 Prioritäre Handlungsfelder für eine nachhaltige Entwicklung des Untergrunds und Ausarbeitung eines Aktionsplans	51
Literaturverzeichnis	53
Materialienverzeichnis	56
Erlassverzeichnis	56
Appendix	60
Appendix 1.....	60
Appendix 2.....	61
Appendix 3.....	62

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Projektarbeitspakete, deren Erkenntnisinteresse und Methodik (Eigene Darstellung)	11
Tabelle 2: Übersicht zu den verwendeten Suchbegriffen in der Analyse von kantonalen Webseiten zu Untergrundnutzungen im jeweiligen Kanton (Eigene Darstellung).....	12
Tabelle 3: Übersicht zur Kategorisierungslogik der unterschiedlichen Untergrundnutzungen unter Einbezug der Tiefe und der jeweils betroffenen Ressource (Eigene Darstellung).....	14
Tabelle 4: Untergrundnutzungen pro Kanton anhand einer kantonalen Webseitenrecherche für die Kantone Aargau bis Neuenburg (Eigene Darstellung)	18
Tabelle 5: Untergrundnutzungen pro Kanton anhand einer kantonalen Webseitenrecherche für die Kantone Nidwalden bis Zürich (Eigene Darstellung).....	19
Tabelle 6: Übersicht zu Interviewpartnerinnen und -partnern nach Kanton und Akteursgruppe (Eigene Darstellung)	20
Abbildung 1: Projektstruktur (Eigene Darstellung)	10
Abbildung 2: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Waadt, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R..	23
Abbildung 3: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Waadt, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R. ..	24
Abbildung 4: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Zürich, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R. ...	26
Abbildung 5: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Zürich, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R..	28
Abbildung 6: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Aargau, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R. ..	29
Abbildung 7: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Aargau, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R. ..	31
Abbildung 8: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen über alle untersuchten Kantone hinweg, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.	32
Abbildung 9: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen über alle untersuchten Kantone hinweg, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.	32

Abkürzungsverzeichnis

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Kanton Zürich)
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BPUK	Schweizerische Bau-, Planungs- und Umweltdirektorenkonferenz
BV	Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft
EGK	Eidgenössische Geologische Fachkommission
EleG	Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen
GeoIG	Bundesgesetz über Geoinformation
GNB/AG	Gesetz über die Nutzung des tiefen Untergrunds und die Gewinnung von Bodenschätzen (Kanton Aargau)
GNU/ZH	Gesetz über die Nutzung des Untergrundes (Kanton Zürich)
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer
GSchV	Gewässerschutzverordnung
IIE	Institut für Innovation und Entrepreneurship (ZHAW)
IRW	Institut für Regulierung und Wettbewerb (ZHAW)
KBGeol	Koordinationsorgan des Bundes für Geologie
KEG	Kernenergiegesetz
KGK	Konferenz der kantonalen Geoinformations- und Katasterstellen
KGU	Konferenz Geologischer Untergrund
LCC	Loi sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public (Kanton Waadt)
LCG	Loi sur le cadastre géologique (Kanton Waadt)
LRNSS	Loi sur les ressources naturelles du sous-sol (Kanton Waadt)
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
RLLC	Règlement d'application de la loi du 5 septembre 1944 sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public et de la loi du 12 mai 1948 réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines dépendant du domaine public cantonal (Kanton Waadt)
RLG	Regelungskompetenz durch Erlass eines Bundesgesetzes
RLRNSS	Règlement sur les ressources naturelles du sous-sol (Kanton Waadt)
RLSV	Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen
RLV	Verordnung über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe
RPG	Bundesgesetz über die Raumplanung
StromVG	Bundesgesetz über die Stromversorgung
UGüTG	Bundesgesetz über den unterirdischen Gütertransport
VBS	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
VNU/ZH	Verordnung über die Nutzung des Untergrundes (Kanton Zürich)
VPeA	Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für elektrische Anlagen
ZGB	Schweizerisches Zivilgesetzbuch
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
ZRW	Zentrum für Regulierung und Wettbewerb (ZHAW)

1. Einleitung

1.1 Hintergrund und Ausgangslage

Angesichts der beschleunigten Erderwärmung, der Energiewende und der stetig wachsenden Weltbevölkerung gewinnen die zahlreichen Ressourcen des Untergrunds für Länder und ihre nachhaltige Entwicklung zunehmend an Bedeutung.¹ Unterirdische Ressourcen wie Grundwasser, geothermische Energie und Geomaterialien sowie die unterirdischen Raumreserven können einen wichtigen Beitrag leisten, damit sieben der sechzehn Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen erreicht werden.² Durch den technologischen Fortschritt wird zudem die Nutzung des Untergrunds für verschiedene Sektoren (z. B. Bauwesen, Verkehr, Energie) zunehmend wirtschaftlich attraktiv.³ Es ist daher anzunehmen, dass in den kommenden Jahren der Untergrund weiter erschlossen und der Bedarf an dessen Ressourcen noch weiter ansteigen wird.⁴

Die vielfältigen Nutzungsansprüche im Untergrund können einander konkurrenzieren, weshalb deren Risiken und Chancen für heutige und künftige Gesellschaften gegeneinander abzuwägen sind.⁵ Dabei müssen auch zunehmend Schutzaspekte (z. B. Grundwasserschutz) berücksichtigt werden.⁶ Eine übergreifende Strategie, die eine geordnete, nachhaltige Nutzung sowie den Schutz des Untergrunds ermöglicht, fehlt jedoch in den meisten Ländern, wie auch in der Schweiz.⁷ Um mittel- und langfristig Nutzungskonflikte zu verhindern sowie Synergien und Innovationen zu fördern, braucht es ein besseres Verständnis und Management des Untergrunds.⁸

In der Schweiz wächst der Bedarf nach einer ganzheitlichen Planung und nachhaltigen Bewirtschaftung des Untergrunds, welche Nutzungs- und Schutzinteressen vorrausschauend ausbalanciert. Deshalb haben sich in den vergangenen Jahren Bund, Kantone und Gemeinden mit dem Untergrund beschäftigt, wobei mit «Untergrund» allerdings nicht immer das Gleiche gemeint war.⁹ Durch eine nationale Untergrundstrategie, die öffentlichen und privaten Akteuren als Orientierungsrahmen und Entscheidungshilfe dient, könnte jedoch ein gemeinsames Verständnis des Untergrunds gefördert werden.

Das Eidgenössische Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) erteile am 3. September 2020 der Eidgenössischen Geologischen Fachkommission (EGK) den Auftrag, eine Schweizer Untergrundstrategie auszuarbeiten. Für die Erstellung der Strategie führte die Kommission in den Jahren 2020-2022 mehrere Workshops mit Expertinnen und Experten durch. Die resultierende «Strategie Untergrund Schweiz 2023»¹⁰ identifizierte fünf Ziele (zu Wissen, Nachhaltigkeit, Resilienz, Governance und Innovation), die für die Entwicklung eines integralen Untergrundmanagements notwendig sind. Um diese Ziele zu adressieren, wurden vier strategische Stossrichtungen entwickelt. Diese beinhalten jeweils mehrere Teilaspekte und Aktionen, die zukünftig für die nationale Koordination des unterirdischen Ressourcenabbaus umgesetzt werden sollten. Damit die Aktionen durch konkrete Massnahmen implementiert werden können, wurde swisstopo von der Bundesrätin und Vorsteherin des VBS, Viola Amherd, mit der Ausarbeitung eines Aktionsplans beauftragt.

1.2 Projektzielsetzung

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt unterstützt die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) swisstopo in der Ausarbeitung des Aktionsplans. Die Ergebnisse des

¹ Li et al., 2016.

² Laut Admiraal und Cornaro (2018) sind das die Ziele 2,6,7,8,9,11 und 13.

³ Goel et al., 2012.

⁴ Volchko et al., 2020.

⁵ Bartel/Janssen, 2016.

⁶ Abegg/Dörig, 2018.

⁷ Admiraal/Cornaro, 2016.

⁸ Price et al., 2016; Bauer et al., 2013; von der Tann et al., 2020.

⁹ Abegg/Dörig, 2019.

¹⁰ Strategie Untergrund Schweiz, 2023: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/75195.pdf>.

Forschungsprojekts bieten eine erste Grundlage für die Vertiefung der bestehenden Untergrundstrategie und die Erstellung eines Aktionsplans.

Das Forschungsprojekt besteht aus zwei Teilstudien mit jeweils zwei Arbeitspaketen. Die Teilstudien wurden vom ZHAW-Institut für Innovation und Entrepreneurship (IIE) und dem Institut für Regulierung und Wettbewerb (IRW) parallel durchgeführt.¹¹ Die beiden Teilstudien und die dazugehörigen Arbeitspakete wurden in einen laufenden Syntheseprozess eingebettet, der den kontinuierlichen Wissenstransfer im Projektteam und eine laufende Integration von neuen Erkenntnissen im Arbeitsprozess sicherstellte (siehe Abbildung 1).

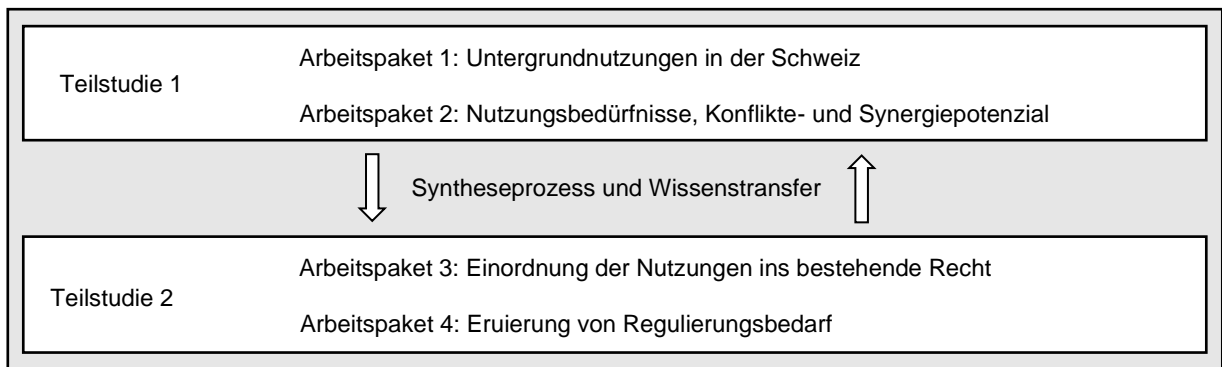


Abbildung 1: Projektstruktur (Eigene Darstellung).

Teilstudie 1: Nutzungsbedürfnisse, Konflikte und Synergien im Schweizer Untergrund

Zum heutigen Zeitpunkt fehlt eine systematische Übersicht über die bestehenden und zukünftigen Untergrundnutzungen in der Schweiz. Es ist somit unklar, wie die jeweiligen Schweizer Kantone den Untergrund nutzen bzw. in Zukunft nutzen möchten und wie sie in einer nationalen Untergrundplanung berücksichtigt werden sollten. Durch die fehlende Übersicht lässt sich zum heutigen Zeitpunkt auch nicht umfassend identifizieren, wo bereits Konflikte und Synergien zwischen unterschiedlichen Nutzungen bestehen bzw. wo diese potenziell auftreten könnten. In diesem Zusammenhang braucht es zudem ein besseres Verständnis der akteursspezifischen Perspektiven (Kantone, Industrie und Verbände) auf die zu priorisierenden Nutzungen, Zuständigkeiten und Bedürfnisse. Daher erfasst und untersucht die Teilstudie «Nutzungsbedürfnisse, Konflikte und Synergien im Schweizer Untergrund»:

- 1) die bestehenden und zukünftigen Untergrundnutzungen in der Schweiz (AP1);
- 2) potenzielle Konflikte und Synergien zwischen diesen Nutzungen (AP2);
- 3) Erwartungen an den Aktionsplan für den Untergrund (AP2).

Teilstudie 2: Anwendung und Erweiterung bestehender regulatorischer Grundlagen für Nutzungsbedürfnisse im Schweizer Untergrund

Bei den rechtlichen Grundlagen für den Untergrund besteht Unsicherheit. Insbesondere wird regelmässig darauf verwiesen, dass keine passenden Planungsinstrumente existieren würden und die Zuständigkeiten unzureichend geklärt seien.¹² Unklar ist zudem, welche der bereits bestehenden rechtlichen Grundlagen im Bereich der Raumplanung auf den Untergrund angewendet werden können.¹³ Aufbauend auf der Untersuchung von Abegg und Dörig (2018) prüft die Teilstudie «Anwendung und Erweiterung bestehender regulatorischer Grundlagen für Nutzungsbedürfnisse im Schweizer Untergrund»:

- 1) wie die identifizierten Nutzungen und Bedürfnisse aus der ersten Teilstudie im bestehenden Rechtssystem erfasst werden (AP3);

¹¹ Per 1. Januar 2024 wurde das ZRW zum Institut für Regulierung und Wettbewerb (IRW).

¹² Vgl. Muggli, 2022, S. 131; Huser, 2023, S. 186.

¹³ Abegg/Dörig, 2018.

2) inwiefern regulatorischer Anpassungsbedarf besteht (AP4).

Die eruierten Nutzungsbedürfnisse werden so mit den bestehenden rechtlichen Grundlagen verbunden und reflektiert.

1.3 Methodisches Vorgehen

Für die Teilstudien und die jeweiligen Arbeitspakete wurden unterschiedliche Methoden verwendet. Für die sozialwissenschaftlichen Arbeitspakete in Teilstudie 1 wurde eine Kombination aus qualitativen und quantitativen Methoden angewendet, während die juristischen Arbeitspakete in Teilstudie 2 nach rechtswissenschaftlicher Methode erarbeitet wurden.¹⁴ Tabelle 1 zeigt das Erkenntnisinteresse und die verschiedenen Methoden der jeweiligen Arbeitspakete auf. Das Vorgehen der einzelnen Studien und deren Ergebnisse werden in Kapitel 2 und 3 vorgestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Projektarbeitspakete, deren Erkenntnisinteresse und Methodik (Eigene Darstellung).

Arbeitspaket (AP)	Erkenntnisinteresse	Methoden
Arbeitspaket 1: Untergrundnutzungen in der Schweiz	Was sind die aktuellen und zukünftig geplanten Untergrundnutzungen in der Schweiz?	<ul style="list-style-type: none">• Systematische Textanalyse mit Codebuch (basierend auf vorheriger Literaturanalyse)
Arbeitspaket 2: Nutzungsbedürfnisse, Konflikte- und Synergiepotenzial	Welche Konflikte und Synergien bestehen zwischen verschiedenen Untergrundnutzungen in den untersuchten Kantonen? Gibt es unterschiedliche Wahrnehmungen bezüglich Konflikt- und Synergiepotenzial der Untergrundnutzungen? Was sind Schwerpunkte und Herausforderungen für die Ausarbeitung eines Aktionsplans?	<ul style="list-style-type: none">• Leitfadengestützte Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern von Kantonen, Industrie und Verbänden (N=18)• Validierungsinterviews mit Untergrundexpertinnen und -experten (N=3)• Soziale Netzwerkanalyse mit R zur Auswertung und Darstellung von Konflikten und Synergien zwischen Untergrundnutzungen
Arbeitspaket 3: Einordnung der Nutzungen ins bestehende Recht	Wie sieht das bestehende System der staatlichen Regulierung des Untergrunds aus (Kompetenzverteilung zwischen den Gemeinwesen, relevante Rechtsinstitute und Rechtsgebiete etc.)? Wo, wie und von wem sind die in Teilstudie 1 (AP1 und 2) identifizierten Nutzungen, Konflikte und Synergien nach geltendem Recht reguliert?	<ul style="list-style-type: none">• Literaturstudium nach rechtlicher Methodik• Analyse der Rechtsgrundlagen• Analyse der Rechtspraxis
Arbeitspaket 4: Eruierung von Regulierungsbedarf	Sind die Nutzungen und Bedürfnisse aus Teilstudie 1 (AP1 und 2) vom bestehenden Rechtsrahmen ausreichend erfasst? Welcher regulatorische Handlungsbedarf besteht und wie könnte eine zukünftige Regulierung aussehen? Wo besteht juristischer Forschungsbedarf, um den regulatorischen Handlungsbedarf weiter zu präzisieren und umzusetzen?	<ul style="list-style-type: none">• Rechtliche Analyse• Subsumtion der Erkenntnisse der Teilstudie 1 (AP1 und 2)

¹⁴ Als juristische Methodenlehre versteht man in erster Linie «die Lehre von den Regeln, die der Interpret (vor allem der Richter) bei der Ermittlung des Sinnes von Rechtsnormen zu beachten hat»; so Kramer, 2016, S. 35 und S. 57 ff., zu den klassischen Interpretationselementen.

2 Ergebnisse Teilstudie 1: Nutzungsbedürfnisse, Konflikte und Synergien im Schweizer Untergrund

2.1 Arbeitspaket 1 (AP1): Systematische Übersicht zu aktuellen und zukünftigen Untergrundnutzungen

2.1.1 Zielsetzung

Da eine umfassende Übersicht der Nutzung des Schweizer Untergrundes fehlt, ist das Ziel von AP1, bestehende und zukünftige Nutzungen in den 26 Kantonen systematisch aufzuarbeiten. Die identifizierten Untergrundnutzungen wurden als etablierte Nutzungen, Pilotprojekt(e) oder zukünftige Nutzungen kategorisiert. Anhand der Übersicht kann aufgezeigt werden, welche Untergrundnutzungen für eine nationale Untergrundplanung berücksichtigt werden sollten.

2.1.2 Vorgehen

Um die Untergrundnutzungen der Kantone zu identifizieren, wurde eine systematische Textanalyse durchgeführt.¹⁵ Dafür wurden Dokumente, Studien und Szenarien, die auf kantonalen Webseiten frei zugänglich sind, anhand von festgelegten Suchkategorien analysiert (siehe Tabelle 2). Ausgehend von dieser Datengrundlage ist die Übersicht zu den Untergrundnutzungen pro Kanton nicht unbedingt vollständig, sondern umfasst jene Nutzungen, die auf den jeweiligen offiziellen kantonalen Webseiten zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts und anhand der definierten Kategorien auffindbar waren.

Die Suchbegriffe für die Textanalyse wurden in einem dreistufigen, iterativen Verfahren gebildet. Zuerst wurde bestehende Literatur zu Kategorisierungen von Untergrundnutzungen konsultiert.¹⁶ Im zweiten Schritt wurden die definierten Suchkategorien im Projektteam ergänzt und auf einigen kantonalen Webseiten getestet. Dies führte zur Erweiterung der Kategorien, um der stark unterschiedlichen Terminologie in den Kantonen gerecht zu werden. Parallel zur Durchführung der ersten, umfassenden Analyse der Kantone wurden die Nutzungskategorien für die Interviewgespräche im Rahmen von Arbeitspaket 2 (siehe Kapitel 2.2.2) verwendet und dadurch validiert bzw. ergänzt. Mit diesem dritten Schritt fand eine finale Kategorisierung der Untergrundnutzungen statt, die eine Schärfung und Anpassung der Kategorien an den Fachjargon erlaubte. Darauf folgte eine finale Analyseschleife der kantonalen Webseiten mit den teilweise angepassten Suchbegriffen. Tabelle 2 stellt alle verwendeten Begriffe auf Deutsch und Französisch dar.

Tabelle 2: Übersicht zu den verwendeten Suchbegriffen in der Analyse von kantonalen Webseiten zu Untergrundnutzungen im jeweiligen Kanton (Eigene Darstellung).

Suchbegriffe – Nutzungen –	Termes de recherche – Utilisations –
Archäologische Funde > Ausgrabungen	Trouvailles archéologiques > Excavations
Bohrung	Forage
Deponien	Décharge
Gasförderung	Extraction de gaz
Geologisches Kataster	Cadastre géologique
Geomaterialien	Géomatériaux
> Steinbruch	> Carrière
> Unterirdische Materialgewinnung	> Extraction des matériaux souterraines
> Mineralische Rohstoffe	> Ressources minérales
Geothermie	Géothermie
> Untiefe Geothermie	> Géothermie peu profonde / de surface
> Oberflächennahe Geothermie	> Géothermie à faible profondeur
> Erdsonden	> Sondes géothermiques

¹⁵ Kuckartz, 2019.

¹⁶ Parriaux et al., 2008, 2004; Bobylev, 2009; De Mulder et al., 2012; Bartel/Janssen, 2016; Hamor-Vido et al., 2021.

<ul style="list-style-type: none"> > Grundwasserpumpe > Wärmepumpe > Tiefengeothermie 	<ul style="list-style-type: none"> > Pompage à la nappe > Pompes à chaleur > Géothermie profonde
Grundwasser	Eau souterraine / Nappe phréatique
<ul style="list-style-type: none"> > Trinkwasser > Thermalwasser > Grundwassergewinnung 	<ul style="list-style-type: none"> > Eau potable > Eau thermale > Extraction d'eau souterraine
Militärische Anlagen	Installations militaires
<ul style="list-style-type: none"> > Armeestollen > Bunker > Unterirdische (Zivil-)Schutzanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> > Galerie de l'armée > Abris > Protection civile souterraine
Tiefenlager	Dépôt en couches géologiques profondes
Untergrund	Sous-sol
Untergrundnutzung	Utilisation du sous-sol
Untergrundressourcen	Ressources du sous-sol
Unterirdisch	Souterrain
Unterirdische Bauten / Tiefbau	Construction souterraine
<ul style="list-style-type: none"> > Stollen > Unterirdische Gewerbezone > Untergeschosse > Minen > Höhlen 	<ul style="list-style-type: none"> > Galerie souterraine > Zone commerciale souterraine > Sous-sol > Mines > Cavernes / Grottes
Unterirdische Lagerung	Dépôt géologique
Unterirdische Leitungen	Conduites souterraines
Unterirdische Schutzzone	Zone protégée souterraine
Unterirdische Speicherung	Stockage souterrain
<ul style="list-style-type: none"> > CO₂-Speicherung > Kohlenwasserstoff-Speicherung > Gasspeicherung > Energiespeicherung 	<ul style="list-style-type: none"> > Stockage de CO₂ > Stockage d'hydrocarbures > Stockage de gaz > Stockage d'énergie
Unterirdische Verkehrsinfrastruktur	Infrastructure de transport souterrain
<ul style="list-style-type: none"> > Tiefgarage > Tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> > Parking souterrain > Tunnel
Unterirdischer Gütertransport	Transport souterrain de marchandise
<ul style="list-style-type: none"> > Cargo Sous Terrain 	<ul style="list-style-type: none"> > Cargo Sous Terrain
Versickerung	Infiltration

Auf allen kantonalen Webseiten wurde die interne Suchfunktion benutzt. Die angezeigten Seiten, Dokumente, Mediennachrichten oder Ähnliches wurden auf ihre thematische Übereinstimmung mit den genutzten Suchbegriffen untersucht. Dabei wurde darauf geachtet, dass die angezeigten Quellen nur berücksichtigt wurden, wenn sich diese auch explizit auf den Untergrund bezogen. Zusätzlich wurde der Entwicklungsstand der identifizierten Untergrundnutzungen festgehalten:

- **Etablierte Nutzung:** Beständige, regelmässige und dauerhafte Nutzung; Verwendung etablierter Technologien
- **Pilotprojekt(e):** Neue Technologie und Nutzung; in der Testphase mit vereinzelt Pilotprojekten
- **Zukünftige Nutzung:** Potenzielle Nutzung in der Zukunft, jedoch ohne konkretes Umsetzungsprojekt

Die Daten zu den 26 Kantonen wurden inklusive Quellenangaben in einer *Excel*-Datei gesammelt und deskriptiv ausgewertet. Die Kantone Tessin (TI) und Wallis (VS) konnten nicht mit derselben Verlässlichkeit der Vorgehensweise untersucht werden. Aufgrund von sprachlichen Barrieren wurde der Kanton Tessin nur oberflächlich mit einer Übersetzungs-Software analysiert (*DeepL.com*), wodurch eine umfangreiche und vertiefte inhaltliche Analyse nicht garantiert ist. Beim Kanton Wallis gab es zu Beginn der Analyse eine Suchfunktion auf der kantonalen Webseite, die jedoch nicht funktionierte

und im Laufe der Bearbeitung vollständig von der Webseite entfernt wurde. Entsprechend wurde der Kanton Wallis manuell durchsucht, jedoch ohne eine systematische Analyse der Suchbegriffe mit Hilfe der Suchfunktion. Beide Kantone sind im Kapitel 2.1.4 entsprechend mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

2.1.3 Resultate

2.1.3.1 Übersicht zu bestehenden und zukünftigen Untergrundnutzungen

Die Strategie "Untergrund Schweiz" von 2023 unterscheidet grob vier unterirdische Ressourcen: Raumreserven, Grundwasser, Energie und Georessourcen. Weiter werden Nutzungen wie Geothermie, Speicherung von radioaktiven Abfällen, archäologisches Kulturerbe und unterirdische Lebensformen erwähnt.¹⁷ Die systematische kantonale Webseitenanalyse und Interviewgespräche mit unterschiedlichen Akteuren mit Bezug zum Untergrund zeigen auf, dass viele unterschiedliche Nutzungen eine zentrale Rolle in der Untergrundentwicklung einnehmen. Die systematische Suche über kantonale Webseiten stellte sich als eine Herausforderung heraus, denn die Begriffe bzw. Terminologien variieren stark von Kanton zu Kanton. Somit kann dieses Kapitel als Versuch für eine systematische Kategorisierung und Übersicht über die Schweizer Untergrundnutzungen verstanden werden. Letztere ist jedoch nicht abschliessend.

Tabelle 3 zeigt die Untergrundnutzungen auf, die in der systematischen Analyse der kantonalen Webseiten identifiziert und in den Gesprächen mit Interviewpartnerinnen und -partnern diskutiert wurden (alphabetisch geordnet). Für die weiteren Analyseschritte in diesem Projekt wurden dabei ähnliche Nutzungen zusammengefasst und andere feingliedriger unterschieden, je nach Relevanz für die Untergrundentwicklung in der Schweiz. Die Begründung bzw. die Kategorisierungslogik ist in Tabelle 3 genauer erörtert und nicht als abschliessend zu verstehen. Pro Nutzung wird die zugehörige Untergrundressource (basierend auf der Kategorisierung der Untergrundstrategie Schweiz), die betroffene Untergrundschiicht (untief/tief), sowie der aktuelle Stand der Nutzung (etabliert, Pilot oder zukünftig) beschrieben. Zusätzlich zu den vier Ressourcenkategorien der Untergrundstrategie Schweiz berücksichtigen wir noch die Ressource "Schutz", da diese in keiner der bereits definierten Kategorien berücksichtigt wird, für eine nachhaltige und langfristige Nutzung der Untergrundressourcen jedoch elementar ist.

Tabelle 3: Übersicht zur Kategorisierungslogik der unterschiedlichen Untergrundnutzungen unter Einbezug der Tiefe und der jeweils betroffenen Ressource (Eigene Darstellung).

Untergrundnutzung	Ressource	Tiefe	Beschreibung, aktuelle Situation und Kategorisierungslogik
Archäologische Funde Trouvailles archéologiques	Raumreserve	Untief	Archäologisches Kulturgut liegt meist in untiefen Schichten des Untergrunds. Archäologische Funde sind klar reguliert. Fast alle Kantone haben eine Dienststelle, die sich spezifisch mit archäologischen Funden auf Kantonsebene beschäftigt.
CO ₂ -Speicherung Stockage du CO ₂	Raumreserve	Tief	CO ₂ -Speicherung im tieferen Untergrund ist eine zukünftige Nutzung im Schweizer Untergrund, mit ersten Testversuchen im Mont-Terri-Labor im Kanton Jura. Wir unterscheiden CO ₂ - und Gasspeicherung im Untergrund, da insbesondere erstere Nutzung in der Zukunft eine wichtige Rolle in Energie- und Klimastrategien auf nationaler und kantonaler Ebene einnehmen könnte.
Deponie Décharge	Raumreserve	Untief	Deponien beinhalten Gebiete, die als Lagerung für verschiedene Abfallstoffe genutzt werden. Obschon diese an der Oberfläche liegen, wurden Deponien in den Interviewgesprächen klar als Untergrundnutzung verstanden, denn oftmals werden Deponien in den

¹⁷ Strategie Untergrund Schweiz, 2023: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/75195.pdf>.

			untiefen Untergrund hineingebaut, um mehr Lager- raum zu schaffen. Je nach Schadstoff und Ver- schmutzungsgrad der gelagerten Abfälle kann der Untergrund bei Deponien auf längere Frist nicht wei- ter genutzt werden.
Energiespeicherung Stockage d'énergie	Raumreserve	Untief/ Tief	Die Energiespeicherung ist je nach Kanton eine be- stehende oder eine potenzielle Nutzung. Dabei kann thermische Energie in Hohlräumen (bspw. Kavernen) oder in porösen geologischen Schichten gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden.
Gasförderung Extraction de gaz	Energie	Tief	In der Schweiz könnte die Gasförderung zukünftig eine Rolle spielen. Verschiedene Kantone untersu- chen ihren Untergrund nach Gasvorkommenissen, wie z. B. Erdgas. Zum heutigen Zeitpunkt wird jedoch kein Gas in der Schweiz gefördert, sondern aus dem Ausland importiert.
Gasspeicherung Stockage de gaz	Raumreserve	Tief	Die Gasspeicherung ist eine übergreifende Kategorie, die alle gasförmigen Speicherungen im Untergrund beinhaltet, wie bspw. die Speicherung von Wasser- stoff und Erdgas. Wir führen die CO ₂ -Speicherung als separate Kategorie auf, da diese in Zukunft eine wich- tige Rolle in Klima- und Energiestrategien der Schweiz spielen könnte.
Geomaterialien Géomatériaux	Georessourcen	Untief	Die Kategorie Geomaterialien beinhaltet alle Arten von geologischen Rohstoffen, die aus dem Unter- grund gewonnen werden können. Geläufige Beispiele in der Schweiz sind die Gewinnung von Kies, Kalk- stein, Ton, Granit und Salz. Die Industrie rund um Geomaterialien ist in der Schweiz weit entwickelt.
Grundwasser Eau souterraine	Grundwasser	Untief/ Tief	Grundwasser bezeichnet alle unterirdischen Wasser- vorkommenisse. Genutzt wird Grundwasser bspw. als Trinkwasser oder Brauchwasser für unterschiedliche Zwecke. Grundwassernutzung sowie dessen Schutz sind in der Schweiz stark reguliert.
Militärische Anlagen Installations militaires	Raumreserve	Untief	Militärische Anlagen im Untergrund sind über die ganze Schweiz hinweg verstreut und können aus unterirdischen Zivilschutzbauten, Tunnelanlagen oder Ähnlichem bestehen. Die Informationen zu deren genauen Standorten sind jedoch nicht öffentlich zu- gänglich. Somit ist die Verbreitung dieser Art von Untergrundnutzung schwer einzuschätzen.
Oberirdische Infrastruktur Infrastructure de surface	Raumreserve	Untief	Die Kategorie oberirdische Infrastruktur beinhaltet generell Strukturen an der Oberfläche, die der Veran- kerung im Untergrund bedürfen. Ein Beispiel aus den Interviewgesprächen sind Lawinenschutzinstallatio- nen, die grosse Pfeiler im untiefen Untergrund zur Festigung der Installation benötigen.
Schutzzone Zone protégée	Schutz	Untief/ Tief	In den Gesprächen sowie bei der Suche nach Unter- grundnutzungen in den Kantonen wurde klar, dass Schutzzonen an der Oberfläche sowie im Untergrund, z. B. von Grundwasserreserven, einen grossen Effekt auf andere Nutzungen haben. Somit werden hier Schutzgebiete mit Bezug zu unterirdischen Schichten als eigene Nutzungskategorie definiert.

Thermalwasser Eau thermale	Grundwasser	Untief/ Tief	Thermalwassernutzung für Bäder und Thermen hat in der Schweiz eine lange Tradition, weshalb Thermalwasser hier als eigene Kategorie aufgeführt wird.
Tiefengeothermie Géothermie profonde	Energie	Tief	Die Energiegewinnung in tieferen Untergrundschichten wird als Tiefengeothermie bezeichnet (ab ca. 500 Meter). Die genaue Definition der Tiefengeothermie in Bezug auf die Tiefe variiert von Akteur zu Akteur. So spricht der Dachverband Geothermie Schweiz ab 500 Metern von mitteltiefer und tiefer Geothermie. Da jedoch nicht alle kantonalen und Bundesbehörden diese Unterscheidung treffen, wird in diesem Bericht nur die Bezeichnung Tiefengeothermie für Erdwärmegewinnung ab 500 Meter verwendet. Zum heutigen Zeitpunkt bestehen bereits einige entsprechende Pilotprojekte. Die Tiefengeothermie könnte zukünftig eine wichtige Rolle in Klima- und Energiestrategien der Schweiz spielen.
Tiefenlager Dépôt en couches géologiques profondes	Raumreserve	Tief	Radioaktive Abfälle sollen im Schweizer Untergrund langfristig gespeichert werden. Eine geologisch und sozioökonomisch geeignete Standortfindung bedarf einer nationalen Koordinierung und geht über einzelne Kantons Grenzen hinweg. Deshalb ist das Tiefenlager über einen Sachplan auf Bundesebene geregelt und derzeit noch eine zukünftige Nutzungsform. Aufgrund der besonderen Herausforderungen werden Tiefenlager hier von der unterirdischen Lagerung unterschieden.
Unterirdische Bauten Constructions souterraines	Raumreserve	Untief	Diese Kategorie beinhaltet alle Arten von Bauten, die unter die Erdoberfläche reichen. Dies beinhaltet eine umfangreiche Palette von unterschiedlich genutzten Bauten, wie bspw. Untergrundgeschosse von Häusern, unterirdische Parkhäuser, Gewerbebezonen, Schwimmbäder, Datenzentren, etc. Der Tiefbau ist eine etablierte Nutzungsform und ist durch Verfahren und rechtliche Grundlagen klar reguliert.
Unterirdische Lagerung Dépôt géologique	Raumreserve	Untief	Verschiedenste Stoffe können in fester, flüssiger und gasförmiger Form im untiefen Untergrund gelagert werden, wie bspw. Materiallagerung oder Wasser, Heizöl und Benzin in unterirdischen Tankanlagen. Die Lagerung solcher Stoffe ist klar geregelt und abhängig von den Charakteristika des zu lagernden Stoffes. Kantonale Verfahren sind ausschlaggebend.
Unterirdische Leitungen Conduites souterraines	Raumreserve	Untief	Unterirdische Leitungen beschreiben alle Arten und Netze von Leitungen, die im Untergrund verlegt werden. Beispiele dafür sind elektrische Leitungen zur Telekommunikation, Rohrleitungen für Abwassersysteme, Fernwärmenetze, Grundwasserverteilungsnetze, etc. Die Verlegung von Leitungen aller Art ist grundsätzlich rechtlich reguliert.
Unterirdische Verkehrsinfrastruktur Infrastructure de transport souterrain	Raumreserve	Untief	Diese Kategorie fasst alle unterirdischen Infrastrukturen zusammen, die mit Mobilität zusammenhängen und eine regionale Komponente haben, bspw. Tunnel- und Strassennetze, Metrosysteme, etc. Als Teil des Tiefbaus mit Fokus auf Mobilität bestehen für unterirdische Verkehrsinfrastrukturprojekte rechtliche Grundlagen und Verfahren.

Unterirdischer Gütertransport Transport souterrain de marchandise	Raumreserve	Untief	Als grossflächiges, interkantonales und zukünftiges Grossprojekt wird der unterirdische Gütertransport («Cargo Sous terrain») in dieser Arbeit als separate Nutzungsform von unterirdischer Verkehrsinfrastruktur aufgeführt. Im Vergleich zum Tunnelbau und zu anderen Verkehrsinfrastrukturen ist Cargo Sous terrain ein Pionierprojekt, das neuer rechtlicher Regulierungen bedarf und einem Sachplan unterstellt ist. Somit liegt die Gebietshoheit bei dieser Nutzung nicht bei den einzelnen Kantonen, sondern beim Bund.
Untiefe Geothermie Géothermie peu profonde	Energie	Untief	Die untiefe Geothermie ist eine Form der Energiegewinnung in den oberen Schichten des Untergrunds (bis ca. 300 – 500 m Tiefe). Mit Erdsonden, Wärmepumpen und weiteren Technologien werden Wärme und Kälte gefördert; es wird jedoch kein Strom produziert. Die untiefe Geothermie ist in der Schweiz weit verbreitet. Rechtliche Grundlagen sowie regulierende Verfahren bestehen in allen Kantonen.
Versickerung Infiltration	Schutz	Untief/ Tief	Die Versickerung von Regenwasser dient dem Schutz und der Regeneration von Grundwasservorkommen. Aufgrund der Wichtigkeit dieses natürlichen und grossflächigen Prozesses wurde Versickerung in den Interviewgesprächen mehrfach als Untergrundnutzung identifiziert und wird hier als zusätzliche Nutzung zu den Schutzzonen gezählt.

2.1.3.2 Untergrundnutzungen in den einzelnen Schweizer Kantonen

Viele unterschiedliche Untergrundnutzungen sind in den Schweizer Kantonen bereits etabliert und spielen für eine nachhaltige Entwicklung des Untergrundes eine zentrale Rolle. Für eine verbesserte Leserlichkeit ist die systematische Übersicht zu den Untergrundnutzungen pro Kanton in zwei Tabellen unterteilt und alphabetisch geordnet (Tabelle 4: Kanton Aargau bis Neuenburg / Tabelle 5: Kanton Nidwalden bis Zürich).

Archäologische Funde, Deponien, Geomaterialienabbau, Grundwassernutzung, unterirdische Bauten und Verkehrsinfrastrukturen sowie unterirdische Leitungen und untiefe Geothermie sind in (fast) allen Kantonen etablierte Nutzungen. Die Analyse zeigt, dass auch Schutzaspekte, wie z. B. Versickerung von Regenwasser im Boden und Schutzzonen (z. B. Grundwasserschutz) bei (fast) allen Kantonen durchgehend mit dem Untergrund und dessen Nutzung in Verbindung gebracht werden.

Pilotprojekte gibt es vor allem in der Tiefengeothermie; sie kommen sowohl in der Deutschschweiz als auch in der Westschweiz vor. In fast allen Kantonen wird die Tiefengeothermie zudem als zukünftige Untergrundnutzung angedacht, wobei die Potenzialeinschätzungen durch die Kantone variieren. Nebst der Tiefengeothermie werden bei etwa der Hälfte der kantonalen Webseiten auch CO₂- und Gasspeicherung als potenzielle Zukunftsnutzungen erwähnt. Unterirdischer Gütertransport und Tiefenlager werden hingegen nur in konkreten Standortkantonen als zukünftige Nutzungen aufgeführt. Energiespeicherung und Gasförderungen werden einerseits vereinzelt als zukünftige Nutzung erwähnt, andererseits bestehen diese Nutzungen in einigen Kantonen bereits zum heutigen Zeitpunkt.

Zusammenfassend zeigt sich in diesem ersten Arbeitspaket, dass der Schweizer Untergrund bereits vielfältig genutzt wird. Verschiedene Wirtschaftssektoren mit unterschiedlichen Technologien sind im Untergrund aktiv, wobei zukünftige Nutzungen und damit verbundene neue Branchen (z. B. Tiefengeothermie) hinzukommen. Gesamthaft wurden 21 Nutzungen identifiziert, die im Schweizer Untergrund aktuell oder zukünftig eine zentrale Rolle spielen bzw. spielen werden. Auch der Schutz von Untergrundressourcen und Boden sowie die Interaktionen zwischen Oberfläche und Untergrund stellen wichtige Aspekte dar (z. B. ist die Versickerung von Regenwasser für die Grundwasserneubildung bedeutend).

Tabelle 4: Untergrundnutzungen pro Kanton anhand einer kantonalen Webseitenrecherche für die Kantone Aargau bis Neuenburg (Eigene Darstellung).

Legende: ● Etablierte Nutzung, ■ Pilotprojekt(e), □ Zukünftige Nutzung

	AG	AI	AR	BE	BL	BS	FR	GE	GL	GR	JU	LU	NE
Archäologische Funde / Trouvailles archéologiques	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
CO ₂ -Speicherung / Stockage du CO ₂					□	□				□	□	□	
Deponie / Décharge	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Energiespeicherung / Stockage d'énergie					□			□					□
Gasförderung / Extraction de gaz	●				□		□					□	
Gasspeicherung / Stockage de gaz					□						□	□	□
Geomaterialien / Géomatériaux	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
Grundwasser / Eau souterraine	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Militärische Anlagen / Installations militaires	●	●	●		●	●	●	●	●	●		●	
Oberirdische Infrastruktur / Infrastructure de surface						■				●			
Schutzzone / Zone protégée	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Thermalwasser / Eau thermale	●			●					●	●			
Tiefengeothermie / Géothermie profonde	■	□		□	□	■	□	■		□	■	□	
Tiefenlager / Dépôt en couches géologiques profondes	□										□		
Unterirdische Bauten / Constructions souterraines	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Unterirdische Lagerung / Dépôt géologique		●	●	●	●			●	●	●		●	
Unterirdische Leitungen / Conduites souterraines	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Unterirdische Verkehrsinfrastruktur / Infrastructure de transport souterrain	●	●	●	□	●	●	●	■	●	●	●	●	●
Unterirdischer Gütertransport / Transport souterrain de marchandise	□			□								□	□
Untiefe Geothermie / Géothermie peu profonde	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Versickerung / Infiltration	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Tabelle 5: Untergrundnutzungen pro Kanton anhand einer kantonalen Webseitenrecherche für die Kantone Nidwalden bis Zürich (Eigene Darstellung).

Legende: ● Etablierte Nutzung, ■ Pilotprojekt(e), □ Zukünftige Nutzung

	NW	OW	SG	SH	SO	SZ	TG	TI*	UR	VD	VS*	ZG	ZH
Archäologische Funde / Trouvailles archéologiques	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
CO ₂ -Speicherung / Stockage du CO ₂	□	□					□	□	□	□		□	□
Deponie / Décharge	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Energiespeicherung / Stockage d'énergie			□				●		●	□		●	□
Gasförderung / Extraction de gaz	□	□					□			□		□	□
Gasspeicherung / Stockage de gaz	□	□					□			□		□	□
Geomaterialien / Géomatériaux	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Grundwasser / Eau souterraine	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Militärische Anlagen / Installations militaires	●	●	●	●	●		●		●	●		●	
Oberirdische Infrastruktur / Infrastructure de surface			■	●					●				■
Schutzzone / Zone protégée	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●	●
Thermalwasser / Eau thermale			●							●	●		
Tiefengeothermie / Géothermie profonde	□	□	■	□	□	□	■	□	□	■	□	□	■
Tiefenlager / Dépôt en couches géologiques profondes							□					□	■
Unterirdische Bauten / Constructions souterraines	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Unterirdische Lagerung / Dépôt géologique	●		●	●				●	●	●		●	
Unterirdische Leitungen / Conduites souterraines	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	●
Unterirdische Verkehrsinfrastruktur / Infrastructure de transport souterrain	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Unterirdischer Gütertransport / Transport souterrain de marchandise			□		□		□			□		□	□
Untiefe Geothermie / Géothermie peu profonde	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Versickerung / Infiltration	●	●	●			●	●		●	●		●	●

*Kantone mit eingeschränkter Datengrundlage

2.2 Arbeitspaket 2 (AP2): Konflikte / Synergien zwischen Untergrundnutzungen und Erwartungen an den Aktionsplan

2.2.1 Zielsetzung

Das zweite Arbeitspaket hat zum Ziel, anhand von drei Kantonen (Aargau, Waadt und Zürich) bestehende sowie mögliche Konflikte und Synergien zwischen Untergrundnutzungen zu identifizieren. Im Fokus stehen dabei vor allem die Untergrundnutzungen, die mit vielen anderen Nutzungen in Konflikt stehen oder ein grosses Synergiepotenzial aufweisen, da diese für eine strategische Untergrundplanung besonders relevant sein können. Die Ergebnisse basieren auf einer Interviewstudie mit lokalen Vertreterinnen und Vertretern von Verbänden, kantonalen Behörden und Industrie (N=18). Um eine vielfältige Perspektive auf Untergrundnutzungskonflikte und -synergien zu erhalten, wurden Personen aus unterschiedlichen Berufsgruppen interviewt. Zusätzlich wurden die Interviewpartnerinnen und -partner zu ihren Ansichten über die nationale Untergrundstrategie und dem Aktionsplan befragt.

2.2.2 Vorgehen

Zusammen mit swisstopo und dem Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) wurden im Vorfeld dieser Studie drei Fallkantone ausgewählt: Aargau, Waadt und Zürich. Dabei stand im Vordergrund, Kantone auszusuchen, die eine Vielfalt an Untergrundnutzungen abdecken sowie rechtliche Grundlagen oder strategische Pläne zur Untergrundnutzung im Kantonsgebiet aufweisen. Zudem sollte neben den deutschsprachigen Kantonen auch ein französischsprachiger Kanton untersucht werden.

In allen drei Kantonen wurden jeweils zwei Vertreterinnen und Vertreter aus kantonalen Dienststellen, der lokalen Industrie und Verbänden mit Bezug zum Untergrund befragt (N=18, siehe Tabelle 6). Die leitfadengestützten Interviews wurden zwischen Juni bis August 2023 online oder persönlich durchgeführt. Die auf Französisch oder (Schweizer-)Deutsch geführten Gespräche dauerten ca. eine Stunde und wurden mit dem Einverständnis der Teilnehmenden aufgenommen. Der Interviewleitfaden bestand aus drei inhaltlichen Schwerpunkten:

- 1) Untergrundnutzungen im jeweiligen Kanton: etablierte und zukünftige Nutzungen
- 2) Konflikte und Synergien zwischen den identifizierten Nutzungen
- 3) Untergrundstrategie Schweiz und Aktionsplan: Schwerpunkte und eigene Rolle

Die identifizierten Untergrundnutzungen sowie die von den Interviewpartnerinnen und -partnern wahrgenommenen Synergien und Konflikte wurden bei physischen Gesprächen auf Flipcharts festgehalten und bei Online-Gesprächen auf der Online-Kollaborations-Plattform *Miro* direkt geteilt. Die Interviewpartnerinnen und -partner konnten die Erstellung dieser Unterlagen während des Gesprächs mitverfolgen und zum Abschluss des Interviews validieren.

Tabelle 6: Übersicht der Interviewpartnerinnen und -partner nach Kanton und Akteursgruppe (Eigene Darstellung).

	Kantonale Behörden (n=5)	Industrie (n=7)	Verbände/Kooperative (n=6)
Aargau (n=6)	<ul style="list-style-type: none">• Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Umwelt• Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Raumplanung	<ul style="list-style-type: none">• Eniwa AG• KIBAG*• Eberhard und Partner AG	<ul style="list-style-type: none">• Verband Kies- und Betonproduzenten• Verband Geothermische Energie Aargau
Waadt (n=6)	<ul style="list-style-type: none">• Direction générale de l'environnement• Direction générale du territoire et du logement	<ul style="list-style-type: none">• Groupe Orlatti• Hydro-Geo	<ul style="list-style-type: none">• Association des géotechniciens et des géologues vaudois• Association vaudoise des graviers et déchets
Zürich (n=6)	<ul style="list-style-type: none">• Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft• Amt für Raumentwicklung	<ul style="list-style-type: none">• KIBAG*• Cargo Sous Terrain*	<ul style="list-style-type: none">• Geothermische Kraftwerke Zürich• Nagra*

*Notiz: Die markierten Organisationen sind (inter-)national tätig mit Sitz an unterschiedlichen Standorten. Im Rahmen dieses Projekts wurden sie hauptsächlich zu den Aktivitäten und Nutzungen im entsprechenden Kanton befragt.

Als Grundlage für die Auswertung der Interviews dienten die während der Gespräche erstellten Netzwerke zu Untergrundnutzungen, Konflikten und Synergien sowie detaillierte Notizen zu den Interviewgesprächen. Die Aspekte zur Schweizer Untergrundstrategie und zu einem möglichen Aktionsplan auf Bundesebene wurden anhand einer induktiven, qualitativen Inhaltsanalyse untersucht.¹⁸ Die genannten Konflikte und Synergien zwischen Untergrundnutzungen wurden in eine Adjazenzmatrix (d. h. eine Matrix mit dichotomen Beziehungen) überführt. Der Wert «1» wird dabei für das Vorhandensein einer Beziehung zwischen zwei Einheiten kodiert, was in diesem Fall gleichbedeutend ist mit dem Vorhandensein einer Konflikt- oder Synergiebeziehung zwischen zwei Nutzungen. Der Wert «0» steht für die Abwesenheit einer solchen Beziehung.¹⁹

In einem zweiten Schritt wurde die Matrix mit der Software *R*, die für statistische Berechnungen und die Erstellung von Grafiken verwendet wird, in ein Netzwerk umgewandelt und visualisiert. Das Netzwerk wurde zusätzlich basierend auf quantitativen Methoden der Sozialen Netzwerkanalyse (SNA) analysiert, die zur Untersuchung von sozialen Netzwerken herangezogen werden.²⁰ Es können diverse Zentralitätswerte zwischen Einheiten und deren Beziehungen gemessen werden, um so die zentralsten Einheiten im Netzwerk zu lokalisieren. In dieser Arbeit werden die verschiedenen Untergrundnutzungen als Einheiten, und Konflikte bzw. Synergien zwischen Nutzungen als Beziehungen definiert. Mit dem Netzwerkparameter *Degree*-Zentralität wurde berechnet, welche Untergrundnutzungen die meisten Konflikte und/oder Synergien mit anderen Nutzungen aufweisen. Die Breite der Verbindungslinie zwischen zwei Untergrundnutzungen wird von der Anzahl der Nennungen bestimmt (siehe Abbildungen 2-9). Je breiter eine Verbindungslinie zwischen zwei Untergrundnutzungen dargestellt wird, desto mehr Interviewpartnerinnen und -partner haben diese Konfliktbeziehung erwähnt. Eine sehr feine Verbindungslinie deutet somit auf eine Einzelnennung hin. Zudem wird die Grösse und Farbe der Punkte, die für eine Untergrundnutzung stehen, von der Anzahl der identifizierten Konflikte mit anderen Nutzungen beeinflusst. Wenn eine Nutzung viele Konflikte aufweist, wird ein grosser und dunkelfarbiger Punkt dargestellt, während bei wenigen Konflikten der Punkt einer Nutzung klein und hellfarbig abgebildet wird.

Es wurden Konflikt- und Synergienetzwerke pro Kanton sowie über alle Interviewpartnerinnen und -partner hinweg berechnet. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt und interpretiert. Zusätzlich wurden Netzwerke pro Berufsgruppe (Kantonale Vertreterinnen und Vertreter, Industrie und Verbände) erstellt, die in Appendix 1-3 zu finden sind.

Im Anschluss an die Erstellung, Analyse und Interpretation der Konflikt- und Synergienetzwerke wurden drei Validierungsinterviews mit Expertinnen und Experten zum Untergrund durchgeführt. Zwei der Gesprächspartnerinnen und -partner stammten aus Organisationen mit Fokus auf Raumplanung im Untergrund: International Tunnelling and Underground Space Association Committee on Underground Space (ITACUS) und Fachkreis Raumplanung im Untergrund (FRU). Es wurde eine weitere Person aus der Wissenschaft mit Expertise zu Hydrogeologie von der Universität Neuchâtel hinzugezogen. Alle drei interviewten Personen zeichnen sich durch ihre inter- und nationale Expertise in Bezug auf die Nutzung und den Schutz des Untergrunds aus. In diesen Gesprächen stellten wir unsere Netzwerk-Resultate vor, erfassten die Reaktionen der Expertinnen und Experten und baten sie, die Resultate zu interpretieren und kontextualisieren. Damit konnten unsere Erkenntnisse und Interpretationen validiert werden.

2.2.3 Resultate

2.2.3.1 Kanton Waadt

Im Kanton Waadt wird derzeit eine Strategie für eine nachhaltige Untergrundnutzung entwickelt (mit Federführung bei der kantonalen Umweltabteilung). Die Idee ist, eine ganzheitliche und kollaborative Untergrundnutzung zwischen verschiedenen Sektoren zu ermöglichen. Um die Entscheidungsfindung über mehrere Ämter und Industriesektoren hinweg zu erleichtern, soll die kantonale Strategie wesentli-

¹⁸ Kuckartz, 2019.

¹⁹ Trappmann et al., 2011.

²⁰ Prell, 2011.

che Infrastrukturbedürfnisse und Standorte identifizieren und priorisieren. Dafür wird zunächst intern ein gemeinsamer Entwurf für eine kantonale Vision und Roadmap entworfen, worauf eine Konsultation mit verschiedenen Akteuren ausserhalb der kantonalen Verwaltung folgt. Die Herausforderung ist dabei, eine nachhaltige Raumplanung mit der Energiewende und Klimastrategie zusammenzubringen, um gestützt darauf die Untergrundpolitik erstellen zu können.

Untergrundnutzungskonflikte

Im Kanton Waadt weisen unterirdische Verkehrsinfrastrukturen laut den Interviewpartnerinnen und -partnern die meisten Konflikte mit anderen Untergrundnutzungen auf (70,8 % aller möglichen Verbindungen). An zweiter Stelle stehen die Nutzungen Grundwasser, archäologische Funde und unterirdische Leitungen, die ebenfalls in Konflikt mit mehreren Nutzungen stehen (67 % aller möglichen Verbindungen). Die folgenden konkreten Konfliktbeziehungen wurden von mehreren Interviewpartnerinnen und -partnern genannt:

- *Zwischen untiefer Geothermie / tiefer Geothermie und Grundwasser*

Bei Bohrungen zur Förderung von thermischer Energie bestehen nach Wahrnehmung verschiedener Interviewpartnerinnen und -partner technische Risiken, die das Grundwasser verunreinigen oder erwärmen können. Aufgrund dieser Risiken ist es laut den Interviewpartnerinnen und -partnern zum heutigen Zeitpunkt undenkbar, thermische Wärme in Zonen mit Trinkwasservorkommen zu fördern. Der potenzielle Nutzungskonflikt ist auch bereits stark reguliert, da das Gewässerschutzgesetz²¹ und die eidgenössische Gewässerschutzverordnung²² dem Schutz des Grundwassers Vorrang vor anderen Nutzungsinteressen geben. Dennoch könnte laut Interviewpartnerinnen und -partnern diese klare Priorisierung von Grundwasser vor dem Hintergrund der Energiewende und des steigenden Bedarfs an erneuerbarer Energie hinterfragt werden.

- *Zwischen untiefer Geothermie / tiefer Geothermie und unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen*

Auch zwischen (untiefer und tiefer) Geothermie und unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen werden Konflikte wahrgenommen, bei denen zwischen den beiden Nutzungsinteressen abgewogen werden muss. Unterirdische Verkehrsinfrastrukturen, wie beispielsweise Tunnels, beanspruchen nach den Interviewpartnerinnen und -partnern in der Regel dieselbe Untergrundschrift wie die untiefe Geothermie. Bei der Tiefengeothermie müssen die benötigten Anlagen die untiefe Untergrundschrift durchdringen, durch die auch unterirdische Verkehrsinfrastrukturen führen könnten.

- *Zwischen archäologischen Funden und unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen*

Bei Aushebungen für den Bau von unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen könnte es zu archäologischen Funden kommen. Im Kanton Waadt werden archäologische Entdeckungen priorisiert, was Projekte zur Erstellung unterirdischer (Verkehrs-)Infrastrukturen verzögern und verteuern kann.²³ Trotz Mehrfachnennung dieses Konfliktes wird er nicht als prioritär eingestuft.

Die Abbildung 2 zeigt das Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Waadt auf. Je mehr Konflikte für eine Untergrundnutzung identifiziert wurden, desto grösser und dunkelfarbiger wird der jeweilige Punkt dargestellt. Nutzungen mit wenigen Konflikten weisen kleine und hellfarbige Kreise auf. Eine breite Verbindungslinie zwischen zwei Nutzungen deutet darauf hin, dass mehrere Interviewpartnerinnen und -partner diese Beziehung identifiziert haben (Mehrfachnennung), während eine sehr feine Verbindungslinie auf eine Einzelnennung hinweist.

²¹ Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG; SR 814.20).

²² Eidg. Gewässerschutzverordnung (GSchV; SR 814.201).

²³ Loi sur la protection du patrimoine culturel immobilier (LPrPCI; 451.16).

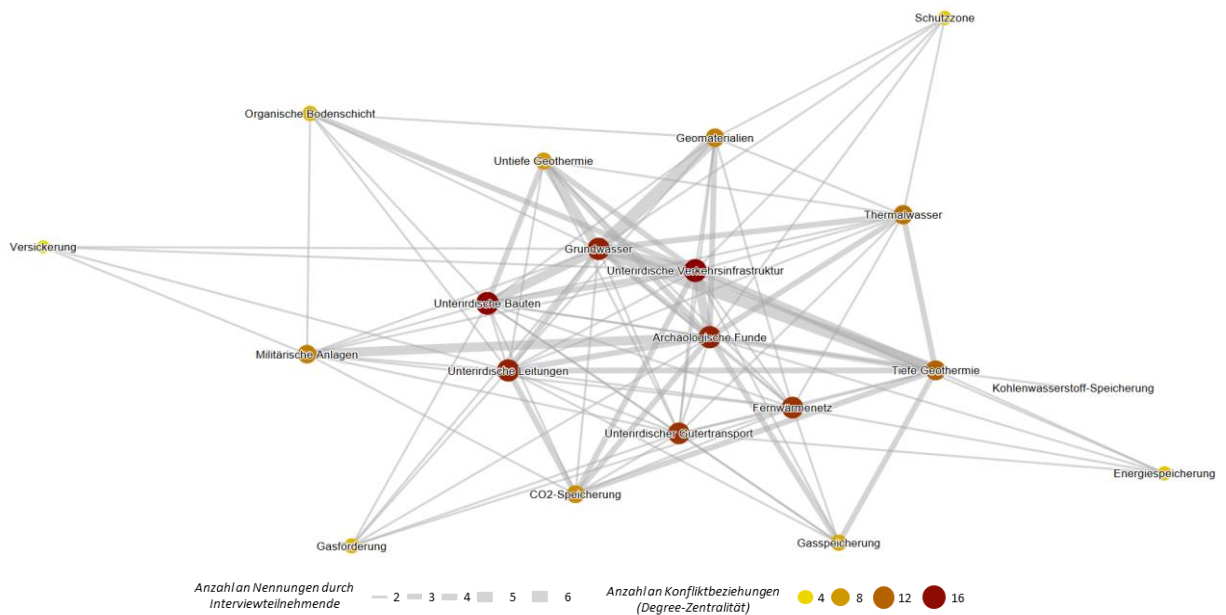


Abbildung 2: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Waadt, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.

Untergrundnutzungssynergien

Obschon unterirdische Verkehrsinfrastrukturen die meisten Konfliktbeziehungen mit anderen Untergrundnutzungen aufweisen, stehen sie ebenso im Zentrum synergetischer Beziehungen mit anderen Nutzungen (62,5 % aller möglichen Verbindungen). Geomaterialien haben die zweitmeisten synergetischen Beziehungen mit anderen Nutzungen (54,2 % aller möglichen Verbindungen). Die folgenden Nutzungssynergien wurden zusätzlich von der Mehrheit der Interviewpartnerinnen und -partner identifiziert:

- *Zwischen unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen und untiefer / tiefer Geothermie*

Laut den Interviewpartnerinnen und -partnern besteht ein Potenzial zur gemeinsamen Nutzung von unterirdischen (Verkehrs-)Infrastrukturen und der durch Geothermie produzierte Wärme. Dieses Potenzial wird zum heutigen Zeitpunkt jedoch nur selten genutzt, da Hindernisse bei der gemeinsamen Koordination der Projekte bestehen, z. B. bezüglich Projektdauer, Zeitplanung oder Verantwortlichkeiten. Folglich ist die Umsetzung dieser Synergie komplex und erfordert zusätzliche Ressourcen sowie einen starken Umsetzungswillen bei den Projektleitenden.

- *Zwischen unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen und Geomaterialien*

Aushübe, die bei der Erstellung von unterirdischen (Verkehrs-)Infrastrukturen entstehen, könnten je nach Beschaffenheit direkt als Baumaterial weiterverwendet werden. Zudem ermögliche das Aushubmaterial aus dem Infrastrukturbereich die Aufschüttung und Erstellung von Schutzwallen.

- *Zwischen Geomaterialien, unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen, unterirdischen Bauten und archäologischen Funden*

Bei der Aushebung von Geomaterialien zu Bauzwecken oder beim Bau von unterirdischen (Verkehrs-)Infrastrukturen und Bauten werden häufig archäologische Funde gemacht. Insofern profitiere die Archäologie von jeglichen Nutzungsprojekten im Untergrund.

- *Zwischen Geomaterialien und Deponien*

Bei der Schliessung eines Steinbruchs ist es laut Interviewpartnerinnen und -partnern üblich, dass der Standort mit Deponiematerial gefüllt wird. Somit besteht zwischen diesen beiden Nutzungen eine starke Synergie.

Insgesamt bestehen im Synergienetzwerk keine Triaden (Konstellation aus drei Einheiten) oder andere geschlossenen Konstellationen, die einen Hinweis auf zirkuläre Wirtschaftszyklen geben könnten. Nebst synergetischen Verbindungen zwischen Einzelnutzungen sticht jedoch die Untergrundexploration als systemische Synergie zwischen allen Nutzungen hervor. Interviewpartnerinnen und -partner sind sich einig, dass vor allem die Exploration des tieferen Untergrundes für alle Nutzungen zentral ist; alle Nutzungen würden von einer verbesserten Datengrundlage und damit auch von einem besseren Verständnis für unterschiedliche Nutzungsoptionen profitieren. Da die Exploration an sich keine eigene Nutzung ist, sondern eine Voraussetzung bzw. ein Resultat verschiedener Nutzungen darstellt, ist es in der Netzwerkanalyse nicht möglich, diese visuell darzustellen.

Die Abbildung 3 zeigt das Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Waadt auf. Je mehr Synergien für eine Untergrundnutzung identifiziert wurden, desto grösser und dunkelfarbiger wird der jeweilige Punkt dargestellt. Nutzungen mit wenigen Synergien weisen kleine und hellfarbige Kreise auf. Eine breite Verbindungslinie zwischen zwei Nutzungen deutet darauf hin, dass mehrere Interviewpartnerinnen und -partner diese Beziehung identifiziert haben (Mehrfachnennung), während eine sehr feine Verbindungslinie auf eine Einzelnennung hinweist.

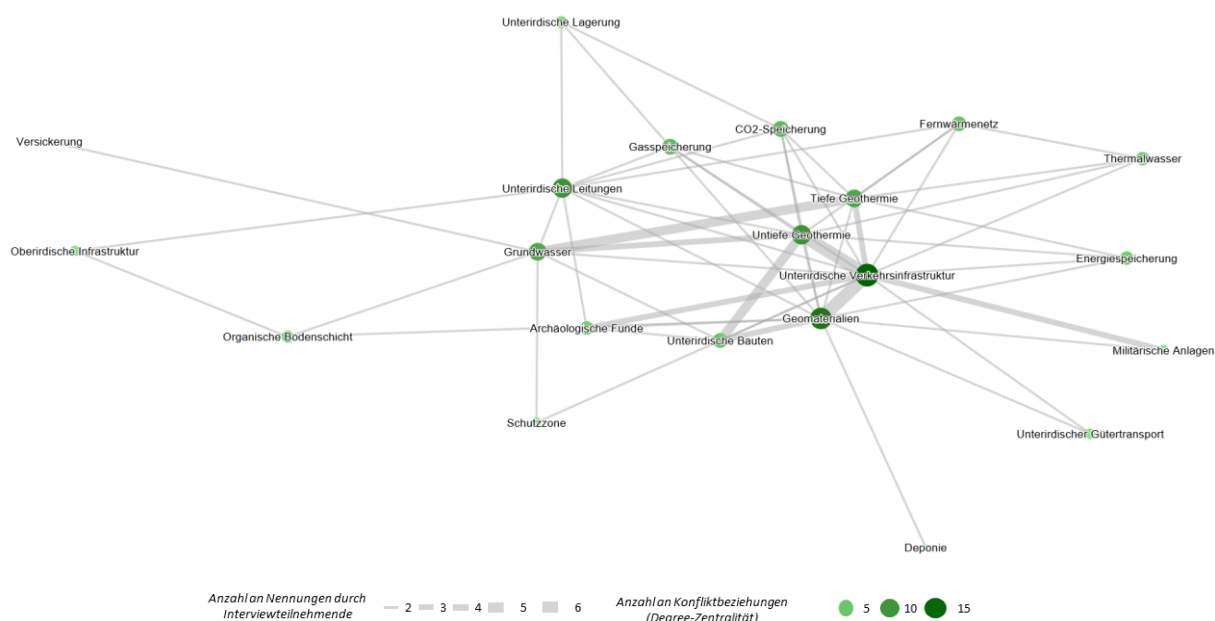


Abbildung 3: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Waadt, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.

2.2.3.2 Kanton Zürich

Der Kanton Zürich hat bisher keine eigene Untergrundstrategie. Der Untergrund wird überwiegend punktuell angeschaut, z. B. bezüglich Deponieplanung oder Rohstoffberichte, und somit nicht gesamthaft geplant. Eine Untergrundstrategie könnte laut den Interviewpartnerinnen und -partnern den Unternehmen, die Projekte im Untergrund anstreben, die nötige Planungssicherheit geben. Aus Sicht der kantonalen Interviewpartnerinnen und -partner braucht es jedoch vorerst mehr Wissen zum Untergrund, um mit einer kantonalen Strategie gezielt Innovationen fördern zu können. Untergrundnutzungen, die für den Kanton wichtig sind, stünden zudem noch am Anfang ihrer technologischen Entwicklung (z. B. Tiefengeothermie), wodurch auch deren Einsetzbarkeit unklar sei. Gleichzeitig sind sich die Interviewpartnerinnen und -partner bewusst, dass durch gewisse Nutzungen «Tatsachen geschaffen» werden können (z. B. Cargo Sous Terrain oder Tiefenlager).

Untergrundnutzungskonflikte

Die Abbildung 4 zeigt das Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Zürich auf. Wie bereits im Kanton Waadt weisen auch im Kanton Zürich unterirdische Verkehrsinfrastrukturen die meisten Konfliktbeziehungen mit anderen Untergrundnutzungen auf (46,2 % aller möglichen Verbindun-

gen). In beiden Kantonen steht das Grundwasser am zweitmeisten mit anderen Nutzungen in Konflikt (38,5 % aller möglichen Verbindungen). Auffällig ist, dass im Fall des Kantons Zürich diese beiden Untergrundnutzungen in deutlich weniger Konfliktbeziehungen mit anderen Nutzungen stehen als im Kanton Waadt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Interviewpartnerinnen und -partner im Kanton Zürich grundsätzlich weniger Konfliktbeziehungen im Untergrund identifiziert haben, was zu einer geringeren Dichte des Konfliktnetzwerks führt (d. h., von allen möglichen Verbindungen wurden nur wenige beobachtet). Die geringere Netzwerkdichte bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass tatsächlich weniger Nutzungskonflikte im Zürcher Untergrund bestehen; sie könnte auch auf eine andere Wahrnehmung der Konflikte seitens der Interviewpartnerinnen und -partner hinweisen.

Im Kanton Zürich kommen zusätzlich zwei kantonsspezifische Untergrundnutzungen hinzu, nämlich der unterirdische Gütertransport und das Tiefenlager. Vor allem das vom Unternehmen Cargo Sous Terrain geplante unterirdische Gütertransportsystem könnte zukünftig mit vielen anderen Untergrundnutzungen in Konflikt stehen (38,5 % aller möglichen Verbindungen). Das Tiefenlager wurde ebenfalls mehrfach als zukünftige Untergrundnutzung mit Konfliktpotenzial genannt (19,2 % aller möglichen Verbindungen), vor allem in Verbindung mit tiefer Geothermie, Geomaterialien und Grundwasser. Im Folgenden werden die von den Interviewpartnerinnen und -partnern am häufigsten identifizierten Konfliktbeziehungen näher erläutert:

- *Zwischen unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen und Grundwasser*

Verkehrsinfrastrukturprojekte werden, so die Interviewpartnerinnen und -partner, vermehrt im Untergrund geplant, um u. a. an der Oberfläche Konflikte in der Raumnutzung zu lösen. Es finde hier bereits eine Abwägung zwischen gesellschaftlichen Zielen statt (d. h. Verkehrsinfrastrukturen weichen zu Gunsten anderer Nutzungsoptionen in den Untergrund aus). Aus Sicht einiger Interviewpartnerinnen und -partner muss eine solche Abwägung auch im Untergrund zwischen Verkehrsinfrastrukturen und Grundwasser stattfinden (dies gilt für einige Interviewpartnerinnen und -partner ebenfalls für unterirdischen Gütertransport und Grundwasser). Da die gleichen Tiefenbereiche betroffen sind, stehen Grundwasserleiter grundsätzlich im Konflikt mit Verkehrsinfrastrukturen. Nach Meinung verschiedener Interviewpartnerinnen und -partner könnte mit einer differenzierteren Betrachtung, z. B. bezüglich Grundwasserqualität, das Grundwasser – trotz seines hohen gesellschaftlichen Stellenwerts – in manchen Fällen gegen andere Nutzungen abgewogen werden. Eine resiliente Grundwasserversorgung könnte dieser Meinung nach mit einem kollaborativen Ansatz sichergestellt werden, anstatt das Grundwasservorkommen individuell und lokal sicherzustellen.

Für andere Interviewpartnerinnen und -partner hingegen müsste der Schutz des Grundwassers ausgeweitet werden. Obwohl dieser im Kanton Zürich wie auch in der ganzen Schweiz eine hohe Priorität genießt (insbesondere durch das Gewässerschutzgesetz), wird das Grundwasser aus Sicht einiger Interviewpartnerinnen und -partner unzureichend geschützt. Beispielsweise würde die 10 %-Regel zum Schutz der Grundwasserleiter durch technische Massnahmen (für Durchlässigkeit) umgangen. Aus Sicht der Interviewpartnerinnen und -partner bräuchte es zudem weitere Forschung zum Grundwasser, z. B. zum Einfluss von Altlasten, Industriezonen oder alten Gasspeicherwerken.

- *Zwischen unterirdischen Bauten und Grundwasser*

Unterirdische Bauten befinden sich überwiegend ca. 50 Meter unter der Erdoberfläche und liegen damit im Quartär (Lockergesteinsablagerung), wo Grundwasserströme vorkommen. Es findet demnach eine Überlappung zwischen Siedlungs- und Industriezonen einerseits und Grundwasserzonen andererseits statt. Die Interviewpartnerinnen und -partner nehmen an, dass die Bautätigkeit vor allem in Ballungsräumen weiter zunehmen wird, wodurch die Grundwasserneubildung durch Versickerung zunehmend eine Herausforderung darstellt.

Über militärische Anlagen in der Form einer unterirdischen Baute ist in den meisten Fällen wenig bekannt, was eine dreidimensionale Planung des Untergrunds erschwert.

- *Zwischen untiefer Geothermie und unterirdischer Verkehrsinfrastruktur*

Erdsonden seien im Kanton Zürich bereits breit etabliert (als Beispiel für ein Grossprojekt ist das Stadtspital Triemli zu nennen, für dessen Areal 110 Erdsonden installiert wurden). Beim Bau von Ver-

kehrsinfrastrukturen könne es jedoch zu Konflikten kommen. Ein Beispiel dafür ist die Durchmesserlinie Altstetten–Zürich HB–Oerlikon in der Stadt Zürich: Aufgrund der Linienführung mussten Erdsonden weichen. Auch Wärmepumpen liessen sich verschieben, wodurch der Konflikt für die Interviewpartnerinnen und -partner lösbar erscheint. Sie vermuten, dass Verkehr vermehrt in den Untergrund verschoben wird, was zu einem «Dichtestress» im Untergrund führen könnte. In diesem Kontext wurde die Stadt Helsinki genannt, die horizontale und vertikale Zonen zur zukünftigen Nutzung im Untergrund festgelegt hat.

- *Zwischen Grundwasser und Tiefenlager*

Grundwassernutzungen und die Tiefenlagerung von radioaktiven Stoffen stehen nach Aussagen einzelner Interviewpartnerinnen und -partner in Konflikt zueinander, vor allem wegen der Gefahr der Kontamination (vor allem, wenn die Stoffe noch nicht fest eingeschlossen sind). Die Lagerung von radioaktiven Stoffen schliesst zudem andere Nutzungen aus, und für das Tiefenlager wird eine grössere Zone ausgeschieden, um Raum für den optimalen zukünftigen Bau des Tiefenlagers zu reservieren.

- *Zwischen Tiefenlager und tiefer Geothermie*

Die Ausscheidung eines Gebiets für das Tiefenlager könnte ebenfalls in Konflikt mit der Tiefengeothermie stehen: Das Tiefenlager muss vor Erschütterungen, wie sie im Rahmen von Geothermiebohrungen vorkommen können, bewahrt werden. Allerdings sei die Wahrscheinlichkeit eines solchen Konflikts gering, da tiefe geothermische Kraftwerke eher in der Nähe stärker besiedelter Gebiete errichtet würden.

- *Zwischen Tiefenlager und Geomaterialien*

Bei der Planung eines Tiefenlagers sollten die Geomaterialien mitgedacht und gegebenenfalls abgebaut werden. Im Kanton Zürich betrifft dies z. B. den Kiesabbau, Kohlewasserstoff-Reserven (Kohleflöten) im Norden des Kantons und potenziell auch den Salzabbau.

- *Zwischen Grundwasser und untiefer Geothermie*

Die Wärmenutzung und Grundwassernutzung befinden sich beide in derselben Tiefenlage. Daher bestehe ein Risiko, dass nutzbare Grundwasserleiter kontaminiert werden. Eine Abwägung zwischen diesen Nutzungen finde bereits statt und ggf. würden Gebiete für eine bestimmte Nutzung ausgeschieden.

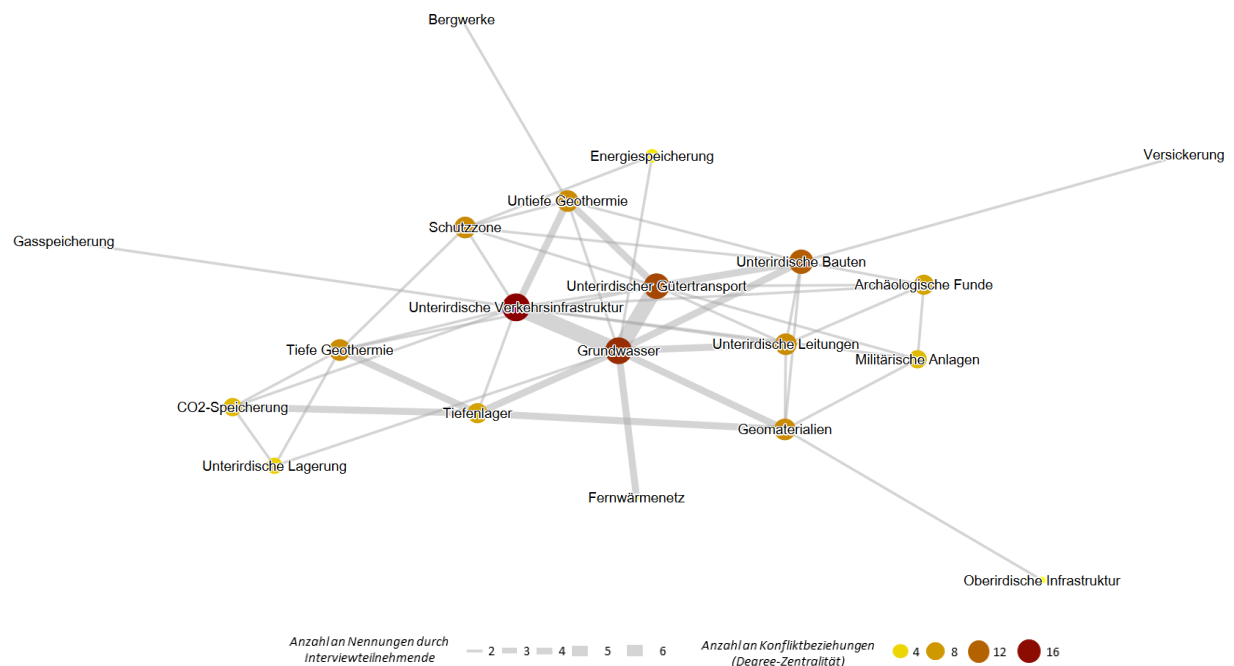


Abbildung 4: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Zürich, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.

Untergrundnutzungssynergien

Die Abbildung 5 zeigt das Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Zürich auf. Im Kanton Zürich, wie auch bereits im Kanton Waadt, fällt auf, dass Untergrundnutzungen mit vielen Konfliktbeziehungen – bei vorausschauender Planung – auch Synergien mit anderen Nutzungen aufweisen können. Obwohl unterirdische Bauten zu Konflikten mit anderen Untergrundnutzungen führen können, weisen sie auch eine Reihe an möglichen Synergien auf, beispielsweise mit dem Abbau von Geomaterialien oder der unterirdischen Lagerung (36 % aller möglichen Verbindungen). Vor allem Nutzungen mit horizontal angelegten Infrastrukturen, wie beispielsweise unterirdische Leitungen (32 % aller möglichen Verbindungen), unterirdischer Gütertransport (28 % aller möglichen Verbindungen) oder unterirdische Verkehrsinfrastrukturen (20 % aller möglichen Verbindungen), können oftmals multifunktional geplant werden. Grundsätzlich wurden im Kanton Zürich im Vergleich zu den anderen Kantonen am wenigsten Synergien zwischen Untergrundnutzungen identifiziert. Entsprechend weist das Synergienetzwerk eine geringe Dichte auf. Die Gründe dafür sind, wie beim Konfliktnetzwerk des Kantons Zürich, nicht eindeutig. Die meistgenannten Synergien zwischen Untergrundnutzungen, die von den Interviewpartnerinnen und -partnern identifiziert wurden, werden im nächsten Abschnitt näher thematisiert:

- *Zwischen unterirdischen Leitungen und unterirdischer Verkehrsinfrastruktur*

Zwischen unterirdischen Leitungen und unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen gibt es laut Interviewpartnerinnen und -partnern ein hohes Synergiepotenzial, welches aktiv gefördert werden sollte. Beim Bau von Tunnels für Verkehr (auch für Gütertransport) können gleichzeitig Leitungen (z. B. Grundwasser-, Werkleitungs- und Fernwärmeleitungen) gelegt werden. Dadurch können Infrastrukturen gebündelt werden. Dies findet heutzutage bereits statt. Z. B. werden manche SBB-Tunnels bereits mehrfach genutzt. Bei einem Projekt an weitere Nutzungsmöglichkeiten zu denken, ist für die Interviewpartnerinnen und -partner von grosser Wichtigkeit, um Platzproblemen im Untergrund vorzubeugen.

- *Zwischen Grundwasser und tiefer Geothermie*

Da das oberflächennahe Grundwasser überwiegend gut erschliessbar ist, könnte das tiefe Grundwasser nach Meinung einiger Interviewpartnerinnen und -partner anderweitig genutzt werden. Beispielsweise könnte die potenzielle Synergie zwischen tiefem Grundwasser und Tiefengeothermie genutzt werden. Das Tiefengrundwasser könnte zuerst für die Wärmeengewinnung genutzt und anschliessend, soweit möglich, zu Trinkwasser aufbereitet werden, was eine zirkuläre Nutzung der Ressource Grundwasser darstellen würde.

- *Informationsgewinn als indirekte Synergie zwischen allen Nutzungen*

Durch Bohrungen und Erkundungen des Untergrunds werden wichtige Daten und Wissen generiert, die für alle potenziellen Untergrundnutzungen relevant sein könnten. So brachten z. B. die Ölbohrungen in den 60er- bis 80er-Jahren sowie die Testbohrungen der Nagra wichtige Erkenntnisse über den Untergrund hervor. Für die Interviewpartnerinnen und -partner ist dies eine sehr wichtige Synergie, da mehr Wissen über den Untergrund auch eine bessere Planung im Untergrund ermöglichen kann.

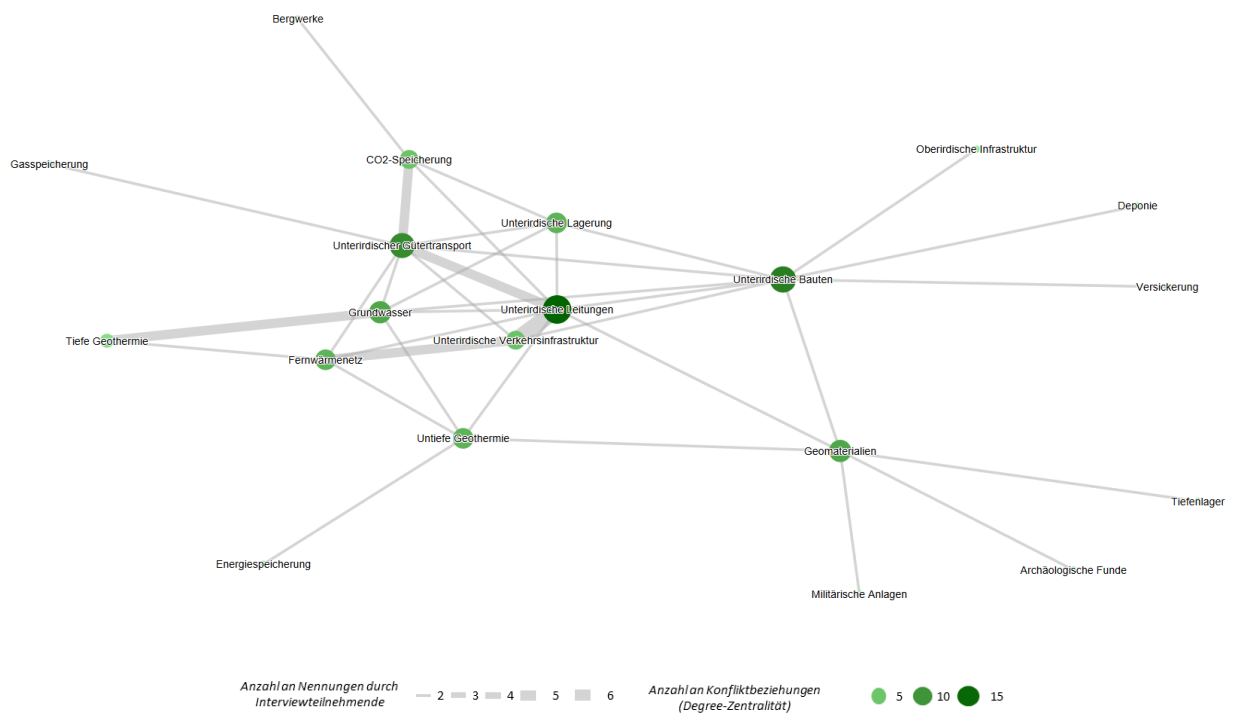


Abbildung 5: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Zürich, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.

2.2.3.3 Kanton Aargau

Wie im Kanton Zürich, so sehen auch die kantonalen Interviewpartnerinnen und -partner im Kanton Aargau den Informations- und Wissensmangel zum Untergrund als Hemmnis für eine kantonale Untergrundstrategie. Es ist zum Beispiel unklar, wie eine nachhaltige Entwicklung des Untergrunds konkret aussehen würde. Eine Voraussetzung dafür wären Informationen über geplante und bestehende Infrastrukturen sowie über die Beschaffenheit des Untergrunds. Während für die kantonalen Interviewpartnerinnen und -partner mit dem kantonalen Gesetz zum Untergrund und dem Gewässerschutzgesetz eine gute Ausgangslage geschaffen ist, werden für andere Interviewpartnerinnen und -partner wichtige Aspekte unzureichend thematisiert, z. B. die Priorisierung von Untergrundnutzungen, Einschränkungen oder auch Synergien.

Untergrundnutzungskonflikte

Die Abbildung 6 zeigt das Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Aargau auf. Im Vergleich zu den Kantonen Waadt und Zürich weist das Grundwasser im Kanton Aargau nach der Wahrnehmung der Interviewpartnerinnen und -partner die meisten Konfliktbeziehungen mit anderen Untergrundnutzungen auf (46,2 % aller möglichen Verbindungen). Dieses steht insbesondere mit der untiefen Geothermie, der tiefen Geothermie und den Deponien im Konflikt. An zweiter Stelle steht Thermalwasser mit 42,3 % aller Verbindungen, wobei hier einige Einzelnennungen bestehen, die diese eher hohe Zentralität im Konfliktnetzwerk erklären.

Das Konfliktnetzwerk des Kantons Aargau verzeichnet am wenigsten Konfliktbeziehungen zwischen Untergrundnutzungen und weist damit die tiefste Netzwerkdicke der drei Fallkantone auf (d. h. von allen möglichen Verbindungen wurden gesamthaft weniger beobachtet). Dies kann damit zusammenhängen, dass über alle interviewten Akteure des Kantons Aargau hinweg das Grundwasser eine zentrale Rolle in der Diskussion rund um Nutzungskonflikte spielte. Dies spiegelt sich darin wider, dass Grundwasser als Nutzung mit den meisten Konfliktbeziehungen hervorsteht. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass der Kanton Aargau in der Vergangenheit als möglicher Standort für Tiefenlager in Erwägung gezogen wurde, jedoch nach dem aktuellen Stand nicht mehr im Vordergrund steht. Im Folgenden werden die von den Interviewpartnerinnen und -partnern am häufigsten identifizierten Konfliktbeziehungen näher erläutert:

- *Zwischen Grundwasser und untiefer / tiefer Geothermie*

Wie bereits im Kanton Waadt, wurden auch im Aargau technische Risiken in Bezug auf die Gewinnung von thermischer Energie diskutiert. Einerseits beinhalten diese Risiken die Verunreinigung von Grundwasser durch Bohrungen sowie die ungeplante Touchierung von Grundwasserreserven aufgrund des horizontalen Drifts bei tieferen Bohrungen. Ein weiteres Risiko sind Temperaturveränderungen, die durch die Nutzung von thermischer Energie verursacht werden können. Auffällig ist, dass das Grundwasser und speziell das Trinkwasser im Kanton Aargau als elementare Ressource angeschaut wird. Diese Ressource soll laut Interviewpartnerinnen und -partnern weiterhin rechtlich geschützt werden, denn deren nachhaltige Sicherstellung stelle die oberste Priorität dar.

- *Zwischen Grundwasser und Deponien / Geomaterialien*

Auch hier spielt der Schutz und die Qualitätssicherung von Grundwasserzonen eine grosse Rolle. Durch das Gewässerschutzgesetz ist beispielsweise der Kiesabbau in Grundwassergebieten verboten. Entsprechend stehen Nutzungen wie Deponie und Materialabbau im direkten Konflikt mit Grundwasserzonen. Laut Interviewpartnerinnen und -partnern ist diese Regulierung zum heutigen Zeitpunkt jedoch nicht zu hinterfragen, da der Ressource Grundwasser Priorität zukommt.

- *Zwischen untiefer Geothermie und unterirdischer Verkehrsinfrastruktur*

Die Erschliessung von unterirdischen Bahnhöfen und Tunnels findet meist in un tiefen Bodenschichten statt (bis zu 50 Meter). Entsprechend besteht ein räumlicher Anspruch auf Zonen, die für die Nutzung von untiefer Geothermie durchbohrt und beispielsweise mit Erdsonden ausgestattet werden können. Mehrere Interviewpartnerinnen und -partner formulierten Unsicherheiten darüber, wie in Zukunft mit bestehenden Erdsondenfeldern bei der Planung von neuen unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen umgegangen werden soll.

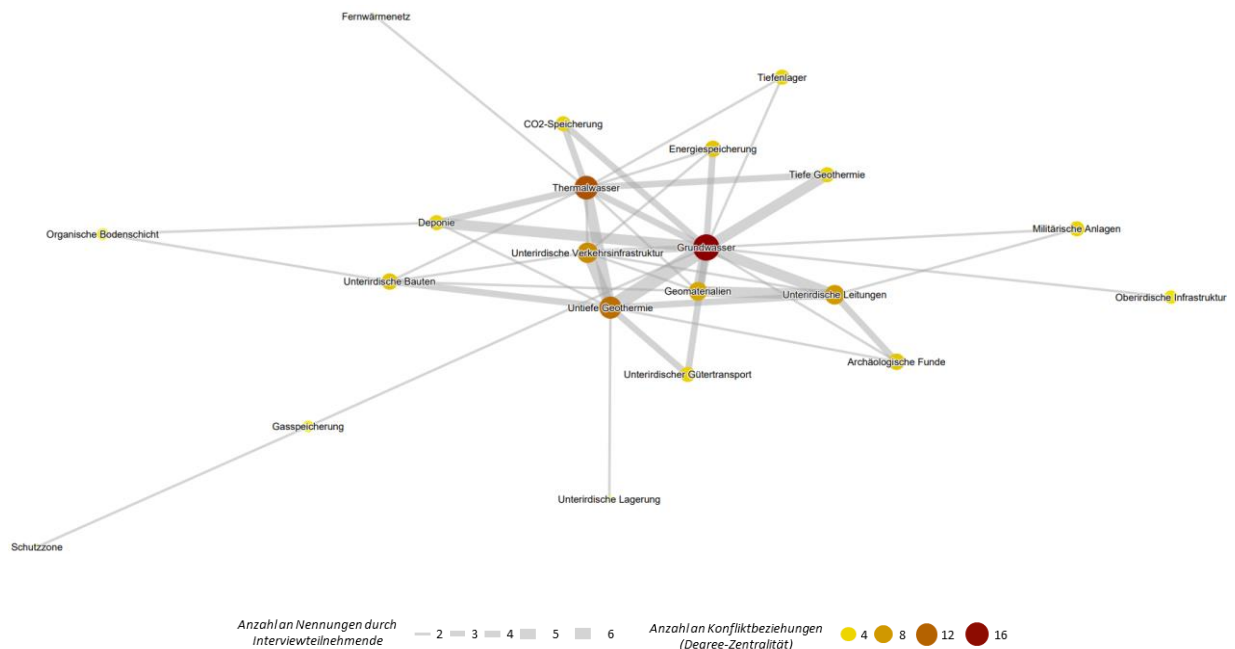


Abbildung 6: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Aargau, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.

Untergrundnutzungssynergien

Die Abbildung 7 zeigt das Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Aargau auf. Im Synergienetzwerk des Kantons Aargau zeigt sich eine grössere Einigkeit bezüglich synergetischer Beziehungen zwischen Untergrundnutzungen als in den Kantonen Zürich und Waadt. Gleich mehrere Nutzungen weisen ähnlich viele Synergiebeziehungen auf: Abbau von Geomaterialien und unterir-

dische Verkehrsinfrastrukturen mit 30,8 % aller möglichen Verbindungen sowie untiefe Geothermie und unterirdischen Leitungen mit 26,9 %. Gleichzeitig besteht eine Dreiecks-Beziehung zwischen Geomaterialien, unterirdischer Infrastruktur und unterirdischen Leitungen. Dies weist auf multifunktionale und kreislaufwirtschaftliche Synergien hin. Dies bedeutet, dass diese drei Nutzungen für Synergien potenziell zusammengedacht werden sollten.

Auffällig ist, dass im Kanton Aargau Mehrfach- und Umnutzungen durchgehend als Synergie identifiziert wurden. Es gibt verschiedene Nutzungen, die sich dafür eignen. Zentral für Mehrfachnutzungen sind unterirdische Bauten und Verkehrsinfrastrukturen, die bei vorausschauender Planung die Integration weiterer Nutzungen wie unterirdischer Leitungen, untiefer und tiefer Geothermie und Energiespeicherung ermöglichen. Auch für Umnutzungen sind existierende Bauten und Infrastrukturen relevant, wie beispielsweise Stollen oder Steinbrüche, die bei Bedarf für neue Vorhaben umgenutzt werden können. Nachfolgend werden die meistgenannten Synergien zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Aargau beschrieben:

- *Zwischen Geomaterialien, unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen und unterirdischen Leitungen*

Zwischen diesen drei Untergrundnutzungen zeichnet sich eine synergetische Dreiecks-Beziehung ab. Die Synergie besteht darin, dass bei unterirdischen (Verkehrs-)Infrastrukturen unterirdische Leitungen mitgedacht und integriert werden können. Dies kann bestenfalls die Versiegelung von oberirdischen Flächen aufheben, was speziell im urbanen Gebiet eine Voraussetzung für Vorhaben wie Schwammstädte²⁴ ist. Weiter benötigen unterirdische (Verkehrs-)Infrastrukturen Baumaterialien, die beispielsweise aus dem Abbau von Geomaterialien gewonnen werden können. Zusätzlich können Aushubräume aus dem Materialabbau für Bauten und Infrastrukturen im Untergrund umgenutzt werden. Entsprechend handelt es sich hier um Synergien mit Bezug zu Multifunktionalität und Kreislaufwirtschaft, die jedoch von Beginn eines Projektes an miteingeplant werden müssen.

- *Zwischen Geomaterialien und unterirdischen Bauten / unterirdischer Verkehrsinfrastruktur / oberirdischer Infrastruktur*

Bauten und Infrastrukturprojekte, im Untergrund wie an der Oberfläche, benötigen Rohmaterialien wie Hartstein, Kies, Sand, etc. Der Materialabbau von Geomaterialien ist somit eine Voraussetzung für solche Vorhaben. Laut einem Interviewpartner aus der Branche ist ein primärer Abbau in der Schweiz zwingend, denn mit den heutigen Technologien und Arbeitsprozessen können maximal 25 % der Baumaterialien recycelt werden. Erwähnt wurde ebenfalls, dass die Ansprüche an Rohstoffe im Bau steigen, da die Komplexität der Architektur zunimmt.

Ein weiterer synergetischer Aspekt ist die Zweitnutzung von Untergrundnutzungen durch Bauten und Infrastrukturen an der Oberfläche. Laut Interviewpartnerinnen und -partner wurde im Kanton Aargau beispielsweise ein Kiesabbaugebiet für eine Coop-Produktionsstätte umgenutzt. Es wurde jedoch auch betont, dass dies eine punktuelle Synergie war, und dass unklar ist, ob solche Umnutzungen auch andernorts realisiert werden können.

- *Zwischen untiefer Geothermie und unterirdischen Verkehrsinfrastrukturen / unterirdischem Gütertransport / Tiefenlager*

Beim Bau von unterirdischen Infrastrukturen und Abwasserleitungen könnte zugleich das Potenzial thermischer Energie genutzt werden. Zudem wurde auch das Potenzial des Tiefenlagers für radioaktive Abfälle zur Wärmeengewinnung diskutiert, denn die gelagerten Stoffe können zusätzliche Wärme abgeben. Entsprechend wird die Wärme als Beiprodukt gesehen, die bei vorausschauender Planung mitgenutzt werden könnte.

- *Zwischen untiefer Geothermie und Grundwasser*

²⁴ Für weiterführende Informationen zu Schwammstädten, siehe: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/ernaehrung-wohnen-mobilitaet/dossiers/magazin-2022-4-dossier/taedte-von-morgen-die-schwammstadt-als-antwort.html>.

Eine Technologie zur Nutzung der Wärme im untiefen Untergrund nutzt Grundwasserpumpen, die Wärme aus Grundwasservorkommen gewinnen. Dieses System wird heute bereits in wasserrechtlich nutzbaren Grundwassergebieten angewendet. Somit besteht zwischen Grundwasser (sofern dieses nicht unter Schutz steht) und der untiefen Geothermie eine Synergie.

- *Zwischen Energiespeicherung und tiefer Geothermie*

Die tiefe Geothermie beinhaltet Bohrungen über 500 Meter, die bis zu mehreren Kilometern in den Untergrund reichen können. Diese tieferen Schichten des Untergrunds könnten sich laut Interviewpartnerinnen und -partner aufgrund der geologischen Gegebenheiten für eine Mehrfachnutzung zur Gewinnung und Speicherung von Wärme eignen. Dies wird als eine zukünftige Synergie angesehen.

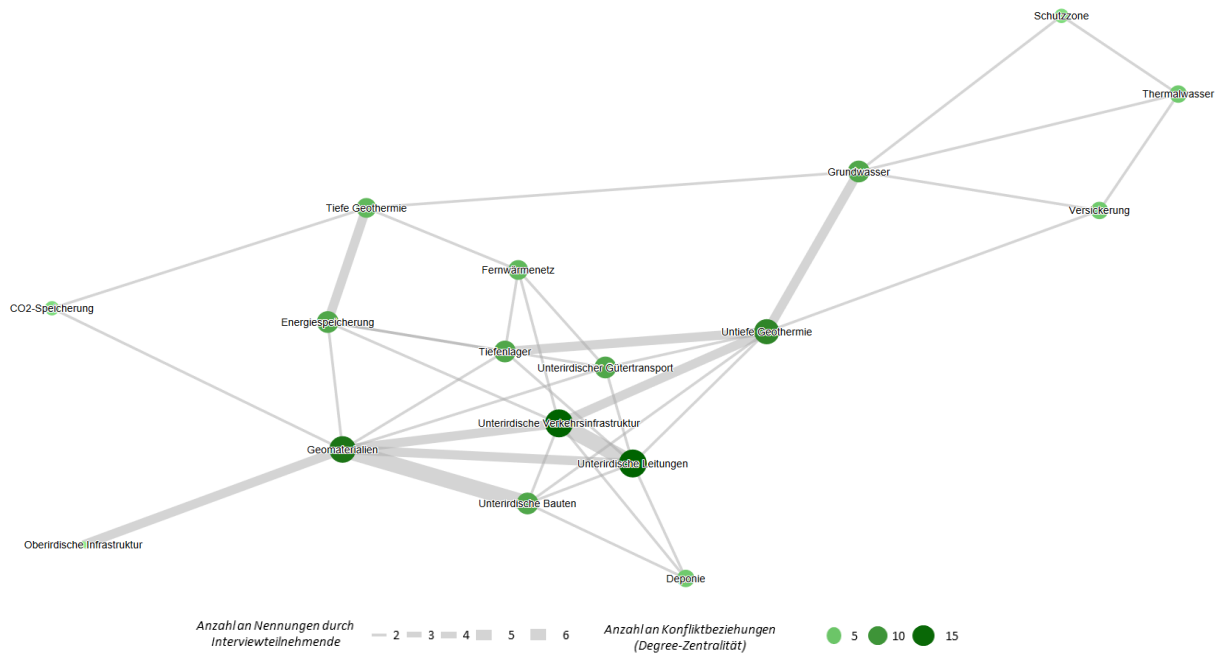


Abbildung 7: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen im Kanton Aargau, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=6). Erstellt mit R.

2.2.3.4 Kantonsübergreifende Wahrnehmung von Untergrundnutzungskonflikten und -synergien

Neben der kantonspezifischen Sicht auf Untergrundnutzungskonflikte und -synergien wurde auch eine kantonsübergreifende, gesamtheitliche Perspektive angestrebt, um dadurch Schwerpunktthemen zu identifizieren, die für alle untersuchten Kantone von Relevanz sind. Hierfür wurden alle 18 Interviews in aggregierter Form ausgewertet und die daraus generierten Daten für die Erstellung eines gesamtheitlichen Konflikt- und Synergienetzwerks verwendet (Abbildung 8 und 9):

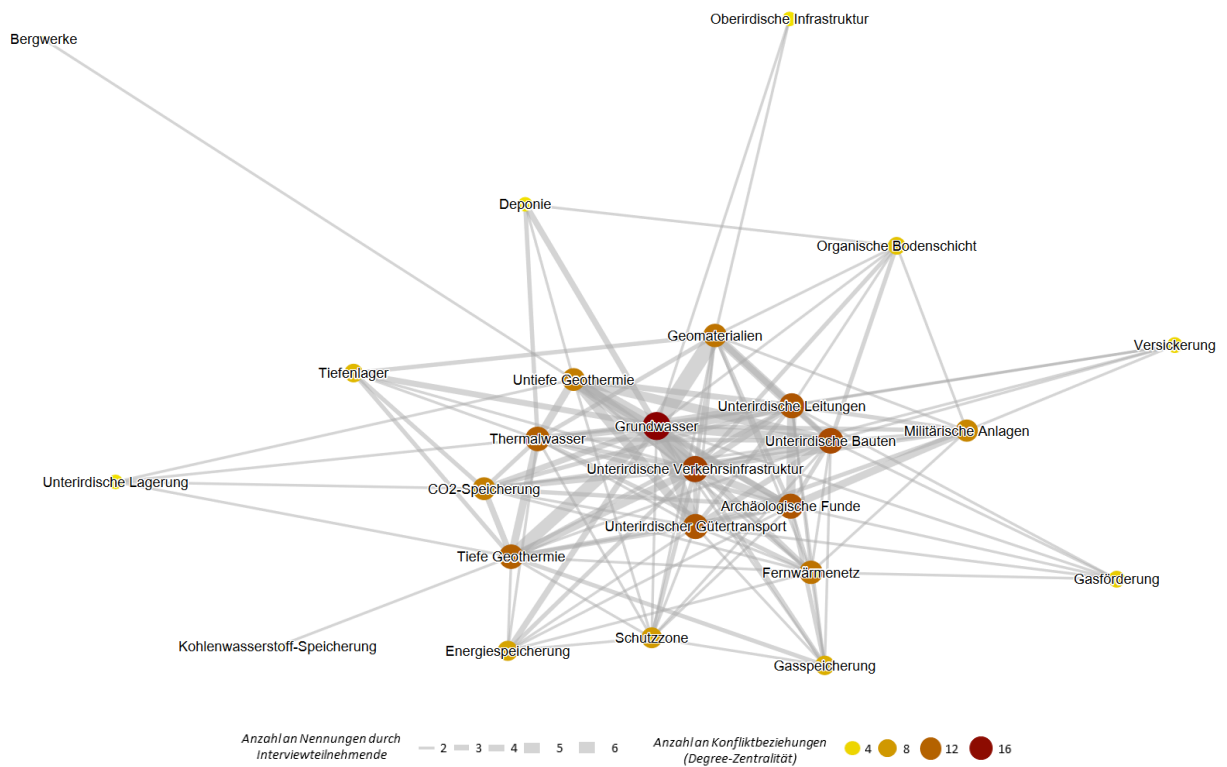


Abbildung 8: Konfliktnetzwerk zwischen Untergrundnutzungen über alle untersuchten Kantone hinweg, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=18). Erstellt mit R.

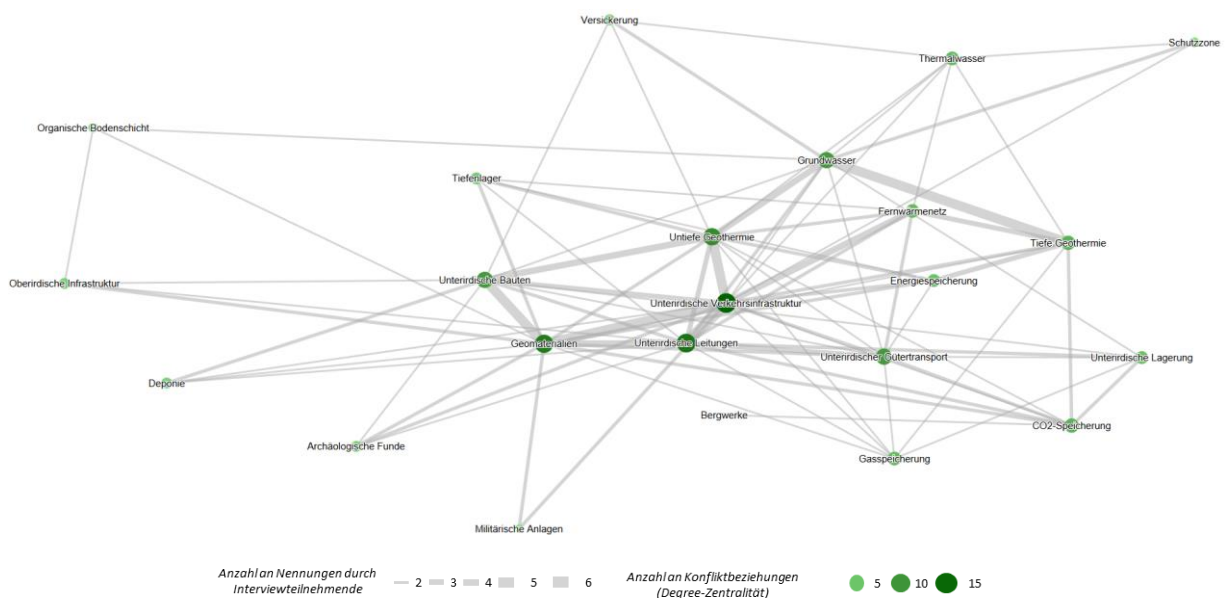


Abbildung 9: Synergienetzwerk zwischen Untergrundnutzungen über alle untersuchten Kantone hinweg, basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden, lokaler Industrie und Verbänden (N=18). Erstellt mit R.

Durch die gesamtheitliche Auswertung der Interviewdaten konnten die folgenden kantonsübergreifenden Themen identifiziert werden:

- Grundwasser

Grundwasser bleibt auch aus einer gesamtheitlichen Perspektive die Untergrundnutzung mit den meisten Konfliktbeziehungen zu anderen Nutzungen. Aus Sicht einiger Interviewpartnerinnen und

-partner wird jedoch Grundwasser und dessen Schutz zu wenig differenziert betrachtet, was in erster Linie daran liege, dass auch und insbesondere das tiefe Grundwasser noch zu wenig erforscht sei. Die Interviews zeigen allerdings auch auf, dass Grundwasser durchaus auch ein Synergiepotenzial haben könnte, z. B. mit Geothermie oder Energiespeicherung (nach welcher das geförderte Grundwasser als Nutzwasser verwendet werden könnte).

- *Multifunktionalität*

Die Förderung von Multifunktionalität bzw. Mehrfachnutzungen zeichnet sich als ein wichtiges, kantonsübergreifendes Thema ab. Erstens kann durch die Bündelung von horizontal angelegten Infrastrukturen langfristig dem Platzmangel im Untergrund, der bereits jetzt in urbanen Ballungsgebieten zunehmend ein Problem darstellt, entgegengewirkt werden. Dafür sollten laut den Interviewpartnerinnen und -partnern die Kantone aktiv die Dual- oder Mehrfachnutzungen mitdenken und für zukünftige Projektdesigns fordern, z. B. durch die Integration von entsprechenden Anforderungen in Bewilligungsverfahren. Zweitens sind neben der Bündelung von Infrastrukturen auch die Mehrfachnutzungen mancher Untergrundnutzungen denkbar. Beispielsweise können die beim Tunnelbau geförderten Geomaterialien für unterirdische Bauten genutzt werden. Drittens sollte aus Sicht einiger Interviewpartnerinnen und -partner daran gedacht werden, dass unterirdische Infrastrukturen allenfalls für eine Nachfolgenutzung verwendet werden können, z. B. könnten alte Tunnelbauten oder Militärstollen für saisonale thermischen Speicher oder unterirdische Rechenzentren umgenutzt werden. Viertens ist immer auch daran zu denken, dass mit neuen Projekten der Untergrund weiter erforscht wird und damit die Geoinformation und Vermessung gestärkt werden könnten.

- *Schutz vs. Nutzung*

Ein weiteres Thema, das in allen Kantonen angesprochen wurde, ist das Spannungsverhältnis zwischen Nutzung und Schutz des Untergrunds. Die Interviewpartnerinnen und -partner warnen vor der Anwendung einer rein wirtschaftlichen Nutzungslogik, die Nachhaltigkeitsbedenken aussen vorlässt. Daher wurde auch wiederholt die Errichtung von Schutzzonen gefordert. Dies impliziert, dass Schutzzonen den Untergrundnutzungen gleichwertig sind. Dies sei laut einigen Interviewpartnerinnen und -partnern umso wichtiger, da es zum Untergrundökosystem nur wenig Wissen gebe und das Eingreifen in das Ökosystem ungeahnte Konsequenzen für Mensch und Natur haben könne.

- *Stärkerer Fokus auf Konflikte, Synergien*

Grundsätzlich fällt auf, dass die Interviewpartnerinnen und -partner die Synergiepotenziale weniger häufig nennen als Möglichkeiten von Konflikten. Zudem weisen alle Synergienetzwerke wesentlich mehr Einzelnennungen auf, woraus man schliessen kann, dass eine holistische Perspektive auf Synergiemöglichkeiten zwischen den Untergrundnutzungen noch zu wenig ausgebildet ist.

2.2.3.5 Kantonsübergreifende Erwartungen zum Aktionsplan

Während der Interviewkampagne des AP2 wurden die Interviewpartnerinnen und -partner nebst Konflikten und Synergien auch zu Akteuren, thematischen Schwerpunkten und konkreten Massnahmen befragt, die ihrer Ansicht nach für die Ausarbeitung des Aktionsplans zum Untergrund berücksichtigt werden sollten. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass alle Interviewpartnerinnen und -partner die Strategie Untergrund Schweiz und die Ausarbeitung eines Aktionsplans auf Bundesebene begrüssen. Einige äusserten die Erwartung, dass der Untergrund nebst der Untergrundstrategie auch in andere bereits bestehende Strategien aufgenommen werden sollte. Dies könnte im Rahmen einer Harmonisierung und Koordinierung der Regeln und Ansprüche an den Untergrund auf Bundesebene erfolgen. Die folgenden Abschnitte fassen die Ansichten und Vorschläge der Interviewpartnerinnen und -partner für den Aktionsplan zusammen.

Relevante Akteure zur Ausarbeitung des Aktionsplans und Rolle von swisstopo

Die Interviewpartnerinnen und -partner sind sich einig, dass Akteure aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft in die Ausarbeitung des Aktionsplans einbezogen werden sollten. Beispielsweise könnte ein

«Untergrund-Action-Lab» gegründet werden, welches als ein interdisziplinäres Komitee aktiv in den Ausarbeitungsprozess miteinbezogen wird. Ein solches Komitee könnte aus Vertreterinnen und Vertretern von Wirtschafts- und Branchenverbänden, Energieversorgungsunternehmen sowie aus kantonalen Dienststellen (z. B. Energie, Umwelt, Geologie) und institutionellen Organen mit legislativer Kompetenz bestehen.

Die folgenden Akteure wurden von den Interviewpartnerinnen und -partnern für Ausarbeitung des Aktionsplans genannt:

- Kantonale Regierungsräte, Dienststellen, kantonale Konferenzen
- Bundesämter und Fachkommissionen (z. B. swisstopo, ASTRA, EGK)
- Gemeinden
- Experten (z. B. Geologinnen, Raumplaner)
- Forschung
- Verbände (z. B. Wirtschafts-, Energie-, Geologen-, Geothermieverbände)
- Unternehmen (z. B. Cargo Sous Terrain, SBB, Post, Swissgrid, Übertragungs- und Netzbetreiber, etc.)

Die Rolle von swisstopo im Ausarbeitungsprozess ist für die Interviewteilnehmenden nicht eindeutig. Aufgrund des Know-hows zu geologischen Daten wird swisstopo jedoch als essenzieller Bestandteil einer Kommission oder eines «Roundtable» zum Aktionsplan angesehen. Einige befragte Akteure verbanden swisstopo zudem mit folgenden Aufgaben:

- Förderung von Synergien zwischen Akteuren und Nutzungen
- Förderung der sozialen Akzeptanz von Projekten mit Bezug zum Untergrund
- Gesamtheitliche Vision des Untergrundes
- Kompetenz in kantonsübergreifenden Angelegenheiten und Projekten
- Koordinationskompetenz in der Sammlung und im Austausch von Daten
- Förderung und Hilfestellung für Kantone in der Umsetzung eines Aktionsplans

Thematische Schwerpunkte des Aktionsplans

Grundsätzlich fällt auf, dass die Interviewpartnerinnen und -partner sich einerseits klarere Definitionen, Vorgaben und Leitlinien bezüglich des Untergrunds auf Bundesebene wünschen, andererseits jedoch die rechtlichen kantonalen Kompetenzen (wie z. B. die kantonale Gebietshoheit über den öffentlichen Untergrund) hervorheben.

- *Klare Kompetenzen und Verantwortlichkeiten*

Einigen Interviewpartnerinnen und -partner ist es wichtig, dass kein «Durcheinander» in den Kompetenzen und Verantwortlichkeiten bezüglich des Untergrunds entsteht. Die Kantone sollen weiterhin die Gebietshoheit für die Raumplanung im Untergrund besitzen, Bewilligungsverfahren festlegen und eigene Gesetze für die Nutzung des Untergrunds verabschieden. Nach den Interviewpartnerinnen und -partnern wäre jedoch zu begrüssen, wenn auf Bundesebene Rahmenbedingungen und Prioritäten gesetzt würden, die den Kantonen als Leitlinien dienen. Der Bund könnte zudem ein gemeinsames Verständnis für den Untergrund fördern und Chancen sowie Synergien aufzeigen. Dabei wären insbesondere die jeweiligen Verantwortlichkeiten von Staat und Privaten zu klären. Zudem bräuchte es laut den Interviewpartnerinnen und -partnern eine rechtliche Verankerung der Nutzungs- und Schutzzonen.

- *Priorisierung der öffentlichen Nutzungsinteressen im Untergrund*

Für einige Interviewpartnerinnen und -partner sollte im Aktionsplan die Frage der Abwägung zwischen unterschiedlichen Untergrundnutzungen und somit deren Priorisierung geklärt werden. Die Vielzahl an Untergrundnutzungen wird weiter zunehmen (vor allem in den ersten 40-50 Metern und in Ballungsräumen). Daher bräuchte es eine gewisse Hierarchisierung und Auslegeordnung für

prioritäre Untergrundnutzungen. Da es viele bezüglich der Nutzung des Untergrundes (z. B. Netto-0, Energiespeicherung, Energieförderung, Mobilität, Urbanisierung, Grundwasserschutz, etc.) unterschiedliche politische Interessen und Ziele gibt, könnte der Aktionsplan hier einen wichtigen Beitrag zur Priorisierung von Untergrundnutzungen beitragen. Dabei sollte geklärt werden, welche Strategien leitführend und gesellschaftsrelevant sind (Klima, Energie, Versorgungssicherheit, etc.), sowie wie man zwischen diesen wichtigen Strategien abwägen sollte. Beispielsweise könnte in einem Aktionsplan geklärt werden, welche Untergrundnutzungen von nationalem Interesse sind und allenfalls auch national koordiniert werden sollten. Prioritäten könnten durch entsprechende Leitlinien gesetzt werden, die wiederum für Kantone Anreize schaffen könnten, entsprechend zu handeln. Die Interviewpartnerinnen und -partner waren sich jedoch einig, dass eine solche Priorisierung in Bezug auf unterschiedliche Strategien und deren gesellschaftlichen Relevanz einer breiten Abstützung bedarf und somit kaum nur auf Bundesebene erstellt werden kann.

- *Nationale Vision für eine nachhaltige Nutzung des Untergrunds*

Laut einigen Interviewpartnerinnen und -partnern sollte der Aktionsplan eine Art Vision oder Guideline sein, wie der Schweizer Untergrund weiterentwickelt werden kann – z. B. in Bezug auf ökologische Fragen, Klimaerwärmung, Biodiversität, Bevölkerungswachstum etc. Eine Definition dessen, was «Nachhaltigkeit» im Untergrund und somit eine nachhaltige Untergrundnutzung bedeutet, hätte direkte Auswirkungen auf die Priorisierung und Abwägung zwischen unterschiedlichen Nutzungen für eine nachhaltige Entwicklung. Dafür müssten wichtige Fragen geklärt werden, z. B. wieviel Schutzzonen vs. Nutzungszonen gebraucht werden oder wie Übernutzung vermieden werden kann. Zudem solle der Aktionsplan die Wichtigkeit einer gesamtheitlichen nachhaltigen Vision und einer umfassenden Herangehensweise an den Untergrund in die Politik und Gesellschaft tragen. Der Untergrund und seine Ressourcen sind aktuell im politischen Diskurs über einzelne Nutzungen vertreten (z. B. Tiefenlager, Cargo Sous Terrain), jedoch nicht als interdisziplinäres Ökosystem. Für einige Interviewpartnerinnen und -partner müsste der Untergrund auch stärker auf die gesellschaftliche Agenda gebracht werden. Die Bevölkerung solle für die Wichtigkeit des Untergrunds sensibilisiert werden.

Massnahmen

Laut einigen Interviewpartnerinnen und -partnern sollte der Bund die Kompetenz zur Regelung des Untergrunds erhalten, um die vielfältigen konkurrenzierenden Nutzungsansprüche nachhaltig zu ordnen. Dabei sollten aber in der Umsetzung Freiheitsgrade sichergestellt sein, um die unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Kantone in Bezug auf den Untergrund zu berücksichtigen.

- *Rechtliche Grundlagen*

Aus Sicht einiger Interviewpartnerinnen und -partner braucht es für das Bauen im Untergrund spezifische rechtliche Grundlagen. Dabei müssten beispielsweise Fragen bezüglich der Kostenübernahme eines Rückbaus oder auch der Haftung im Falle von Schäden neu verhandelt werden. Eine besondere Herausforderung seien laut Interviewpartnerinnen und -partnern vor allem über Kantonsgrenzen hinausgehende Untergrundnutzungen (z. B. Grundwasser, Geomaterialien, Infrastrukturen). Daher sollte der Bund überregionale Untergrundnutzungsprojekte (wie bereits bei Cargo Sous Terrain) durch nationale Regelungen und Leitlinien koordinieren und fördern. Als positives Beispiel wurde das Eisenbahnrecht genannt, das eine Gesamtstrategie beinhaltet, während periphere Bewilligungsverfahren bei den Kommunen verbleiben. Bisher hat jedoch nicht jede überregionale Untergrundnutzung einen Sachplan. Ein Beispiel, das in diesem Zusammenhang von den Interviewpartnerinnen und -partnern genannt wurde, ist die Rohstoffbranche. Da diese nationale Rohstoffe sichert und somit von nationalem Interesse ist, wäre ein Sachplan mit einer nationalen Regulierung zu rechtfertigen. Solche Sachpläne könnten ein Hilfsmittel sein, die Kantone anzuhalten, sorgsam mit zentralen Ressourcen umzugehen.

- *Mustervorschriften für den Untergrund*

Laut den Interviewpartnerinnen und -partnern sollte der Bund die Kantone bei der Regulierung des Untergrunds unterstützen. Er könnte gezielt Vorschläge für den Umgang mit gewissen Untergrund-

nutzungen machen. Dies sollten jedoch konkrete Vorschläge sein, und ggf. sollte hier auch mit Best-Practice-Beispielen anstelle von bindenden Vorlagen gearbeitet werden. Eine Möglichkeit wären Mustererlasse für den Untergrund, auf deren Basis Kantone ihre Raumplanung im Untergrund umsetzen könnten. Als Beispiel wurde in diesem Kontext die «Mustervorschrift der Kantone im Energiebereich» (MuKE n) genannt. Die Kantone könnten sich auf einen «gemeinsamen Nenner» bezüglich Bewilligungsverfahren im Untergrund einigen und gemeinsame Ziele mitaufnehmen, z. B. dass ein gewisser Anteil der Energiegewinnung im Untergrund stattfindet. Weil die Verfahren gegenwärtig nicht ausreichend koordiniert sind, werden laut Interviewpartnerinnen und -partnern Projekte, die zwei oder mehrere Kantonsgebiete betreffen, nicht priorisiert. Dies kann eine innovationshemmende Wirkung haben. Daher wäre beispielsweise ein Leitungskataster auf Bundebene denkbar, welcher die Schnittstellen zwischen den Kantonen aufzeigt (inklusive Grundwasserleitungen).

- *Roadmap für den Untergrund*

Nach einigen Interviewpartnerinnen und -partnern könnten Industrie, Verbände und öffentliche Hand mit der Hilfe einer «Roadmap» gemeinsam Massnahmen zur Entwicklung des Untergrunds erarbeiten und beschliessen. Eine «Roadmap» ist eine Plattform zu Vernetzung von Akteuren, die Massnahmen zu gemeinsam festgelegten Schlüsselthemen umsetzen wollen. Ein Beispiel für eine solche Roadmap, die genannt wurde, ist die «Roadmap Elektromobilität».²⁵ Auf Initiative des UVEK haben die Bundesämter BFE und ASTRA Vertreterinnen und Vertreter der Wirtschaft und der öffentlichen Hand eingeladen, gemeinsam Ideen zur Entwicklung der Elektromobilität zu kanalisieren. Daraus entstanden konkrete Massnahmen und Aufträge, wie beispielsweise zum Ausbau von Ladestationen.

- *Sammlung und Austausch von Daten zum Untergrund*

Die Interviewpartnerinnen und -partner anerkannten weitgehend, dass die Datengrundlage zum Untergrund aktuell ungenügend ist. Momentan besässen die Kantone unterschiedliche Informationen zum Untergrund, mit denen sie ihre Untergrundnutzungen planen. Zwar hätten vereinzelte Akteure, wie z. B. regionale Ingenieurbüros, Wissen zum Untergrund. Dieses sei bisher jedoch ihr Eigentum. Für den Aktionsplan wäre es daher wichtig zu eruieren, unter welchen Voraussetzungen Daten und Erkenntnisse zum Untergrund geteilt werden können, namentlich dann, wenn bei Projekten im Untergrund Daten gewonnen werden. Diese Daten sollten dann, laut Interviewpartnerinnen und -partnern, mit dem Ziel der Zentralisierung an ein nationales Kompetenzzentrum (wie swisstopo) übermittelt werden. Hierzu müssten jedoch auch die Bedenken der Industrie bezüglich des Verlusts von Industriegeheimnissen berücksichtigt und die damit einhergehende Frage von finanzieller Entschädigung geklärt werden. Durch eine gemeinsame geologische Datenbank, die kantonsübergreifende Modelle ermöglichen würde, könnte der Bund Prioritäten setzen und national koordinieren. Beispielsweise könnte geprüft werden, welcher Kanton welche geologischen Voraussetzungen mitbringt. Dies würde jedoch eine einheitliche Datenstruktur voraussetzen, die laut den Interviewpartnerinnen und -partnern bisher nicht existiert. Eventuell bräuchte es sogar neue technische Lösungen, um Untergrundnutzungen in 3D abbilden zu können. Zusätzlich müsste die Datensicherheit gewährleistet und überprüft werden, welche Daten öffentlich zugänglich gemacht werden können. Für die Darstellung der Daten sollten laut den Interviewpartnerinnen und -partnern einheitliche und ganzheitlich Karten zum Untergrund erstellt werden, da diese oftmals nur bis an die Kantonsgrenze reichen. Gewisse Untergrundnutzungen ziehen sich jedoch über Kantonsgrenzen hinweg, was bisher ungenügend dargestellt werde, wie z. B. im Fall von Grundwasser.

- *Gesellschaftliche Bedarfsklärung pro Nutzung und Förderung*

Eine mögliche Massnahme des Aktionsplans könnte die Kartographierung der gesellschaftlichen Bedürfnisse pro Untergrundnutzung sein, die auch deren Potenzial und Risiken erfasst. Dadurch können konkurrierende und synergetische Nutzungsinteressen besser identifiziert werden, was eine umfassende Untergrundplanung ermöglichen würde. Laut Interviewpartnerinnen und -partnern könnte der Bund zusätzlich durch die aktive Förderung der Technologie-Entwicklung und der Abdeckung der damit verbundenen Risiken eine Priorisierung der Untergrundnutzungen lenken. Als Beispiel wurde die

²⁵ Für weitere Informationen zur Roadmap Elektromobilität, siehe: <https://roadmap-elektromobilitaet.ch/de/>.

die partielle finanzielle Risikoabsicherung von Tiefengeothermie-Projekten durch das Bundesamt für Energie erwähnt.

- *Integration der Dreidimensionalität in die (unterirdische) Raumplanung*

In den meisten Gesprächen wurde betont, dass der Untergrund zukünftig in die Raumplanung integriert werden sollte. An der Oberfläche basiere die Raumplanung auf einer zweidimensionalen Raumwahrnehmung. Im Untergrund reiche das jedoch nicht aus; ein dreidimensionales Raumverständnis sei grundlegend. Entsprechend besteht die Erwartung, dass ein Aktionsplan die Integration des dreidimensionalen Raumverständnisses in die Raumplanung fördert. In diesem Zusammenhang wurde von einigen Interviewpartnerinnen und -partnern erwähnt, dass auch das Raumplanungsgesetz noch mehr auf den Untergrund zugeschnitten bzw. der Untergrund explizit adressiert werden sollte.

2.3 Syntheseprozess und Wissenstransfer: Einordnung der Erkenntnisse aus Arbeitspaket 1 und 2

Die empirische Analyse des AP1 hat gesamthaft 21 Nutzungen identifiziert, die im Schweizer Untergrund aktuell oder zukünftig eine zentrale Rolle spielen bzw. spielen werden. Dabei zeigt sich, dass Wirtschaftssektoren mit unterschiedlichen Technologien im Untergrund aktiv sind. Jedoch ist nicht nur die Ausbeutung von Untergrundressourcen, sondern auch deren Schutz (insb. des Grundwassers) mitzudenken. Ferner hat sich insbesondere in Verbindung mit dem AP2 gezeigt, dass auch die Interaktion zwischen Oberfläche und Untergrund einen wichtigen Aspekt darstellt und die Raumplanung daher dreidimensional gedacht werden muss.

Bei einer Vielzahl der im AP1 identifizierten Nutzungen handelt es sich um bereits etablierte Nutzungen des Untergrunds, die zudem in einem überwiegenden Teil aller Kantone relevant sind. Zu dieser Kategorie gehören:

- Archäologische Funde;
- Deponien;
- Geomaterialien;
- Grundwasser;
- Militärische Anlagen;
- Schutzzonen;
- Unterirdische Bauten, Lagerung, Leitungen und Verkehrsinfrastruktur;
- Untiefe Geothermie;
- Versickerung.

Auch zukünftige Nutzungen und damit verbundene neue Branchen werden in den untersuchten Kantonen gemäss den Erkenntnissen der Arbeitspakete 1 und 2 antizipiert. So gilt etwa die tiefe Geothermie in zahlreichen Kantonen als mögliche zukünftige Nutzung und in einzelnen Kantonen bestehen bereits entsprechende Pilotprojekte. Diese Nutzung wurde in den Interviews im Hinblick auf ihr Konflikt- und Synergiepotenzial differenziert bewertet. Der unterirdische Gütertransport wird vor allem in Kantonen, die Standort des Projekts Cargo Sous Terrain sein sollen, als mögliche Entwicklung genannt. Auch die Nutzung des Untergrunds als Tiefenlager ist primär bei möglichen Standortkantonen ein Thema. Einzelne Kantone sehen zudem Speicher (für Gas und CO₂) als eine zukünftige Nutzung.

In einer gesamtheitlichen Perspektive macht das AP2 deutlich, dass Grundwasser als Nutzung mit den meisten Konfliktbeziehungen betrachtet wird, z. B. mit tiefer und untiefer Geothermie, Deponien, dem Abbau von Geomaterialien und unterirdischen Infrastrukturen. Dabei sind die Einschätzungen zum richtigen Mass des Grundwasserschutzes im Verhältnis zu anderen Nutzungen ambivalent: Teils wird in den Interviews die Auffassung vertreten, dass das Grundwasser und dessen Schutz aktuell zu wenig differenziert betrachtet werden, teils wird dem Grundwasserschutz gegenüber anderen Nutzungen des Untergrunds eine Vorrangstellung zugeschrieben. Ebenfalls vielfältig sind die Konfliktbeziehungen der erwähnten unterirdischen Infrastrukturen und der tiefen und untiefen Geothermie. Diese stehen nicht nur miteinander im Konflikt (wegen des begrenzten Raums im Untergrund), sondern, wie erwähnt,

regelmässig auch mit dem Grundwasserschutz.

Das grösste Synergiepotenzial kann laut der Interviewpartnerinnen und -partnern mit Multifunktionalität bzw. Mehrfachnutzung erzielt werden. Insbesondere bei Infrastrukturen kann dem sich abzeichnenden Dichtestress im Untergrund durch die Bündelung unterschiedlicher Nutzungen begegnet werden (z. B. durch die Bündelung von Verkehrstunneln und Leitungen). Zudem könnten gewisse Nebenprodukte einer Nutzungsform die Verwirklichung anderer Nutzungen fördern (z. B. oberirdische Verwertung von in der tiefen Geothermie verwendetem Grundwasser; Nutzung der von einer unterirdischen Verkehrsinfrastruktur abgegebenen Wärme).

Mit Blick auf die Bewältigung der Nutzungskonflikte wie auch die Ausschöpfung von Synergiepotenzialen haben die Interviews zwei zentrale Herausforderungen offengelegt: Erstens setzen eine wirksame dreidimensionale Planung und das Management der Nutzungsinteressen ausreichend Wissen über die Beschaffenheit des Untergrunds voraus. Dieses fehlt nach Einschätzung der Interviewpartnerinnen und -partner noch weitgehend. Was in den Interviews allerdings ebenso betont wird, ist das Potenzial, dass durch Untergrundnutzungen gewonnene Daten zur Verbesserung der Informationslage beitragen (z. B. Bohrungen der Nagra im Zusammenhang mit dem Tiefenlager). Zweitens wurden der Föderalismus und das Arbeiten in «Silos» innerhalb der Kantone als Herausforderungen für die Untergrundregulierung genannt. Gewisse Untergrundnutzungen gehen über Kantonsgrenzen oder die Zuständigkeit einzelner Ämter hinaus. Lokale Ansätze können daher bei gewissen Nutzungsformen (z. B. Grundwasserschutz) nicht das leisten, was mit kollaborativen und gesamtheitlichen Lösungsansätzen möglich scheint.

Untergrundexpertinnen und -experten aus den Validierungsinterviews zeigten sich bezüglich dieser Erkenntnisse kaum überrascht. Sie bestätigten, dass die Nutzung nach dem Prinzip «First come, first served» erfolgt und Fachwissen sowie Begrifflichkeiten fragmentiert seien. Die Konflikt- und Sygienetzwerke bildeten nach Einschätzung der Expertinnen und Experten die Realität gut ab und zeigten auf, dass grundsätzlich weniger Bewusstsein für Synergien als für Konflikte besteht. Dieser Status Quo sei jedoch für eine gesamtheitliche und nachhaltige Untergrundentwicklung kaum zielführend. Laut den Expertinnen und Experten bedürfe es einer Vereinheitlichung des Wissens und der Begriffe, einer Bewusstmachung der Komplexität und Diversität im Untergrund, einer stetigen Abwägung zwischen Nutzung und Schutz sowie einer Integration des Untergrunds in die Raumplanung.

3 Ergebnisse Teilstudie 2: Anwendung und Erweiterung bestehender regulatorischer Grundlagen für Nutzungsbedürfnisse im Schweizer Untergrund

3.1 Arbeitspaket 3 (AP3): Einordnung der Nutzungen ins bestehende Recht

3.1.1 Zielsetzung

Der Zweck des AP3 ist es, mit Blick auf die in Teilstudie 1 identifizierten Nutzungen, Konflikte und Synergien eine rechtliche Auslegeordnung zu schaffen. Der entsprechende Überblick mit punktuellen Vertiefungen dient dazu, die Unsicherheit über die rechtlichen Grundlagen für den Raum «Untergrund» zu reduzieren und einen soliden Ausgangspunkt für die Analyse des Handlungsbedarfs (AP4) zu schaffen.

3.1.2 Vorgehen²⁶

Eine umfassende Darstellung und Analyse der Regulierung sämtlicher identifizierter Nutzungsformen kann im Rahmen des AP3 nicht geleistet werden. Aufgrund der gewonnen empirischen Erkenntnisse und der Zielsetzung des Forschungsprojekts wurde daher ein Untersuchungsaufbau gewählt, der sowohl den föderalistischen Stufenbau wie auch die verzahnte Regelung von zivilrechtlichem Eigentum, öffentlich-rechtlichem Untergrund und öffentlich-rechtlicher Regulierung berücksichtigt.

Für die Regulierung des Untergrunds im Allgemeinen ist aus rechtlicher Sicht von fundamentaler Bedeutung, ob der Untergrund im Eigentum von Privaten oder der öffentlichen Hand steht. In einem ersten Schritt geht es deshalb darum, anhand der Eigentumsordnung des ZGB den Begriff des öffentlichen Untergrunds zu bestimmen. Durch eine überblicksartige Darstellung der sektoriellen Regulierung sowie von Strategien und Aktionsplänen auf Bundesebene wird die verbleibende Regelungskompetenz der Kantone weiter konkretisiert. Welchen konkreten Regulierungsansatz die untersuchten Kantone für «ihren» Untergrund gewählt haben, wird anhand der jeweiligen kantonalen Untergrundgesetze aufgezeigt.

Raumplanung im Untergrund steht als rechtswissenschaftliche Disziplin (noch) am Anfang. Es ist daher zu untersuchen, ob die bestehenden Instrumente der Raumplanung, die grundsätzlich für die Planung an der Erdoberfläche geschaffen wurden, auf den Untergrund anwendbar sind und ob sie ausreichen, um die spezifischen Nutzungskonflikte im Untergrund zu ordnen. Es gilt mithin zu analysieren, ob das geltende Recht den Bedürfnissen einer dreidimensionalen Raumplanung gerecht wird. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf die in einzelnen Interviews aufgeworfene Frage der Schutzzonen im Untergrund gelegt.

Beim Grundwasserschutz handelt es sich zwar um eine sektorielle Regulierungskompetenz des Bundes. Eine gesonderte Darstellung rechtfertigt sich aus zwei Gründen: Erstens ist das Grundwasser gemäss den Erkenntnissen des AP1 eine in sämtlichen Kantonen relevante Nutzung des Untergrunds. Auch im AP2 kam das Grundwasser in allen Interviews zur Sprache und wurde als die Nutzung mit den meisten Konfliktbeziehungen wahrgenommen. Zweitens lässt sich anhand des Grundwasserschutzes die Komplexität des Zusammenspiels der Regulierung von Bund und Kantonen exemplarisch aufzeigen. Anhand der untersuchten Kantone Zürich, Aargau und Waadt können zudem die Auswirkungen eines kantonalen Vollzugs und einer sektoriellen Untergrundregulierung sowie die Möglichkeiten des Bundes, diesen Vollzugsföderalismus zu überspielen, dargestellt werden.

Das fehlende Wissen über den Untergrund gilt gemäss den Erkenntnissen des AP2 als zentrale Herausforderung bei der Planung und Regulierung von Untergrundnutzungen. Dieser Umstand ist als rechtswissenschaftliches bzw. regulatorisches Problem einzuordnen, bevor das geltende Vermessungs- und Geoinformationsrecht daraufhin analysiert wird, ob es der zunehmenden Bedeutung geologischer Informationen gerecht wird.

²⁶ Vgl. auch Rechtsgutachten, Ziff. 1.3.

Methodisch steht im AP3 die Analyse von Rechtsgrundlagen (Verfassung, Gesetze und Verordnungen), Rechtsprechung und rechtswissenschaftlicher Literatur nach rechtlicher Methodik im Vordergrund, so dass eine rechtliche Einordnung nach geltendem Recht erfolgen kann.²⁷

Die wichtigsten Erkenntnisse der rechtswissenschaftlichen Teilstudie 2 wurden im Folgenden für den Abschlussbericht zusammengefasst. Für weitergehende Informationen und Quellenangaben wird auf das beiliegende Rechtsgutachten verwiesen, das einen integralen Bestandteil der vorliegenden Studie darstellt.

3.1.3 Resultate

3.1.3.1 Regulierung des Untergrunds im Allgemeinen²⁸

Die Grenzen des Privateigentums sind abschliessend im Bundesrecht (ZGB) geregelt. Demnach ist die vertikale Ausdehnung des Grundeigentums dynamisch und anhand des schutzwürdigen Nutzungsinteresses im Einzelfall zu ermitteln. Als «öffentlicher Untergrund», über den die Kantone in ihrem Hoheitsgebiet verfügen, gelten folglich jene Bereiche des Erdreichs, an denen die privaten Grundeigentümer kein schutzwürdiges Interesse an einer Ausübung ihrer Nutzungsrechte haben.

Die Kantone Zürich, Aargau und Waadt regeln die Herrschaft über «ihren» Untergrund in erster Linie in Untergrundgesetzen. Diese kantonale Regulierung steht unter zwei Vorbehalten: Erstens ist die bereits erwähnte Eigentumsordnung des Zivilrechts zu beachten. Insbesondere sind von den Regeln des ZGB abweichende Definitionen des öffentlichen Untergrunds durch das kantonale Recht ungültig (z. B. eine Definition des Erdreichs ab 500 m als öffentlicher Untergrund). Zweitens hat der Bund in zahlreichen Sachbereichen seine verfassungsmässige Regulierungskompetenz so ausgeschöpft, dass das kantonale Recht zum Untergrund übersteuert wird. Dies geschieht umfassend, wenn der Bund entsprechende Projekte von der Planung (Sachplan) über das materielle Recht (z. B. Bewilligungsvoraussetzungen) bis zum Verfahren (Plangenehmigung) spezialgesetzlich regelt. Ein Beispiel dafür ist das suprakantonale Projekt Cargo Sous Terrain und der damit verbundene Sachplan Unterirdischer Gütertransport.

Um eine nachhaltige Entwicklung im Untergrund zu fördern, richtet sich der Bund zudem mittels Strategien und Aktionsplänen (sog. Soft Law) an die Kantone, die Gemeinden und Private. Weil dem Bund eine allgemeine Gesetzgebungskompetenz zum Untergrund fehlt, sind derartige «weiche» Regelungen ein wichtiges Instrument des Bundes, um auf eine ganzheitlich nachhaltige Regulierung des Untergrunds hinzuwirken. Die rechtliche Verbindlichkeit von Strategien und Aktionsplänen ist jedoch begrenzt. Sie mögen für gewisse staatliche und private Akteure Leitplanken und Orientierungspunkte sein; Soft Law ist jedoch nicht geeignet, den Entscheidungsspielraum der Kantone im Rahmen ihrer Gebietshoheit einzuschränken oder Private zu einem bestimmten Verhalten zu verpflichten. Dazu sind nur die Verfassungs-, Gesetz- und Verordnungsgeber der jeweils kompetenten Gemeinwesen legitimiert.

3.1.3.2 Raumplanung im Untergrund²⁹

Die Bundesverfassung ermächtigt den Bund, die Grundsätze der Raumplanung festzulegen und die Bestrebungen der Kantone in diesem Bereich zu fördern und zu koordinieren. Die Umsetzung dieser Anliegen erfolgt in erster Linie durch das Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG). Die Bestimmungen des RPG gelangen grundsätzlich auch auf den Untergrund zur Anwendung, obwohl dieser nicht explizit genannt wird. Damit besteht für den Untergrund eine allgemeine Planungspflicht in Bezug auf Tätigkeiten, welche die Nutzung des Bodens oder die Besiedlung des Landes verändern oder erhalten. Die Planungsbehörden des Bundes, der Kantone und Gemeinden müssen folglich die nötigen Planungen im Untergrund erarbeiten und diese aufeinander abstimmen. Da, wie erwähnt, keine besonderen Regelungen zum Untergrund bestehen, sind Nutzungen des Untergrunds unter den

²⁷ Dazu bereits oben Fn. 16.

²⁸ Rechtsgutachten, Ziff. 2.

²⁹ Rechtsgutachten, Ziff. 3.

gleichen Voraussetzungen wie Nutzungen an der Erdoberfläche planungs- und bewilligungspflichtig, und es gelangen die gleichen raumplanerischen Instrumente zur Anwendung. Das bedeutet jedoch auch, dass sich der Untergrund der allgemeinen Planungspflicht des RPG entzieht, soweit er für die Siedlungsentwicklung irrelevant ist.

Soweit hingegen die Nutzung des Untergrunds in einem Zusammenhang mit der Siedlungsentwicklung bzw. mit der Trennung von Bauland und Nicht-Bauland steht, ordnet das geltende Raumplanungsrecht grundsätzlich auch die Entwicklung im Untergrund. Eine gewisse Rechtsunsicherheit besteht trotzdem. Erstens, weil die Rechtsgrundlagen den Untergrund kaum explizit nennen, beispielsweise wenn Nutzungsreglemente zwar die maximale Bauhöhe, nicht aber die maximale Bautiefe festlegen. Zweitens ist die Rolle und Funktionsweise des Raumplanungsrechts im Untergrund rechtswissenschaftlich noch wenig erforscht. Bei neuen Nutzungsformen des Untergrunds wird sich immer wieder die Frage stellen, ob allenfalls spezifische Herausforderungen mit den bestehenden, grundsätzlich für die Planung an der Oberfläche konzipierten, Instrumenten bewältigt werden können. Weitgehend unklar ist etwa, ob bzw. wie planungsrechtliche Instrumente auf den Untergrund anwendbar sind, wenn kein Zusammenhang mit der Siedlungsentwicklung besteht. Das wäre beispielsweise der Fall, wenn Zonen für den Schutz von Ökosystemen im Untergrund definiert werden sollen. Mit der nächsten Teilrevision des RPG sollen die Planungsgrundsätze zwar um die Dimension Untergrund ergänzt werden; ob mit den geplanten Bestimmungen aber bereits ein ausreichend konkretes «Untergrundplanungsrecht» geschaffen wird, ist angesichts der vielfältigen bestehenden und zukünftigen Nutzungsformen fraglich.

Im Übrigen zeigt sich, dass die Sachplanung durch den Bund bei der Planung und Ordnung der Nutzung des Untergrunds zentral ist. Zahlreiche der aktuellen und zukünftigen Nutzungen haben überkantonale Auswirkungen auf die bestehende Raumordnung, weshalb die kantonalen Planungsinstrumente hier zu kurz greifen würden. Somit ist die Frage nach der Kompetenzverteilung zwischen dem Bund und den Kantonen auch mit Blick auf das «Untergrundplanungsrecht» fundamental; denn der Bund ist nur zur Sachplanung befugt, wenn er für den entsprechenden Sachbereich von der Bundesverfassung ermächtigt ist und entsprechende Ausführungsgesetze erlassen hat (z. B. bei militärischen Anlagen, Nationalstrassentunnel, Anlagen des unterirdischen Gütertransports).

3.1.3.3 Grundwasserschutz³⁰

Im Bereich des Grundwasserschutzes macht der Bund weitreichende inhaltliche (Mindest-)Vorgaben, während die Kantone die bundesrechtlichen Regelungen umsetzen. Den Kantonen kommt dabei ein weitgehender Ermessensspielraum zu, sodass die Anwendung des Bundesrechts in den einzelnen Kantonen zu unterschiedlichen Ergebnissen führt.

Exemplarisch zeigen sich die Auswirkungen dieses Vollzugsföderalismus bei der sogenannten 10 %-Regel. Demnach dürfen die Kantone für Bauten, die unter dem mittleren Grundwasserspiegel liegen, eine Ausnahmegewilligung erteilen, sofern die Durchflusskapazität des Grundwassers gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um höchstens 10 % vermindert wird. Während sich der Kanton Waadt stark an den Vollzugshilfen des Bundes orientiert, gilt im Kanton Zürich eine sehr strenge Praxis, die darauf abzielt, die Durchflusskapazität von Grundwasserträgern zu 100 % zu erhalten.

Zu beachten ist, dass der Bund diesen Vollzugsföderalismus wie auch seine eigenen allgemeinen Regeln zum Grundwasserschutz für einzelne Sachbereiche mittels Spezialgesetzen überspielen kann. So sieht beispielsweise das UGüTG (Bundesgesetz über den unterirdischen Gütertransport) für den Bau von interkantonalen Anlagen für den unterirdischen Gütertransport vor, dass der Bund einen Sachplan erlässt und ein Plangenehmigungsverfahren durchführt. Die notwendigen Bewilligungen werden somit nicht von den kantonalen Behörden, sondern in einem koordinierten Verfahren von der Bundesverwaltung erteilt. Zudem kann der Bund in den Spezialgesetzen spezifische Bewilligungsvoraussetzungen festlegen. In Bezug auf entsprechend regulierte Projekte ist der

³⁰ Rechtsgutachten, Ziff. 4.

Vollzugsföderalismus demnach ausgehebelt und im Verhältnis zu den allgemeinen Regeln des Gewässerschutzes können besondere Bestimmungen bestehen.

3.1.3.4 Vermessungs- und Geoinformationsrecht³¹

Eine wirksame Regulierung des Untergrunds ist nur möglich, wenn der Staat das notwendige Wissen über die Beschaffenheit des Erdreichs hat. Der Staat muss «wissen, was er macht», wenn er Regelungen zum Untergrund erlässt. Ansonsten steht nicht nur die Legitimität der staatlichen Regulierung, sondern auch ihre Rechtmässigkeit in Frage, zumal unwirksame oder sinnlose Regelungen verfassungswidrig sind. So bestimmt die Grundwasserschutzgesetzgebung beispielsweise, dass die Temperatur des Grundwassers durch Wärmeeintrag oder -entzug gegenüber dem natürlichen Zustand um höchstens 3 °C verändert werden darf (sog. 3 °C-Regel), ohne dass wissenschaftlich geklärt scheint, ob und welche negativen Folgen in welchen Räumen des Untergrunds bei grösseren Temperaturschwankungen zu befürchten sind. Es ist in erster Linie die Aufgabe des Gesetzgebers (Parlament) und des Ordnungsgebers (Regierung, Verwaltungsbehörden) sicherzustellen, dass die Regulierung des Untergrunds die geologischen, hydrologischen und ökologischen Bedingungen berücksichtigt. Da der Untergrund in der Schweiz bisher nur in Einzelfällen explorativ untersucht wurde, fehlt heute oft das dazu notwendige Wissen, und es zu beschaffen, ist aufwändig und teuer.

Vor diesem Hintergrund nimmt das Geoinformationsrecht bei der Regulierung des Untergrunds eine Schlüsselrolle ein. Dem trägt der Bund mit der aktuellen Revision des GeolG Rechnung, indem er Private zur Abgabe von Daten über den Untergrund verpflichtet und den Austausch von Daten zwischen den Behörden verbessert. Wichtige Fragen bleiben indes noch in der entsprechenden Verordnung zu regeln. Auch die Abgrenzung zur Kompetenz der Kantone scheint noch nicht abschliessend geklärt, zumal den Kantonen unter dem revidierten GeolG ein Regelungsspielraum zukommen soll, um im Vergleich zum Bundesrecht weitergehend Daten zu erheben.

Die bestehenden kantonalen Regelungen betreffend geologische Informationen sind uneinheitlich, vor allem bei Daten, die bei Privaten eingeholt werden. Das Anliegen einer Harmonisierung dürfte daher auch mit der Revision des GeolG nur teilweise, bzw. in Bezug auf einen Mindeststandard, erreicht werden.

3.2 Arbeitspaket 4 (AP4): Regulierungs- und Forschungsbedarf

3.2.1 Zielsetzung

Im AP4 gilt es zu prüfen, ob die Nutzungen und Bedürfnisse aus der Teilstudie 1 sinnvoll im bestehenden Rechtsrahmen (AP3) erfasst werden können und wo allenfalls regulatorischer Anpassungsbedarf oder juristische Forschungslücken bestehen. Das Ziel von AP4 ist es, den regulatorischen Handlungsbedarf zu bezeichnen und mögliche Wege einer zukünftigen Regulierung aufzuzeigen.

3.2.2 Vorgehen

Das AP4 thematisiert den Handlungsbedarf, der sich aus der rechtlichen Einordnung der wichtigsten Untergrundnutzungen (in AP3) ergibt, und untersucht die der rechtlichen Analyse zugrundeliegenden Konflikte und Synergien³² darauf hin, ob sie im geltenden Recht und in der bestehenden juristischen Forschung ausreichend berücksichtigt werden. Damit hierzu Aussagen getroffen werden können, sind die eruierten Nutzungsbedürfnisse mit den bestehenden rechtlichen Grundlagen bzw. dem Stand der Forschung zu verbinden und zu reflektieren.

³¹ Rechtsgutachten, Ziff. 5.

³² Dazu oben Ziff. 3.1.1.

3.2.3 Resultate³³

3.2.3.1 «Untergrundverfassung»: Kompetenzabgrenzung von Bund und Kantonen ist weiter zu untersuchen und zu präzisieren

«Neue» Regulierungsbereiche fallen grundsätzlich in die Zuständigkeit der Kantone, weil der Bund nur soweit zur Regulierung kompetent ist, als ihn die Bundesverfassung dazu ermächtigt. Da keine allgemeine Bundeskompetenz zur Regulierung des Untergrunds besteht, ist bei jeder Nutzungsform einzeln zu ermitteln, ob diese von einer der bestehenden Bundeskompetenzen erfasst ist. Besteht keine Bundeskompetenz, sind die Kantone zuständig.

Die besondere Schwierigkeit dabei ist, dass die «Dimension Untergrund» beim Erlass der Bestimmungen nicht explizit mitgedacht wurde. Die Strategie Untergrund Schweiz der EGK sieht jedoch ein gesamtheitliches Verständnis des Untergrundes vor und versteht ihn als eine multifunktionale Ressource. Indes gehört der öffentliche Untergrund zum Staatsterritorium der Kantone. Die Regulierung des Untergrunds steht somit grundsätzlich in deren originärer Kompetenz (Gebietshoheit). In diesem Spannungsfeld kann umstritten sein, ob und inwieweit sich bestehende Sachkompetenzen des Bundes auch auf den Untergrund beziehen. Darunter leidet die Rechtssicherheit.

Aktuell neigt der Bundesgesetzgeber zu einem tendenziell weiten Verständnis seiner Sachkompetenzen und bezieht Untergrundaspekte ohne Weiteres mit ein. Dies zeigt sich exemplarisch bei der aktuellen Revision des GeolG. Bislang werden die Grundsätze der Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen damit zwar nicht grundsätzlich in Frage gestellt; diese Gefahr besteht indes latent, weil gegebenenfalls auch kompetenzwidrig erlassene Bundesgesetze verbindlich sind.

Es drängt sich daher auf, die verfassungsrechtlichen Regulierungskompetenzen des Bundes im Untergrund umfassend und kritisch zu untersuchen. Isolierte Analysen einzelner Sachkompetenzen mit Blick auf bestimmte gesetzgeberische Vorhaben (wie z. B. die Revision des GeolG) mögen zwar sinnvoll sein, können aber keine stringente Gesamtsicht gewährleisten und eine nachhaltige, ganzheitliche Untergrundentwicklung, wie in der Untergrundstrategie 2023 angedacht, nur begrenzt unterstützen.

In anderen Bereichen staatlicher Regulierung, die ebenfalls durch komplexe Verfassungsgrundlagen und eine schwer durchschaubare Kompetenzverteilung gekennzeichnet sind, analysiert die Rechtswissenschaft entsprechende Sachbereichsverfassungen (z. B. «Sicherheitsverfassung», «Wirtschaftsverfassung»). Eine solche Analyse bietet sich für den Untergrund an und könnte als eine «Untergrundverfassung» alle für die Regulierung des Untergrunds relevanten Bestimmungen der Bundesverfassung identifizieren, miteinander in Zusammenhang setzen und systematisch darstellen. Eine derart geschärfte Untergrundverfassung würde eine rechtswissenschaftliche Diskussion darüber ermöglichen, inwieweit die bestehenden Bundeskompetenzen den Bund zur Regulierung des Untergrunds ermächtigen. Zudem könnte damit eine politische Diskussion darüber ausgelöst werden, welche zusätzlichen Kompetenzen der Bund im Untergrund erhalten oder abgeben sollte.

3.2.3.2 Soft Law: Strategische Impulse sind in (v. a. kantonales) Recht zu überführen

Auf der Strategieebene sind grundlegende Interessen bei der Nutzung des Untergrunds weitgehend erkannt und formuliert (Strategie Untergrund Schweiz, Strategie Geoinformation Schweiz, Aktionsplan Digitalisierung des Untergrunds). Dass der Bund ins Soft Law ausweicht, ist insofern verständlich, als ihm von Verfassungs wegen keine allgemeine Kompetenz zur Regulierung des Untergrunds zukommt. Ein integraler Regulierungsansatz auf Bundesebene kann daher vor allem über «weiche» Regulierungsinstrumente verfolgt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass sich die Aussagen von Strategien, Aktionsplänen etc. auf die Verfassung und das Gesetz abstützen, da Soft Law nur über eine geringe eigenständige demokratische und rechtsstaatliche Legitimation verfügt. Entsprechend ist auch die normative Kraft von derartigem Soft Law, wie es sein Name schon ausdrückt, begrenzt. Wenn Soft Law nicht in Rechtsnormen überführt wird, die für Behörden und Private verbindlich sind («Hard

³³ Beiliegendes Rechtsgutachten, Ziff. 6.

Law»), dann besteht ein hohes Risiko, dass seine Steuerung einer nachhaltigen Untergrundentwicklung weitgehend wirkungslos bleibt.

Bei der Überführung der Aussagen des Soft Law in Hard Law besteht die Herausforderung, dass es primär die Kantone sind, die über den öffentlichen Untergrund verfügen, weshalb wesentliche Aspekte der Untergrundregulierung stets auch auf kantonaler Ebene konsensfähig sein müssen. Ansonsten werden sie im kantonalen Gesetzgebungsverfahren nicht umsetzbar sein. Es kommt erschwerend hinzu, dass in den Kantonen je unterschiedliche geologische Bedingungen und gesellschaftliche Interesse bestehen können. Aktionspläne können in diesem Kontext als Zwischenschritt dienen und diese Problemfelder vorausdenken. Ein frühzeitiger und umfassender Einbezug der Kantone und weiterer relevanter politischer Akteure ist dabei von zentraler Bedeutung. In gewissen Bereichen könnten auch Mustergesetze, die im Anschluss an Aktionspläne – allenfalls wiederum unter Beteiligung von Bundesbehörden und privaten Akteuren – interkantonal ausgearbeitet werden. Solche Mustergesetze können die einzelnen Kantone beim Erlass der konkreten Gesetze und Verordnungen unterstützen. Aktuell existiert bereits ein Mustergesetz der Nordostschweizer Kantone über die Nutzung des Untergrundes; dessen Wirkung ist allerdings regional begrenzt.

3.2.3.3 Der Bund muss sich in seinen Ausführungserlassen stärker mit dem Untergrund auseinandersetzen

Das bereits bei den Bundeskompetenzen festgestellte Problem, dass der Untergrund in den einzelnen Sachgebieten bei den bestehenden Normen kaum je mitgedacht wurde, geht der Gesetzgeber aktuell bei verschiedenen Erlassen an. Entsprechende «Untergrund-Revisionen» laufen beispielsweise im Raumplanungs- und Geoinformationsrecht.

Zahlreiche Ausführungserlasse bilden die zunehmende Bedeutung des Untergrunds für eine nachhaltige Entwicklung der Schweiz noch kaum ab. Dabei ist in erster Linie an die Gewässerschutzgesetzgebung zu denken, da sich diese Regulierung mit praktisch allen Nutzungsformen im Untergrund überschneidet. Es ist aber davon auszugehen, dass es sich in anderen Sachbereichen, wie z. B. der Militärgesetzgebung oder dem Schutz archäologischer Stätten, ähnlich verhält und die vielfältigen Nutzungsinteressen im Untergrund noch kaum adäquat abgebildet bzw. austariert sind.

Eine möglichst nachhaltige Entwicklung im Untergrund kann nicht durch eine isolierte Maximierung der Nachhaltigkeit in den einzelnen Sachbereichen (Grundwasser, Verkehr, Energie, etc.) erreicht werden. Es bedarf vielmehr einer ganzheitlichen und differenzierten Interessenabwägung. Erschwerend kommt hinzu, dass das notwendige geologische Wissen über den Untergrund hierfür teilweise noch fehlt.

Aus einer staatsrechtlichen Perspektive liegt es grundsätzlich am Gesetzgeber, die entsprechenden Interessenkonflikte zu eruieren, die Interessen zu koordinieren und allenfalls verändert auszutarieren. Zu fragen ist beispielsweise: Ist die bestehende Grundwasserschutzgesetzgebung angesichts der technischen Entwicklungen, der vorliegenden Erkenntnisse über den Untergrund und neuer, nachhaltiger Nutzungsformen des Untergrunds noch angemessen? Rechtfertigt es sich nach wie vor, dass der tiefe Untergrund unter bestimmten militärischen Anlagen der Nutzung absolut entzogen ist? Muss das Interesse am Schutz archäologischer Stätten im Verhältnis zu Untergrundprojekten, die der Nachhaltigkeit dienen, relativiert werden? Dabei mögen aktuelle Entwicklungen an der Oberfläche, die in jüngster Zeit teilweise überhastet scheinen, eine Warnung sein. Zu denken ist hier an die dringliche Änderung des Energiegesetzes mit Massnahmen zur kurzfristigen Bereitstellung einer sicheren Stromversorgung im Winter (sog. Solaroffensive), die am 1. Oktober 2022 in Kraft getreten ist. Sollen im Untergrund entsprechende «Schnellschüsse», bei denen eine sorgfältige und umfassende Interessenabwägung nicht mehr möglich ist, vermieden werden, muss die Auseinandersetzung mit den möglichen Interessenverschiebungen so bald als möglich stattfinden.

3.2.3.4 Es bedarf kantonalen Untergrundgesetze

Die vorliegende Studie bezieht sich bewusst auf Kantone, in denen die Nutzung des Untergrunds wichtig und weit fortgeschritten ist. Entsprechend verfügen die drei untersuchten Kantone über ein spezifisches Gesetz zur Regulierung ihres Untergrunds. Das darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass in mehr als der Hälfte aller Kantone keine Untergrundgesetze existieren. Die Rechtslage dürfte in diesen Kantonen entsprechend schwer zu überschauen und wenig klar sein, was der Rechtssicherheit schadet.

Die untersuchten kantonalen Untergrundgesetze von Zürich, Aargau und Waadt enthalten inhaltlich unterschiedliche Regelungen (Umgang mit Informationen, Rückbaupflicht, bewilligungs- und konzessionspflichtige Tätigkeiten). Die Kantone können insofern auch als «Versuchslabore» für unterschiedliche Regulierungen angesehen werden. Die Analyse der Untergrundgesetze schafft insbesondere zu zwei Nachhaltigkeitsaspekten erste Erkenntnisse:

- **Wiederherstellung des vorbestehenden Zustands:** Die Pflicht zur Wiederherstellung des Zustands vor der Nutzung dient der nachhaltigen Nutzung des Untergrunds. Obschon kantonale Untergrundgesetze die Wiederherstellung adressieren, wird dieses Interesse nicht konsequent verfolgt. Das mag daran liegen, dass viele Untergrundprojekte bei einer vollen Finanzierung des Rückbaus kaum mehr wirtschaftlich wären. Die Verpflichtungen zum Rückbau sind hauptsächlich als Kann-Bestimmungen ausgestaltet. Zudem fehlen Regelungen für den Fall der Zahlungsunfähigkeit. Rückbauverpflichtungen ohne griffige Regelung der Finanzierung dürften angesichts des Zeithorizonts von mindestens mehreren Jahrzehnten keine Wirkung zeigen.
- **Nutzung von Synergien:** Die Erlasse adressieren, wie erwähnt, zwar die Wiederherstellung, die Nutzung von Synergien ist hingegen – abgesehen von der Informationsgewinnung – nicht vorgesehen. So beschäftigen sich die kantonalen Untergrundgesetze beispielsweise nicht mit der Möglichkeit, dass eine unterirdische Infrastruktur umgenutzt werden könnte. Auch Verfahren zur Förderung der Mehrfachnutzung sind nicht vorgesehen (z. B. Koordination verschiedener Verfahren oder eine Bewilligung unter entsprechenden Auflagen).

Schliesslich zeigt sich, dass die Leistungsfähigkeit der föderalen Regulierung an Grenzen stösst. Die Geologie hält sich nicht an die Kantonsgrenzen, weshalb eine unterschiedliche kantonale Regulierung und Vollzugspraxis, z. B. bei Grossprojekten, problematisch sein kann. Entsprechend übersteuert der Bund die kantonale Regulierung bei überregionalen Projekten mittels Sachplanung und Plangenehmigungsverfahren, wodurch die üblichen kantonalen Bewilligungen und Konzessionen wegfallen. Die Kantone sind, soweit konkret betroffen, lediglich als verfahrensbeteiligte Gemeinwesen involviert. Dieses Vorgehen ist jedoch nur in Bereichen zulässig, in denen der Bund durch die Bundesverfassung mit den entsprechenden Kompetenzen ausgestattet ist.

3.2.3.5 Das Planungsrecht befindet sich in puncto Untergrund im Experimentierstadium

Das Raumplanungsrecht und seine Instrumente gelten grundsätzlich auch für den Untergrund. Es ist jedoch nicht spezifisch auf den Untergrund ausgerichtet. Aufgrund der Verbindung des klassischen Planungsrechts mit der Siedlungsentwicklung sind Nutzungen des tiefen Untergrunds, die über keine unmittelbare Verbindung zur Oberfläche verfügen, planungsrechtlich nur schwer fassbar. Es ist noch nicht abschliessend geklärt, ob das klassische Planungsrecht ausreicht, um aktuelle und absehbare Nutzungsinteressen im Untergrund umfassend zu ordnen, oder ob neue bzw. analoge planerische Instrumente speziell für den Untergrund entwickelt werden müssten (z. B. selbständige Schutzzonen im Untergrund, Förderung von Synergien im Untergrund). Auch weil sich die Rechtswissenschaft mit diesen Fragen erst punktuell auseinandergesetzt hat, besteht eine gewisse Rechtsunsicherheit.

3.2.3.6 Der Bund kann den Vollzugsföderalismus im Grundwasserschutz punktuell übersteuern

Im Grundwasserschutz lassen sich die zahlreichen bereits angesprochenen Herausforderungen und Fragen in Bezug auf eine nachhaltige Nutzung des Untergrunds exemplarisch beobachten.

Dem Bund kommt zwar eine umfassende Kompetenz für den Grundwasserschutz zu. Im Rahmen des Vollzugs verfügen die Kantone jedoch über einen erheblichen Ermessensspielraum, den sie unterschiedlich ausnutzen. Dies gilt für die Planungsebene ebenso wie für die Umsetzung konkreter materiellrechtlicher Vorgaben, wie beispielsweise die erwähnte 10 %-Regel bei Ausnahmegewilligungen für Einbauten in nutzbare unterirdische Gewässer und die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete (Gewässerschutzbereich Au).

Zur Umsetzung von Grossprojekten im Untergrund kann der Bund auch diesen Vollzugsföderalismus durch einen Sachplan in Verbindung mit einem Plangenehmigungsverfahren weitgehend aushebeln und darüber hinaus auch von seiner eigenen allgemeinen Untergrundregulierung abweichen, wie sie insbesondere im Gewässerschutzgesetz und der entsprechenden Verordnung zu finden ist. Am Beispiel des Grundwasserschutzes zeigt sich mit anderen Worten, dass die Untergrundregulierung aus Sicht des Bundes oftmals eine projektbezogene Regulierung ist (z. B. Tiefenlager für radioaktive Abfälle, Cargo Sous Terrain), mit der er kantonale und allgemeine bundesrechtliche Vorgaben überspielt.

3.2.3.7 Die zentrale Bedeutung des Vermessungs- und Geoinformationsrechts

Die Bedeutung der Harmonisierung und Koordination der informationellen Tätigkeiten im Untergrund hat der Gesetzgeber erkannt. So geht der Bund in Bezug auf eine einheitliche Regulierung dieser landesgeologischen Aufgaben voran. Seine diesbezügliche Kompetenz ist jedoch umstritten, und die Abgrenzung der verbleibenden Kompetenzen der Kantone in diesem Bereich ist nicht abschliessend geklärt. In Bezug auf die Verpflichtung privater Dateneinhaber zur Offenlegung geologischer Daten scheint der Bund selbst davon auszugehen, dass für das kantonale Recht ein weitergehender Regelungsspielraum verbleibt, zumal die Kantone diesbezüglich über das geplante Bundesrecht hinausgehende Pflichten vorsehen dürfen.

Auffällig ist, dass trotz des grundsätzlich anerkannten Harmonisierungsinteresses die bestehenden Regelungen in den drei analysierten Kantonen inhaltlich stark voneinander abweichen, insbesondere in Bezug auf die zentralen Fragen, welche Informationen erhoben werden und wie mit bei Privaten erhobenen Daten umzugehen ist. Zudem finden sich in den kantonalen Untergrundgesetzen diverse Regelungen, die Geoinformationen betreffen. Zu beachten ist, dass die untersuchten Kantone insofern nicht repräsentativ sind, als zahlreiche Kantone mangels entsprechender Untergrund-Erlasse über keine Regelungen zur Datenweitergabe bei Untergrundnutzungen verfügen dürften.

Auf Bundesebene wird die Frage, ob und inwieweit die eingelieferten geologischen Daten für Dritte bzw. der Öffentlichkeit zugänglich sein sollen, auf Verordnungsebene zu regeln sein. Das Gesetz verpflichtet den Bundesrat, dabei die wirtschaftlichen Interessen der an den Daten Berechtigten, insbesondere das Fabrikations- und Geschäftsgeheimnis, angemessen zu berücksichtigen. Angesichts der parallelen Kompetenz dürften die Kantone aber, wie erwähnt, auch in diesem Punkt eigene, weitergehende Regelungen vorsehen.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

4.1 Rechtliche Einordnung der Erwartungen an den Aktionsplan

Im Arbeitspaket 2 (siehe Kapitel 2.2.3.5) wurden die Erwartungen der Interviewpartnerinnen und -partner an den Aktionsplan festgehalten. Diese werden im Folgenden aus rechtswissenschaftlicher Perspektive geordnet und anhand der Erkenntnisse der Arbeitspakete 3 und 4 analysiert und bewertet. Damit soll untersucht werden, ob zwischen den in den Interviews geäußerten Erwartungen an einen Aktionsplan und den bestehenden rechtlichen Grundlagen Diskrepanzen bestehen und allenfalls Handlungsbedarf besteht.

- *Erwartung 1: Einbezug der relevanten Akteure in die Ausarbeitung des Aktionsplans*

Alle befragten Interviewpartnerinnen und -partner waren sich einig, dass ein partizipatives Vorgehen für die Ausarbeitung des Aktionsplans nötig ist. Auch aus rechtlicher Perspektive erscheint ein frühzeitiger und umfassender Einbezug der Kantone und Interessenvertreterinnen und -vertreter angezeigt, denn die rechtliche Bindungswirkung von Soft Law ist begrenzt. Damit Aussagen des Aktionsplans für Behörden und Private verbindlich werden, müssen sie erst in Gesetzes- und Verordnungsnormen – vor allem des kantonalen Rechts – überführt werden. Diese Umsetzung der im Soft Law formulierten Anliegen gelingt erfahrungsgemäss nur dann, wenn sie bei den jeweils relevanten politischen Akteuren ausreichend abgestützt sind.

- *Erwartung 2: Entwurf einer nationalen Vision für die nachhaltige Entwicklung im Untergrund*

Die Mehrheit der Interviewpartnerinnen und -partner wünschte sich eine nationale Vision für die nachhaltige Untergrundentwicklung. Mit einer Vision können Aussagen getroffen werden, die über den Status Quo und das geltende Recht hinausgehen. Von seiner Rechtsnatur her eignet sich ein Aktionsplan grundsätzlich, um eine gemeinsame Vision von Bund, Kantonen und privaten Akteuren für die zukünftige Entwicklung im Schweizer Untergrund festzuhalten. Gleichwohl ist zentral, dass sich diese inhaltlich an den bestehenden Wertentscheidungen von Verfassung und Gesetz orientiert, ansonsten würde sie sich als ungenügend legitimiert erweisen.

Soll beispielsweise der Nachhaltigkeitsbegriff im Kontext des Untergrunds geschärft werden, müssen Aussagen zur Nachhaltigkeit in Verfassung und Gesetz berücksichtigt werden. Zentral dürfte dabei das verfassungsrechtliche Nachhaltigkeitsprinzip in Art. 73 BV sein. Demnach streben Bund und Kantone ein auf Dauer ausgewogenes Verhältnis zwischen der Natur und ihrer Erneuerungsfähigkeit einerseits sowie ihrer Beanspruchung durch den Menschen andererseits an.

- *Erwartung 3: Schaffung (politischer) Visibilität für die Thematik Untergrund*

Die Schaffung (politischer) Visibilität für die Thematik Untergrund wurde von einigen der Interviewpartnerinnen und -partner angesprochen. Der Untergrund und seine Ressourcen sind aktuell im politischen Diskurs über einzelne Nutzungen vertreten (z. B. Tiefenlager, Cargo Sous Terrain), jedoch nicht als interdisziplinäres Ökosystem. Auch in der Rechtswissenschaft fehlt eine ganzheitliche Perspektive auf den Untergrund. Die Regulierung und auch die entsprechende Forschung stehen noch am Anfang und sind stark fragmentiert.

- *Erwartung 4: Klärung der Kompetenzen und Verantwortlichkeiten zwischen Bund und Kantonen*

Die Kompetenzabgrenzung zwischen Bund und Kantonen wurde von allen Interviewpartnerinnen und -partnern als unklar empfunden. Die rechtswissenschaftliche Analyse bestätigt, dass die Kompetenzregelungen zwischen Bund und Kantonen in Bezug auf den Untergrund teilweise unklar sind. Der Bund hat gemäss geltendem Verfassungsrecht keine Kompetenz, in umfassender Weise allgemeine verbindliche Regelungen, Rahmenbedingungen oder Prioritäten für die Nutzung des Untergrunds festzulegen. Er muss sich daher stets auf eine oder mehrere sektorielle Kompetenzen stützen können. Allerdings ist bei zahlreichen Bundeskompetenzen noch kaum geklärt, wie weit sich diese auch auf den Untergrund beziehen.

Allgemein liegt der Entscheid über die Kompetenzverteilung beim Bundesverfassungsgeber (Volk und Stände). Wo die Bundesverfassung den Bund zur Regulierung ermächtigt, liegt es in erster Linie an der Bundesversammlung, als Gesetzgeberin diese Kompetenz auszuüben. Ein Aktionsplan ist insofern nicht geeignet, um die Kompetenzverteilung zwischen Bund und Kantonen zu klären oder gar neu zu ordnen. Allenfalls könnte ein Aktionsplan übereinstimmende Auffassungen zur geltenden oder zukünftigen Kompetenzordnung festhalten. Weder Verfassungs- noch Gesetzgeber wären durch entsprechende Aussagen gebunden. Es würden aber immerhin Anhaltspunkte dafür geschaffen, welche Sachbereiche umstritten und welche unumstritten sind.

- *Erwartung 5: Schaffung verbindlicher Leitlinien, Rahmenbedingungen und Regelungen auf nationaler Ebene*

Ob ein Aktionsplan auf Bundesebene verbindliche Massnahmen formulieren sollte, wurde von den Interviewpartnerinnen und -partnern unterschiedlich bewertet. Rechtlich gesehen kann der Bund verbindliche Normen für Private und Behörden nur erlassen, sofern die Bundesverfassung ihn dazu ermächtigt. Zudem kann er dies nur in Form von Gesetzen und Verordnungen tun, nicht aber unmittelbar durch einen Aktionsplan. Nachfolgend werden einzelne Aspekte aus unterschiedlichen Interviewgesprächen genauer beleuchtet:

Sachplanung und Raumplanung allgemein: Die Tatsache, dass ein Projekt von überregionaler Bedeutung ist, begründet keine Bundeskompetenz für eine Sachplanung. Dieses Instrument steht dem Bund nur zur Verfügung, soweit ihn die Bundesverfassung für den entsprechenden Sachbereich ermächtigt (z. B. bei militärischen Anlagen, Eisenbahntunnels). Im Allgemeinen verfügt der Bund im Bereich der Raumplanung über die Kompetenz, Grundzüge festzulegen und die raumplanerischen Bestrebungen der Kantone zu fördern und zu koordinieren. Diese Kompetenzen beziehen sich grundsätzlich auch auf den Untergrund. Die Integration der Dreidimensionalität in die Raumplanung liegt somit zumindest teilweise in der Zuständigkeit des Bundes. Derzeit läuft eine Revision des Raumplanungsgesetzes, mit der Bestimmungen zum Untergrund geschaffen werden sollen. Unklar scheint allerdings, ob diese Revision mit Blick auf die unterschiedlichen aktuellen und zukünftigen Nutzungen ausreichen wird. Wie erwähnt, können im Aktionsplan keine unmittelbar verbindlichen Regelungen geschaffen werden. Der Aktionsplan kann jedoch ein wichtiges Instrument sein, um Stossrichtungen für die zukünftige Entwicklungen eines «Untergrundplanungsrechts» aufzuzeigen.

Kosten der Untergrundnutzung: Gemäss geltendem Verfassungsrecht verfügt der Bund nicht über die Kompetenz, den Kantonen zu den Kosten von Untergrundnutzungen verbindliche Vorgaben zu machen. Im Rahmen eines Aktionsplans könnte immerhin die Bedeutung klarer kantonaler Regelungen zu dieser Frage festgehalten werden.

Innovations- und Technologieförderung: Eine allgemeine Bundeskompetenz zur Innovations- und Technologieförderung existiert nicht. Es ist daher im Einzelfall zu prüfen, ob der Bund Fördermassnahmen ergreifen darf. Im Übrigen könnte ein Aktionsplan immerhin Aussagen zu den möglichen Stossrichtungen einer untergrundbezogenen Innovations- und Technologieförderung in Bund und Kantonen enthalten.

Priorisierung der Nutzungsinteressen im Untergrund: Im demokratischen Rechtsstaat ist es grundsätzlich Aufgabe des Verfassungs- und Gesetzgebers, die öffentlichen Interessen zu bestimmen und die grundlegenden Interessenabwägungen vorzunehmen. Insofern können im Rahmen eines Aktionsplans keine neuen, eigenständigen Nutzungsprioritäten oder gesellschaftliche Bedürfnisse entwickelt werden. Entsprechende Aussagen müssen sich an Verfassung und Gesetz ausrichten, ansonsten wird die Legitimation des Aktionsplans in Frage stehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass verschiedene Erwartungen an den Aktionsplan zum heutigen Zeitpunkt regulatorisch nicht erfüllbar sind, weil sie Bereiche betreffen, in denen allein die Kantone für die Regulierung zuständig sind. In diesen Bereichen darf der Bund keine verbindlichen Vorgaben machen. Somit kann ein Aktionsplan keine verbindlichen Regelungen enthalten, die der heutigen regulatorischen Kompetenzverteilung widersprechen. Vor diesem Hintergrund sind interkantonal erarbeitete Mustererlasse eine Möglichkeit, um das Fachwissen und die Ressourcen der Kantone zu bündeln – gegebenenfalls unter Anleitung oder Mithilfe des Bundes. Interkantonale Mustervorschriften, wie sie etwa im Bereich des Energierechts existieren (MuKen), könnten ein hilfreicher Zwischenschritt bei der Umsetzung der Aussagen eines Aktionsplans durch die jeweilige kantonale Gesetzgebung sein.

- *Erwartung 6: Berücksichtigung der Eigenheiten der Kantone und Harmonisierung*

Die Interviewpartnerinnen und -partner waren sich einig, dass Eigenheiten der Kantone, z. B. in Bezug auf Fachwissen und Untergrundkenntnisse, in einem Aktionsplan (ob verbindlich oder nicht) berücksichtigt werden sollten. Zudem wies die Mehrheit der Interviewpartnerinnen und -partner das Bedürfnis nach einer Harmonisierung des Fachjargons und der Verfahren zwischen den Kantonen auf. Bei der Umsetzung von bundesrechtlichen Vorgaben (z. B. im Gewässerschutzrecht) wird den Eigenheiten der Kantone durch den Vollzugsföderalismus Rechnung getragen. Allerdings kann der Bund bei Untergrundprojekten von überregionaler Bedeutung – und sofern er sich auf eine ausreichende Sachkompetenz abstützen vermag – den Vollzug über ein spezialgesetzlich festzulegendes Sach- und Plangenehmigungsverfahren an sich ziehen und damit vereinheitlichen.

Auch in Sachbereichen, in denen ausschliesslich die Kantone für die Regulierung zuständig sind, kann eine gewisse Harmonisierung gewünscht sein. Die bereits erwähnten interkantonal ausgearbeiteten Mustererlasse könnten auch dem Ausgleich zwischen Harmonisierungsinteressen und der Berücksichtigung kantonaler Eigenheiten dienen. Insbesondere dann, wenn Mustervorschriften dem Baukastenprinzip folgen, können die Kantone ihre Regulierung individuell zusammenstellen und sich jeweils auf ihre Gesetzgebungsvorhaben auf die relevanten sowie politisch umsetzbaren Regelungen beschränken; diese sind dann aber interkantonal harmonisiert. Die Absicht zu einem entsprechenden Vorgehen könnte im Aktionsplan festgehalten werden.

- *Erwartung 7: Verbesserung der Datenlage zum Untergrund*

Bei der Umsetzung von Aussagen des Aktionsplans zur Gewinnung und Verwaltung der Daten zum Untergrund ist die (umstrittene) verfassungsrechtliche Kompetenzordnung zu beachten. Es ist ferner darauf hinzuweisen, dass aktuell eine Revision des Geoinformationsgesetzes läuft, welche die genannten Erwartungen zumindest teilweise adressiert.

Zudem bestehen auf Bundesebene bereits Instrumente, deren Zweck die Verbesserung der Datenlage im Untergrund ist. Mit dem Koordinationsorgan des Bundes für Geologie (KBGeol) existiert eine Stelle mit dem Auftrag, die Erhebung von Daten aus dem Untergrund zu vereinheitlichen und die Zusammenarbeit zwischen Behörden, Wissenschaft und Privatwirtschaft zu festigen. Es müsste gegebenenfalls geprüft werden, inwieweit dieser Auftrag angepasst werden muss. Mit der Strategie Geoinformation Schweiz sowie dem Aktionsplan Digitalisierung des Untergrunds bestehen zudem bereits Instrumente des Soft Law, die sich mit der Schaffung, Verarbeitung und Vernetzung von Geodaten in der Schweiz beschäftigen. Weitere Aktionspläne, die sich zur Verbesserung der Datenlage zum Untergrund äussern, sollten auf diesen Dokumenten aufbauen.

4.2 Kritische Reflexion der Erkenntnisse und weiterer Forschungsbedarf

Das vorliegende Forschungsprojekt bildet eine Grundlage zur Identifizierung von Konflikt- und Synergiepotenzial zwischen unterschiedlichen Untergrundnutzungen in der Schweiz einerseits sowie für ein besseres Verständnis der aktuellen rechtlichen Fragen zum Untergrund andererseits. Die Erkenntnisse basieren einerseits auf Fallstudien mit den drei Kantonen Zürich, Aargau und Waadt, andererseits auf einer juristischen Analyse der bestehenden rechtlichen Grundlagen. Da der Schweizer Untergrund als Gesamtsystem bisher nur spärlich erforscht wurde, werden nachfolgend wichtige Erkenntnisse kritisch reflektiert, und es wird auf weiteren Forschungsbedarf hingewiesen.

Die ausgewählte Methode zur Analyse von Konflikten und Synergien zwischen Untergrundnutzungen (Soziale Netzwerkanalyse) stellt sich als adäquat und aussagekräftig heraus. Obschon die soziale Netzwerkanalyse vor allem in der Psychologie zur Untersuchung zwischenmenschlicher Beziehungen angewendet wird, findet die Methode zunehmend im Studium von komplexen Ökosystemen Anwendung.³⁴ Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde die Methode auf die drei Fallkantonen Aargau, Zürich und Waadt angewendet. Es ist somit zu betonen, dass die Resultate dieses Projekts nicht re-

³⁴ Bodin, 2006.

präsentativ für die gesamte Schweiz respektive alle Kantone sind. Die drei untersuchten Kantone sind bei der Nutzung und Regulierung des Untergrunds vergleichsweise weit. Dies spiegelt sich beispielsweise darin, dass sie über kantonale Untergrundgesetze verfügen, wohingegen mehr als die Hälfte aller Schweizer Kantone noch keine entsprechenden Gesetze für ihre Untergrundnutzung verabschiedet haben. Um allgemeingültigere Aussagen zur Untergrundnutzung in der Schweiz formulieren zu können, müsste diese Methodik auf weitere Kantone angewendet werden. Damit könnte eine robustere Datengrundlage für Handlungsempfehlungen geschaffen werden.

Aus rechtlicher Perspektive wird mit den vorliegenden Untersuchungen deutlich, dass das Recht des Untergrunds noch wenig entwickelt ist, was bei den eruierten Nutzungskonflikten zu Rechtsunsicherheit führt. Mehr Klarheit ist auf verschiedenen Ebenen nötig: Die Kompetenzen von Bund und Kantonen im Untergrund sind in verschiedenen Sachbereichen unklar bzw. umstritten. Dies gilt etwa für das Vermessungs- und Geoinformationsrecht, das für eine verstärkte Nutzung des Untergrunds von besonderer Bedeutung ist. Mit einer «Untergrundverfassung» könnte die Kompetenzordnung im Untergrund umfassend dargestellt und präzisiert werden – als Beitrag der Rechtswissenschaft zur Schaffung von mehr (politischer) Visibilität für den Untergrund. In anderen Bereichen staatlicher Regulierung, die durch komplexe Verfassungsgrundlagen und eine schwer durchschaubare Kompetenzverteilung gekennzeichnet sind, analysiert die Wissenschaft heute bereits entsprechende Sachbereichsverfassungen (z. B. «Sicherheitsverfassung», «Wirtschaftsverfassung»). Derart konsolidierte verfassungsrechtliche Konzepte sind einerseits für die Rechtswissenschaft selbst wertvoll, andererseits fließen sie regelmässig auch unmittelbar in den politischen Diskurs ein.

Auch in seinen Ausführungserlassen wird sich der Bund vertieft mit dem Untergrund und den Nutzungskonflikten auseinandersetzen müssen. Teils ist die Bedeutung des Untergrunds in der Gesetzgebung noch kaum abgebildet und teils ist zweifelhaft, ob die bestehende Regulierung mit Blick auf das Ziel einer insgesamt nachhaltigen Entwicklung im Untergrund gerecht wird. Zwar wird das Raumplanungsgesetz aktuell revidiert und mit Untergrund-Bestimmungen ergänzt. Die vorgesehenen Regelungen sind jedoch von hohem Abstraktionsgrad. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Rechtssicherheit wesentlich von weiterer rechtswissenschaftlicher Forschung und allenfalls weiteren Gesetzgebungsprojekten abhängig sein wird. Ein möglicher Forschungsansatz wäre eine breit angelegte Untersuchung, um ein eigentliches Raumplanungsrecht des Untergrunds zu entwickeln. Bestimmte raumplanungsrechtliche Fragen sind allerdings auch im Zusammenhang mit einzelnen Nutzungsformen hochrelevant (z. B. beim Bau von Speichern ausserhalb der Bauzone).

Bei den untersuchten Nutzungen zeigt sich, dass sie von den vorhandenen kantonalen Untergrundgesetzen und der damit (zumindest teilweise) geschaffenen Rechtssicherheit profitieren. Jene Kantone, die noch nicht über ein Untergrundgesetz verfügen, sollten die Einführung von solch spezifischen Regelungen in Erwägung ziehen. Die Analyse der Kantone Aargau, Zürich und Waadt konnte allerdings keinen einheitlichen Standard kantonaler Untergrundregulierung identifizieren. Im Gegenteil: Die analysierten kantonalen Regulierungen unterscheiden sich inhaltlich teilweise erheblich. Damit lassen sich im interkantonalen Vergleich noch keine «Best Practices» formulieren, an denen sich Kantone bei der Ausarbeitung eigener Untergrundgesetze orientieren könnten. Dazu müsste zukünftige rechtswissenschaftliche Forschung die bestehenden kantonalen Untergrundgesetze umfassender und mit einem entsprechenden Fokus untersuchen. Ausserdem bietet sich ein sozialwissenschaftlicher Ansatz an, um einen Prozess zum Austausch von Erfahrungen und Wissen zwischen Kantonen zu etablieren. Damit könnten Kantone gemeinsam «Best Practices» ausarbeiten.

Weiter hat die erste Teilstudie gezeigt, dass für eine nachhaltige Untergrundentwicklung Synergien zwischen Untergrundnutzungen basierend auf den Prinzipien der Multifunktionalität, Mehrfachnutzung und zirkulären Ressourcennutzung zentral sind. Die zweite Teilstudie hat jedoch offengelegt, dass Erlasse, Gesetze und Verfahren sowie raumplanerische Werkzeuge derartige Synergiepotenziale aktuell noch nicht erfassen und keine Anreize für die Praxis setzen, sich stärker zu vernetzen und synergetische Projekte zu kreieren. Dieser rechtliche Status Quo spiegelt sich auch im empirischen Teil dieser Arbeit wider: Es war für Interviewpartnerinnen und -partner anspruchsvoller, über Synergien als über Konflikte nachzudenken. Um eine nachhaltige Untergrundentwicklung zu erreichen, sollten die

Akteure entsprechend sensibilisiert und die regulatorischen Werkzeuge angepasst werden. Dabei hätte weitere Forschung abzuklären, wie mittels staatlicher Regulierung nicht nur die Bewältigung von Nutzungskonflikten, sondern auch die Förderung von Synergien gelingen kann. Zudem wäre es sinnvoll, auf der Projektebene bei den unterschiedlichen Nutzungen Aspekte wie Zeitpunkt, Integration und Umsetzung von sektorenübergreifenden Synergien zu erforschen. Damit könnten beispielsweise Leitfäden für die Praxis erstellt werden, welche die Zusammenarbeit und das systemische Denken auf Ebene eines Einzelprojekts fördern.

Schliesslich zeigt dieses Forschungsprojekt auf, dass ein partizipativer Ansatz zur Ausarbeitung des Aktionsplans zielführend ist. Dabei ist zu beachten, dass ein solcher Prozess komplex ist und langfristig angedacht werden muss. Ein schrittweises, partizipatives Verfahren basierend auf transdisziplinären Methoden bietet sich dafür an. Diese verfolgen das Ziel, breit abgestützte Massnahmen gemeinsam zu erarbeiten, und stützen sich oftmals auf interaktive Prozesse (Co-Kreation) und digitale Hilfsmittel (wie z. B. digitale, partizipative Plattformen). Dadurch wird Transparenz und Vertrauen gefördert. Zudem bergen solche Methoden grosses Potenzial, Akteure aus verschiedenen Berufsfeldern und Disziplinen effizient zu vernetzen und dadurch den Austausch von Fachwissen und die Zusammenarbeit zu erleichtern.

4.3 Prioritäre Handlungsfelder für eine nachhaltige Entwicklung des Untergrunds und Ausarbeitung eines Aktionsplans

Basierend auf den vorliegenden sozialwissenschaftlichen und rechtlichen Analysen dieses Berichts haben die Autorinnen und Autoren fünf prioritäre Handlungsfelder identifiziert. Diese sollen eine **nachhaltige Entwicklung des Schweizer Untergrunds** ermöglichen und als eine Grundlage für die partizipative Ausarbeitung eines **nationalen Aktionsplans** dienen.

- **Dialog über die Rolle und die Kompetenzen des Bundes nötig:** Der Bund besitzt keine regulatorische Kompetenz, um den Schweizer Untergrund gesamthaft verbindlich zu regulieren und zu koordinieren. Zum heutigen Zeitpunkt kann er mittels "Soft Law" (z. B. Aktionsplan) Impulse für eine nachhaltige und gesamtheitliche Untergrundentwicklung geben. Ob eine solche Entwicklung jedoch mit unverbindlichen Impulsen erreicht werden kann, ist kritisch zu hinterfragen. Es ist daher ein Dialog zwischen Bund und Kantonen erforderlich, um die Zuständigkeiten im Hinblick auf das gemeinsame Ziel einer nachhaltigen und gesamtheitlichen Untergrundverwaltung zu klären. Damit wäre zu eruieren, ob ein Aktionsplan und/oder andere bisherige «Soft Law»-Instrumente des Bundes eingesetzt werden sollen und wenn ja, wie dies unter Berücksichtigung unterschiedlicher kantonaler Realitäten und Fachkompetenzen erfolgen soll.
- **Kantone als zentrale Akteure in der Entwicklung des Untergrunds:** Nicht nur die Zusammenarbeit zwischen Kantonen und Bund im Rahmen des Aktionsplans ist zentral, sondern auch, dass eine interkantonale Koordination der Untergrundnutzungen und des Untergrundschutzes stattfindet. Für eine Harmonisierung der Begriffe, Regelungen und Verfahren ist es notwendig, dass die Kantone gemeinsam Werkzeuge erarbeiten und weiterentwickeln. Diese können z. B. aus Mustervorschriften, Leitfäden und Priorisierungshilfen, Strategien und Anleitungen zur Abwägung von Interessen bestehen.
- **Zusammenarbeit für die Ausarbeitung eines Aktionsplans:** Vor dem Hintergrund der aktuellen rechtlichen Kompetenzteilung zwischen Bund und Kantonen und des Vollzugföderalismus ist ein partizipatives Verfahren zur Ausarbeitung eines Aktionsplans elementar. Die Einbindung von kantonalen Behörden sowie von Industrieverbänden in den Ausarbeitungsprozess birgt einerseits grosses Potenzial, verstreutes Fachwissen zum Untergrund zu bündeln und das sektorübergreifende Innovationspotenzial zu stärken. Andererseits legitimiert eine breite Abstützung den Aktionsplan bei den umsetzenden Parteien (Kantone und Industrie), was für den Erfolg eines «Soft Law»-basierten Werkzeugs wie dem Aktionsplan ausschlaggebend ist.
- **Wert von Synergien aufzeigen und aktiv fördern:** Multifunktionalität, Mehrfachnutzung und zirkuläre Wirtschaft bergen grosses Potenzial für innovative, sektorübergreifende und nachhaltige Untergrundprojekte. Das geltende Recht enthält jedoch kaum Regeln für die Schaffung von Synergien zwischen verschiedenen Nutzungen des Untergrunds. Insbesondere Pla-

nungs-, Bewilligungs- und Konzessionsverfahren sollten revidiert werden, um das vielfältige Synergiepotenzial besser sichtbar zu machen und auszuschöpfen. Auf Projektebene sollte geklärt werden, wann und wie Synergien identifiziert und integriert werden könnten.

- **Wissenschaftliche Evidenz für eine verbesserte Entscheidungsgrundlage schaffen:** Abwägungen zwischen Nutzungen, unterschiedlichen Strategien und gesellschaftlichen Zielen mit Bezug zum Untergrund erfordern solide naturwissenschaftliche Grundlagen. So bedarf beispielsweise die Diskussion über den Grundwasserschutz im Kontext der Energiewende, Dekarbonisierungs- und Klimapolitik vertiefter wissenschaftlicher Evidenz zu Temperatur-Schwellenwerten (3 °C-Regelung) oder tiefen Aquiferen. Die zunehmende Bedeutung des Untergrunds für die Dekarbonisierung der Schweiz erfordert somit auch vermehrt Forschung in diesem Feld.

Literaturverzeichnis

ABEGG ANDREAS/DÖRIG LEONIE, Wie der Untergrund vom Recht erfasst, Inforum 2019/1, S. 4 ff.

ABEGG ANDREAS/DÖRIG LEONIE, System der privaten und öffentlichen Nutzungsrechte am Untergrund, URP 2019, S. 385 ff.

ABEGG ANDREAS/DÖRIG LEONIE, Rechtsgutachten Untergrund im Recht vom Oktober 2018, im Auftrag der Bau- Planungs- und Umweltdirektorenkonferenz (BPUK) und Energiedirektorenkonferenz (EnDK), URL: https://www.bpuk.ch/fileadmin/Dokumente/bpuk/public/de/dokumentation/berichte-gutachten-konzepte/planung/D_Rechtsgutachten_Recht_im_Untergrund_Abegg_Doerig.pdf.

ADMIRAAL HAN/CORNARO ANTONIA, Underground Spaces Unveiled: Planning and creating the cities of the future, London 2018, ICE Publishing.

ADMIRAAL HAN/CORNARO ANTONIA, Why underground space should be included in urban planning policy - And how this will enhance an urban underground future, Tunnelling and Underground Space Technology 2016 Nr. 55, S. 214 ff.

AMREIN MARTIN, Bakterien und Pilze in Gefahr: Wenn die Winzlinge im Boden sterben, NZZ am Sonntag vom 20. Mai 2023, URL: <https://magazin.nzz.ch/nzz-am-sonntag/wissen/biodiversitaetsverlust-dem-boden-gehen-die-mikroben-aus-ld.1738327?reduced=true>.

BARTEL SEBASTIAN/JANSSEN GEROLD, Underground spatial planning - Perspectives and current research in Germany, Tunnelling and Underground Space Technology 2016/55, S. 112 ff.

BAUER SEBASTIAN/BEYER CHRISTOF/DETHLEFSEN FRANK/DIETRICH PETER/DUTTMANN RAINER/EBERT MARKUS/FEESER VOLKER/GÖRKE UWE/KÖBER RALF/KOLDITZ OLAF/RABEL WOLFGANG/SCHANZ TOM/SCHÄFER DIRK/WÜRDEMANN HILKE/DAHME ANDREAS, Impacts of the use of the geological subsurface for energy storage: An investigation concept. Environmental Earth Sciences 2013/70 Nr.8, S. 3935 ff.

BIAGGINI GIOVANNI, Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Kommentar, 2. Aufl., Zürich 2017.

BOBYLEV NIKOLAI, Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use, Land Use Policy 2009/26 Nr.4, S. 1128 ff.

BODIN ÖRJAN, A network perspective on ecosystems, societies and natural resource management, Doctoral thesis, Stockholm University, Faculty of Science, Department of Systems Ecology, Stockholm 2006.

DE MULDER EDUARDO/HACK H. ROBERT G.K. /VAN REE C.C. DERK F., Sustainable Development and Management of the Shallow Subsurface, London 2012, The Geological Society.

DÖRIG LEONIE, Das Recht zur Nutzung der Erdwärme, Diss., Zürich/St. Gallen 2020.

EPINEY ASTRID/SCHEYLI MARTIN, Umweltvölkerrecht, Völkerrechtliche Bezugspunkte des schweizerischen Umweltrechts, Bern 2000.

GIL, OLGA/CORTES-CEDIEL, MARIA/CANTADOR, IVAN, Citizen Participation in Smart Cities and Smart Governments, International Journal of E-Planning Research 2019, Volume 8, Nr. 1, S. 19 ff.

GOEL R. K./SINGH BHAWANI/ ZHAO JIAN, Underground Infrastructures: Planning, design, and construction, Waltham/Oxford 2012, Butterworth-Heinemann.

HÁMOR-VIDÓ, MÁRIA/HÁMOR TAMÁS/CZIROK LILI, Underground space, the legal governance of a critical resource in circular economy, *Resources Policy* 2021/73.

HERDEGEN MATTHIAS, *Staat und Rationalität, Zwölf Thesen*, Paderborn/München/Wien/Zürich 2010.

HUSER MEINRAD, Planung und Nutzung des Untergrunds, in: *Baurecht* 2023, S. 185 ff.

HUSER MEINRAD, *Schweizerisches Vermessungsrecht*, 3. Aufl., Zürich 2014.

ISENSEE JOSEF, Die Rationalität des Staates und die Irrationalität des Menschen, Prämissen der Demokratie, *Archiv des öffentlichen Rechts* 2015, S. 169 ff.

JEANNERAT ELOI/MOOR PIERRE, Art. 17 RPG, in: Aemisegger Heinz/Moor Pierre/Ruch Alexander/Tschannen Pierre, *Praxiskommentar RPG: Richt- und Sachplanung, Interessenabwägung*, Zürich 2019 (Praxiskomm.-RPG, Art. ... N ...)

JUNGO FABIA, Le principe de précaution en droit de l'environnement Suisse, avec des perspectives de droit international et de droit européen, *Diss. Lausanne* 2011, Zürich 2012.

KOLB ROBERT, To What Extent May Hard Law Content Be Incorporated Into Soft Instruments?, *SRIEL* 2019, 335 ff.

KRADOLFER MATTHIAS, Interdisziplinäres Wissen im Gerichtsverfahren, in: *ZSR* 2023/I, S. 489 ff.

KRADOLFER MATTHIAS, Interdisziplinäres Wissen in der Rechtsprechung: Eine verfassungsrechtliche Annäherung, in: «Justice – Justiz – Giustizia» 2022/4.

KRAMER ERNST A., *Juristische Methodenlehre*, 5. Aufl., Bern 2016.

KUCKARTZ UDO, Sozialwissenschaftliche Ansätze für die kategorienbasierte Textanalyse, in: Kuckartz Udo, *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*, Wiesbaden 2019, VS Verlag für Sozialwissenschaften, S.72 ff.

LI HUANQING/LI XIAOZHAO/SOH CHEE KIONG, An integrated strategy for sustainable development of the urban underground: From strategic, economic and societal aspects. *Tunnelling and Underground Space Technology* 2016/55, S. 67 ff.

MARTI URSULA, Das Vorsorgeprinzip im Umweltrecht, Am Beispiel der internationalen, europäischen und schweizerischen Rechtsordnung, *Diss. Genf*, Genf 2011.

MEYER CHRISTIAN, Die Regulierung des Heizkesslersatzes: Im Netz von hard law und soft law, Prinzipien und Regeln, *AJP* 2023, S. 709 ff.

MUGGLI RUDOLF, 40 Jahre Raumplanungsrecht – Lehren für heute?, *URP* 2022, S. 129 ff.

MÜLLER GEORG/UHLMANN FELIX, *Elemente einer Rechtssetzungslehre*, 3. Aufl. Zürich/Basel/Genf 2013.

PARRIAUX AURÈLE/BLUNIER PASCAL/MARIE PIERRICK/TACHER, *The Urban Underground in the Deep City Project: for Construction but Not Only*. Laboratory of Engineering and Environmental Geology, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne 2008.

PARRIAUX AURÈLE/BLUNIER PASCAL/MARIE PIERRICK/TACHER LAURENT, *The DEEP CITY Project: A Global Concept for a Sustainable Urban Underground Management*, 11th ACUUS International Conference, *Underground Space: Expanding the Frontiers* 2007, S. 255 ff.

PARRIAUX AURÈLE/TACHER LAURENT/ JOLIQVIN PATRIC, *The hidden side of cities - Towards three-*

dimensional land planning. Energy and Buildings 2004/36, Nr.4, S. 335 ff.

PFISTERER LUKAS, Verwaltungsverordnungen des Bundes, Zürich 2007.

POLK, MERRITT/KNUTSSON, PER, Participation, Value Rationality and Mutual Learning in Transdisciplinary Knowledge Production for Sustainable Development. Environmental Education Research 14, 2008, Nr. 6, S. 643–53.

PRELL CHRISTINA, Social Network Analysis: History, Theory and Methodology. London 2011, Sage Publications Ltd.

PRICE S. J./FORD JONATHAN RICHARD/CAMPBELL S. D. G./JEFFERSON IAN F., Urban futures: The sustainable management of the ground beneath cities. Geological Society Engineering Geology Special Publication 2016/27, Nr.1, S.19 ff.

RUCH ALEXANDER, Nutzung des Untergrunds: Raumplanerische und umweltrechtliche Aspekte, in: Sicherheit & Recht 1/2022, S. 22 ff.

RUCH ALEXANDER, Art. 25 RPG, in: Aemisegger Heinz/Moor Pierre/Ruch Alexander/Tschannen Pierre, Praxiskommentar RPG: Praxiskommentar RPG: Baubewilligung, Rechtsschutz und Verfahren, Zürich 2020 (Praxiskomm.-RPG, Art. ... N ...).

STALDER H. A., Beschreibung der geschützten Mineralkluft Gerstenegg, Grimsel, Bern, in: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern 1986, S. 41 ff.

STREIFF OLIVER, Art. 75a BV, in: Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer (Hrsg.), Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar, 4. Aufl., Zürich 2023 (SGK-BV, Art. ... N ...).

THURNHERR DANIELA, Rechtsschutz im Kontext von Soft Law – eine Auslegeordnung, LeGes 2018/3 Nr. 7.

TRAPPMANN MARK/HUMMELL HANS J./SODEUR WOLFGNAG, Strukturanalyse sozialer Netzwerke. Konzepte, Modelle, Methoden, 2. Auflage, Wiesbaden 2011, VS Verlag für Sozialwissenschaften.

TSCHANNEN PIERRE, Art. 8 RPG, in: Aemisegger Heinz/Moor Pierre/Ruch Alexander/Tschannen Pierre, Praxiskommentar RPG: Richt- und Sachplanung, Interessenabwägung, Zürich 2019 (Praxiskomm.-RPG, Art. ... N ...).

TSCHANNEN PIERRE/ MÜLLER MARKUS/KERN MARKUS, Allgemeines Verwaltungsrecht, 5. Aufl. Bern 2022.

UHLMANN FELIX/BINDER IRIS, Verwaltungsverordnungen in der Rechtsetzung: Gedanken über Pechmarie, in: LeGes 20, 2009, S. 2ff.

UHLMANN FELIX/BUSSMANN WERNER, Art. 170 BV, in: Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer (Hrsg.), Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar, 4. Aufl., Zürich 2023 (SGK-BV, Art. ... N ...).

UHLMANN FELIX/LENDI MARTIN, Art. 87 BV, in: Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer (Hrsg.), Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar, 4. Aufl., Zürich 2023 (SGK-BV, Art. ... N ...).

VOGEL STEFAN, Art. 83 BV, in: Ehrenzeller/Egli/Hettich/Hongler/Schindler/Schmid/Schweizer (Hrsg.), Die schweizerische Bundesverfassung, St. Galler Kommentar, 4. Aufl., Zürich 2023 (SGK-BV, Art. ... N ...).

VOLCHKO YEVHENIYA/NORRMAN JENNY/ERICSSON LARS O./NILSSON KRISTINA L./ MARKSTEDT ANDERS/ÖBERG MARIA/MOSSMARK FREDERIK/BOBYLEV NIKOLAI/TENGBORG PER, Subsurface planning: Towards a common understanding of the subsurface as a multifunctional resource, Land Use Policy 2020/90.

VON DER TANN LORETTA/STERLING RAYMOND/ZHOU YINGXIN/METJE NICOLE, Systems approaches to urban underground space planning and management – A review. *Underground Space*, 2020/5, Nr. 2, S.144 ff.

WALDMANN BERNHARD/HÄNNI BERNHARD, Raumplanungsgesetz, Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG), Bern 2006.

Materialienverzeichnis

Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz (BPUK)/Koordinationsorgan für Geoinformation des Bundes (GKG), Strategie Geoinformation Schweiz, Version vom 2. November 2020 (zit. BPUK/GKG, Strategie Geoinformation)

Bericht der Geschäftsprüfungskommission des Nationalrates vom 28. Juni 2022, Grundwasserschutz in der Schweiz (zit. Bericht GPK-N)

Botschaft über eine neue Bundesverfassung vom 20. November 1996, BBl 1997 S. 1 ff. (zit. Botschaft Totalrevision BV)

Botschaft zum Bundesgesetz über den unterirdischen Gütertransport vom 28. Oktober 2020, BBl 2020 S. 8849 ff. (zit. Botschaft UGütG)

Botschaft zur Änderung des Geoinformationsgesetzes vom 23. August 2023, BBl 2023 S. 2059 ff. (zit. Botschaft GeolG).

Botschaft zu einem Bundesgesetz über die Koordination und Vereinfachung der Plangenehmigungsverfahren vom 25. Februar 1998, BBl 1998 S. 2591 ff. (zit. Botschaft Koordinationsgesetz)

Eidgenössische Geologische Fachkommission (EGK), Strategie Untergrund Schweiz, Finale Fassung zur Verabschiedung durch die EGK bis zum 5. Dezember 2022 (zit. EGK, Strategie Untergrund)

Merkblatt Bauten im Grundwasser vom 19. Juli 2022, Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau (zit. Merkblatt Bauten im Grundwasser)

Merkblatt Bauvorhaben in Grundwasserleitern und Grundwasserschutzzonen, AWEL 2009 (zit. Merkblatt AWEL)

swisstopo, Bericht an den Bundesrat vom 20. April 2021, Aktionsplan, Digitalisierung des geologischen Untergrunds – Umfeld, Herausforderungen und Massnahmen (zit. swisstopo, Bericht Digitalisierung)

Wegleitung Grundwasserschutz, Vollzug Umwelt, BUWAL 2004 (zit. Wegleitung BUWAL)

Erlassverzeichnis

Bund

aBV

alte Bundesverfassung

Anlageschutzverordnung	Verordnung über den Schutz militärischer Anlagen vom 2. Mai 1990, SR 510.518.1
BV	Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999, SR 101
BGG	Bundesgesetz über das Bundesgericht vom 17. Juni 2005, SR 173.110
CO ₂ -Verordnung	Verordnung über die Reduktion der CO ₂ -Emissionen vom 30. November 2012, SR 641.711
EBG	Eisenbahngesetz vom 20. Dezember 1957, SR 742.101
EleG	Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen vom 24. Juni 1902, SR 734.0
GeolG	Bundesgesetz über Geoinformation vom 5. Oktober 2007, SR 510.62
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) vom 24. Januar 1991, SR 814.20
GSchV	Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998, SR 814.201
KEG	Kernenergiegesetz vom 21. März 2003, SR 732.1
KEV	Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004, SR 732.11
LGeoIV	Verordnung über die Landesgeologie vom 21. Mai 2008, SR 510.624
MG	Bundesgesetz über die Armee und die Militärverwaltung, vom 3. Februar 1995, SR 510.10
RLG	Bundesgesetz über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe (Rohrleitungsgesetz) vom 4. Oktober 1963, SR 746.1
RLSV	Verordnung über Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen vom 4. Juni 2021, SR 746.12
RLV	Verordnung über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe vom 26. Juni 2019, SR 746.11
RPG	Bundesgesetz über die Raumplanung vom 22. Juni 1979, SR 700
RPV	Raumplanungsverordnung vom 28. Juni 2000, SR 700.1
StromVG	Bundesgesetz über die Stromversorgung vom 23. März 2007, SR 734.7
UGüTG	Bundesgesetz über den unterirdischen Gütertransport vom 17. Dezember 2021, SR 749.1
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983, SR 814.01
VPeA	Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für elektrische Anlagen vom 2. Februar 2000, SR 734.25

ZGB Schweizerisches Zivilgesetzbuch vom 10. Dezember 1907, SR 210

Kantone

Kanton Zürich

EG GSchG/ZH Einführungsgesetz zum Gewässerschutzgesetz vom 8. Dezember 1974, LS 711.1

GNU/ZH Gesetz über die Nutzung des Untergrundes vom 25. Mai 2020, LS 725.1

KGeolG/ZH Kantonales Geoinformationsgesetz vom 24. Oktober 2011, LS 704.1

KGeolV/ZH Kantonale Geoinformationsverordnung vom 27. Juni 2012, LS 704.11

KGSchV/ZH Verordnung über den Gewässerschutz vom 22. Januar 1975, LS 711.11

VNU/ZH Verordnung über die Nutzung des Untergrundes vom 5. April 2023, LS 725.11

WWG/ZH Wasserwirtschaftsgesetz vom 2. Juni 1991, LS 724.11

Kanton Aargau

EG UWR Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässern vom 4. September 2007, SAR 781.200

GNB/AG Gesetz über die Nutzung des tiefen Untergrunds und die Gewinnung von Bodenschätzen vom 19. Juni 2012, SAR 671.200

KGeolG/AG Gesetz über die Geoinformation im Kanton Aargau vom 24. Mai 2011, SAR 740.100

KGeolV/AG Verordnung über die Geoinformation im Kanton Aargau vom 16. November 2011, SAR 740.111

WnD Wassernutzungsabgabendeckret vom 18. März 2008 SAR 764.110

WnG/AG Wassernutzungsgesetz vom 11. März 2008, SAR 764.100

WnV/AG Wassernutzungsverordnung vom 23. April 2008, SAR 764.111

Kanton Waadt

LCG Loi sur le cadastre géologique vom 6. November 2007, BLV 211.65

LESDP Loi réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines dépendant du domaine public cantonal vom 12. Mai 1948, BLV 721.03

LLC Loi sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public vom 5. September 1944, BLV 731.01

LPDP Loi sur la police des eaux dépendant du domaine public vom 3. Dezember 1957, BLV 721.01

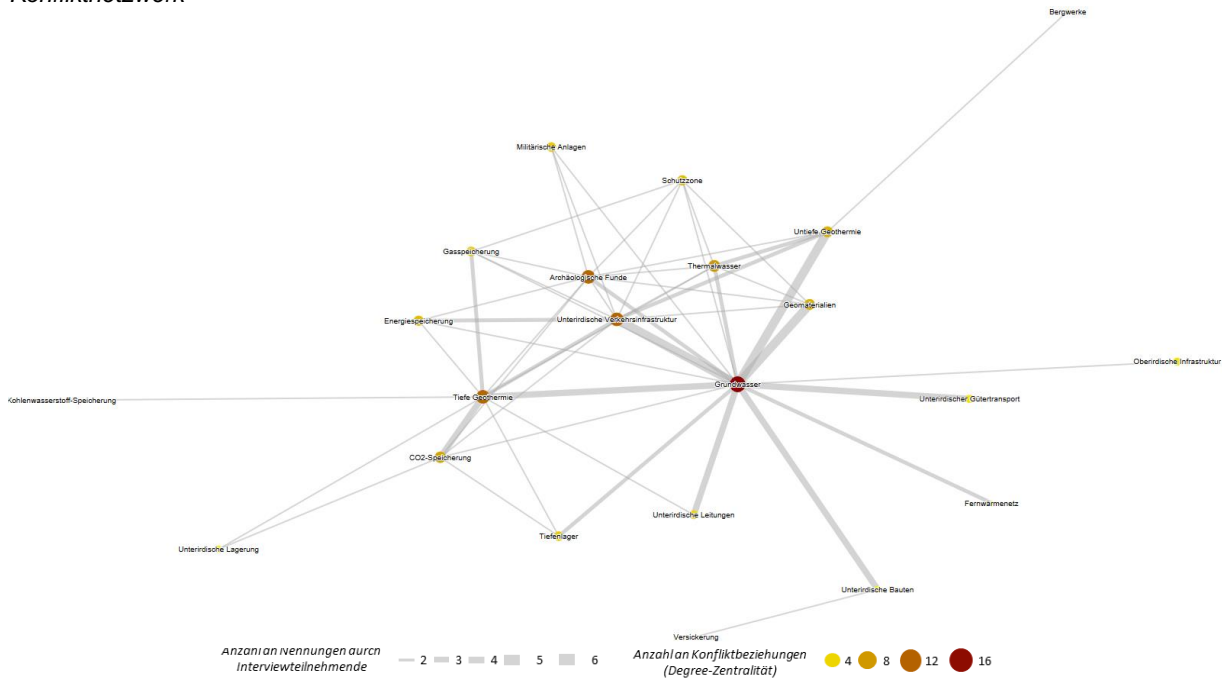
LPEP	Loi sur la protection des eaux contre la pollution vom 17. Septmeber 1974, BLV 814.31
LRNSS	Loi sur les ressources naturelles du sous-sol vom 18. Dezember 2018, BLV 730.02
RLLC	Règlement d'application de la loi du 5 septembre 1944 sur l'utilisation des lacs et cours d'eau dépendant du domaine public et de la loi du 12 mai 1948 réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines dépendant du domaine public cantonal vom 17. Juli 1953, BLV 731.01.1
RLRNSS	Règlement sur les ressources naturelles du sous-sol vom 18. Dezember 2018, BLV 730.02.1

Appendix

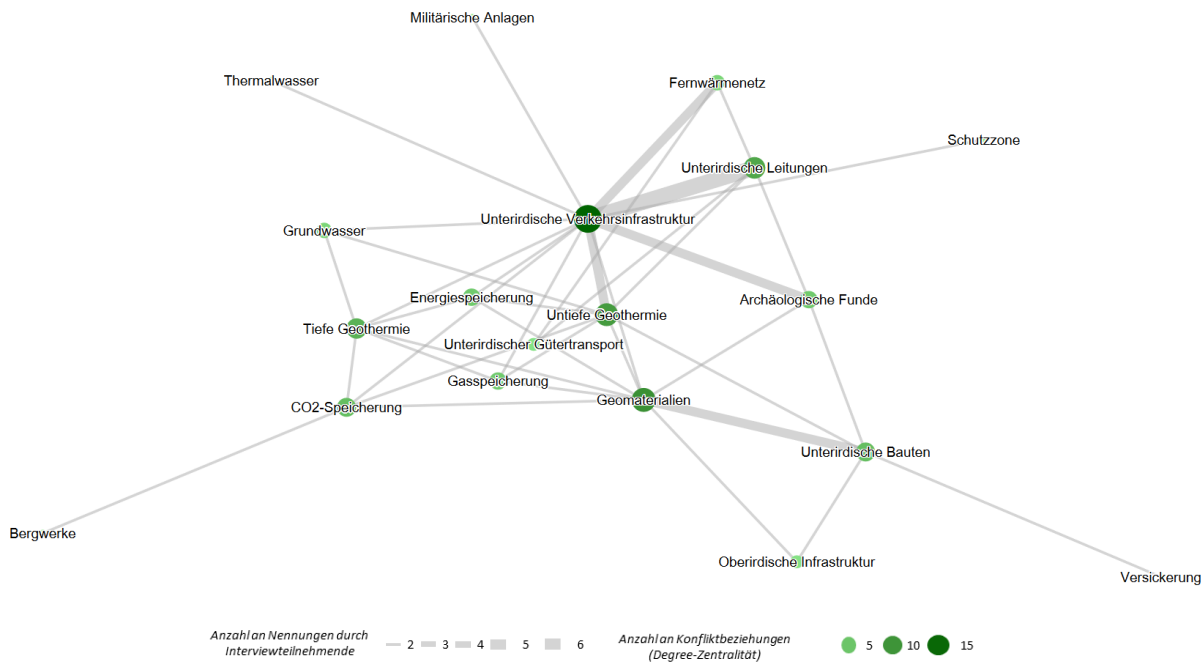
Soziale Netzwerkanalyse zu Konflikten und Synergien nach Akteursgruppe (Appendix 1-3)

Appendix 1: Konflikt- und Synergienetzwerke basierend auf Interviews mit kantonalen Behörden aus den Kantonen Waadt, Zürich und Aargau (N=6). Erstellt mit R.

Konfliktnetzwerk

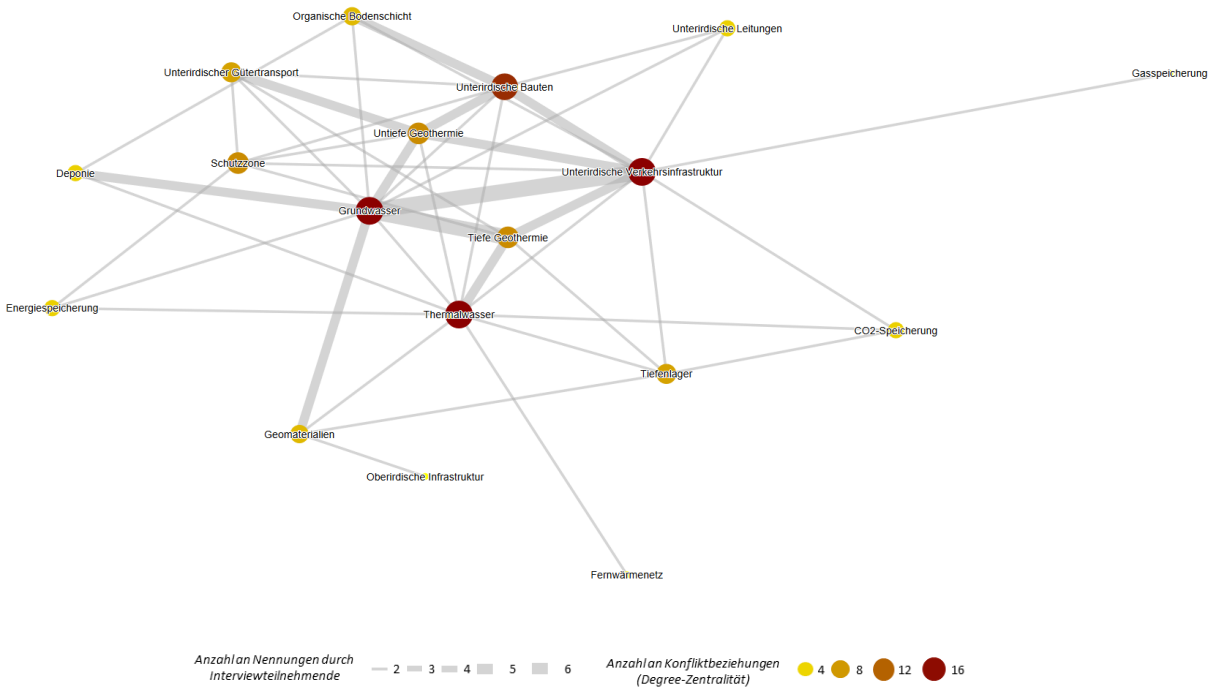


Synergienetzwerk

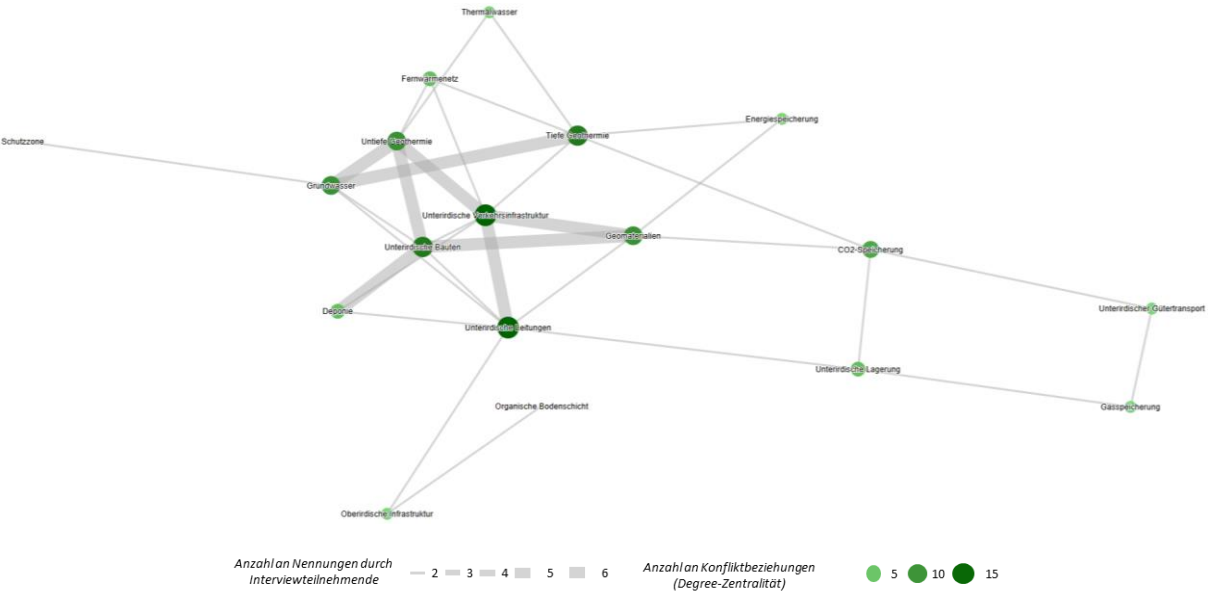


Appendix 2: Konflikt- und Synergienetzwerke basierend auf Interviews mit Verbänden aus den Kantonen Waadt, Zürich und Aargau (N=6). Erstellt mit R.

Konfliktnetzwerk

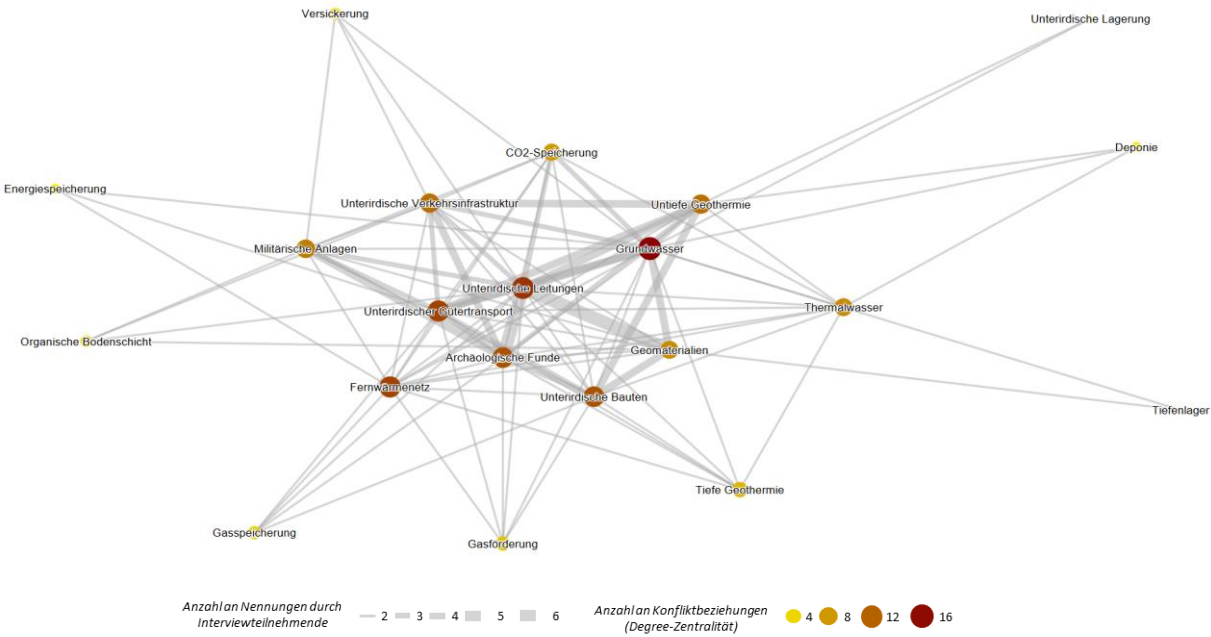


Synergienetzwerk



Appendix 3: Konflikt- und Synergienetzwerke basierend auf Interviews mit lokaler Industrie aus den Kantonen Waadt, Zürich und Aargau (N=6). Erstellt mit R.

Konfliktnetzwerk



Synergienetzwerk

