

CC Energy Management
ior/cf-HSG



Universität St.Gallen

Zertifikatsarbeit
Externe Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz

Zertifikatskurs (CAS) für Führungskräfte
MANAGEMENT VON ENERGIEVERSORGUNGSUNTERNEHMEN
2014/15

Referent: Prof. Dr. Bodo Hilgers
Korreferent: Dr. Christian Opitz

Vorgelegt am: 28.02.2015

Michael Sonderegger
Schönbüelpark 5
CH-9016 St.Gallen
E-mail: michael.sonderegger@bluewin.ch

ZUSAMMENFASSUNG

Die Tiefengeothermie soll gemäss Energiestrategie 2050 des Bundes (BFE, 2013) einen wesentlichen Anteil an der zukünftigen Stromversorgung in der Schweiz übernehmen. Sie weist denn auch ein grosses theoretisches Potenzial auf, hat gegenwärtig jedoch weder aus technischer Sicht noch in Bezug auf die Produktionskosten erforderliche Marktreife erreicht. Dazu kommt, dass mehrere Geothermievorhaben in jüngster Vergangenheit nicht erfolgreich umgesetzt werden konnten. So stossen gerade private Unternehmen bei der Entwicklung von Tiefengeothermieprojekten vermehrt auch auf Widerstand aus Bevölkerung und Politik. Begründet ist die teils fehlende Akzeptanz mitunter durch auftretende Emissionen und potenzielle Umweltrisiken. Mit den gleichzeitig attestierten grossen Chancen dieser Technologie als nahezu unerschöpfliche und CO₂-arme Energieform besteht in der Öffentlichkeit eine gewisse Ambivalenz dem Thema gegenüber (Hirschberg et al., 2015). Fundierte und breit aufgearbeitete Studien über den sozialen Schaden und den sozialen Nutzen von Tiefengeothermieanlagen in der Schweiz sind allerdings nicht bekannt.

Auf Basis der wenigen Praxisprojekte wurden deshalb in der vorliegenden Projektarbeit positive und negative externe Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz möglichst umfassend identifiziert, kategorisiert und deren Relevanz qualitativ beurteilt. Ebenso erfolgte eine Evaluation von bereits bestehenden Internalisierungsmassnahmen. So hat der Verfasser einen nicht abschliessenden Katalog von insgesamt 46 potenziellen Externalitäten in den Bereichen Luftverschmutzung, Wasserverschmutzung, Bodenschäden, Lärm und Licht, Erschütterungen, Radioaktivität, Raumbedarf, Energieentzug aus dem Untergrund, Eingriff in öffentliches oder privates Eigentum, psychologische Effekte, Wissensgewinn, Imagegewinn, Infrastrukturausbau, Versorgungssicherheit, Nutzen für den regionalen Wirtschaftsraum sowie Unterstützung der neuen Energiepolitik erstellt. Dabei hat sich gezeigt, dass ein Grossteil der externen Effekte nicht oder nur unzureichend kompensiert ist und die gesellschaftliche Beachtung einzelner Effekte nicht unbedingt mit der Höhe des sozialen Schadens oder Nutzens übereinstimmt.

Vor diesem Hintergrund ist nach Meinung des Verfassers davon auszugehen, dass ein offener und objektiver Umgang mit Externalitäten verbunden mit einer sinnvollen Internalisierung allenfalls auch die soziale Akzeptanz der Tiefengeothermie in der Schweiz erhöhen und damit neue Umsetzungs- bzw. Bohrprojekte auslösen könnte. Mögliche ergänzende Internalisierungsansätze von negativen externen Effekten könnten beispielsweise gesetzliche Verschärfungen in Bezug auf Emissionsgrenzwerte gekoppelt mit eindeutig definierten Haftungsverpflichtungen im Schadenfall sein. Gleichzeitig sieht der Verfasser die Notwendigkeit einer erweiterten und akzeptablen staatlichen Unterstützung in Form von Abgeltungsmassnahmen für positive externe Effekte. Hierfür müsste in einem nächsten Schritt jedoch zuerst eine fundierte Quantifizierung bzw. Monetarisierung einzelner externer Effekte erfolgen.

INHALTSVERZEICHNIS

Anhangsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Vorgehen und Methodik.....	2
2 Nutzung und Rahmenbedingungen der Tiefengeothermie in der Schweiz.....	4
2.1 Anlagentypen und Stand der Technik.....	4
2.2 Geothermische Strom- und Wärmeproduktion weltweit	5
2.3 Tiefengeothermische Nutzung in der Schweiz	5
2.4 Risiken und Chancen von Tiefengeothermieprojekten.....	5
2.5 Regulatorische Rahmenbedingungen.....	7
2.5.1 Heutiger Rechtsrahmen und Rechtsvorschriften	7
2.5.2 Förderinstrumente	7
2.5.3 Vorgesehene regulatorische Anpassungen	10
3 Theoretische Betrachtung der externen Effekte	11
3.1 Definition von externen Effekten	11
3.2 Messung und Bewertung von externen Effekten	12
3.2.1 Monetäre Quantifizierungsansätze	12
3.2.2 Nicht-monetäre Quantifizierungsansätze	14
3.3 Internalisierungsinstrumente.....	14
4 Externe Effekte bei der Tiefengeothermie in der Schweiz.....	17
4.1 Bestehende Studien zu externen Effekten der Tiefengeothermie.....	17
4.2 Abgrenzung und Definition eines Standard-Vorhabens	18
4.3 Identifizierung potenzieller externer Effekte	19
4.4 Relevanz potenzieller externer Effekte	22
4.5 Evaluation bestehender Internalisierungsansätze	24
4.6 Diskussion und Grenzen der Ergebnisse.....	26
5 Schlussfolgerungen.....	26
Quellenverzeichnis	29
Anhang	31

ANHANGSVERZEICHNIS

A-1	Erläuterungen zu NEE-1.1: Ausstoss Klimagase	31
A-2	Erläuterungen zu NEE-1.2: Ausstoss toxischer Gase	31
A-3	Erläuterungen zu NEE-1.3: Verbrennungspartikel	32
A-4	Erläuterungen zu NEE-1.4: Dampf und Geruch	32
A-5	Erläuterungen zu NEE-2.1: Gewässerverschmutzung	33
A-6	Erläuterungen zu NEE-2.2: Grundwasserverschmutzung	33
A-7	Erläuterungen zu NEE-2.3: Temp.-veränderung Grundwasser/Gewässer	34
A-8	Erläuterungen zu NEE-3.1: Chemikalien-Eintritt in Böden (toxische Stoffe)	34
A-9	Erläuterungen zu NEE-3.2: Geländehebungen und Geländesenkungen	35
A-10	Erläuterungen zu NEE-4.1: Erhöhtes Verkehrs- und Personenaufkommen.....	35
A-11	Erläuterungen zu NEE-4.2: Baustellenlärm.....	36
A-12	Erläuterungen zu NEE-4.3: Betriebslärm	36
A-13	Erläuterungen zu NEE-4.4: Lichtemissionen.....	37
A-14	Erläuterungen zu NEE-5.1: Vibrationen durch Vibrationsfahrzeuge.....	37
A-15	Erläuterungen zu NEE-5.2: Erschütterungen durch Sprengungen.....	38
A-16	Erläuterungen zu NEE-5.3: Erschütterungen durch Erdbeben.....	38
A-17	Erläuterungen zu NEE-6.1: Natürliche Radioaktivität.....	39
A-18	Erläuterungen zu NEE-6.2: Einsatz radioaktiver Quellen/Geräte	39
A-19	Erläuterungen zu NEE-7.1: Landschaftsbild.....	40
A-20	Erläuterungen zu NEE-7.2: Habitatverluste.....	40
A-21	Erläuterungen zu NEE-7.3: Freizeitnutzung eingeschränkt.....	41
A-22	Erläuterungen zu NEE-8.1: Lokale Abkühlung des Untergrunds.....	41
A-23	Erläuterungen zu NEE-8.2: Hydrologische Veränderungen	42
A-24	Erläuterungen zu NEE-9.1: Arbeiten auf öffentl./privaten Grundstücken	42
A-25	Erläuterungen zu NEE-9.2: Sinkende Grundstückspreise.....	43
A-26	Erläuterungen zu NEE-10.1: Ängste, Stress und Panik	43
A-27	Erläuterungen zu PEE-1.1: Verbesserung der Geologie-Kenntnisse	44
A-28	Erläuterungen zu PEE-1.2: Datenerwerb für neue Projekte und Forschung	44
A-29	Erläuterungen zu PEE-1.3: Know-how-Steigerung in Fachbranche.....	45
A-30	Erläuterungen zu PEE-1.4: Lernmaterialien/-umgebung für Schulen.....	45
A-31	Erläuterungen zu PEE-1.5: Archäologische Funde	46
A-32	Erläuterungen zu PEE-2.1: Hohe Medienpräsenz.....	46
A-33	Erläuterungen zu PEE-2.2: Besucher/Tourismus.....	47
A-34	Erläuterungen zu PEE-2.3: Fachveranstaltungen und Fachpublikum	47

A-35 Erläuterungen zu PEE-3.1: Ausbau Verkehrsanbindung	47
A-36 Erläuterungen zu PEE-3.2: Neue Nutzflächen und Lagerplätze.....	48
A-37 Erläuterungen zu PEE-3.3: Neue Werkleitungen	48
A-38 Erläuterungen zu PEE-4.1: Unabhängigkeit von ausländischen Energien	49
A-39 Erläuterungen zu PEE-4.2: Stabilisierung Energiepreise	49
A-40 Erläuterungen zu PEE-4.3: Bandenergie	50
A-41 Erläuterungen zu PEE-5.1: Generiert lokale Arbeitsaufträge	50
A-42 Erläuterungen zu PEE-5.2: Schafft lokale Arbeitsplätze	51
A-43 Erläuterungen zu PEE-5.3: Generiert neue Steuereinnahmen.....	51
A-44 Erläuterungen zu PEE-5.4: Kantonale/kommunale Einnahmen	51
A-45 Erläuterungen zu PEE-6.1: Beitrag zur Erfüllung neuer Energiestrategien	52
A-46 Erläuterungen zu PEE-6.2: Leuchtturmeffekt im Energiebereich	52

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen der vorliegenden Projektarbeit.	3
---	---

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Wichtigste Risiken von Geothermieprojekten in der Schweiz.	6
Tabelle 2: Wichtigste Chancen von Geothermieprojekten in der Schweiz.....	6
Tabelle 3: Aktuelle Vergütungen für geothermiestrom (EnV, Aug. 2014)	8
Tabelle 4: Zusammenstellung potenzieller, negativer externer Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz (für eine Standard-Vorhaben).	21
Tabelle 5: Zusammenstellung potenzieller, positiver externer Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz (für ein Standard-Vorhaben).	22
Tabelle 6: Relevanz potenzieller positiver und negativer externer Effekte (Bezeichnungen gemäss Tab. 4 und Tab. 5).	23
Tabelle 7: Bestehende Internalisierungsinstrumente für negative externe Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz (nicht abschliessend).	24
Tabelle 8: Bestehende Internalisierungsinstrumente für positive externe Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz (nicht abschliessend).	25

1 EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION

Im Jahr 2011 – im Nachgang zur Reaktorkatastrophe von Fukushima – haben der Schweizerische Bundesrat und die Bundesversammlung einen Grundsatzentscheid für den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie gefällt. Als Folge dieses Beschlusses und im Rahmen der internationalen Energiepolitik ist ein sukzessiver Umbau des Schweizer Energiesystems unabdingbar (BFE, 2013). Für eine langfristige Sicherstellung der Energieversorgung in der Schweiz wurde deshalb die Energiestrategie 2050 erarbeitet und Massnahmen zu deren Umsetzung definiert. Der Bundesrat setzt hierzu insbesondere auf die konsequente Umsetzung von Energieeffizienzmassnahmen sowie auf einen ausgewogenen Ausbau der Wasserkraft und der neuen erneuerbaren Energien. Dabei soll das bestehende Förder-system ab 2021 durch ein Lenkungssystem abgelöst werden, um Anreize zur Erreichung der Energie- und Klimaziele mit geringeren volkswirtschaftlichen Kosten zu schaffen (Bundesrat, 2013).

Die Tiefengeothermie als nahezu unerschöpfliche, erneuerbare, einheimische und CO₂-arme Bandenergie wird mitunter als Hoffnungsträgerin für die Energiezukunft der Schweiz gesehen. Ihr wird in den Energieperspektiven 2050 alleine für die Stromproduktion ein nachhaltig nutzbares Potenzial von 4.4 TWh pro Jahr attestiert (BFE, 2013). Im Vergleich dazu wird das Potenzial aller erneuerbaren Energien zur Stromproduktion bis ins Jahr 2050 auf insgesamt 24.2 TWh pro Jahr geschätzt. Der geothermische Anteil entspricht in Abhängigkeit des hinterlegten Landesverbrauchs-szenarios (Bundesrat, 2013) immerhin 5.7 % bis 7.3 % des gesamten Elektrizitäts-verbrauch der Schweiz im Jahr 2050.

Aktuell wird in der Schweiz keine Elektrizität aus geothermischer Energie produziert. Vor diesem Hintergrund und der Tatsache, dass die jüngsten Geothermieprojekte in Basel (2005 - 2010) und St. Gallen (2009 - 2014) aufgrund der angetroffenen geo-logischen Verhältnisse ohne Erfolg geblieben sind, erscheinen die bundesrätlichen Ausbauziele für den Verfasser zumindest aus heutiger Sicht als ungesichert und ambitiös. So fehlt bislang der Beweis dafür, dass diese Technologie in der Schweiz technisch und wirtschaftlich zur Elektrizitätsgewinnung umgesetzt werden kann.

Gerade zur Erbringungen dieses Nachweises sind gemäss vielen Experten und Branchenvertretern neben der Forschung weitere Umsetzungs- bzw. Bohrprojekte in naher Zukunft erforderlich (SVG, 2014). Private, aber auch öffentlich-rechtliche Unternehmen tun sich unter den aktuellen Rahmenbedingungen allerdings schwer, in die geothermische Strom- oder Wärmeproduktion zu investieren. Unter einer rein betriebswirtschaftlichen Sichtweise ist dieses Verhalten durchaus nachvollziehbar, da die durchschnittlichen Stromerzeugungskosten der Geothermie mit derzeit rund 35 Rp./kWh noch deutlich über denjenigen von anderen Energieträgern und weit

über den aktuellen Marktpreisen liegen (Hirschberg et al., 2015). Hinzu kommen nicht unerhebliche Risiken in der Umsetzung und im Betrieb einer Tiefengeothermieanlage. Gerade deshalb ist auch das öffentliche Meinungsbild in Bezug auf diese Energiegewinnungstechnologie trotz der anerkannten Chancen gespalten.

Vor diesem Hintergrund ist eine fundierte und objektive Auslegeordnung von nicht kompensierten sozialen Vor- und Nachteilen für die Geothermiebranche, zu welcher insbesondere auch verschiedene Energieversorgungsunternehmen zählen (u.a. die Sankt Galler Stadtwerke; Arbeitgeber des Verfassers), bedeutungsvoll. Denn Entscheide für die Umsetzung von Tiefengeothermievorhaben müssen sich derzeit insbesondere über positive ökologische, gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Auswirkungen begründen und sollten zur erfolgreichen Umsetzung eine möglichst breite Akzeptanz in der Bevölkerung vorfinden.

1.2 ZIELSETZUNG

Im Gegensatz zu anderen Stromproduktionstechnologien sind für Tiefengeothermieanlagen, wie sie in der Schweiz zur Anwendung kommen bzw. kommen könnten, noch keine Studien bekannt, in welchen deren soziale Kosten und Nutzen fundiert aufgezeigt und untersucht wurden. Mit der vorliegenden Arbeit sollen deshalb primär die positiven und negativen externen Effekte von Tiefengeothermieanlagen in der Schweiz identifiziert, kategorisiert und deren Relevanz beurteilt werden.

Zudem soll evaluiert werden, in welchem Umfang und in welcher Form externe Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz bereits durch bestehende regulatorische Rahmenbedingungen oder anderweitige Ansätze internalisiert sind und welche Externalitäten noch keine derartige Berücksichtigung finden. Die Effektivität der bestehenden Internalisierungsinstrumente kann andiskutiert und mögliche Verbesserungsvorschläge aufgezeigt werden.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt folglich auf einer Inventarisierung von Externalitäten im Bereich der Tiefengeothermie in der Schweiz. Hingegen werden namentlich keine Quantifizierungen und Monetarisierungen von identifizierten externen Effekten durchgeführt. Für Energieversorgungsunternehmen, welche sich mit der Entwicklung der geothermischen Energieproduktion oder mit konkreten Tiefengeothermieprojekten in naher Zukunft befassen möchten, liefert die vorliegende Arbeit darüber hinaus einen kompakten Überblick über die Nutzung, das Potenzial sowie die Rahmenbedingungen der Tiefengeothermie in der Schweiz.

1.3 VORGEHEN UND METHODIK

In einem ersten Schritt werden die potenzielle Nutzung und die aktuellen Rahmenbedingungen der Tiefengeothermie in der Schweiz beleuchtet. Dazu gehört die Beschreibung der verschiedenen Anlagentypen, die geothermische Nutzung in der Schweiz im Vergleich zum Ausland, die Chancen und Risiken sowie die aktuellen

und in naher Zukunft absehbaren regulatorischen Rahmenbedingungen für die Tiefengeothermie in der Schweiz. In einem zweiten Schritt geht es darum, anhand eines kurzen Abrisses die Grundlagen der volkswirtschaftlichen Sichtweise von sogenannten externen Effekten oder Externalitäten sowie Möglichkeiten für deren Bewertungen und Internalisierungen aufzuzeigen.

Im Anschluss daran werden das erarbeitete Basiswissen sowie Erfahrungen aus Geothermieprojekten in der Schweiz und dem Ausland (mit besonderem Bezug auf das Projekt St.Gallen) oder aus Analogbeispielen dazu genutzt, potenzielle externe Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz zu identifizieren und zu beschreiben. Dazu gehören eine Unterscheidung von positiven und negativen externen Effekten sowie eine Einteilung in Wirkungszeitraum und Wirkungsbereich. Sodann wird eine relative Gewichtung der Relevanz einzelner Externalitäten vorgenommen. Bereits an dieser Stelle sei erwähnt, dass aufgrund der geringen Erfahrungswerte der Tiefengeothermie in der Schweiz sowie der grossen Standortabhängigkeit derartiger Projekte kein vollständiges Inventar von allen erdenklichen Externalitäten im Rahmen dieser Arbeit erreicht werden kann. Die hier vorgelegte Liste an externen Effekten soll zukünftig aber als Basis verwendet und nach Bedarf ergänzt werden können.

Als Abschluss wird anhand einer Evaluation bestehender Internalisierungsinstrumente für die Tiefengeothermie in der Schweiz aufgezeigt, inwieweit die sozialen Nutzen bzw. Kosten potenzieller externer Effekte bereits kompensiert werden und welche Ansätze zu einer verbesserten Internalisierung führen könnten.

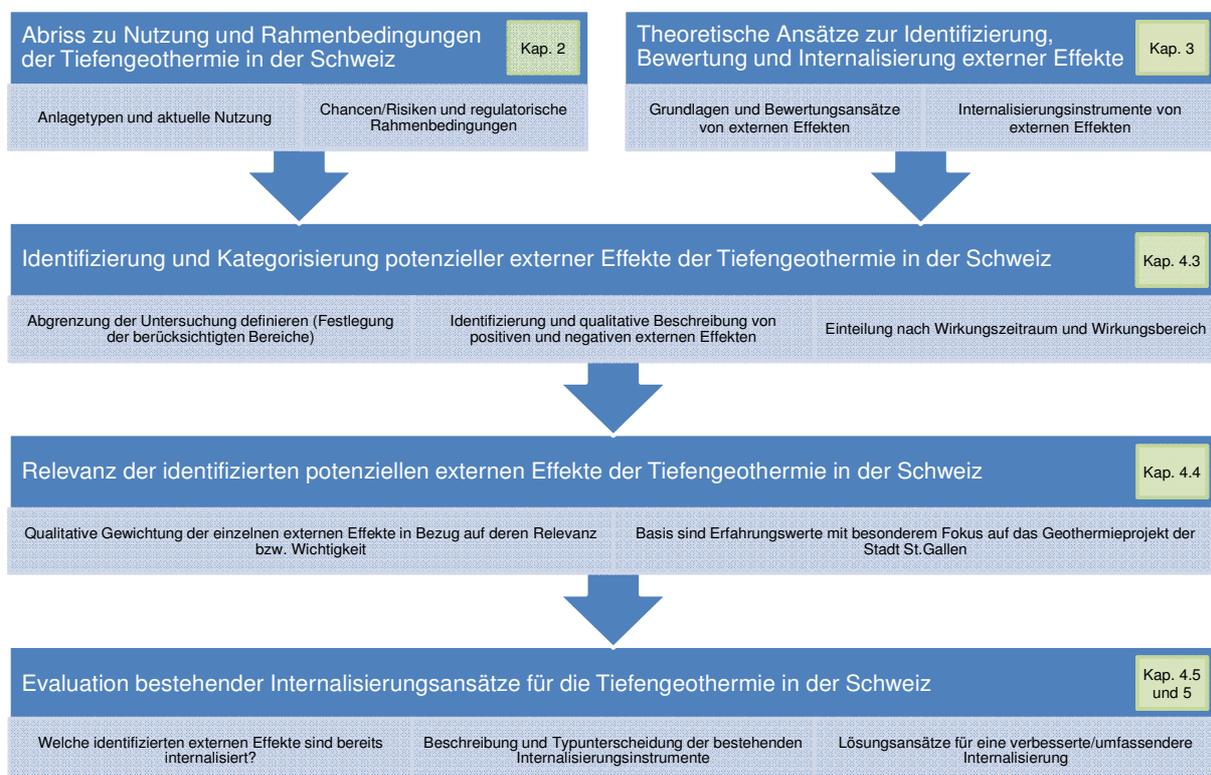


ABBILDUNG 1: METHODISCHES VORGEHEN DER VORLIEGENDEN PROJEKTARBEIT.

2 NUTZUNG UND RAHMENBEDINGUNGEN DER TIEFENGEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ

2.1 ANLAGETYPEN UND STAND DER TECHNIK

Die Nutzung der Erdwärme zur Wärme-, Kälte- oder Stromproduktion kann in Abhängigkeit der geologischen Disposition sowie des Nutzungszwecks unterschiedlich erfolgen. In der Schweiz sind im Bereich der Tiefengeothermie im Wesentlichen drei Nutzungstypen zu unterscheiden:

- **Tiefe Erdwärmesonden:** Die Tiefe Erdwärmesonde ist ein geschlossenes Kreislaufsystem, bei welchem innerhalb einer Tiefbohrung eine Wasserzirkulation – in der Regel mittels Koaxialsonde – erzeugt wird. Die Wärmeentzugsleistung ist direkt abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Gebirges und ist mit typischerweise wenigen hundert Kilowatt vergleichsweise bescheiden. Das System liefert ausschliesslich Wärme, welches meist über Wärmepumpen auf ein nutzbares Temperaturniveau gebracht wird.
- **Hydrothermale Systeme:** Eine effiziente Wärmegewinnung aus dem Untergrund kann am besten über das Wärmetransportmittel Wasser erfolgen. Wird ein natürlich vorhandenes Heisswasservorkommen erschlossen, so spricht man von der sogenannten hydrothermalen Tiefengeothermie (SVG, 2014). Typischerweise dient dabei eine Tiefbohrung zur Förderung des Heisswassers und eine andere zur Rückführung des in einem Heizkraftwerk abgekühlten Wassers. Diese Technologie ist gerade in Mitteleuropa weit verbreitet und etabliert, weist jedoch ein hohes Fündigkeitsrisiko auf. Bei ausreichend hohen Wassertemperaturen kann über das sogenannte Binärverfahren auch eine Niedertemperaturverstromung umgesetzt werden.
- **Petrothermale Systeme (auch «Enhanced Geothermal Systems» oder «Hot-Dry-Rock-Verfahren» genannt):** Das Wärmetransportmittel Wasser wird dabei künstlich genutzt, um in Gebieten ohne natürliche Heisswasservorkommen geothermische Wärme- und Stromproduktion zu ermöglichen. Hierzu ist die Erzeugung eines untertägigen Wärmetauschers im kaum durchlässigen, heissen Gestein über das Einpressen von Wasser unter hohem Druck erforderlich (SVG, 2014). Diese Risserzeugungs-Technik wird bei geothermischen Anwendungen auch hydraulische Stimulation genannt. Die Technologie der petrothermalen Tiefengeothermie befindet sich noch im Entwicklungsstadium; deren Potenzial ist aufgrund der standort-unabhängigeren Anwendungsmöglichkeiten jedoch viel höher, als jene der hydrothermalen Systeme. Anzumerken bleibt, dass eine strikte Trennung der petrothermalen und hydrothermalen Systeme kaum möglich ist, da es sich in der Praxis oftmals um Mischtypen handelt.

2.2 GEOTHERMISCHE STROM- UND WÄRMEPRODUKTION WELTWEIT

Grosstechnische Anlagen zur Nutzung geothermischer Energie für die Elektrizitätserzeugung finden sich weltweit insbesondere in vulkanisch und grosstektonisch aktiven Gebieten mit besonders hohen geothermalen Gradienten. In derartigen Hochenthalpie-Lagerstätten wird Heissdampf gefördert, welcher direkt mittels Dampfturbinen in Strom umgewandelt werden kann. Beispiele hierfür sind der Westen der USA, die Philippinen, Indonesien, Japan, Neuseeland, Türkei, Italien und Ostafrika (Böttcher, 2014; GEA, 2014). Dagegen ist gerade Mitteleuropa aufgrund der geologischen Disposition im Wesentlichen auf die Nutzung von Niederenthalpie-Lagerstätten angewiesen, welche typischerweise Temperaturgradienten in der Grössenordnung von 30°C bis maximal 40°C pro Kilometer aufweisen. Entsprechend ist die Reservoirerschliessung zur Erreichung einer ausreichenden Fördertemperatur mit grossem Bohraufwand und erhöhten Risiken verbunden.

Die weltweit installierte geothermische Stromproduktion hat sich von 1990 bis 2013 von 5.8 GW_e auf 11.8 GW_e erhöht. Ein weiterer Ausbau wird besonders in China, Indonesien, den Philippinen, Indien, Afrika und Europa erwartet (Böttcher, 2014).

Die Erdwärme wird in 78 Ländern aber insbesondere auch zur Wärmeproduktion genutzt. Die aktuell installierte Wärme-Gesamtleistung liegt bei über 50.5 GW_{th} mit einer jährlichen Wärmeproduktionsmenge von rund 120'000 GWh (Lund et al., 2010).

2.3 TIEFENGEOTHERMISCHE NUTZUNG IN DER SCHWEIZ

In der Schweiz erfolgt derzeit keine geothermische Stromproduktion. Der Bund geht in seinen Energieperspektiven 2050 aber von einem nachhaltig nutzbaren Potenzial von ungefähr 4.4 TWh pro Jahr aus (BFE, 2013). Das technisch umsetzbare Potenzial wird sogar auf rund 10 TWh jährlich geschätzt (Signorelli et al., 2006). Demgegenüber wird in der Schweiz bereits seit Jahrzehnten Wärme aus Tiefengeothermieanlagen gewonnen. Insgesamt liefern neun solcher Anlagen Wärme zu Heizzwecken oder für balneologische Anwendungen. Bekanntestes Beispiel ist der Wärmeverbund Riehen bei Basel.

Rund 25 Tiefengeothermieprojekte befinden sich derzeit in der Bau-, Planungs- oder Entwicklungsphase (SVG, 2015). In jüngster Zeit wurden aber auch einige Vorhaben gerade aufgrund der Ergebnisse aus dem Projekt St.Gallen sistiert.

2.4 RISIKEN UND CHANCEN VON TIEFENGEOTHERMIEPROJEKTEN

Mit der Umsetzung von Tiefengeothermieprojekten in der Schweiz sind im Wesentlichen die nachfolgenden potenziellen Risiken verbunden (u.a. aus Hirschberg et al., 2015; Böttcher, 2014). Die Aufzählung basiert insbesondere auch auf Praxiserfahrungen des Verfassers und ist nicht abschliessend zu betrachten. Auch hat die Reihenfolge keinen wertenden Charakter.

Risiko	Erläuterungen
Fündigkeitsrisiko	Unzureichende Fließrate, unzureichende Temperatur, nachteiliger Fluidchemismus
Umweltrisiken	Erdbebenrisiko, Grundwasser-/Gewässerverschmutzung, Luftverschmutzung, Bodenverschmutzung, Radioaktivität, Geländehebungen, Geländesenkungen, etc.
Technische Risiken	Bohrtechnische Schwierigkeiten, Schwierigkeiten beim Anlagenbau, Betriebsstörungen (z.B. Pumpenausfall, Ausfällungen etc.)
Unfallrisiko	Personenschaden, Materialschaden
Regulatorische Risiken	Schwierigkeiten im Bewilligungs-/Konzessionsverfahren, Rechtsunsicherheit (u.a. bzgl. Regelung des Untergrunds)
Soziale Risiken	Fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung oder anderen Stakeholdern, Imageverlust/Reputationsschaden
Managementrisiken	Beschaffungs- und Vertragsrisiken, Fachkräftemangel
Finanzielle Risiken	Absatzrisiko (insbesondere fehlende Wärmeabnehmer), Marktpreisrisiko (z.B. tiefe Energiepreise; Geothermieanlagen zeichnen sich durch hohe Fixkosten und tiefe variable Kosten aus), Wechselkursrisiko (viele ausländische Auftragnehmer/Lieferanten)

TABELLE 1: WICHTIGSTE RISIKEN VON GEOTHERMIEPROJEKTEN IN DER SCHWEIZ.

Gleichzeitig sind mit der Nutzung der tiefengeothermischen Energie zusammengefasst die nachfolgend aufgeführten Chancen verbunden (u.a. aus Hirschberg et al., 2015). Auch diese Aufzählung basiert mitunter auf Praxiserfahrungen des Verfassers. Sie ist nicht abschliessend zu betrachten und die Reihenfolge ohne Wertung dargestellt.

Chance	Erläuterungen
Umweltfreundliche Energienutzung	CO ₂ -Ausstoss gering, ressourcenschonend (Materialverbrauch gering, kaum Betriebsstoffe) etc.
Landschaftsbild wenig beeinträchtigt	Landschaftsbedarf gering, wesentliche Anlagenteile (v.a. Tiefbohrungen) befinden sich im Untergrund
Bandenergie	Geothermieanlagen liefern unabhängig von Tageszeiten oder saisonalen Schwankungen konstante Leistung
Lokale Wertschöpfung	Schafft Arbeitsaufträge/Arbeitsplätze und Know-how für lokale Unternehmen
Unabhängigkeit	Geothermische Energieproduktion ist unabhängig von ausländischen Energielieferanten
Wissensgewinn	Geologisches Wissen, Daten für Universitäten/Hochschulen, Wissenssteigerung bei lokalen Unternehmen, Wissenssteigerung in der Branche etc.
Imagegewinn	Positive Reputation für Region, Fachbesucher, öffentliche Darstellung, Medienpräsenz etc.

TABELLE 2: WICHTIGSTE CHANCEN VON GEOTHERMIEPROJEKTEN IN DER SCHWEIZ.

2.5 REGULATORISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

2.5.1 Heutiger Rechtsrahmen und Rechtsvorschriften

In der Schweiz liegt die Kompetenz zur Regelung der Nutzung des Untergrundes bei den Kantonen. Diese können ihrerseits die Zuständigkeit an die Gemeinden delegieren (Wiederkehr, 2014). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich gemäss Zivilgesetzbuch das private Eigentum an Grund und Boden so weit in die Tiefe erstreckt, als für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht (Art. 667, Abs. 1, ZGB). Unterhalb dieses, nicht mit einem allgemeingültigen Wert definierbaren, aber typischerweise bei rund 400 m bis 500 m anzusetzenden, Tiefenbereichs befinden sich die herrenlosen und öffentlichen Sachen. Mit anderen Worten verfügt das Gemeinwesen im Hinblick auf die Nutzung des tiefen Untergrundes auf ein faktisches Monopol (Wiederkehr, 2014). Allerdings sind nicht alle Nutzungsarten im tiefen Untergrund in den kantonalen Gesetzgebungen gleichermassen festgehalten. Vielerorts ist gerade die Tiefengeothermie nicht ausdrücklich als kantonales Monopol in den Kantonsverfassungen definiert (VUR, 2014). Dies bedeutet auch, dass spezifische, rechtliche Grundlagen betreffend die Bewilligung, die Nutzung oder die Kompetenzregelung im Bereich der Tiefengeothermie auf Gesetzes- oder Verordnungsebene mehrheitlich fehlen. So ist weder für Projektentwickler noch für die Behörden ausreichende Rechtssicherheit gegeben. Bei zunehmender Bedeutung der Nutzung des tiefen Untergrundes werden sich ohne klare Regelungen zukünftig auch Nutzungskonflikte kaum vermeiden lassen.

Regelungen betreffend das Abteufen von Tiefbohrungen zur geothermischen Nutzung finden sich derzeit insbesondere in der Gewässerschutzgesetzgebung auf Bundesebene sowie den kantonalen Gesetzen über die Gewässernutzung und den Bergregalrechten. In naher Zukunft soll es in einigen Kantonen rechtliche Anpassungen zur Nutzung des tiefen Untergrundes geben. In Kap. 2.5.3 werden die vorgesehenen Änderungen des Rechtsrahmens in Bezug auf die Tiefengeothermie aufgezeigt.

2.5.2 Förderinstrumente

Zur Förderung der Tiefengeothermie in der Schweiz sind derzeit im Wesentlichen folgende Instrumente, welche nachfolgend im Einzelnen behandelt werden, bedeutsam:

- Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)
- Risikoabsicherung des Bundes
- Forschungsmittel des Bundes
- Kantonale und kommunale Fördermassnahmen

Die Fördermassnahmen sind stark auf die geothermische Stromgewinnung fokussiert. Tiefengeothermische Anlagen zur reinen Wärmeproduktion werden auf

Bundesebene mit Ausnahme von Forschungsprojekten nicht gefördert. Eine Unterstützung ist allenfalls im Rahmen von kantonalen oder kommunalen Fördermassnahmen möglich.

Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)

Um den Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix zu erhöhen, setzt die Schweiz seit 2009 auf das System der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV). Die Vergütungsansätze werden regelmässig technologiespezifisch geprüft und bei Bedarf angepasst. Für die geothermische Stromproduktion werden derzeit in Abhängigkeit der elektrischen Nennleistung der Anlage folgende Vergütungen während einer Dauer von 20 Jahren (ohne jährliche Absenkung) entrichtet:

Leistungsklasse P_{el} [MW]	Vergütung [Rp./kWh]
≤ 5	40.0
≤ 10	36.0
≤ 20	28.0
> 20	22.7

TABELLE 3: AKTUELLE VERGÜTUNGEN FÜR GEOTHERMIESTROM (ENV, AUG. 2014)

Im Vergleich mit anderen erneuerbaren Energien, welche mit dem bestehenden Ausbau sowie der Vielzahl an auf die KEV-Warteliste aufgenommenen Projekten teilweise bereits die Ausbauziele bis 2020 der Energiestrategie 2050 erfüllen könnten, sind Geothermievorhaben deutlich untervertreten (BFE, 2014). So wurde seit Einführung des KEV-Fonds noch keine Vergütung für Geothermiestrom geleistet und auf der aktuellen Warteliste sind von insgesamt rund 34'000 gemeldeten Projekten lediglich vier der Geothermie zuzuordnen (Stiftung KEV, 2014).

Ein vergleichbares Förderinstrument wird beispielsweise auch in Deutschland eingesetzt. Dort wird die Stromproduktion aus Geothermie über eine garantierte Einspeisevergütung gemäss Erneuerbare-Energien-Gesetz unterstützt (Böttcher, 2014). Sie beträgt derzeit 0.25 €/kWh und erhöht sich um zusätzliche 0.05 €/kWh bei Nutzung der petrothermalen Technik. Mit diesem Technikbonus soll das Ziel erreicht werden, die technisch noch anspruchsvollere Gewinnungsmethode – welche über ein sehr grosses theoretisches Potenzial verfügt – zu fördern bzw. deren Attraktivität zu steigern. Die Förderung unterliegt ab dem Jahr 2018 (aufgrund des schleppenden Ausbaus der Geothermie deutlich später als ursprünglich vorgesehen) einer Degression der Mindestvergütung und des Bonus für Neuanlagen. Die degressive Absenkung beträgt 5 % auf die jeweilige Vergütung des Vorjahres. Damit soll die zu erwartende Kostensenkung bereits im Gesetz berücksichtigt werden.

Andere Länder, z.B. Schweden und Norwegen, setzen im Bereich der erneuerbaren Energien auf ein Quotensystem (BFE, 2014). Jeder Stromlieferant muss einen entsprechenden Anteil an erneuerbaren Energien in seinem Energieportfolio führen und nachweisen. Wird der geforderte Anteil nicht erreicht, so muss er Zertifikate zukaufen. Wiederum andere Förder- oder Lenkungssysteme setzen beim Endkunden an, welcher Aufschläge, d.h. eine sogenannte differenzierte Stromabgabe, zu entrichten hat, wenn er Strom aus nicht erneuerbaren Energien bezieht (BFE, 2014).

Risikoabsicherung des Bundes

Der Bund gewährt für Geothermieprojekte zur Stromproduktion, welche eine in der Energieverordnung definierte Mindestanforderung erfüllen, eine Risikobürgschaft. Diese Absicherung in der Höhe von derzeit maximal 50 % der anrechenbaren Bohr- und Testkosten wird dem Projektanten ausbezahlt, sofern die Bohr- und Testarbeiten als Teil- oder Misserfolg gewertet werden. Derzeit stehen für diese Bürgschaft maximal CHF 150 Mio. zur Verfügung. Die Finanzierung erfolgt über den KEV-Fonds. Auch dem Geothermievorhaben der Stadt St.Gallen wurde eine entsprechende Risikoabsicherung gewährt. Aufgrund des im Jahr 2014 kommunizierten Misserfolgs wird voraussichtlich diesem Projekt die zugesicherte Risikobürgschaft – zum ersten Mal überhaupt – ausbezahlt werden (sgsw, 2014).

Forschungsmittel des Bundes

Im Energiegesetz der Schweiz ist die staatliche Förderung der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung sowie der forschungsnahen Entwicklung neuer Energietechnologien explizit festgehalten (EnG, Art.12, Mai 2014).

Die finanziellen Mittel, welche hierfür im Bereich der Tiefengeothermie eingesetzt werden, sind in Anbetracht des erforderlichen Bedarfs zur Abklärung der technischen und wirtschaftlichen Nutzung dieser Energiequelle vergleichsweise bescheiden. So sind aktuell für Forschung und Entwicklung der Tiefengeothermie rund CHF 0.5 Mio. pro Jahr budgetiert. Zusätzlich sind in diesem Zusammenhang jährlich rund CHF 0.2 Mio. für internationale Programme und Vernetzung vorgesehen. Darüber hinaus stehen derzeit für Pilot- und Demonstrationsanlagen ungefähr CHF 2.7 Mio. pro Jahr zur Verfügung (Siddiqi, 2014).

Nicht berücksichtigt in den oben genannten Zahlen sind das Budget für die BFE-Ressortforschung, allfällige Forschungsgelder aus dem Schweizerischen Nationalfonds (SNF) sowie Zuschüsse für marktnahe Forschung im Rahmen von Projekten der Kommission für Technologie und Innovation (KTI). Über letztere wird auch der Kapazitätsaufbau eines schweizerischen Kompetenzzentrums für die Energieforschung im Bereich der Strombereitstellung mit CHF 12 Mio. für die Jahre 2013 bis 2016 unterstützt. Neben der Wasserkraft und der CO₂-Speicherung soll im Rahmen dieses sogenannten «Swiss Competence Centers for Energy Research – Supply of Electricity» (SCCER-SoE) speziell auch die Tiefengeothermie behandelt werden.

Kantonale und kommunale Fördermassnahmen

Um die energiepolitischen Ziele zu erreichen, setzen auch die meisten Kantone und Gemeinden auf die Förderung von erneuerbaren Energien. Davon können teilweise auch Tiefengeothermieprojekte profitieren. Als Beispiel hierfür kann das wärmebasierte, hydrothermale Geothermieprojekt in Schlattingen genannt werden, welches im Jahr 2010 zur Teildeckung des Fündigkeitsrisikos einen Verpflichtungskredit vom Kanton Thurgau zugesprochen erhalten hat (Grob, 2014). Die Fördermassnahmen sind in den einzelnen Kantonen und Gemeinden unterschiedlich definiert und werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter beleuchtet.

2.5.3 Vorgesehene regulatorische Anpassungen

Auf Bundesebene sind aktuell folgende politische Aktionen in Diskussion, welche eine entsprechende Veränderung der Rahmenbedingungen für die Tiefengeothermie in der Schweiz zur Folge haben könnten (Siddiqi, 2014):

- **Erstes Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 (13.074):** Für die Tiefengeothermie ist im Rahmen der Diskussionen rund um das erste Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 insbesondere die Erhöhung der Risikoabsicherung des Bundes (siehe Kap. 2.5.2) von maximal 50 % der anrechenbaren Bohr- und Testkosten auf 60 % wesentlich. Diese Änderung des Energiegesetzes wurde Ende 2014 vom Parlament gutgeheissen. Auch könnte eine Anpassung des CO₂-Gesetzes dazu führen, dass zukünftig die wärmegeführte mitteltiefe Geothermie über CO₂-Abgaben gefördert werden kann. Zusätzlich sind leichte Abwandlungen im Bereich der Festlegung von KEV-Vergütungsansätzen (siehe Kap. 2.5.2) vorgesehen.
- **SR Gutzwiller Tiefe Geothermie. Offensive (Mo. 11.3562):** Mit dieser Motion wird bezweckt, dass der Bundesrat gute Voraussetzungen für Investitionen in Tiefengeothermieprojekte zur Stromgewinnung schafft. Dabei stehen neben Massnahmen, welche bereits im Rahmen der Energiestrategie 2050 umgesetzt werden sollen, auch insbesondere die Vereinheitlichung und Vereinfachung von Bewilligungsverfahren sowie die Förderung von Forschung und Pilotprojekten im Vordergrund.
- **SR Gutzwiller Tiefe Geothermie. Schweizweite Erkundung (Mo. 11.3563):** Ziel dieser Motion ist die Beantwortung der Frage, ob und wie sich der Untergrund für die tiefe Geothermie zur Strom- und Wärmegewinnung eignet. Hierfür soll eine schweizweite Erkundung des tiefen Untergrunds organisiert und finanziert werden. Der Bundesrat ist beauftragt, diesbezüglich einen Lösungsvorschlag zu erarbeiten.
- **NR Riklin Aktionsplan Geothermie (Mo. 11.4027):** Im Rahmen dieser Motion wird der Bundesrat gebeten, einen Aktionsplan vorzulegen, welcher die Förderung der Geothermie in der Schweiz zusammen mit den

Stromproduzenten und anderen Akteuren in konkreten Schritten darlegt. Dabei sollen insbesondere die Exploration und Erforschung mit Bohrungen und seismischen Messungen sowie die Entwicklung allgemeiner Richtlinien auf Bundesebene berücksichtigt werden.

- **NR Riklin Nutzung des Untergrunds (Po. 11.3229):** Der Bundesrat hat Ende 2014 den Bericht „Nutzung des Untergrundes“ in Erfüllung dieses Postulats verabschiedet. Darin wird festgehalten, welche Möglichkeiten bestehen, die nachhaltige Nutzung des Untergrundes in der Schweiz besser zu regeln. Aus dem Bericht geht hervor, dass Anpassungen insbesondere im Bereich des Raumplanungsgesetzes, des Haftungsrechts sowie des Managements von Geodaten weiter geprüft und allenfalls umgesetzt werden sollen (ARE, 2014a). Dazu gehört auch die Erarbeitung eines Behördenleitfadens für die Umsetzung von Tiefbohrungen.

Auch auf kantonaler Ebene sind Anpassungen der Rahmenbedingungen für Tiefengeothermieprojekte absehbar. Mit dem Gesetz über die Nutzung des tiefen Untergrunds und die Gewinnung von Bodenschätzen hat der Kanton Aargau bereits im Jahr 2012 den an die aktuellen Herausforderungen angepassten rechtlichen Rahmen im Bereich der Untergrundnutzung gesteckt. Auch die Kantone Appenzell-Ausserrhoden, Appenzell-Innerrhoden, Glarus, St.Gallen, Schaffhausen, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich sind derzeit an der Erarbeitung eines entsprechenden Gesetzes über die Nutzung des Untergrunds. Davon werden insbesondere petrothermale Geothermieprojekte betroffen sein. Eine Grundwassernutzung, wie sie bei der hydrothermalen Technologie Anwendung findet, wird auch weiterhin vornehmlich in den kantonalen Gesetzen über die Gewässernutzung geregelt bleiben. Mit den neuen Gesetzen zur Nutzung des Untergrunds soll durch Regelungen der Exploration, der Standortsicherung sowie der Nutzung auch die Rechtssicherheit für Tiefengeothermieprojekte erhöht werden, um damit die Investitionsbereitschaft zu erhöhen (Kanton Thurgau, 2014).

3 THEORETISCHE BETRACHTUNG DER EXTERNEN EFFEKTE

3.1 DEFINITION VON EXTERNEN EFFEKTEN

Unter externen Effekten oder Externalitäten versteht man positive oder negative Auswirkungen, die bei der Produktion oder dem Konsum eines Gutes entstehen, jedoch nicht dem Verursacher zugute kommen respektive durch diesen getragen werden müssen (BFE, 1994). Im Gegensatz dazu wirken interne Effekte direkt auf den beteiligten Marktteilnehmer und dienen prioritär oder sogar ausschliesslich der betriebswirtschaftlichen Entscheidungsfindung.

Externe Effekte gehen demzufolge am Markt vorbei und sind entsprechend nicht in den Marktpreisen berücksichtigt. Als Ergebnis davon werden zum einen Kosten oder

Nutzen auf Aussenstehende abgewälzt und damit nicht leistungsgerecht kompensiert, zum andern entsteht gesamtwirtschaftlich gesehen ein ineffizientes Handeln, da in der Regel nicht die bestmögliche Nutzung einer Ressource erreicht wird (Beck, 2011). Volkswirtschaftlich kann in einem solchen Fall von Marktversagen gesprochen werden.

Externalitäten können wie folgt unterschieden werden (Beck, 2011):

- **Negative externe Effekte (externe Kosten):** Schäden und Kosten, die sich nicht in den Marktpreisen widerspiegeln und auf Aussenstehende abgewälzt werden. Sie treten insbesondere dort auf, wo Verfügungsrechte der Geschädigten fehlen oder nicht durchgesetzt werden.
- **Positive externe Effekte (externe Nutzen):** Unentgeltliche Nutzenstiftungen an Aussenstehende bzw. Trittbrettfahrer.

3.2 MESSUNG UND BEWERTUNG VON EXTERNEN EFFEKTEN

Um externe Effekte in den Entscheidungsfindungsprozess integrieren zu können, ist deren möglichst exakte Quantifizierung unabdingbar. Aufgrund des meist unzureichenden empirischen Wissens kann dies jedoch in der Regel nur ansatzweise, mit grösseren Unsicherheiten und oftmals unvollständig erreicht werden. Auch gibt es kein allgemein gültiges Mess- oder Bewertungsverfahren, welches situationsunabhängig herangezogen werden kann. So ist je nach Themenbereich und Datenlage eine geeignete Methode zu finden und anzuwenden. In der Literatur wird dabei häufig zwischen monetären und nicht-monetären Quantifizierungsansätzen unterschieden, wobei typischerweise ersteres, also eine Monetarisierung angestrebt wird, da nur damit eine plausible Internalisierung (vgl. Kap. 3.3) erreicht werden kann.

3.2.1 Monetäre Quantifizierungsansätze

Liegen für die Auswirkungen von externen Effekten Marktpreise vor, so können diese direkt zur Quantifizierung übernommen bzw. angesetzt werden. Da dies gerade bei Umweltauswirkungen aber nur selten der Fall ist, müssen in der Regel andere Monetarisierungs-Ansätze zur Anwendung kommen. Dies sind mitunter die nachfolgenden Verfahren (Kohler, 2006; ARE, 2014b).

Vermeidungskosten-Ansatz

Mit dem Vermeidungskosten-Ansatz werden die Kosten für diejenigen Massnahmen ermittelt, welche zur Vermeidung des negativen externen Effekts erforderlich sind (Kohler, 2006). Eine solche Massnahme kann typischerweise die Verwendung einer alternativen Technologie sein. Bei der Bewertung und Monetarisierung ist darauf zu achten, dass diejenige Vermeidungsmassnahme mit den geringsten Kosten berücksichtigt wird.

Schadenskosten-Ansatz

Beim Schadenskosten-Ansatz wird versucht, die durch einen externen Effekt entstehenden Schäden abzuschätzen. Unterschiedliche Methoden, wie das hedonistische Preiskonzept, das Zahlungsbereitschafts-Konzept oder das Dosis-Wirkungs-Konzept finden hierbei Anwendung (Kohler, 2006):

- **Hedonistisches Preiskonzept (Hedonic Pricing):** Mit diesem Ansatz wird der Einfluss des externen Effekts auf den Marktpreis von einzelnen betroffenen Gütern betrachtet und anschliessend aufsummiert. Dieses Konzept basiert grundsätzlich auf direkt beobachtbaren Marktpreisveränderungen und ist damit scheinbar zuverlässig. Allerdings ist es fast nie möglich, Marktpreisveränderungen alleine dem Einfluss des betrachteten externen Effekts zuzuordnen, da Preisveränderungen typischerweise nicht monokausal sind.
- **Zahlungsbereitschafts-Konzept (Stated Preferences):** Dieses Konzept basiert darauf, über Befragungen von Personen, die Zahlungsbereitschaft zur Erduldung eines externen Effekts zu ermitteln. Es handelt sich damit immer um hypothetische Preisfindungen, welche entsprechend von der Umfragesituation aber auch von strategischen Präferenzen der Befragten beeinflusst sind.
- **Dosis-Wirkungs-Konzept (Schadensfunktion):** Bei diesem Ansatz werden bekannte Schadensfunktionen herangezogen, um aus einer durch den externen Effekt emittierten Dosis, die entsprechende Wirkung bzw. den Schaden zu quantifizieren. Damit kann auf monetär bewertbare Grössen geschlossen werden. Dieser Ansatz findet insbesondere im Bereich von Gesundheitskosten Anwendung, da dort oftmals der Zusammenhang zwischen der verabreichten Dosis und der daraus resultierenden Wirkung auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse und Studien bekannt ist. Ein Beispiel hierfür ist der Zusammenhang zwischen der Feinstaubbelastung und der Anzahl an Lungenkranken, welcher auf Basis von empirischen Forschungsstudien nachgewiesen ist.

Reparatur-/Ersatz-/Alternativkosten-Ansatz

Mit diesem Ansatz werden die Kosten derjenigen Massnahmen ermittelt, mit welchen der entstandene Schaden repariert oder das beschädigte Gut ersetzt werden kann (Kohler, 2006). Da diese Reparatur- oder Ersatzmassnahmen keinen direkten Zusammenhang mit der Auswirkung eines externen Effekts aufweisen, sind sie ein eher schlechtes Mass für die Quantifizierung der externen Kosten. Oftmals führen Reparatur- oder Ersatzmassnahmen lediglich zu einer Verminderung des externen Schadens, weshalb die effektiven Auswirkungen des externen Effekts mit diesem Ansatz tendenziell unterbewertet werden.

3.2.2 Nicht-monetäre Quantifizierungsansätze

Nicht für alle externen Effekte sind monetäre Quantifizierungsansätze praktikabel. Meistens ist eine Monetarisierung auch nicht umfassend zu realisieren, was dazu führt, dass eine unvollständige Berücksichtigung externer Effekte in Kauf genommen werden muss.

Auswirkungen, welche nicht oder kaum mit Geldeinheiten beschrieben werden können, werden deshalb oftmals mit alternativen Analysemethoden bewertet. Bei diesen nicht-monetären Quantifizierungsansätzen ist zwar kein allgemeingültiges Verfahren bekannt, im Zentrum steht bei solchen Ansätzen jedoch stets die Wichtigkeit oder Relevanz eines Effekts. Diese wird mit entsprechenden Bewertungseinheiten (z.B. dimensionslose Wertziffern) vergleichbar dargestellt. Als Datengrundlage für eine nicht-monetäre Bewertung dienen Statistiken, Erfahrungswerte, Befragungen oder Vor-Ort-Analysen (Kohler, 2006).

Ein häufig verwendeter nicht-monetärer Quantifizierungsansatz ist die sogenannte **Nutzwertanalyse**. Sie dient im Rahmen der Entscheidungstheorie der Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers über die Angabe von sogenannten Nutzwerten zu ordnen (Zangemeister, 1976). Diese Methode wurde beispielsweise bereits von Kohler (2006) für die Bewertung externer Effekte der Laufwasserkraftnutzung angewendet.

3.3 INTERNALISIERUNGSSINSTRUMENTE

Bereits in Kap. 3.1 wurde erläutert, dass über den Markt alleine typischerweise keine Kompensation von sozialem Nutzen und sozialen Kosten, ausgelöst durch positive oder negative externe Effekte, erreicht werden kann. Wird eine Beseitigung dieser volkswirtschaftlichen Ineffizienzen bezweckt und damit ein Wohlfahrtsmaximum angestrebt, so müssen die Externalitäten entsprechend internalisiert, d.h. in das Wirtschaftlichkeitskalkül des Verursachers integriert werden. Diesem wird damit künstlich ein ökonomischer Anreiz gegeben, diese Effekte in seiner Tätigkeit und Entscheidungsfindung miteinzubeziehen.

Für die Umsetzung solcher Internalisierungen stehen unterschiedliche private als auch staatliche Instrumente zur Verfügung, welche alle ihre Vor- und Nachteile aufweisen. Für die Beurteilung der Wirksamkeit eines Internalisierungsinstruments werden typischerweise Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt, die Anreizwirkung zur Verminderung des negativen externen Effekts betrachtet, die politische Durchsetzbarkeit geprüft, Umgehungsmöglichkeiten geklärt sowie die Treffsicherheit analysiert (Fritsch, 2011).

Die wichtigsten Internalisierungstypen werden in den nachfolgenden Kapiteln kurz erläutert.

Moralische Appelle und Verhaltensregeln

Der Akteur bzw. Verursacher kann durch moralische Appelle oder allgemeine Verhaltensregeln auf freiwilliger Basis dazu bewogen werden, ein von der Gesellschaft gewünschtes Verhalten an den Tag zu legen. Auf diese Weise können prinzipiell auch externe Effekte kompensiert oder zumindest dezimiert werden. Die Wirksamkeit und Effizienz dieses Instruments wird tendenziell aber als eher schwach bewertet (Fritsch, 2011).

Fusion der Beteiligten

Eine weitere Möglichkeit zur Internalisierung externer Effekte kann ein Zusammenschluss der Beteiligten, d.h. der Verursacher und der Geschädigten, zu einer einzigen Wirtschaftseinheit sein. So werden positive oder negative externe Effekte zu einer internen Angelegenheit, wodurch ein starker Anreiz entsteht, die Externalitäten in einem optimalen Ausmass zu halten (Fritsch, 2011). Ein Beispiel hierfür ist die Bildung einer funktionalen Region, bei welcher sich eine Stadt mit den Aussengemeinden zu einer Einheit zusammenschliesst. Die städtische Infrastruktur soll dabei besser von den Aussengemeinden genutzt werden können. Gleichzeitig sind die damit verbundenen Emissionen nun über die gesamte Region mitzutragen und zu optimieren. Sie wirken damit nicht mehr explizit als negative externe Effekte auf die Aussengemeinden, sondern sind durch den Zusammenschluss faktisch als interne Effekte zu betrachten. Eine Fusion von Beteiligten zur Internalisierung von externen Effekten ist jedoch eher selten möglich. Gerade wenn private Haushalte betroffen sind, ist ein solcher Ansatz kaum umzusetzen.

Verhandlungen (Coase-Theorem)

Eine Internalisierung von externen Effekten ist auch über Verhandlungen zu erreichen. Das Coase-Theorem verfolgt dabei die Idee, dass sich der Verursacher mit dem Geschädigten ohne staatliche Massnahmen in Form einer Ausgleichszahlung für den erduldeten externen Effekt einigen kann. Für eine erfolgreiche Umsetzung einer solchen Verhandlungslösung ist es notwendig, dass die Eigentumsrechte klar definiert sind, möglichst geringe Transaktionskosten (Informations-, Verhandlungs-, Einigungskosten etc.) anfallen sowie zwischen allen Parteien ein symmetrischer bzw. gleicher Informationsstand betreffend die Schadenshöhe besteht (Fritsch, 2011). Insbesondere wenn viele Parteien betroffen sind, können die Transaktionskosten stark ansteigen, was eine reale Umsetzung einer solchen Verhandlungslösung teilweise verunmöglicht (Kohler, 2006).

Gebote, Verbote und Auflagen

Der Staat kann über Gebote, Verbote oder Auflagen negative externe Effekte einschränken oder verhindern. Diese können über finanzielle Sanktionen bei Nicht-Befolgung oder finanzielle Kompensationen bei Befolgung wirksam durchgesetzt

werden. Als Beispiel hierfür kann die Festlegungen von Schadstoffgrenzwerten genannt werden, welche die Umweltverschmutzung auf eine erlaubte Höchstmenge oder Höchstkonzentration beschränkt. Negative Effekte treten damit typischerweise trotzdem auf, die Grösse der Auswirkung wird jedoch auf ein gemäss der staatlichen Vorgabe vertretbares Mass verringert. Die Festlegung von erlaubten Schadensmengen von staatlicher Seite ist aufgrund von häufig auftretenden Informationsdefiziten teilweise problematisch (Kohler, 2006).

Steuern und Subventionen

Bei negativen externen Effekten kann zu deren Internalisierung von Seiten Staat eine Steuer, bei positiven externen Effekten eine Subvention eingeführt werden. Dazu gehört mitunter die sogenannte Pigou-Steuer. Diese Lenkungsabgabe sieht vor, dass die steuerliche Belastung des Verursachers so hoch angesetzt wird, dass die sozialen Grenzkosten (d.h. die Schadenskosten bei Dritten pro zusätzliche Emissionseinheit) und die privaten Grenzkosten (d.h. die Vermeidungskosten für den Verursacher pro zusätzliche Emissionseinheit) identisch sind (Fritsch, 2011). Man spricht dabei auch von einer sogenannten pareto-optimalen Internalisierung. Der Verursacher wird damit dazu bewegt, die Umweltgüter sparsamer zu verwenden. Allerdings ist es aufgrund des meist begrenzten Informationsstandes des Staates oftmals schwierig, den Pigou-Steueransatz auf der theoretisch optimalen Höhe festzulegen.

Eine andere Internalisierungsvariante über Steuern ist der sogenannte Preis-Standard-Ansatz. Hierbei wird seitens Politik ein bestimmtes Internalisierungsziel (z.B. ein festgelegter Immissionswert), ein sogenannter Umweltstandard, vorgegeben. Der Steuersatz wird so gewählt und allenfalls fortlaufend angepasst, dass das gewünschte ökologische Ziel erreicht wird (Fritsch, 2011). Ein Beispiel hierfür ist die CO₂-Abgabe in der Schweiz, welche auf fossile Brennstoffe zur Strom-, Wärme- und Lichtgewinnung erhoben wird (BAFU, 2014a).

Sowohl bei Steuern als auch bei Subventionen fallen auf staatlicher Seite entsprechende Kontroll- und Verwaltungskosten an (Kohler, 2006).

Zertifikate

Externe Effekte, insbesondere im Bereich von Schadstoffemissionen, können auch über einen Zertifikathandel internalisiert werden. Der Staat legt dabei die Gesamtmenge des externen Effekts bzw. der Emission fest und vergibt anschliessend in dieser Höhe handelbare Schädigungsrechte in Form von Zertifikaten. Unternehmen können die Zertifikate beim Staat oder bei anderen Unternehmen kaufen sowie untereinander handeln, weshalb Angebot und Nachfrage zu einem Gleichgewichtszertifikatskurs führen (Fritsch, 2010). Ist dieser Kurs höher als die Grenzvermeidungskosten eines externen Effekts, so wird ein Unternehmen bestrebt sein, anstelle des Einkaufs von Zertifikaten zusätzliche Emissionen zu

vermeiden. Beispiel für dieses Internalisierungsinstrument sind die CO₂-Zertifikate des europäischen Emissionshandel-Systems. Auch in der Schweiz müssen Firmen mit einer Gesamtfeuerungswärmeleistung von mindestens 20 MW oder anderen bereichsspezifischen Schwellenwerten am Emissionshandel teilnehmen und sind anstelle davon von der CO₂-Abgabe befreit (BAFU, 2014b).

4 EXTERNE EFFEKTE BEI DER TIEFENGEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ

4.1 BESTEHENDE STUDIEN ZU EXTERNEN EFFEKTEN DER TIEFENGEOTHERMIE

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Literaturrecherche hat gezeigt, dass sich bis dato nur wenige Studien mit der Identifizierung und Analyse von externen Effekten der Tiefengeothermie befasst haben.

Für die Schweiz sind dies insbesondere eine Studie der TA-Swiss, in welcher u.a. eine Ökobilanz umgesetzt wurde (Hirschberg et al., 2015) sowie eine Studie der Energieperspektiven 2035 des Bundes (BFE, 2007). In Letzterer werden die externen Kosten unterschiedlicher Stromproduktionstechnologien aufgrund der Luftverschmutzung und deren Auswirkungen auf Gesundheit und Gebäude bewertet. Für die petrothermale Tiefengeothermie wurden Schadstoffemissionswerte aus Deutschland übernommen und die externen Kosten diesbezüglich mit 1.06 Rp./kWh monetarisiert (BFE, 2007).

Für Geothermieranlagen in den USA wurden die Externalitäten durch die Vereinigung Geothermal Energy Association grob beleuchtet (Kagel, 2006; Matek, 2013). Als positive externe Effekte wurden u.a. die umweltfreundliche und sichere Wärme- und Stromproduktion, die Schaffung von hochqualifizierten Arbeitsplätzen, die erhöhten Steuereinnahmen, die Lieferung von Bandenergie sowie die Stabilisierung der Energiepreise genannt. Negative Auswirkungen auf die Wirtschaft, die Luft, die Gesundheit und die Gesellschaft sind nur untergeordnet betrachtet worden.

Des Weiteren wurden vor wenigen Jahren durch das isländische Innovationszentrum Methoden untersucht, um die externen Effekte von Geothermieranlagen in Island zu bewerten (Frisbaek et al., 2010). Als Externalitäten sind insbesondere die Auswirkungen von Luftschadstoffen, Schadstoffe im Thermalwasser, thermo-dynamische Effekte, Veränderungen des Landschaftsbildes, Tourismus, Lärm, neue Verkehrsverbindungen sowie archäologische Funde betrachtet worden.

Allen bekannten und zuvor erwähnten Studien über die externen Effekte der Tiefengeothermie ist gemeinsam, dass keine umfassende Inventarisierung von allgemeinen und technologiespezifischen Externalitäten vorgenommen wurde. Vielmehr sind einige wenige externe Effekte detailliert betrachtet und teilweise bewertet worden. Im Besonderen wurden die Auswirkungen von Luftschadstoffen betrachtet. Ebenso ist zu erwähnen, dass Studienergebnisse mit Bezug zu geothermischen Nutzungen im Ausland, wo in der Regel Hochenthalpie-Lagerstätten

(siehe Kap. 2.2) vorherrschen, nicht direkt auf die Schweiz abgeleitet werden können.

4.2 ABGRENZUNG UND DEFINITION EINES STANDARD-VORHABENS

Gemäss der in Abb. 1 dargestellten Vorgehensweise und Methodik wird im nachfolgenden Kap. 4.3 ein möglichst umfassendes Inventar an positiven und negativen externen Effekten der Tiefengeothermie in der Schweiz erstellt. Dabei werden auch Effekte aufgeführt und beschrieben, welche bereits durch bestehende Massnahmen (teil-)internalisiert sind und deshalb streng genommen als interne Effekte zu betrachten sind. Der Verfasser spricht aus diesem Grund von „potenziellen“ externen Effekten. Inwieweit diese durch Internalisierungsmassnahmen vollständig, teilweise oder überhaupt nicht kompensiert sind, wird erst anschliessend in Kap. 4.5 beleuchtet.

Die identifizierten, potenziellen externen Effekte werden in die nachfolgend aufgeführten **Wirkungszeiträume**, welche typischen Projektphasen eines Tiefengeothermievorhabens entsprechen, eingeteilt:

- Exploration (3D-Seismik),
- Bohrungen (Bohrarbeiten/Reservoirerschliessung inkl. Tests/Stimulationen),
- Anlagenbau (Bau Kraftwerk und Heizzentrale),
- Betrieb (Wärme- und Stromproduktion inkl. Störfälle),
- und Rückbau (Bohrplatz- und Anlagenrückbau sowie Bohrlochverschluss)

Ebenso erfolgt eine Kategorisierung nach folgenden **Wirkungsbereichen**:

- Mensch (Gesundheit, Lebensgefühl, Wohnqualität, Wertvorstellungen etc.),
- Wirtschaft (Arbeitsplätze, Wissen, wirtschaftliche Abhängigkeiten etc.),
- Umwelt (Wasser, Boden, Luft, Flora und Fauna),
- und Infrastruktur (Gebäude und allgemeine Infrastruktur).

Die Untersuchung erfolgt auf Basis eines für die Schweiz möglichst allgemeingültigen Tiefengeothermieprojekts mit starker Anlehnung an das Geothermieprojekt der Stadt St.Gallen aus den Jahren 2009 bis 2014. Obwohl in der Schweiz unterschiedliche tiefengeothermische Nutzungs- und Anlagentypen denkbar sind (vgl. Kap. 2.1), wird zur Vereinfachung und Verallgemeinerung diesbezüglich keine Unterscheidung vorgenommen. Hingegen wird ein **Standard-Vorhaben** mit folgenden Elementen definiert und betrachtet:

- Regionale 3D-Reflexionsseismik mit Vibrations- und Schusspunkten (ca. 2 Monate Feldarbeit)
- Bau eines Bohrplatzes (ca. 8 Monate)
- Abteufung von zwei abgelenkten Tiefbohrungen in 3 bis 5 Kilometer Tiefe (ca. 12 Monate)

- Injektions- und Produktionstests in beiden Tiefbohrungen inkl. chemische und hydraulische Stimulationsarbeiten sowie anschliessende Zirkulationstests (6 Monate)
- Bau eines Geothermieheizkraftwerks zur Wärme- und Stromproduktion mit ORC- oder Kalina-Technologie (24 Monate)
- Betrieb des Geothermieheizkraftwerks zur Wärme- und Stromproduktion (30 Jahre)
- Rückbau der Bohrung, des Bohrplatzes und des Geothermieheizkraftwerks (12 Monate)

In der nachfolgenden Untersuchung werden Effekte, welche mit vor- oder nachgelagerten Prozessen zu den betrachteten Wirkungszeiträumen verbunden sind, nicht berücksichtigt. Darunter fallen insbesondere Materialproduktionen in Werken (Bohrwerkzeuge, Futterrohre, Anlagenteile etc.), der Bau und Betrieb von Verteilnetzen (Fernwärme und Elektrizität) sowie allfällige Personen- und Fahrzeugunfälle aufgrund von erhöhtem Verkehrs- oder Arbeitsaufkommen.

4.3 IDENTIFIZIERUNG POTENZIELLER EXTERNER EFFEKTE

Nachfolgend werden gemäss der in Kap. 4.2 aufgeführten Methodik potenzielle externe Effekte für ein Standard-Tiefengeothermievorhaben in der Schweiz benannt, gruppiert und in die definierten unterschiedlichen Wirkungszeiträume und Wirkungsbereiche eingeteilt.

Die Vielfalt und Menge an potenziellen externen Effekten ist enorm gross. Viele mögliche Externalitäten sind jedoch kaum von Bedeutung. In dieser Projektarbeit werden deshalb nur Effekte aufgeführt, welche aus Sicht des Verfassers eine gewisse Praxisrelevanz aufweisen.

Die identifizierten potenziellen negativen externen Effekte werden in Tab. 4, die potenziellen positiven externen Effekte in Tab. 5 aufgelistet. Die Reihenfolge ist dabei ohne Wertung zu verstehen und die Gruppierung in einzelne Bereiche (z.B. NEE 1 „Luftverschmutzung“ oder NEE 2 „Wasserverschmutzung“) dient hauptsächlich der besseren Übersichtlichkeit. Es gilt zu beachten, dass eine eindeutige Zuordnung in einen Wirkungszeitraum oder Wirkungsbereich mit dem Symbol „x“ dargestellt wird. Falls hingegen eine solche Zuordnung eines potenziellen externen Effekts nur in Ausnahmefällen Gültigkeit hat, wird das Symbol „(x)“ verwendet. Leere Felder bedeuten, dass der betrachtete Wirkungszeitraum oder Wirkungsbereich nicht relevant tangiert wird.

Weitere Erläuterungen zu den einzelnen identifizierten potenziellen Externalitäten sind dem Anhang zu entnehmen. Dort werden insbesondere auch deren Auswirkungen ausführlicher dargelegt.

Nr.	Potenzieller negativer externer Effekt (NEE)	Erläuterungen	Wirkungszeitraum					Wirkungsbereich				
			Exploration	Bohrungen	Anlagenbau	Betrieb	Rückbau	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur	
NEE1 Luftverschmutzung												
NEE1.1	Ausstoss Klimagase (v.a. CO ₂ und CH ₄)	Treibstoff, Material, Verbrennung, Gas	x	x	x	(x)	x	x		x	x	
NEE1.2	Ausstoss toxischer Gase (v.a. H ₂ S)	Erschliessung von Gasvorkommen		x		(x)		x		x	(x)	
NEE1.3	Verbrennungspartikel (Russ etc.)	Abfackeln von Gas, Dieselgeneratoren	x	x	x		x	x		x	(x)	
NEE1.4	Dampf und Geruch	Heisses Wasser, Kraftwerkskühlung		x		x		x		x		
NEE2 Wasserverschmutzung												
NEE2.1	Gewässer-verschmutzung	Thermalwasser, Bohrspülung, etc.	(x)	x	(x)	(x)	(x)	(x)		x		
NEE2.2	Grundwasser-verschmutzung	Stimulationsmittel, Bohrspülung, etc.	(x)	x	(x)	(x)	(x)	(x)		x		
NEE2.3	Temperaturveränderung Grundwasser/Gewässer	Einleitung von Bohrstellenabwässer etc.		x		(x)				x		
NEE3 Bodenschäden												
NEE3.1	Chemikalien-Eintritt in Böden (toxische Stoffe)	Kraftwerkfluide, Bohrspülung, etc.		x		(x)		(x)		x		
NEE3.2	Geländehebungen und Geländesenkungen	Geotechnische Effekte, etc.		(x)	(x)					(x)	x	
NEE4 Lärm und Licht												
NEE4.1	Erhöhtes Verkehrs- und Personenaufkommen	Personal, Besucher, Transporte, etc.	x	x	x	(x)	x	x		x		
NEE4.2	Baustellenlärm	Seismik-Kampagne, Bohrarbeiten	x	x	x		x	x		x		
NEE4.3	Betriebslärm	Kraftwerksbetrieb (Kühlungsanlage)				x		x		x		
NEE4.4	Lichtemissionen	Bohrarbeiten erfolgen 24 Std./Tag	(x)	x		(x)		x		x		
NEE5 Erschütterungen/Vibrationen												
NEE5.1	Erschütterungen durch Vibrationsfahrzeuge	Seismik-Kampagne	x					x		x	x	
NEE5.2	Erschütterungen durch Sprengungen	Seismik-Kampagne und Geophysik	x	x				x		x	x	
NEE5.3	Erschütterungen durch Erdbeben	Risiko für spürbare Erdbeben		(x)		(x)		x		x	x	
NEE6 Radioaktivität												
NEE6.1	Natürliche Radioaktivität	Thermalwasser-förderung, etc.		x		x		x		x		
NEE6.2	Einsatz radioaktiver Quellen/Geräte	Durchflussmessgeräte, Geophysik		x				x		x		

NEE7 Raumbedarf										
NEE7.1	Landschaftsbild	Störung des Landschaftsbildes		x	x	x	(x)	x		
NEE7.2	Habitatverluste	Störung natürliche Lebensraum		x	x	x	x			x
NEE7.3	Freizeitnutzung eingeschränkt	Störung der unberührten Natur	(x)	x	x	x	x	x		
NEE8 Energieentzug aus Untergrund										
NEE8.1	Lokale Abkühlung des Untergrunds	Veränderung der Temperaturverhält.		(x)		x				x
NEE8.2	Hydrologische Veränderungen	Veränderung der Wasserzirkulation		(x)		x				x
NEE9 Eingriff in öffentliches oder privates Eigentum										
NEE9.1	Arbeiten auf öff./privat. Grundstück. (Schäden)	Arbeiten während Seismik-Kampagne	x	(x)				x		
NEE9.2	Sinkende Grundstückspreise	Grundstückslage abgewertet		(x)		(x)		x		
NEE10 Psychologische Effekte										
NEE10.1	Ängste, Stress und Panik	Angst vor Beben u. Untergrund-Eingriff	x	x		x		x		

TABELLE 4: ZUSAMMENSTELLUNG POTENZIELLER, NEGATIVER EXTERNER EFFEKTE DER TIEFENGEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ (FÜR EINE STANDARD-VORHABEN).

Nr.	Potenzieller positiver externer Effekt (PEE)	Erläuterungen	Wirkungszeitraum					Wirkungsbereich			
			Exploration	Bohrungen	Anlagenbau	Betrieb	Rückbau	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
PEE1 Wissensgewinn											
PEE1.1	Verbesserung der Geologie-Kenntnisse	Basiswissen, Rohstoffexploration, etc.	x	x				x	x		
PEE1.2	Datenerwerb für neue Projekte und Forschung	Datensätze für Hochschulen, etc.	x	x		x		x	x		
PEE1.3	Know-how-Steigerung in Fachbranche	Fachspezialisten, Bau-/Bohrbranche	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)	x		
PEE1.4	Lernmaterialien und -umgebung für Schulen	Referate/Stoff für Schulen, Arbeiten	x	x	x	x		x	(x)		
PEE1.5	Archäologische Funde	Erkundung des un-tiefen Untergrunds	(x)	(x)				x	(x)		
PEE2 Imagegewinn / Steigerung Bekanntheitsgrad											
PEE2.1	Hohe Medienpräsenz	Öffentliche Darstellung der Region	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)	x		
PEE2.2	Besucher/Tourismus	Besichtigungen, Sehenswürdigkeit	x	x	(x)	x		x	x		
PEE2.3	Fachveranstaltungen und Fachpublikum	Überregionaler Fachaustausch	x	x	(x)	x		(x)	x		

PEE3		Infrastrukturausbau										
PEE3.1	Ausbau Verkehrsanbindung	Erschliessung und Zufahrt Bohrplatz		x	(x)	(x)			x	x		x
PEE3.2	Neue Nutzflächen und Lagerplätze	Teilnutzung von Bohrplatzgelände		x								x
PEE3.3	Neue Werkleitungen	Telefon, Internet, Wasser, Strom etc.		x	(x)				x			x
PEE4		Erhöhung Versorgungssicherheit										
PEE4.1	Unabhängigkeit von ausländischen Energien	Einheimische Energiequelle				x			(x)	x		
PEE4.2	Stabilisierung Energiepreise	Betriebskosten gering und stabil				x			(x)	x		
PEE4.3	Bandenergie	Geothermie liefert Bandlast				x			(x)	x		
PEE5		Nutzen für regionalen Wirtschaftsraum										
PEE5.1	Generiert lokale Arbeitsaufträge	Arbeit für Bau- und Ingenieurbranche	x	x	x	x	x			x		
PEE5.2	Schafft lokale Arbeitsplätze	Kurz- und langfristige Arbeitsplätze	x	x	x	x	x		x	x		
PEE5.3	Generiert neue Steuereinnahmen	Unternehmenssteuer				x				x		
PEE5.4	Kantonale/kommunale Einnahmen	U.a. Einnahmen aus Wassernutzung				x			(x)	x		
PEE6		Unterstützung neue Energiepolitik										
PEE6.1	Beitrag zur Erfüllung neuer Energiestrategien	Fördert Atomenergieausstieg				x			x	x	x	
PEE6.2	Leuchtturmeffekt im Energiebereich	Aufmerksamkeit, fördert Neues	x	x	x	x			x	x	x	

TABELLE 5: ZUSAMMENSTELLUNG POTENZIELLER, POSITIVER EXTERNER EFFEKTE DER TIEFENGEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ (FÜR EIN STANDARD-VORHABEN).

4.4 RELEVANZ POTENZIELLER EXTERNER EFFEKTE

Grundlage für die Internalisierung bzw. Einbindung der identifizierten potenziellen externen Effekte in die unternehmerische Entscheidungsfindung sind möglichst fundierte Quantifizierungen – nach Möglichkeit mit Angabe von Geldbeträgen – von deren Auswirkungen (vgl. Kap. 3.2). Wie bereits in Kap. 1.2 erwähnt, kann eine solche Monetarisierung nicht im Rahmen dieser Projektarbeit erfolgen. Anstelle davon unternimmt der Verfasser auf Basis seiner Erfahrungen aus Tiefengeothermieprojekten der Schweiz eine qualitative Relevanz-Beurteilung der identifizierten potenziellen Externalitäten. Hierfür werden alle in Tab. 4 und Tab. 5 identifizierten potenziellen positiven und negativen externen Effekte in eine Matrix mit folgenden Dimensionen eingeteilt:

- **Gesellschaftliche Beachtung (qualitativ):** Qualitative Beurteilung der Wahrnehmung eines externen Effekts in der Öffentlichkeit. Diese Dimension soll aufzeigen, wie stark ein Effekt in der Gesellschaft thematisiert wird. Daraus kann allenfalls abgeleitet werden, wie gross das gesellschaftliche Bestreben ist, einen externen Effekt zu internalisieren. Der Verfasser nutzt hierfür seine Erfahrungen aus diversen Geothermieprojekten der Schweiz mit besonderem Bezug zum Geothermievorhaben der Stadt St.Gallen (Umfragen in der Bevölkerung, Medienberichterstattungen, eingegangene Telefonate und E-Mails auf Projekthotlines, persönliche Gespräche mit Betroffenen und Projektentwicklern etc.).
- **Höhe des sozialen Nutzens/Schadens (qualitativ):** Qualitative Beurteilung des Schadens oder Nutzens eines externen Effekts nach Ermessen des Verfassers. Die Häufigkeit des Auftretens eines externen Effekts wird dabei ebenso berücksichtigt wie die geschätzte Höhe des Schadens oder Nutzens bei dessen Eintritt (z.B. weist der externe Effekt „NEE5.3: Erschütterungen durch Erdbeben“ eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit aber eine hohe externe Schadenssumme bei einem Ereignis auf).

Höhe des sozialen Nutzens/Schadens (qualitativ)	hoch		PEE5.1	PEE1.1	NEE1.1	NEE1.1: Ausstoss Klimagase NEE1.2: Toxische Gase NEE1.3: Verbrennungspartikel NEE1.4: Dampf und Geruch NEE2.1: Gewässerverschmutz. NEE2.2: GW-Verschmutzung NEE2.3: Temp.-Veränderungen NEE3.1: Chemikalien in Böden NEE3.2: Hebungen/Senkungen NEE4.1: Verkehr/Personen NEE4.2: Baustellenlärm NEE4.3: Betriebslärm NEE4.4: Lichtemissionen NEE5.1: Vibrationsfahrzeuge NEE5.2: Sprengungen NEE5.3: Erdbeben NEE6.1: Natürl. Radioaktivität NEE6.2: Radioaktive Geräte NEE7.1: Landschaftsbild NEE7.2: Habitatverluste NEE7.3: Freizeit eingeschränkt NEE8.1: Abkühlung Untergrund NEE8.2: Hydro. Veränderungen NEE9.1: Arbeiten auf Privateig. NEE9.2: Grundstückspreise NEE10.1: Ängste, Stress PEE1.1: Geologie-Kenntnisse PEE1.2: Daten für Forschung PEE1.3: Know-how Branche PEE1.4: Material für Schulen PEE1.5: Archäologische Funde PEE2.1: Hohe Medienpräsenz PEE2.2: Besucher/Tourismus PEE2.3: Fachveranstaltungen PEE3.1: Ausbau Verkehr PEE3.2: Neue Nutzflächen PEE3.3: Neue Werkleitungen PEE4.1: Energie-Unabhängig. PEE4.2: Stablis. Energiepreise PEE4.3: Bandenergie PEE5.1: Lokale Arbeitsaufträge PEE5.2: Lokale Arbeitsplätze PEE5.3: Steuereinnahmen PEE5.4: Kant./kom. Einnahmen PEE6.1: Beitrag Energiestrat. PEE6.2: Leuchtturmeffekt
	mässig	NEE5.2	NEE5.1 PEE1.2 PEE5.2	PEE2.1	NEE2.1 NEE2.2 NEE4.3 NEE5.3 PEE6.1 PEE6.2	
	gering	NEE8.2 PEE1.4 PEE2.3 PEE3.1 PEE3.2	NEE1.3 NEE2.3 PEE1.3 PEE2.2 PEE5.3 PEE5.4	NEE1.2 NEE6.1 NEE8.1 NEE9.2	NEE4.2 NEE4.4 PEE4.1 PEE4.3	
	sehr gering	NEE4.1 NEE6.2 NEE7.2 NEE7.3 PEE1.5 PEE3.3	NEE3.1 NEE7.1 NEE9.1	NEE1.4 NEE3.2 PEE4.2	NEE10.1	
		sehr gering	gering	mässig	hoch	
gesellschaftliche Beachtung (qualitativ)						

TABELLE 6: RELEVANZ POTENZIELLER POSITIVER UND NEGATIVER EXTERNER EFFEKTE
(BEZEICHNUNGEN GEMÄSS TAB. 4 UND TAB. 5).

4.5 EVALUATION BESTEHENDER INTERNALISIERUNGSANSÄTZE

Einige der identifizierten potenziellen positiven und negativen externen Effekte sind bereits teilweise oder vollständig internalisiert. Sie sind damit wenigstens partiell als interne Effekte zu betrachten, da sie in das Wirtschaftlichkeitskalkül von Geothermieprojekten miteingehen. Die nachfolgenden Tabellen zeigen die wichtigsten Internalisierungsinstrumente, welche für die in Kap. 4.3 identifizierten potenziellen externen Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz bereits bestehen und ordnen diese den in Kap. 3.3 beschriebenen Internalisierungstypen zu.

Internalisierungsinstrument	Internalisierungstyp	Internalisierter externer Effekt	Erläuterungen
	gemäss Kap. 3.3	gemäss Tab. 4	
CO ₂ -Abgabe auf fossile Brennstoffe (BAFU, 2014a)	Steuer	NEE1.1	Nur Treibstoffbedarf ist internalisiert. Austritt/ Verbrennung von Erdgas bei Bohr-/Betriebsphase sowie Materialverbrauch werden nicht kompensiert.
Auflagen und Grenzwerte in Gewässerschutzgesetzgebung sowie Auflagen für Umgang mit Chemikalien und Radioaktivität	Gebote, Verbote, Auflagen	NEE2.1, NEE2.2, NEE2.3, NEE3.1, NEE6.1, NEE6.2	Grenzwerte und verpflichtende bauliche Sicherheitsmassnahmen bestehen für einige Substanzen, Radioaktivität sowie Temperaturveränderungen bei Einleitung in Oberflächengewässer (z.B. Thermalwasser, und Baustellenabwässer etc.). Die Grundwasserverschmutzung im tiefen Untergrund (z.B. durch Bohrspülung, Stimulations- und Zementationsmittel) ist hingegen kaum internalisiert.
Auflagen und Grenzwerte in Lärmschutzverordnung	Gebote, Verbote, Auflagen	NEE4.2, NEE4.3	Für temporäre Baustellen (3D-Seismik, Sprengungen, Bohrarbeiten etc.) gelten Richtlinien, welche i.d.R. keine definierten Grenzwerte aufweisen, sondern sich an eine ordnungsgemässe Ausführung nach aktuellem Stand der Technik richten.
Zusätzliche Lärmschutzmassnahmen durch Projektanten	Verhaltensregeln	NEE4.2, NEE4.3	Projektanten setzen häufig Lärmschutzmassnahmen um, welche die gesetzlich notwendigen Vorgaben übertreffen.
Vereinbarungen und Schadensabwicklung durch Projektanten mit Direktbetroffenen	Verhandlungen (Coase-Theorem)	NEE5.1, NEE5.2, NEE5.3, NEE9.1	Die Mindernutzung von privatem Eigentum (z.B. Ernteauffälle bei 3D-Seismik) sowie das Auftreten von Seismik- oder Erdbebenschäden werden häufig (kulant) von Projektanten mit den Direktbetroffenen vertraglich geregelt (z.B. Entschädigungsvereinbarungen).
Konzessionsabgabe für Wasser- oder Erdwärmenutzung	Steuer	NEE8.1, NEE8.2	Abgaben bestehen für die Thermalwasserförderung. Einige Kantone werden zukünftig auch auf die tiefe Erdwärmenutzung Abgaben erheben (vgl. Kap. 2.5.3).

TABELLE 7: BESTEHENDE INTERNALISIERUNGSINSTRUMENTE FÜR NEGATIVE EXTERNE EFFEKTE DER TIEFENGEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ (NICHT ABSCHLIESSEND).

Internalisierungs- instrument	Internalisierungs- styp	Internalisierter externer Effekt	Erläuterungen
	gemäss Kap. 3.3	gemäss Tab. 5	
Kostendeckende Einspeisevergütung KEV (vgl. Kap. 2.5.2)	(Subvention)	PEE6.1	KEV wird nur für die geothermische Stromproduktion ausbezahlt. Reine Wärmeprojekte profitieren nicht davon. KEV ist als Förderinstrument zu sehen und dient insbesondere dazu, die noch nicht marktreife Tiefengeothermie allmählich wettbewerbsfähig zu gestalten. KEV wirkt dementsprechend aber auch als eine Art Internalisierungsinstrument, selbst wenn kein eigentliches Internalisierungsziel damit verbunden ist.
Risikoabsicherung des Bundes (vgl. Kap. 2.5.2)	(Subvention)	PEE6.1, PEE6.2	Die Risikoabsicherung des Bundes für Geothermieprojekte mit beabsichtigter Stromproduktion dient zur Weiterentwicklung der derzeit risikoreichen Technologie. Sie kann als eine Art Subvention betrachtet werden und wirkt indirekt als Internalisierungsinstrument ohne definiertes Internalisierungsziel.
Forschungsmittel von Bund, Kanton und Gemeinden (vgl. Kap. 2.5.2)	(Subvention)	PEE1.1, PEE1.2, PEE1.3, PEE6.1, PEE6.2	Öffentliche Forschungsmittel für Geothermievorhaben können im weitesten Sinne als eine Art Subvention betrachtet werden. Sie wirken damit indirekt als Internalisierungsinstrument ohne konkret definiertes Internalisierungsziel.

TABELLE 8: BESTEHENDE INTERNALISIERUNGSSINSTRUMENTE FÜR POSITIVE EXTERNE EFFEKTE DER TIEFENGEOTHERMIE IN DER SCHWEIZ (NICHT ABSCHLIESSEND).

Die Evaluation bestehender Internalisierungsansätze für die Tiefengeothermie in der Schweiz zeigt, dass viele externe Effekte nicht oder nur teilweise internalisiert sind. Mit den in Tab. 4 und Tab. 5 beschriebenen Internalisierungsinstrumenten sind nur 20 der insgesamt 46 in Kap. 4.3 identifizierten potenziellen externen Effekte wenigstens ansatzweise berücksichtigt.

Dazu kommt, dass sich unter diesen berücksichtigten Effekten viele negative Externalitäten befinden, deren Auswirkungen lediglich über maximal zulässige Höchstwerte (z.B. Lärmbelastung) internalisiert sind. Solche Grenzwertvorgaben verringern den sozialen Schaden zwar, kompensieren oder verhindern diesen aber nicht (siehe auch Kap. 3.3).

Für die positiven externen Effekte der Tiefengeothermie in der Schweiz gibt es demgegenüber im Grunde überhaupt keine „echten“ Internalisierungsinstrumente mit spezifisch definierten Internalisierungszielen. Effektiv wirken aber gewisse Subventions- und Fördermassnahmen zumindest indirekt als eine Art Internalisierungsansatz (siehe Tab. 8).

4.6 DISKUSSION UND GRENZEN DER ERGEBNISSE

Die Erarbeitung eines robusten, umfassenden und allgemeingültigen Katalogs von externen Effekten der Tiefengeothermie in der Schweiz ist aufgrund der bislang geringen Erfahrungswerte für solche Vorhaben nur schwierig und kaum vollständig zu erbringen. Das mit dieser Projektarbeit erstellte Inventar, sollte deshalb zukünftig auf Basis von weiteren Praxisbeispielen überprüft und allenfalls angepasst und ergänzt werden. Dabei müsste ebenso untersucht werden, ob eine Unterscheidung in verschiedene Nutzungstypen wie die Tiefen Erdwärmesonden, die hydrothermalen und die petrothermalen Systeme sinnvoll wäre (vgl. Kap. 2.1). Dass der erstellte Katalog auch aufgrund der grossen Standortabhängigkeit von Tiefengeothermieprojekten keinesfalls vollständig sein kann, wurde bereits in Kap. 1.3 erläutert.

Mit der durchgeführten Relevanz-Beurteilung der identifizierten potenziellen externen Effekte kann ebenso gezeigt werden, dass einzelne externe Effekte mit grossen Auswirkungen von der Gesellschaft derzeit kaum thematisiert werden (z.B. „NEE5.2: Erschütterungen durch Sprengungen“), während von einigen stark im Fokus der Öffentlichkeit stehenden Externalitäten wohl nur ein geringer sozialer Schaden bzw. Nutzen ausgeht (z.B. „NEE4.2: Baustellenlärm“). Diesbezüglich ist allerdings festzuhalten, dass die vorliegende Relevanz-Beurteilung stark geprägt ist von der subjektiven Wahrnehmung des Verfassers. Sie könnte zukünftig durch fundierte Quantifizierungen bzw. Monetarisierungen angepasst und ergänzt werden.

Abschliessend scheint es wichtig zu erwähnen, dass eine Interpretation des erstellten Externalitäten-Katalogs immer auch im Kontext mit vergleichbaren oder alternativen Technologien durchgeführt werden sollte. So wird der Ausstoss von Klimagasen im vorliegenden Inventar korrekterweise als negativer externer Effekt aufgeführt (vgl. Tab. 4, NEE1.1), obwohl diese Thematik im Bereich der Tiefengeothermie von der Gesellschaft tendenziell als positiv wahrgenommen wird. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass der CO₂-Ausstoss von Tiefengeothermieranlagen zwar einen sozialen Schaden erzeugt, dieser aber in entsprechenden Ökobilanzen deutlich besser abschneidet, als bei anderen Strom- und Wärmeproduktionstechnologien (Hirschberg et al., 2015; BFE, 2007).

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit den gescheiterten Projekten in Basel und St.Gallen steht die Tiefengeothermie in der Schweiz vor einer schwierigen Zukunft. Die Technologie weist zwar ein grosses theoretisches Potenzial auf, ist zum heutigen Zeitpunkt aber sowohl in Bezug auf die technische Umsetzung, als auch auf die Produktionskosten, noch nicht marktreif.

Um in der aktuellen Situation weitere Umsetzungs- bzw. Bohrprojekte lancieren zu können, sind nach Meinung des Verfassers die negativen und die positiven externen Effekte objektiv und transparent aufzuzeigen und deutlich umfassender zu

internalisieren, als dies – wie mit der vorliegenden Untersuchung gezeigt wird – gegenwärtig der Fall ist. Gerade aufgrund der fehlenden Kompensation oder Vermeidung von auftretenden sozialen Schäden, wie beispielsweise Lärm, Erschütterungen oder Wasserverunreinigungen ist in der Bevölkerung eine gewisse Ambivalenz gegenüber dieser Technologie spürbar, was sich in der Formierung von einzelnen, lokalen Bürgerbewegungen gegen konkrete Tiefengeothermieprojekte bereits deutlich gezeigt hat. Wird dagegen der Projektant durch Internalisierungsmassnahmen dazu verpflichtet, negative Externalitäten und Risiken in sein Wirtschaftlichkeitskalkül zu integrieren, so kann Vertrauen in der Bevölkerung und damit auch die Unterstützung von politischer Seite geschaffen werden. Der Verfasser sieht diesbezüglich insbesondere Bedarf von spezifischeren gesetzlichen Vorgaben im Bereich der zulässigen Emissionen von Tiefengeothermieprojekten (v.a. Lärm, Erschütterungen und Wasserverunreinigung) gekoppelt mit eindeutig definierten Haftungsverpflichtungen im Schadenfall (dies können z.B. versicherungstechnische Vorgaben sein).

Gleichzeitig ist es unabdingbar, dass die Technologie, welche noch am Anfang ihrer Lernkurve steht, von staatlicher Seite finanziell unterstützt wird. Solche Beiträge sollten vermehrt durch bewusste Internalisierungen von positiven externen Effekten umgesetzt und damit begründet werden. Eine Möglichkeit sieht der Verfasser in der vertraglichen Einbindung von Forschungsinstitutionen und Hochschulen in neue Projekte. Für das zur Verfügung stellen von umfassenden geologischen und technischen Daten sowie die Chance zur Durchführung von Forschungsarbeiten am Praxisobjekt, könnten sich Hochschulen als Gegenleistung entsprechend finanziell an den Projektkosten beteiligen (z.B. auch über staatliche Forschungsgelder). Eine andere zu prüfende Möglichkeit wäre die Subvention von Geothermieprojekten über Mittelbezug aus den CO₂-Abgaben, welche derzeit im Rahmen des CO₂-Gesetzes (vgl. BAFU, 2014a) auf fossile Brennstoffe erhoben werden. Dies könnte als Internalisierungsmassnahme des indirekten sozialen Nutzens, welcher der Gesellschaft aufgrund der geringeren CO₂-Emissionen im Vergleich mit anderen Strom- oder Wärmeproduktionstechnologien zugute kommt, gesehen werden.

Es ist zu erwähnen, dass auch fakultative Internalisierungsmassnahmen sinnvoll sein und einen wichtigen Beitrag zu einer breit abgestützten Zustimmung für ein Geothermievorhaben leisten können. Ein Beispiel hierfür ist gewiss das Projekt der Stadt St.Gallen aus den Jahren 2009 bis 2014. Dort wurde mittels transparenter Kommunikation der soziale Nutzen aufgezeigt (z.B. Erfüllung des Energiekonzepts 2050 der Stadt St.Gallen) und zumindest Teile des sozialen Schadens mit „freiwillig“ umgesetzten Internalisierungsmassnahmen kompensiert (z.B. Kulanzentschädigung bei Erdbebenschäden oder Vereinbarungen mit den betroffenen Anwohnern über erweiterte Lärmschutzmassnahmen). Da im Gegensatz zu öffentlich-rechtlichen Institutionen private Unternehmen dazu neigen, kaum „freiwillige“ Internalisierungs-

massnahmen umzusetzen, sind gesetzlich festgelegte Kompensationen von negativen externen Effekten dennoch anzustreben.

Um eine umfassendere Internalisierung von externen Effekten der Tiefengeothermie wie vorgeschlagen zu erreichen, wäre als nächster Schritt eine fundierte Quantifizierung bzw. Monetarisierung der einzelnen Auswirkungen von bestehenden oder möglichen Externalitäten erforderlich. Hierfür liefert die vorliegende Projektarbeit eine erste, nicht abschliessende Grundlage darüber, welche positiven und negativen externen Effekte in derartigen weiteren Arbeiten berücksichtigt werden sollten.

QUELLENVERZEICHNIS

- ARE (2014a): Bericht des Bundesrates zur Nutzung des Untergrundes in Erfüllung des Postulats 11.3229, Kathy Riklin, vom 17. März 2011. Bundesamt für Raumentwicklung, Generalsekretariat UVEK und Bundesrat. Referenz N394-0132, 5. Dezember 2014.
- ARE (2014b): Externe Effekte des Verkehrs 2010 – Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Ecoplan AG und Infrac AG.
- Beck, B. (2011): Mikroökonomie. UTB basics, vdf Hochschulverlag 2011.
- BAFU (2014a): CO₂-Abgabe. Website des Bundesamts für Umwelt. Online verfügbar unter <http://www.bafu.admin.ch/co2-abgabe/12357/index.html?lang=de> (09.12.14).
- BAFU (2014b): Emissionshandel. Website des Bundesamts für Umwelt. Online verfügbar unter <http://www.bafu.admin.ch/emissionshandel/index.html?lang=de> (09.12.14).
- BFE (1994): Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge für Strom- und Wärmebereich. Synthesebericht der gleichnamigen Studie über die Berechnung der Externalitäten der Strom- und Wärmeversorgung in Gebäuden in der Schweiz. Infrac AG und Prognos AG.
- BFE (2013): Energieperspektiven 2050 – Zusammenfassung. Stand: 5. Oktober 2013.
- BFE (2014): Energieia, Newsletter des BFE, Nr. 6, November 2014.
- BFE (2007): Die Energieperspektiven 2035 – Band 3: Volkswirtschaftliche Auswirkungen. Ecoplan.
- Böttcher, J. (2014): Geothermie-Vorhaben: Tiefe Geothermie – Recht, Technik und Finanzierung. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München.
- Bundesrat (2013): Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 (Revision des Energierechts) und zur Volksinitiative «Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)». BBl 2013 7561 (-7756).
- Frisbaek F. et al. (2010): Methods to Evaluate Externalities from Geothermal Energy Plants. Estimating external costs of harnessing geothermal energy in Icelandic conditions. Innovations Center Iceland.
- Fritsch, M. (2011): Marktversagen und Wirtschaftspolitik – Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns. 8., überarbeitete Auflage, Verlag Franz Vahlen.
- GEA (2014): The Status of Geothermal Power in Emerging Economies. Stand: Oktober 2014, Geothermal Energy Association.
- Grob H. (2014): Projektablauf Geothermie Schlattingen (Thurgau). Online verfügbar unter <http://www.grob-gemuese.ch/cms/index.php?id=39I> (14.12.2014)
- Hirschberg, S. et al. (2015): Energy from the Earth – Deep Geothermal as a Resource for the Future. Im Auftrag von TA-Swiss. VDF Hochschulverlag AG.
- IGA (2014): International Geothermal Association. Installed Capacity. Online verfügbar unter http://www.geothermal-energy.org/electricity_generation.html (13.11.2014)
- Kagel A. (2006): A Handbook on the Externalities, Employment and Economics of Geothermal Energy. Geothermal Energy Association.
- Kohler, B. (2006): Externe Effekte der Laufwasserkraftnutzung. Doktorarbeit am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart. Heft 149, Eigenverlag des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart.
- Kanton Thurgau (2014): Botschaft zum Gesetz über die Nutzung des Untergrundes. Der Regierungsrat des Kantons Thurgau an den Grossen Rat, 30. September 2014.

- Lund, J.-W. et al. (2010): Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 20.-25. April 2010.
- Matek B. (2013): Promoting Geothermal Energy: Air Emission Comparison and Externality Analysis. Geothermal Energy Association.
- sgsw (2014): Geothermieprojekt St.Gallen: Option Singlette – Zwischenergebnis für Gasförderung liegt vor. Medienmitteilung vom 18.09.2014. Online verfügbar unter <http://www.geothermie.stadt.sg.ch/aktuell/details/artikel/option-singlette-zwischenergebnis-fuer-gasfoerderung-liegt-vor.html> (17.11.2014).
- Siddiqi, G. (2014): Präsentation von Gunter Siddiqi, BFE, Sektion Energieforschung, Abteilung Energiewirtschaft am Roundtable Tiefengeothermie vom 28. August 2014, Bern.
- Signorelli, S. et al. (2006): Geothermischer Ressourcenatlas der Nordschweiz – Gebiet des nördlichen Schweizer Mittellandes. Schweizerische Geophysikalische Kommission.
- Stiftung KEV (2014): KEV-Cockpit, Stand: 3. Quartal 2014. Swissgrid AG, Frick. Online verfügbar unter http://www.stiftung-kev.ch/fileadmin/media/kev/kev_download/de/KEV-Cockpit_Q3_2014_DE.pdf (08.12.2014).
- SVG (2014): Strom und Wärme aus Geothermie in der Schweiz – Potenziale, Möglichkeiten, Ziele und Investitionskosten. Schweizerische Vereinigung für Geothermie (SVG) – Geothermie.ch. Kurzbericht.
- SVG (2015): Projektlandkarte Tiefengeothermie für die Schweiz. Online verfügbar unter http://www.geothermie.ch/index.php?p=deep_geothermal_projects (05.01.2015).
- VUR (2014): Umweltrecht in der Praxis. Tagungsbeiträge, Nutzung des Untergrunds – Herausforderungen und Handlungsbedarf aus rechtlicher Sicht. URP/DEP Band 28 Heft 5, November 2014. Vereinigung für Umweltrecht.
- Wiederkehr, R. (2014): Tiefengeothermie – Rechtslage und Empfehlungen. Gutachten im Auftrag des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung TA-Swiss vom 12. November 2014.
- Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Ein Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Diss. Techn. Univ. Berlin 1970, 4. Auflage, München.

ANHANG

A-1 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-1.1: AUSSTOSS KLIMAGASE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Insbesondere der Dieserverbrauch von Vibrationsfahrzeugen führt zu CO ₂ -Ausstoss und damit zu leicht erhöhten Gesundheitskosten		Insbesondere Dieserverbrauch von Vibrationsfahrzeugen führt zu CO ₂ -Ausstoss und damit zur Verstärkung des Treibhauseffekts, zu Waldschäden und zu Biodiversitätsverlusten	Insbesondere der Dieserverbrauch von Vibrationsfahrzeugen führt zu CO ₂ -Ausstoss und damit zu leichten Gebäudeschäden
Bohrungen	Allfälliger Austritt bzw. Verbrennung von CH ₄ aus Bohrung sowie CO ₂ -Ausstoss aus Diesel- und Materialverbrauch führt zu leicht erhöhten Gesundheitskosten		Allfälliger Austritt bzw. Verbrennung von CH ₄ aus Bohrung sowie CO ₂ -Ausstoss aus Diesel- und Materialverbrauch führt zur Verstärkung des Treibhauseffekts, zu Waldschäden und zu Biodiversitätsverlusten	Allfälliger Austritt bzw. Verbrennung von CH ₄ aus Bohrung sowie CO ₂ -Ausstoss aus Diesel- und Materialverbrauch führt zu leichten Gebäudeschäden
Anlagenbau	Diesel- und Materialverbrauch führt zu CO ₂ -Ausstoss und damit zu leicht erhöhten Gesundheitskosten		Diesel-/Mat.-verbrauch führt zur Verstärkung des Treibhauseffekts, Waldschäden und Biodiversitätsverlusten	Diesel- und Materialverbrauch führt zu leichten Gebäudeschäden
Betrieb	Geringer CO ₂ -Ausstoss während Betrieb führt zu sehr leicht erhöhten Gesundheitskosten		Geringer CO ₂ -Ausstoss während Betrieb führt zur leichten Verstärkung des Treibhauseffekts, zu Waldschäden und zu Biodiversitätsverlusten	Geringer CO ₂ -Ausstoss während Betrieb führt zu leichten zu leichten Gebäudeschäden
Rückbau	Diesel- und Materialverbrauch führt zu CO ₂ -Ausstoss und damit zu leicht erhöhten Gesundheitskosten		Diesel-/Mat.-verbrauch führt zur Verstärkung des Treibhauseffekts, Waldschäden und Biodiversitätsverlusten	Diesel- und Materialverbrauch führt zu leichten Gebäudeschäden

A-2 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-1.2: AUSSTOSS TOXISCHER GASE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Möglicher Ausstritt von H ₂ S während Bohrphase kann zu Gesundheitsschäden führen		Möglicher Ausstritt von H ₂ S während Bohrphase kann zu Schäden an Flora und Fauna führen	Möglicher Ausstritt von H ₂ S und anderen Gasen während Bohrphase kann zu leichten Gebäudeschäden führen
Anlagenbau				
Betrieb	Möglicher Ausstritt von Betriebsmitteln (z.B. Ammoniak) bei einem Störfall kann zu Gesundheitsschäden führen		Möglicher Ausstritt von Betriebsmitteln (z.B. Ammoniak) bei einem Störfall kann zu Schäden an Flora und Fauna führen	Möglicher Ausstritt von Betriebsmitteln (z.B. Ammoniak) bei einem Störfall kann zu leichten Gebäudeschäden führen
Rückbau				

A-3 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-1.3: VERBRENNUNGSPARTIKEL

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Vibrationsfahrzeuge sind mit Diesel betrieben und erzeugen Russemission (erhöhte Gesundheitskosten)		Vibrationsfahrzeuge sind mit Diesel betrieben und erzeugen Russemission (Schäden an Flora und Fauna)	Vibrationsfahrzeuge sind mit Diesel betrieben und erzeugen Russemission (sehr leichte Gebäudeschäden)
Bohrungen	Dieselgeneratoren und Verbrennung von Gas erzeugen Russemission (erhöhte Gesundheitskosten und Einbussen der Lebensqualität für Anwohner)		Dieselgeneratoren und Verbrennung von Gas erzeugen Russemission (Schäden an Flora und Fauna)	Dieselgeneratoren und Verbrennung von Gas erzeugen Russemission (sehr leichte Gebäudeschäden)
Anlagenbau	Baumaschinen erzeugen Russemissionen (erhöhte Gesundheitskosten)		Baumaschinen erzeugen Russemissionen (Schäden an Flora und Fauna)	Baumaschinen erzeugen Russemissionen (sehr leichte Gebäudeschäden)
Betrieb				
Rückbau	Baumaschinen erzeugen Russemissionen (erhöhte Gesundheitskosten)		Baumaschinen erzeugen Russemissionen (Schäden an Flora und Fauna)	Baumaschinen erzeugen Russemissionen (sehr leichte Gebäudeschäden)

A-4 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-1.4: DAMPF UND GERUCH

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Zirkulation heisser Bohrspülung sowie Thermalwasser erzeugt Dämpfe und Gerüche in unmittelbarer Umgebung der Bohranlage (erhöhte Gesundheitskosten und Einbussen der Lebensqualität für Anwohner)		Zirkulation heisser Bohrspülung sowie Thermalwasser erzeugt Dämpfe und Gerüche in unmittelbarer Umgebung der Bohranlage (Einwirkung auf Flora und Fauna)	
Anlagenbau				
Betrieb	Kraftwerkskühlung führt je nach Technologie zu Dämpfen (Einbussen der Lebensqualität für Anwohner)		Kraftwerkskühlung führt je nach Technologie zu Dämpfen (Einwirkung auf Flora und Fauna)	
Rückbau				

A-5 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-2.1: GEWÄSSERVERSCHMUTZUNG

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Bohrarbeiten im Rahmen der Sprengseismik können je nach Bohrtechnik und Ausführung allenfalls zu sehr leichten Gewässerverschmutzungen führen (Einfluss evtl. auf Lebensqualität und Gesundheitsschäden)		Bohrarbeiten im Rahmen der Sprengseismik können je nach Bohrtechnik und Ausführung allenfalls zu sehr leichten Gewässerverschmutzungen führen (Einfluss evtl. auf Flora und Fauna)	
Bohrungen	Einleitung von Bohrstellenabwässern sowie (mit Bohrspülung und Stimulationsmitteln kontaminiertem) Thermalwasser in Flüsse oder Störfall mit Chemikalienlager auf Bohrplatz (Einfluss evtl. auf Lebensqualität und Gesundheitsschäden)		Einleitung von Bohrstellenabwässern sowie (mit Bohrspülung und Stimulationsmitteln kontaminiertem) Thermalwasser in Flüsse oder Störfall mit Chemikalienlager auf Bohrplatz (Schäden an Flora und Fauna)	
Anlagenbau	Baustellenabwässer oder Störfälle im Rahmen der Wasserhaltung von Baugruben		Baustellenabwässer oder Störfälle im Rahmen der Wasserhaltung von Baugruben	
Betrieb	Eintritt von Betriebsmitteln in Gewässer aufgrund von Störfällen		Eintritt von Betriebsmitteln in Gewässer aufgrund von Störfällen (Einfluss auf Flora und Fauna)	
Rückbau	Baustellenabwässer oder Störfälle im Rahmen der Wasserhaltung von Baugruben		Baustellenabwässer oder Störfälle im Rahmen der Wasserhaltung von Baugruben	

A-6 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-2.2: GRUNDWASSERVERSCHMUTZUNG

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Analog zu A-5		Analog zu A-5	
Bohrungen	Analog zu A-5. Zusätzliche können Stimulationsmittel (v.a. Säuren), Zementationsmittel sowie Bohrspülungszusätze in tiefliegende Grund- oder Thermalwässer gelangen (z.B. bei Spülungsverlusten während den Bohrarbeiten)		Analog zu A-5. Zusätzliche können Stimulationsmittel (v.a. Säuren), Zementationsmittel sowie Bohrspülungszusätze in tiefliegende Grund- oder Thermalwässer gelangen (z.B. bei Spülungsverlusten während den Bohrarbeiten)	
Anlagenbau	Analog zu A-5		Analog zu A-5	
Betrieb	Analog zu A-5		Analog zu A-5	
Rückbau	Analog zu A-5		Analog zu A-5	

A-7 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-2.3: TEMP.-VERÄNDERUNG GRUNDWASSER/GEWÄSSER

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen			Einleitung von Thermalwasser in Oberflächengewässer führt zu erhöhten Wassertemperaturen (Einfluss auf Flora und Fauna, evtl. Fischsterben)	
Anlagenbau				
Betrieb			Wassertemperaturerhöhungen bei Kraftwerkskühlung mittels Oberflächengewässer (Einfluss auf Flora und Fauna, evtl. Fischsterben)	
Rückbau				

A-8 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-3.1: CHEMIKALIEN-EINTRITT IN BÖDEN (TOXISCHE STOFFE)

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Bohrstellenabwässer oder Störfall im Chemikalienlager auf Bohrplatz können zu Eintritt von toxischen Stoffen in den Boden führen. Dies kann indirekt zu negativen gesundheitlichen Folgen führen.		Bohrstellenabwässer oder Störfall im Chemikalienlager auf Bohrplatz können zu Eintritt von toxischen Stoffen in den Boden führen (Einwirkung auf Flora, Fauna und Bodenchemismus)	
Anlagenbau				
Betrieb	Eintritt von Betriebsmitteln (z.B. Ammoniak) in Böden aufgrund von Störfällen. Dies kann indirekt zu negativen gesundheitlichen Folgen führen.		Eintritt von Betriebsmitteln (z.B. Ammoniak) in Böden aufgrund von Störfällen (Einwirkung auf Flora, Fauna und Bodenchemismus)	
Rückbau				

A-9 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-3.2: GELÄNDEHEBUNGEN UND GELÄNDESENKUNGEN

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen			Geländehebungen oder Geländesetzungen aufgrund von Bohrarbeiten und veränderter Hydrogeologie je nach geologischer Gegebenheit möglich (z.B. Umwandlung von Anhydrit in Gips bei Wasserzufuhr). Dies kann zu Einwirkungen auf die Böden und damit auf Flora und Fauna zur Folge haben.	Geländehebungen oder Geländesetzungen aufgrund von Bohrarbeiten und veränderter Hydrogeologie je nach geologischer Gegebenheit möglich (z.B. Umwandlung von Anhydrit in Gips bei Wasserzufuhr). Dies kann zu Gebäudeschäden und anderen Infrastrukturschäden in naher Umgebung führen.
Anlagenbau			Setzungserscheinungen aufgrund von Baugruben möglich (Kompaktion der Böden und damit Einwirkung auf Flora und Fauna)	Setzungserscheinungen aufgrund von Baugruben möglich (Risschäden an nahegelegene Gebäuden möglich)
Betrieb				
Rückbau				

A-10 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-4.1: ERHÖHTES VERKEHRS- UND PERSONENAUFKOMMEN

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Einsatz von Messfahrzeugen und Personaltransporten (50 bis 150 Mitarbeiter bei 3D-Seismik üblich). Damit erhöhtes Lärmaufkommen auch in ländlichen Gebieten mit Einfluss auf Lebensqualität.		Einsatz von Messfahrzeugen und Personaltransporten (50 bis 150 Mitarbeiter bei 3D-Seismik üblich). Damit erhöhtes Lärmaufkommen auch in ländlichen Gebieten mit Einfluss auf Tiere (z.B. Störung Winterschlaf, Belästigung Nutztiere etc.)	
Bohrungen	Viele Transporte vor, während und nach den Bohrarbeiten sowie Besucher und Personal. U.a. sind auch während der Nacht, Feier- und Sonntage gewisse Transporte unumgänglich (z.B. Abtransport von Bohrklein)		Viele Transporte vor, während und nach den Bohrarbeiten sowie Besucher und Personal. U.a. sind auch während der Nacht, Feier- und Sonntage gewisse Transporte unumgänglich (z.B. Abtransport von Bohrklein)	
Anlagenbau	Ver mehrt Transporte		Ver mehrt Transporte	
Betrieb	Besucheraufkommen		Besucheraufkommen	
Rückbau	Ver mehrt Transporte		Ver mehrt Transporte	

A-11 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-4.2: BAUSTELLENLÄRM

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Lärm von Vibrationsfahrzeugen und Sprengungen. Damit kurzzeitig stark erhöhtes Lärmaufkommen auch in ländlichen Gebieten mit Einfluss auf Lebensqualität.		Lärm von Vibrationsfahrzeugen und Sprengungen. Damit kurzzeitig stark erhöhtes Lärmaufkommen auch in ländlichen Gebieten mit Einfluss auf Tiere (z.B. Störung Winterschlaf, Belästigung Nutztiere etc.).	
Bohrungen	Baustellenlärm während Bohrplatzbau, Lärm während Bohrarbeiten (v.a. Spülpumpen, Top-Drive der Bohranlage, Metallgeräusche, etc.). Starker Einfluss auf Lebensqualität und Gesundheit (Schlafmangel) von Anwohnern.		Baustellenlärm während Bohrplatzbau, Lärm während Bohrarbeiten (v.a. Spülpumpen, Top-Drive der Bohranlage, Metallgeräusche, etc.). Starker Einfluss auf Tiere (z.B. Störung Winterschlaf, Belästigung Nutztiere etc.).	
Anlagenbau	Üblicher Baustellenlärm		Üblicher Baustellenlärm	
Betrieb				
Rückbau	Üblicher Baustellenlärm		Üblicher Baustellenlärm	

A-12 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-4.3: BETRIEBSLÄRM

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb	Betriebslärm während Kraftwerksbetrieb (v.a. Kühlanlage etc.). Starker Einfluss auf Lebensqualität und Gesundheit (Schlafmangel) von Anwohnern.		Betriebslärm während Kraftwerksbetrieb (v.a. Kühlanlage etc.). Starker Einfluss auf Tiere (z.B. Störung Winterschlaf, Belästigung Nutztiere etc.).	
Rückbau				

A-13 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-4.4: LICHEMISSIONEN

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Typischerweise erfolgen Arbeiten einer 3D-Seismik bis spät abends. Die Lichtemissionen sind allerdings bescheiden rühren insbesondere von Fahrzeugscheinwerfern her (leichter Einfluss auf Lebensqualität).		Typischerweise erfolgen Arbeiten einer 3D-Seismik bis spät abends. Die Lichtemissionen sind allerdings bescheiden rühren insbesondere von Fahrzeugscheinwerfern her (leichter Einfluss auf Tiere)	
Bohrungen	Bohrplätze sind nachts hell beleuchtet, da die Arbeiten typischerweise während 24 Std. pro Tag und 7 Tage die Woche erfolgen (Einfluss auf Lebensqualität der Anwohner, evtl. sogar Schlafmangel)		Bohrplätze sind nachts hell beleuchtet, da die Arbeiten typischerweise während 24 Std. pro Tag und 7 Tage die Woche erfolgen (Einfluss auf Tiere)	
Anlagenbau				
Betrieb	Wenige Lichtquellen im Bereich des Kraftwerks (sehr leichter Einfluss auf Lebensqualität möglich)		Wenige Lichtquellen im Bereich des Kraftwerks (sehr leichter Einfluss auf Tiere möglich)	
Rückbau				

A-14 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-5.1: VIBRATIONEN DURCH VIBRATIONSFAHRZEUGE

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	In Abhängigkeit von Kraft und Frequenz der Anregungspunkte werden in naher Umgebung der Vibrationsfahrzeuge deutlich bis stark spürbare Vibrationen ausgelöst (Einfluss auf Lebensqualität der Anwohner). Die Messarbeiten dauern jedoch pro Standort nur einige Sekunden bis Minuten.		In Abhängigkeit von Kraft und Frequenz der Anregungspunkte werden in naher Umgebung der Vibrationsfahrzeuge deutlich bis stark spürbare Vibrationen ausgelöst (Einfluss auf Tiere; z.B. Störung Winterschlaf oder negativer Einfluss auf Nutztiere). Die Messarbeiten dauern jedoch pro Standort nur einige Sekunden bis Minuten.	
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb				
Rückbau				

A-15 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-5.2: ERSCHÜTTERUNGEN DURCH SPRENGUNGEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Anregungspunkte während 3D-Seismik mittels Sprengstoff in untiefen Bohrungen. Leichte oberflächliche Erschütterungen in Abhängigkeit von Sprengstoffmenge, Geologie und Bohrtiefe (Einfluss auf Lebensqualität der Anwohner).		Anregungspunkte während 3D-Seismik mittels Sprengstoff in untiefen Bohrungen. In Abhängigkeit von Sprengstoffmenge, Geologie und Bohrtiefe sind kurzzeitige Einflüsse auf Tiere mögliche. Ebenso sind hydro-geologische Auswirkungen nicht auszuschliessen (z.B. Versiegen von Quellen). Der Nachweis der Schadensursache ist oftmals schwierig.	Anregungspunkte während 3D-Seismik mittels Sprengstoff in untiefen Bohrungen. In Abhängigkeit von Sprengstoffmenge, Geologie und Bohrtiefe sind Schäden an Gebäuden und Werkleitungen möglich. Der Nachweis der Schadensursache ist oftmals schwierig.
Bohrungen	Geophysikalische Messverfahren in der Tiefbohrung oder in der Umgebung mit Einsatz von Sprengstoff (z.B. Check-Shot Messungen). Kurzzeitiger, leichter Einfluss auf Lebensqualität der Anwohner möglich.		Geophysikalische Messverfahren in der Tiefbohrung oder in der Umgebung mit Einsatz von Sprengstoff (z.B. Check-Shot Messungen). Kurzzeitiger, leichter Einfluss auf Tiere möglich.	Geophysikalische Messverfahren in der Tiefbohrung oder in der Umgebung mit Einsatz von Sprengstoff (z.B. Check-Shot Messungen). Allenfalls sehr leichte Schäden an Gebäuden und Werkleitungen möglich.
Anlagenbau				
Betrieb				
Rückbau				

A-16 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-5.3: ERSCHÜTTERUNGEN DURCH ERDBEBEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Auslösen von induzierten Erdbeben ist in diversen Bohrphasen (v.a. bei Stimulationsmassnahmen und Injektionstests) möglich. Das Auftreten von spürbaren Erdbeben ist zwar eher selten, kann aber (starken) Einfluss auf die Lebensqualität für Bewohner der Region haben.		Auslösen von induzierten Erdbeben ist in diversen Bohrphasen (v.a. bei Stimulationsmassnahmen und Injektionstests) möglich. Das Auftreten von spürbaren Erdbeben ist zwar eher selten, kann aber (starken) Einfluss auf Tiere haben.	Auslösen von induzierten Erdbeben ist in diversen Bohrphasen (v.a. bei Stimulationsmassnahmen und Injektionstests) möglich. Das Auftreten von spürbaren Erdbeben ist zwar eher selten, kann aber (grosse) Infrastrukturschäden verursachen. Nachweis der Schadensursache ist schwierig.
Anlagenbau				
Betrieb	Induzierte Erdbeben während Betrieb.		Induzierte Erdbeben während Betrieb.	Induzierte Erdbeben während Betrieb.
Rückbau				

A-17 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-6.1: NATÜRLICHE RADIOAKTIVITÄT

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Transport von wenig natürlicher Radioaktivität (Uran, Blei Radon, Kalium) aus tiefen Thermalwässern an die Oberfläche möglich (z.B. bei Produktionstests). Gesundheitliche Schäden insbesondere für Personal und Anwohner möglich, aber sehr selten.		Transport von wenig natürlicher Radioaktivität (Uran, Blei Radon, Kalium) aus tiefen Thermalwässern an die Oberfläche möglich (z.B. bei Produktionstests). Einfluss auf Flora und Fauna möglich, aber sehr selten.	
Anlagenbau				
Betrieb	Transport von wenig natürlicher Radioaktivität (Uran, Blei Radon, Kalium) aus tiefen Thermalwässern an die Oberfläche möglich (z.B. radionuklidhaltige Ablagerungen im Thermalwasserkreislauf des Kraftwerks). Gesundheitliche Schäden insbesondere für Personal und Anwohner möglich, aber sehr selten.		Transport von wenig natürlicher Radioaktivität (Uran, Blei Radon, Kalium) aus tiefen Thermalwässern an die Oberfläche möglich (z.B. radionuklidhaltige Ablagerungen im Thermalwasserkreislauf des Kraftwerks). Schäden insbesondere bei Störfällen für Flora und Fauna möglich, aber sehr selten.	
Rückbau				

A-18 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-6.2: EINSATZ RADIOAKTIVER QUELLEN/GERÄTE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Zusätze für Bohrspülung (z.B. Kaliumkarbonat → K-40) und Einsatz von Messgeräten (Durchflussmessung, geophysikalisches Logging) können radioaktive Quellen darstellen. Gesundheitliche Schäden insbesondere bei Störfällen für Personal, Besucher etc. möglich.		Zusätze für Bohrspülung (z.B. Kaliumkarbonat → K-40) und Einsatz von Messgeräten (Durchflussmessung, geophysikalisches Logging) können radioaktive Quellen darstellen. Schäden insbesondere bei Störfällen für Flora und Fauna möglich, aber sehr selten.	
Anlagenbau				
Betrieb				
Rückbau				

A-19 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-7.1: LANDSCHAFTSBILD

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Flächenbedarf des Bohrplatzes beträgt rund 10'000 – 20'000 m ² . Die Bohranlage besteht aus einem rund 40 – 60 m hohen Bohrmast, welcher während rund 2 Jahren sichtbar ist.			
Anlagenbau	Baustelle von rund 5'000 m ² während des Anlagenbaus.			
Betrieb	Flächenbedarf für das Geothermieheizkraftwerk beträgt rund 5'000 m ² .			
Rückbau	Baustelle von rund 5'000 – 20'000 m ² während des Rückbaus.			

A-20 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-7.2: HABITATVERLUSTE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen			Flächenbedarf des Bohrplatzes beträgt rund 10'000 – 20'000 m ² . Das Gebiet wird grösstenteils asphaltiert → Habitatverlust für Flora und Fauna	
Anlagenbau			Baustelle von rund 5'000 m ² während des Anlagenbaus → Habitatverlust für Flora und Fauna	
Betrieb			Flächenbedarf für das Geothermieheizkraftwerk beträgt rund 5'000 m ² . Das Gebiet wird grösstenteils asphaltiert und überbaut → Habitatverlust für Flora und Fauna	
Rückbau			Baustelle von rund 5'000 – 20'000 m ² → Habitatverlust für Flora und Fauna	

A-21 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-7.3: FREIZEITNUTZUNG EINGESCHRÄNKT

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Auslegung von Geophonkabeln (bis 100 km Kabel) und Messgeräten für 3D-Seismik → Freizeitnutzung während einigen Wochen eingeschränkt.			
Bohrungen	Flächenbedarf des Bohrplatzes beträgt rund 10'000 – 20'000 m ² . Zusätzliche entstehen Zufahrten etc. → leicht eingeschränkte Freizeitnutzung			
Anlagenbau	Baustelle von rund 5'000 m ² → leicht eingeschränkte Freizeitnutzung			
Betrieb	Flächenbedarf für das Geothermieheizkraftwerk beträgt rund 5'000 m ² . Das Gebiet wird grösstenteils asphaltiert und überbaut → leicht eingeschränkte Freizeitnutzung			
Rückbau	Baustelle von rund 5'000 – 20'000 m ² → leicht eingeschränkte Freizeitnutzung			

A-22 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-8.1: LOKALE ABKÜHLUNG DES UNTERGRUNDS

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Während Produktions-tests kühlt sich der tiefe Untergrund lokal leicht ab. Die Abkühlung ist abhängig von FlieSSrate, Gesteinseigenschaften...			
Anlagenbau				
Betrieb	Während langfristigem Kraftwerksbetrieb (Zirkulation) kühlt sich der tiefe Untergrund lokal um einige Grad Celsius ab. Die Abkühlung ist abhängig von FlieSSrate, Gesteinseigenschaften...			
Rückbau				

A-23 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-8.2: HYDROLOGISCHE VERÄNDERUNGEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen			(Unerwünschte) Verbindung von Fluiden (Wässer, Gase etc.) unterschiedlicher Formationen bzw. Lagerstätten möglich. Veränderungen der unterirdischen Fließwege durch Bohr-/Stimulationsmassnahmen möglich bzw. angestrebt (Einfluss auf zukünftige, anderweitige Untergrundnutzungen).	
Anlagenbau				
Betrieb			Veränderungen der unterirdischen Fließ- und Druckverhältnisse durch langfristigen Zirkulationsbetrieb von Thermalwasser möglich (Einfluss auf zukünftige, anderweitige Untergrundnutzungen).	
Rückbau				

A-24 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-9.1: ARBEITEN AUF ÖFFENTL./PRIVATEN GRUNDSTÜCKEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Vibrations- und Schusseismik auf privaten und öffentlichen Strassen bzw. Gelände. Mehrwöchige Auslage von Geophonen und Messkabeln auf privatem und öffentlichem Grund → Nutzungseinschränkungen			
Bohrungen	Geophysikalische Messungen in der nahen Umgebung zum Bohrplatz (z.B. Check-Shot-Messungen mit Sprengungen) auf privatem und öffentl. Grund möglich			
Anlagenbau				
Betrieb				
Rückbau				

A-25 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-9.2: SINKENDE GRUNDSTÜCKSPREISE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Aufgrund von erhöhten Emissionen sinken die Grundstückspreise im nahen Umfeld des Bohrplatzes allenfalls leicht.			
Anlagenbau				
Betrieb	Aufgrund von erhöhten Emissionen sinken die Grundstückspreise im nahen eines Geothermie-heizkraftwerks allenfalls leicht.			
Rückbau				

A-26 ERLÄUTERUNGEN ZU NEE-10.1: ÄNGSTE, STRESS UND PANIK

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Ängste vor unbekanntem Auswirkungen (auch irrationaler Art) aufgrund von Eingriffen in den Untergrund.			
Bohrungen	Ängste vor unbekanntem Auswirkungen (auch irrationaler Art) aufgrund von Eingriffen in den Untergrund. Panik/Stress und Unwohlsein aufgrund der Gefahr von möglichen Erdbeben.			
Anlagenbau				
Betrieb	Ängste vor unbekanntem Auswirkungen (auch irrationaler Art) aufgrund von Eingriffen in den Untergrund. Panik/Stress und Unwohlsein aufgrund der Gefahr von möglichen Erdbeben.			
Rückbau				

A-27 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-1.1: VERBESSERUNG DER GEOLOGIE-KENNTNISSE

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Deutliche Erweiterung der regionalen geologischen Grundlagenkenntnisse durch 3D-Seismik → Wissenssteigerung. Evtl. wichtige Basis für weitere Untergrundnutzungen.	Gute regionale geologische Kenntnisse fördern weitere Projekte im tiefen Untergrund und damit Arbeitsplätze etc.		
Bohrungen	Deutliche Erweiterung der lokalen und regionalen geologischen Grundlagenkenntnisse durch Bohrdaten → Wissenssteigerung. Evtl. wichtige Basis für weitere Untergrundnutzungen.	Gute lokale und regionale geologische Kenntnisse fördern weitere Projekte im tiefen Untergrund und damit Arbeitsplätze etc.		
Anlagenbau				
Betrieb				
Rückbau				

A-28 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-1.2: DATENERWERB FÜR NEUE PROJEKTE UND FORSCHUNG

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Gute geologische Daten, seismische Informationen sowie Projektmanagement-Erfahrungen liefern Daten für Forschung und damit Wissenssteigerung für Gesellschaft und Forschende.	Gute geologische Daten, seismische Informationen sowie Projektmanagement-Erfahrungen fördern weitere Projekte sowie Forschung im tiefen Untergrund (neue Arbeits-/Forschungsplätze etc.)		
Bohrungen	Gute geologische Daten, bohrtechnische Informationen sowie Projektmanagement-Erfahrungen liefern Daten für Forschung und damit Wissenssteigerung für Gesellschaft und Forschende.	Gute geologische Daten, bohrtechnische Informationen sowie Projektmanagement-Erfahrungen fördern weitere Projekte sowie Forschung im tiefen Untergrund (neue Arbeits-/Forschungsplätze etc.)		
Anlagenbau				
Betrieb	Betriebsdaten liefern Basis für Forschung und damit Wissenssteigerung für Gesellschaft und Forschende.	Betriebsdaten liefern Basis für Forschung und weitere Projekte (neue Arbeits-/Forschungsplätze etc.)		
Rückbau				

A-29 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-1.3: KNOW-HOW-STEIGERUNG IN FACHBRANCHE

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Geophysik, Sprengtechnik, Geologie und Projektmanagement.	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Geophysik, Sprengtechnik, Geologie und Projektmanagement als Grundlage für neue Arbeitsaufträge.		
Bohrungen	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Geophysik, Geologie Bohrtechnik, Ingenieurwesen, Kommunikation und Projektmanagement.	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Geophysik, Geologie Bohrtechnik, Ingenieurwesen, Kommunikation und Projektmanagement als Grundlage für neue Arbeitsaufträge.		
Anlagenbau	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Bau- und Ingenieurwesen.	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Bau- und Ingenieurwesen als Grundlage für neue Arbeitsaufträge.		
Betrieb	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Bau- und Ingenieurwesen sowie Kraftwerkstechnik.	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Bau- und Ingenieurwesen sowie Kraftwerkstechnik als Grundlage für neue Arbeitsaufträge.		
Rückbau	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Bau- und Ingenieurwesen.	Know-how-Steigerung v.a. in den Bereichen Bau- und Ingenieurwesen als Grundlage für neue Arbeitsaufträge.		

A-30 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-1.4: LERNMATERIALIEN/-UMGEBUNG FÜR SCHULEN

Wirkungszeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Horizontenerweiterung für Lehrpersonen und Schüler, Einbindung neuer Themen in Schulunterricht, Möglichkeit für Schularbeiten und Exkursionen etc.	Horizontenerweiterung für Lehrpersonen und Schüler, Einbindung neuer Themen in Schulunterricht, Möglichkeit für Schularbeiten und Exkursionen als Grundlage für neue Fachkräfte.		
Bohrungen	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Anlagenbau	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Betrieb	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Rückbau				

A-31 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-1.5: ARCHÄOLOGISCHE FUNDE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Im Rahmen von seismischen Messungen können allenfalls historische Entdeckungen gemacht werden.	Im Rahmen von seismischen Messungen können allenfalls historische Entdeckungen gemacht werden, welche allenfalls zu Aufträgen im Bereich Ausgrabungen und historischen Nachforschungen führen können.		
Bohrungen	Im Rahmen von Bohrarbeiten können allenfalls historische Entdeckungen (u.a. auch Fossilienfunde) gemacht werden.	Im Rahmen von Bohrarbeiten können allenfalls historische Entdeckungen (u.a. auch Fossilienfunde) gemacht werden, welche allenfalls zu Aufträgen im Bereich Ausgrabungen und historischen Nachforschungen führen können.		
Anlagenbau				
Betrieb				
Rückbau				

A-32 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-2.1: HOHE MEDIENPRÄSENZ

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Hohe Medienpräsenz führt zu erhöhter öffentlicher Wahrnehmung und Darstellung von einigen Einzelpersonen und wird zum Gesprächsthema.	Hohe Medienpräsenz führt zu erhöhter öffentlicher Wahrnehmung und Darstellung der betroffenen Region und Unternehmen → Standortförderung, Werbeeffect für Tourismus- und Wirtschaft etc.		
Bohrungen	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Anlagenbau	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Betrieb	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Rückbau	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		

A-33 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-2.2: BESUCHER/TOURISMUS

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Besuche und Führungen als (neue) Freizeitaktivität.	Besucher als (neue) Einnahmequelle für Gastronomie und Tourismusbranche.		
Bohrungen	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Anlagenbau	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Betrieb	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Rückbau				

A-34 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-2.3: FACHVERANSTALTUNGEN UND FACHPUBLIKUM

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Neue Fachveranstaltungen (Kongresse, Weiterbildungen, Referate etc.) führen zu Fachaustausch und persönlicher Weiterbildung.	Neue Veranstaltungen (Kongresse, Weiterbildungen, Referate etc.) führen zu Fachaustausch und persönlicher Weiterbildung und vermindern damit den Fachkräftemangel und erzeugen allenfalls neue Projekte und Arbeitsplätze		
Bohrungen	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Anlagenbau	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Betrieb	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“		
Rückbau				

A-35 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-3.1: AUSBAU VERKEHRSANBINDUNG

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Bau von Zufahrtsstrassen zu Bohrplatzgelände (bessere Anbindung für Anwohner)	Bau von Zufahrtsstrassen zu Bohrplatzgelände (bessere Anbindung führt evtl. zu Nutzen für lokale Firmen/Wirtschaft)		Bau von Zufahrtsstrassen zu Bohrplatzgelände.
Anlagenbau	Analog zu „Bohrungen“	Analog zu „Bohrungen“		Analog zu „Bohrungen“
Betrieb	Analog zu „Bohrungen“	Analog zu „Bohrungen“		Analog zu „Bohrungen“
Rückbau				

A-36 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-3.2: NEUE NUTZFLÄCHEN UND LAGERPLÄTZE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				Asphaltiertes Bohrplatz- gelände evtl. als neue Nutzfläche bzw. Lager- platz nutzbar (insbesondere nach Beendigung der Bohr- arbeiten)
Anlagenbau				
Betrieb				
Rückbau				

A-37 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-3.3: NEUE WERKLEITUNGEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen	Bau von neuen Werkleitungen zu Bohrplatzgelände (Wasser, Abwasser, Strom, TV, Internet etc.) Neue Leitungen können evtl. auch von An- wohnern genutzt werden.			Bau von neuen Werkleitungen zu Bohrplatzgelände (Wasser, Abwasser, Strom, TV, Internet etc.)
Anlagenbau	Bau von neuen Werkleitungen zum Geothermieheizkraftwerk (Wasser, Abwasser, Strom, TV, Internet etc.). Neue Leitungen können evtl. auch von An- wohnern genutzt werden.			Bau von neuen Werkleitungen zum Geothermieheizkraftwerk (Wasser, Abwasser, Strom, TV, Internet etc.)
Betrieb				
Rückbau				

A-38 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-4.1: UNABHÄNGIGKEIT VON AUSLÄNDISCHEN ENERGIEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb	Produktion von „einheimischer“ Energie (Strom und Wärme) verringert Abhängigkeit von ausländischen Energiequellen (v.a. fossile Energieträger und Atomstrom). Dies erzeugt evtl. einen ideellen Nutzen.	Produktion von „einheimischer“ Energie (Strom und Wärme) verringert Abhängigkeit von ausländischen Energiequellen (v.a. fossile Energieträger und Atomstrom). Dies erzeugt u.a. mehr lokale Wertschöpfung (siehe auch A-39).		
Rückbau				

A-39 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-4.2: STABILISIERUNG ENERGIEPREISE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb	Produktion von lokaler Energie (Strom und Wärme) mit tendenziell. schwach schwankenden Produktionskosten. Die Betriebskosten bzw. variablen Kosten sind bei der geothermischen Energieproduktion vergleichsweise tief. Einfluss auf Energiepreise für private Haushalte (v.a. im Bereich Wärme).	Produktion von lokaler Energie (Strom und Wärme) mit tendenziell. schwach schwankenden Produktionskosten. Die Betriebskosten bzw. variablen Kosten sind bei der geothermischen Energieproduktion vergleichsweise tief. Stabile Energiepreise führen zu stabileren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Unternehmen (v.a. im Bereich Wärme).		
Rückbau				

A-40 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-4.3: BANDENERGIE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb	Die geothermische Wärme- und Stromproduktion liefert Bandlast. Dies bildet die Basis für eine sichere Energieversorgung.	Die geothermische Wärme- und Stromproduktion liefert Bandlast. Dies bildet die Basis für eine sichere Energieversorgung.		
Rückbau				

A-41 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-5.1: GENERIERT LOKALE ARBEITSAUFTRÄGE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration		Umsetzung 3D-Seismik generiert insbesondere bei lokalen Geologie- bzw. Geophysikbüros, Bohrfirmen, Marketing- und Kommunikationsspezialisten etc. neue Aufträge.		
Bohrungen		Bohrplatzbau und Tiefbohrarbeiten generieren insbesondere bei lokalen Baufirmen, Bau- und Bohr-ingenieurbüros, Geologie- bzw. Geophysikbüros, Entsorgungsfirmen, Marketing- und Kommunikationsspezialisten, Elektrikern, Logistikunternehmen etc. neue Aufträge.		
Anlagenbau		Anlagenbau generiert insbesondere bei lokalen Baufirmen und Ingenieurbüros etc. neue Aufträge.		
Betrieb		Betrieb generiert insbesondere bei lokalen Ingenieurbüros etc. neue Aufträge.		
Rückbau		Rückbau generiert insbesondere bei lokalen Baufirmen und Ingenieurbüros etc. neue Aufträge.		

A-42 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-5.2: SCHAFFT LOKALE ARBEITSPLÄTZE

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Wenige zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund 3D-Seismik.	Wenige zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund 3D-Seismik.		
Bohrungen	Zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund Bohrplatzbau und Bohrarbeiten.	Zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund Bohrplatzbau und Bohrarbeiten.		
Anlagenbau	Wenige zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund Anlagenbau.	Wenige zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund Anlagenbau.		
Betrieb	Einige neue Arbeitsplätze im Bereich Unterhalt und Betrieb des Geothermieheizkraftwerks.	Einige neue Arbeitsplätze im Bereich Unterhalt und Betrieb des Geothermieheizkraftwerks.		
Rückbau	Wenige zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund Rückbau.	Wenige zeitlich befristete (neue) Arbeitsplätze aufgrund Rückbau.		

A-43 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-5.3: GENERIERT NEUE STEUEREINNAHMEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb		Unternehmenssteuern des Produzenten.		
Rückbau				

A-44 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-5.4: KANTONALE/KOMMUNALE EINNAHMEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb	Kantonale Einnahmen aus Konzessionsabgaben für Wasserförderung („Wasserzins“); zukünftig auch für Wärmeentzug aus Untergrund → Nutzen für Bevölkerung.	Kantonale Einnahmen aus Konzessionsabgaben für Wasserförderung („Wasserzins“); zukünftig auch für Wärmeentzug aus Untergrund.		
Rückbau				

A-45 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-6.1: BEITRAG ZUR ERFÜLLUNG NEUER ENERGIESTRATEGIEN

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration				
Bohrungen				
Anlagenbau				
Betrieb	Die Ziele neuer staatlicher, kantonaler und kommunaler Energiestrategien können durch die CO ₂ -arme Energieproduktion tendenziell besser erfüllt werden → Atomenergieausstieg erleichtert (Sicherheit für Bevölkerung erhöht)	Die Ziele neuer staatlicher, kantonaler und kommunaler Energiestrategien können durch die CO ₂ -arme Energieproduktion tendenziell besser erfüllt werden → Atomenergieausstieg erleichtert (Sicherheit)	Die Ziele neuer staatlicher, kantonaler und kommunaler Energiestrategien können durch die CO ₂ -arme Energieproduktion tendenziell besser erfüllt werden → Atomenergieausstieg erleichtert (CO ₂ -Ziele besser erfüllbar)	
Rückbau				

A-46 ERLÄUTERUNGEN ZU PEE-6.2: LEUCHTTURMEFFEKT IM ENERGIEBEREICH

Wirkungs- zeitraum	Wirkungsbereich			
	Mensch	Wirtschaft	Umwelt	Infrastruktur
Exploration	Geothermieprojekte fungieren derzeit bereits ab Explorationsphase häufig als Leuchtturmprojekte → Anregung weiterer Energieprojekte etc.	Geothermieprojekte fungieren derzeit bereits ab Explorationsphase häufig als Leuchtturmprojekte → Anregung weiterer Energieprojekte erzeugen neue Aufträge für entsprechenden Wirtschaftszweig bzw. Branche.	Geothermieprojekte fungieren derzeit bereits ab Explorationsphase häufig als Leuchtturmprojekte → Anregung weiterer Energieprojekte führen dazu, dass Energieziele besser erfüllt werden können (u.a. CO ₂ -Emissionen verringern).	
Bohrungen	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“	
Anlagenbau	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“	
Betrieb	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“	Analog zu „Exploration“	
Rückbau				