

Abschlussbericht BWPLUS

GECKO

Nutzung der **GE**othermie für eine klimaneutrale Wärmeversorgung am KIT
(Campus Nord) - inter- und transdisziplinäres **Co**-Design eines
Umsetzungs**KO**nzepts

von

Teilprojekt 1: KIT INE, Eva Schill (Gesamtprojektkoordination, Projektleitung TP1)

Teilprojekt 2: KIT ITAS, Christine Rösch (Projektleitung TP2)

Teilprojekt 3: Ökoinstitut Freiburg e.V., Melanie Mbah (Projektleitung TP3)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Ökoinstitut Freiburg e.V.

Förderkennzeichen: L75 19011 - 19013

Laufzeit: 01.11.2019 bis 28.02.2022

Finanziert aus Landesmitteln, die der Landtag Baden-Württemberg beschlossen hat.

Mai 2022



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Inhalt

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Zusammenfassung | 5 |
| 2 | Einführung und Gesamtziel | 9 |
| 3 | Der transdisziplinäre Forschungsansatz in GECKO | 11 |
| 4 | Lokale Sondierungsstudie „Social site characterization“ | 13 |
| 4.1 | Stakeholderanalyse | 13 |
| 4.2 | Qualitative Interviews mit Bürgermeister*innen | 13 |
| 4.3 | Regionale Medienresonanzanalyse | 14 |
| 5 | Kommunikationswerkzeuge | 15 |
| 5.1 | Projektwebseite | 15 |
| 5.2 | FAQ | 15 |
| 6 | Fallstudie Beteiligung und Kommunikation in Geothermievorhaben am Beispiel von Staufen (D) und St. Gallen (CH)..... | 16 |
| 6.1 | Methodisches Vorgehen der Fallstudie | 16 |
| 6.2 | Verfahrenshergang und Erkenntnisse des Fallbeispiels Staufen | 16 |
| 6.3 | Verfahrenshergang und Erkenntnisse des Fallbeispiels St. Gallen | 17 |
| 6.4 | Synthese der Fallbeispiele und daraus abgeleitete Gelingensbedingungen..... | 18 |
| 7 | Entwicklung der Bürger*innen- und Stakeholder - Kriterien | 21 |
| 7.1 | Vorbereitung des Workshops und Auswahl der Teilnehmenden | 21 |
| 7.1.1 | Fachliche Rahmensetzung..... | 21 |
| 7.1.2 | Auswahl und Einladung der Teilnehmer*innen des KIT-Workshops..... | 22 |
| 7.1.3 | Einladung der Teilnehmer*innen des Kriterien-Workshops für Bürger*innen und Stakeholder | 22 |
| 7.1.4 | Inhaltliche und technische Vorbereitung und Konzeption der Workshops | 22 |
| 7.2 | Durchführung der Kriterien-Workshops..... | 23 |
| 7.3 | Ergebnisse und Dokumentation des KIT-Workshops | 23 |
| 7.4 | Ergebnisse und Dokumentation des Kriterien-Workshops für Bürger*innen/Stakeholder | 24 |
| 8 | Numerische Modellierung des Untergrundes des KIT-Campus Nord | 27 |
| 8.1 | Umsetzung der Bürger*innen Kriterien in technische Aspekte..... | 27 |
| 8.2 | Anpassung der Modelle für die Szenarienentwicklung und -analyse | 28 |
| 8.3 | Wärmebedarfsanalyse | 29 |
| 8.4 | 3-D geologisches Strukturmodell | 30 |
| 8.4.1 | Einleitung..... | 30 |
| 8.4.2 | Modellerstellung..... | 30 |
| 8.4.3 | Stratigraphische Einheiten und Lithostratigraphie..... | 31 |
| 8.4.4 | Störungsanalyse..... | 32 |

| | | |
|--------|---|----|
| 8.5 | Abschätzung des Spannungssystems und der Bruchkriterien | 35 |
| 8.6 | Bewirtschaftungsszenarien unter Berücksichtigung des Bedarfs | 35 |
| 8.6.1 | Tiefengeothermische Wärmeproduktion..... | 36 |
| 8.6.2 | Speicherleistung | 39 |
| 9 | Entwicklung von Entwurfsszenarien..... | 42 |
| 9.1 | Methodik zur Entwicklung von Entwurfsszenarien als Ausgangsbasis für den Szenarienworkshop..... | 42 |
| 9.2 | Schärfung der Szenarien durch Stakeholderinterviews..... | 44 |
| 9.3 | Ausschluss von Themenfeldern bei der Szenarientwicklung..... | 44 |
| 9.4 | Definition der Ausgangslage (Basis-Szenario) | 44 |
| 9.5 | Entwurfsszenarien für den Szenarien-Workshop | 48 |
| 9.5.1 | Szenario 1: KIT-Campus Nord Wärmeversorgung mit Wärmespeicher..... | 48 |
| 9.5.2 | Szenario 2: Wärmeversorgung KIT-Campus Nord und Wärmeabgabe an Kommunen..... | 50 |
| 9.5.3 | Szenario 3: Kommunale Anlage (unabhängig von der KIT-Anlage)..... | 51 |
| 10 | Bürger*innen Szenarien | 54 |
| 10.1 | Vorbereitung und Durchführung des Szenarien-Workshops..... | 54 |
| 10.2 | Was ist den Bürger*innen wichtig?..... | 54 |
| 10.2.1 | Kommunikation, Information und Bewertung | 55 |
| 10.2.2 | Einbindung und Teilhabe von Kommunen | 58 |
| 10.2.3 | Lokaler Nutzen und Kooperation | 60 |
| 10.2.4 | Wirtschaftlichkeit..... | 62 |
| 10.2.5 | Klima- und Umweltschutz | 63 |
| 10.3 | Modifizierte Szenarien der Bürger*innen zur Nutzung der Geothermie am KIT-Campus Nord | 65 |
| 11 | Empfehlungen für ein Umsetzungskonzept..... | 70 |
| 11.1 | Reflexionsworkshop..... | 70 |
| 11.2 | Allgemeine Handlungsempfehlungen für Tiefengeothermie-Vorhaben | 71 |
| 11.2.1 | Co-Design Tiefengeothermie: von der gemeinsamen Vision zur Umsetzung.... | 71 |
| 11.2.2 | Transparenz durch Kommunikation und Beteiligung unter Nutzung vielfältiger Medien | 71 |
| 11.2.3 | Unabhängige wissenschaftliche Beratung und Moderation | 72 |
| 11.2.4 | Lokale Teilhabe und lokaler ökonomischer sowie ideeller Nutzen | 72 |
| 12 | Evaluierung des transdisziplinären Ansatzes im GECKO Projekt | 74 |
| 12.1 | Umsetzung der Evaluationsmethoden | 74 |
| 12.2 | Ergebniszusammenstellung der Evaluation..... | 76 |
| 12.2.1 | Bewertung der internen Zusammenarbeit..... | 76 |

| | | |
|--------|--|----|
| 12.2.2 | Ergebnisse aus den Beobachtungen während der Workshops | 78 |
| 12.2.3 | Bewertung der Projektziele | 79 |
| 12.2.4 | Bewertung der Workshopdurchführung..... | 80 |
| 12.2.5 | Bewertung der Produkte und Ergebnisse | 81 |
| 12.2.6 | Einschätzung zur Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf ähnliche Vorhaben..... | 84 |
| 12.2.7 | Einordnung der Ergebnisse in den Vorhabenprozess bzw. darüber hinaus | 85 |
| 12.3 | Zwischenfazit | 87 |
| 13 | Forschungstransfer | 88 |
| 13.1 | Wissenschaftliche Fortschritte durch GECKO..... | 88 |
| 13.2 | Nutzen und praktische Verwertbarkeit..... | 88 |
| 13.3 | Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer | 89 |
| 14 | Gesamtfazit und Ausblick | 91 |
| 15 | Literaturverzeichnis | 92 |

1 Zusammenfassung

Das Verbundprojekt GECKO des Karlsruher Institutes für Technologie (KIT) und Öko-Institut e.V. besteht aus drei Teilprojekten, von denen das erste einen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fokus und das zweite und dritte einen sozialwissenschaftlichen Zugang zum Thema haben. Alle Teilprojekte arbeiten interdisziplinär zusammen. Der transdisziplinäre Ansatz bezieht sich auf die gemeinsame Konzeptentwicklung der Nutzung der Tiefengeothermie am Campus Nord mit gesellschaftlichen Akteuren.

Der gemeinsame transdisziplinäre Forschungsansatz wurde im Laufe des Projektes an während des Projektes neu gewonnene Erkenntnisse angepasst. Die vorrangigen Ziele des Projektes GECKO waren:

1. Die Erarbeitung eines umweltverträglichen Bewirtschaftungskonzeptes einer Tiefengeothermieanlage vor dem Hintergrund der geologischen Bedingungen des KIT-Campus Nord, welches die Erfahrungen und Bedürfnisse der Bürger*innen einbindet.
2. Die Identifikation von Gelingensbedingungen im Co-Design für eine Nutzung der Geothermie, welche das Kriterium der Akzeptabilität erfüllt, und deren langfristig am Gemeinwohl orientierte Ausrichtung im Oberrheingraben.
3. Die Einbindung der Bürger*innen in die Konzeptentwicklung der Nutzung der Tiefengeothermie am Standort des KIT, Campus Nord (Konzeption und Umsetzung eines transdisziplinären Ansatzes)

Als Hintergrund für die Überarbeitung des Forschungsansatzes und in Vorbereitung der transdisziplinären Workshops wurde eine lokale Sondierungsstudie durchgeführt. Diese beinhaltet eine umfassende Stakeholder- und Kontextanalyse, d.h. es wurden qualitative Interviews mit Bürgermeister*innen und eine regionale Medienresonanzanalyse durchgeführt.

Detaillierte Untersuchung hinsichtlich Beteiligung und Kommunikation in Geothermievorhaben wurden am Beispiel der Geothermievorhaben Staufen und St. Gallen durchgeführt. Die beiden Fallbeispiele sind hinsichtlich des technischen Konzepts und Vorgehens sehr verschieden und auch die unterschiedlichen politischen Systeme wirken auf die jeweilige Vorgehensweise. Aus der Analyse der Fallbeispiele können dennoch Gemeinsamkeiten identifiziert werden, die generell als wichtige Aspekte einer gelungenen Planung und Umsetzung herangezogen werden können und die zur Akzeptabilität eines spezifischen Planungsprozesses bzw. des Vorhabens beitragen können. Als wichtige Gelingensbedingungen konnten 1) die Entwicklung eines sinnstiftenden Narrativs und einer gemeinsamen Vision mit lokalem/regionalem Mehrwert, 2) die Kontextualisierung und Konkretisierung des Vorhabens, 3) die Transparenz und die Bedeutung einer Risiko-Governance, sowie 4) eine transversale Steuerung, Authentizität und Haltung identifiziert werden.

Auf Basis technischer Erfahrungen wurde ein Start-Szenario entwickelt, welches moderate Fließraten bei der Wärmeversorgung anstreben, um die Umweltbeeinflussung gering zu halten. Die heutige Wärmeerzeugung am KIT-Campus Nord beruht vollständig auf der Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Die Grundlast der Wärmeversorgung von 2.1 MW wird derzeit über ein Blockheizkraftwerk bereitgestellt. Die Spitzenlasten werden über einen Heizkessel gedeckt.

Das Konzept der moderaten Fließraten bedeutet für den KIT-Campus Nord aufgrund der technischen Notwendigkeit von stabilen Fließraten, die Möglichkeit der Deckung der

Wärmegrundlast von ca. 2 MW. Um die Deckung des Gesamtwärmebedarfes auf bis zu 80% zu erhöhen, wurde im Rahmen von GECKO zusätzlich das Konzept der Speicherung von geothermischer Überschusswärme erarbeitet.

Die Kriterien für die Nutzung der Tiefengeothermie wurden in zwei getrennten „online“-Workshops gemeinsam mit KIT-Mitarbeiter*innen zum einen und Bürger*innen und Stakeholdern zum anderen erarbeitet. Sie dienten der explorativen Entwicklung relevanter Kriterien durch die eingeladenen Akteursgruppen. Ziel war zunächst die Identifikation relevanter (positiver wie negativer) Aspekte, aus welchen in einem zweiten Schritt Kriterien für die Akzeptabilität formuliert wurden. Im KIT-Workshop erarbeiteten die Teilnehmer*innen in vier Gruppen Kriterien für die Erschließung und Nutzung der Tiefengeothermie am KIT-Campus Nord. Anschließend wurden die Kriterien durch die Moderation geclustert und die Clusterbegriffe bzw. Kriterien durch die Teilnehmer*innen priorisiert. Die meisten Stimmen erhielten in dieser Priorisierung die Kriterien „Transparenz und Kommunikation“, „Risiken“, „Nutzungskonzept zu Alternativen der Campuserwicklung“ und „Nachhaltigkeit“. Weitere als wichtig eingestufte Kriterien waren „CO₂-Neutralität“, „Vernetzung der Forschung“ und „Technische Kriterien“.

Die Ergebnisse des Bürger*innen und Stakeholder Workshops wurden den Teilnehmenden in Form einer Dokumentation zur Verfügung gestellt. Die Teilnehmer*innen wurden im Nachgang gebeten, die vom Projektteam erstellten Cluster über Mentimeter zu priorisieren. Als die drei wichtigsten Kriterien wurde dabei Klimaschutz gefolgt von Umweltsicherheit und Transparenz genannt. In einer zweiten Frage konnten sie alle Kriterien nach ihrer Wichtigkeit einordnen. Die meisten Punkte erreichten dabei die Alternativenprüfung, die neutrale Bewertung, die technische Umsetzung und der Klimaschutz. In einer qualitativen Feinanalyse wurden die acht Cluster „Transparenz, Objektivität und Befähigung zur Mitsprache“, „Risikomanagement und Umweltverträglichkeit“, „Wirtschaftlichkeit“, „ganzheitliche Betrachtung der technischen Machbarkeit und Umsetzung“, „ganzheitliche Konzepte für Klimaschutz“, „Bürgerbeteiligung und Kooperation zwischen den Akteuren“, „lokaler Nutzen“ und „politische Rahmenbedingungen“ identifiziert.

Die Ergebnisse wurden auf ihren technischen Inhalt und Möglichkeit zur technischen Umsetzung hin untersucht. Dazu wurden die vier übergeordnete technische Kriterienfelder „Monitoring“, „Analyse des Wärmenetzes“, „Wirtschaftlichkeit“ und „numerische Modellierung“ aus den transkribierten Kriterienworkshop-Mitschnitten entwickelt, denen die genannten Kriterien zugeordnet wurden. Über diese wurden die Entwurfsszenarien für den folgenden Szenarienworkshop charakterisiert. Zur Erstellung der Entwurfsszenarien wurden numerische thermo-hydraulische Modelle entwickelt.

Die meist genannten Kriterien betreffen das Feld der Analyse des Wärmenetzes. Aufgrund dessen wurde im Verlauf des Projektes der Schwerpunkt der Modellierungen weg von der induzierten Seismizität hin zur CO₂- und Wärmebilanz verschoben. Dies hatte ebenfalls Auswirkungen auf die Parameter, die im Labor erhoben wurden. Grundlage der technischen Szenarien sind somit die Wärmebedarfsanalyse und das 3-D geologische Strukturmodell. Unabhängig von den Wärmelieferanten werden für die Modellbetrachtungen durch die Glättung der Bedarfskurve zukünftige Energieeffizienz-Maßnahmen eingeführt.

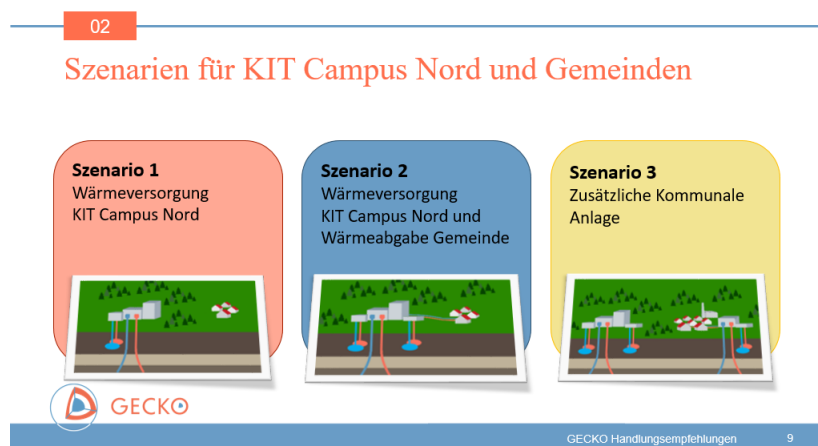
Das 3-D geologische Strukturmodell beschreibt sowohl die Geometrien für mögliche Thermalwasserwegsamkeiten, als auch die Lage tektonischer Störungen, entlang derer über zu hohe Druckänderungen Seismizität induziert werden kann. Das Modell wurde weiterhin genutzt, um die Zerrüttungszone der Störungen empirisch zu berechnen, die eine quantitative

Abschätzung des Strömungs- und Wärmetransportgeschehens ermöglicht. Eine Analyse der abdichtenden Eigenschaften der Störungen hatte zum Ziel, eine Ausbreitung über die einzelnen tektonischen Einheiten im Untergrund hinaus bewerten zu können.

Die Simulation zeigt, dass bei einer Entnahme von 25 L/s aus den entsprechenden Kluftsystemen in den Muschelkalk-, Buntsandstein- und oberen Perm-Lagen die Druckänderung auf mechanisch relevante Störungen unterhalb von 2 MPa bleibt. Die Absenkung liegt bei etwa 350 m. Bei einer Fördertemperatur von etwas über 170 °C zeigt die Kopplung mit dem Wärmebedarf des KIT-Campus Nord eine resultierende optimale Wärmeleistung von etwa 9 MW. Diese erzeugt jedoch einen Überschuss von bis zu 7 MW in den Sommermonaten, dafür werden insbesondere in den Monaten Dezember, Januar und Februar große Anteile des Wärmebedarfes nicht durch die Tiefengeothermie gedeckt werden. Um eine bessere Nutzung der tiefen Geothermie zu gewährleisten wurden dann ein bzw. zwei Hochtemperaturspeicher mit in die Bilanzierung einbezogen. Im Ergebnis kann die Tiefengeothermie inklusive der saisonalen Speicherung am KIT-Campus Nord somit einen Großteil des Wärmebedarfes decken.

Eine weitere Steigerung der Speicherleistung und damit der Umverteilung von Wärmeüberschuss im Sommer hin zum Winter lässt sich durch die Installation einer zweiten Speicherdoulette im östlichen Bereich des Campus Nord. Die Simulationen belegen die Machbarkeit einer solchen Installation, jedoch senken die zusätzlichen Brunnen lokal stärker das Grundwasser ab, was die Kosten der Förderung erhöht. Die Leistung des Speichers liegt für eine Förderrate von 10 L/s bei etwa 2,7 MW, bei 5 L/s sind es 1,25 MW. Diese Werte sind ohne Wärmeverlust entlang des Förderstranges oder am Wärmetauscher gerechnet worden. Diese Untersuchungen sind Gegenstand weiterer Arbeiten außerhalb dieses Projektes, sie werden allerdings sukzessive in zukünftige Modellrechnungen integriert. Für die Szenarien wurde ein maximaler Wert für zwei Speicher von 4 MW verwendet, welches den Mittelwert der beiden Varianten darstellt.

Folgende drei Entwurfsszenarien wurden für den Szenarienworkshop erstellt.



Ziel des darauf basierenden Szenarienworkshops war es, die Entwurfsszenarien zu diskutieren, zu modifizieren und weiterzuentwickeln und anhand der in den vorherigen Workshops erarbeiteten Kriterien zu bewerten. Angestrebtes Ergebnis dieses Workshops sollten mindestens zwei Szenarien sein, welche aus Sicht der Beteiligten das Kriterium der Akzeptabilität erfüllen könnten und aus welchen Gelingensbedingungen im Sinne von Mindestanforderungen an die Ausgestaltung eines Umsetzungskonzepts für die Nutzung von Geothermie im Oberrheingraben, insbesondere am KIT-Campus Nord, ersichtlich werden.

Zum Abschluss des Workshops wurden die Teilnehmer*innen gefragt, welches Szenario sie bevorzugen würden bzw. wie dieses angepasst sein müsste. Zusammenfassend wurden Szenario 2 und 3 priorisiert, jedoch mit unterschiedlichen Anpassungen zur Bürgerbeteiligung und Wärmeversorgung.

Aus dem Szenarienworkshop wurden Empfehlungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer identifiziert, die aus ihrer Sicht bei der Umsetzung eines Geothermie-Vorhabens am KIT Campus-Nord oder in der Umgebung berücksichtigt werden sollten. Die Handlungsempfehlungen wurden in einem Reflexionsworkshop nochmals mit ausgewählten Akteuren gespiegelt. Genauso auch die Kosten für eine Projektentwicklung im Co-Design mit einigen Betreibern. Nach einer Analyse der Ergebnisse des Reflexionsworkshops wurden die finalen Handlungsempfehlungen zusammengestellt. Sie flossen gemeinsam mit den weiteren Projektergebnissen als Empfehlungen für ein Umsetzungskonzept einer Geothermie-Anlage am KIT-Campus Nord im Besonderen und weiteren Geothermie-Anlagen im Allgemeinen ein.

2 Einführung und Gesamtziel

Der CO₂-Ausstoß in Deutschland ist seit 2009 im Mittel konstant und beträgt ca. 800 Millionen Tonnen pro Jahr. Mehr als 40% davon entfallen auf die Wärmenutzung. Eine erste Verbesserung der CO₂-Neutralität im Wärmesektor wurde durch eine Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien und Abwärmenutzung erreicht. Trotzdem eröffnen die fast 70% Wärme aus fossilen Brennstoffen (Stand 2016) weiterhin ein sehr hohes Einsparungspotential in Deutschland. Im Untergrund des KIT-Campus Nord befindet sich die größte bekannte Wärmeanomalie Deutschlands mit ca. 170°C in 3 km Tiefe. Um dieses Potential zu nutzen, prüft das KIT die Umsetzung der „Wärmewende am KIT“ mit geothermischen Technologien. Aufgrund seiner Insellage und der genannten optimalen geothermischen Verhältnisse ist der KIT-Campus Nord prädestiniert für die Anwendung einer dezentralen Geo-Wärmeversorgung. Dies bedeutet für die Liegenschaften am Campus Nord die Umstellung auf eine CO₂-neutrale Quelle für das vorhandene Wärmenetz, welches derzeit über gasbefeuerte Anlagen betrieben und durch Blockheizkraftwerke ergänzt wird.

Das Verbundprojekt GECKO des KIT und Öko-Institut e.V. unter Leitung des KIT besteht aus drei Teilprojekten, von denen das erste einen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fokus und das zweite und dritte einen sozialwissenschaftlichen Zugang zum Thema haben. Alle Teilprojekte arbeiten interdisziplinär zusammen. Der transdisziplinäre Ansatz bezieht sich auf die gemeinsame Konzeptentwicklung der Nutzung der Tiefengeothermie am Campus Nord mit gesellschaftlichen Akteuren (Stakeholder und Bürger*innen), wie z. B. KIT-Mitarbeitende, lokale Entscheidungsträger*innen und die interessierte Öffentlichkeit.

In GECKO wurden nach wissenschaftlich-technischem Kenntnisstand im Co-Design Kriterien und Szenarien für die Nutzung der Tiefengeothermie am KIT-Campus Nord erarbeitet. Basis dafür waren zum einen Labortests, geologische und thermo-hydraulisch gekoppelte numerische Modelle und zum anderen die Expertise der Praxis, also der gesellschaftlichen Akteure. Die Umsetzung eines Co-Designs ist ein erster Schritt auf dem Weg zur besseren Integration praxisrelevanten Wissens in wissenschaftliche Forschungsprojekte und zur Planung und Implementierung langfristiger Infrastrukturprojekte für die Wärmewende in Baden-Württemberg. Der im Projekt entwickelte transdisziplinäre Ansatz eines Co-Designs eines Umsetzungskonzeptes für ein Geothermievorhaben am KIT-Campus Nord soll Vorbildcharakter für andere notwendige Infrastrukturmaßnahmen für die Wärmewende in Baden-Württemberg haben.

Dies wird u.a. durch die Zusammenfassung und Veröffentlichung sowie die Herausarbeitung von Handlungsempfehlungen inklusive „lessons learnt“ ermöglicht. Im Folgenden werden diese beiden Ziele in drei Teilprojekten adressiert.

Das Teilprojekt 1 wurde durch die Arbeitsgruppe GeoEnergie des Instituts für Nukleare Entsorgung, KIT INE, Prof. Eva Schill, durchgeführt. Teilprojekt 2 erfolgt am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (KIT ITAS) und Teilprojekt 3 am Öko-Institut e.V. Freiburg.

Die vorrangigen Ziele des Projektes GECKO waren:

Teilprojekt 1:

1. Ein Bewirtschaftungskonzept zum umweltverträglichen Betrieb der Untertageanlage vor dem Hintergrund der geologischen Bedingungen des KIT-Campus Nord

2. Die Einbindung der Erfahrungen und Bedürfnisse der in den umliegenden Orten lebenden Bürger*innen und Betreiber des Industriegebietsanalog in die Konzeptentwicklung

Teilprojekt 2:

3. Die inter- und transdisziplinäre Entwicklung von Kriterien und Szenarien zur potentiell konsensfähigen und klimaneutralen Nutzung der Geothermie am geplanten Standort und deren Anwendung zur Erarbeitung eines Untersuchungskonzepts im Co-Design
4. Die Identifikation von Gelingensbedingungen für eine Nutzung der Geothermie, welche das Kriterium der Akzeptabilität erfüllt, und deren langfristig am Gemeinwohl orientierte Ausrichtung im Oberrheingraben.

Teilprojekt 3:

5. Die Einbindung der Bürger*innen in die Konzeptentwicklung der Nutzung der Tiefengeothermie am Standort des KIT, Campus Nord (Konzeption und Umsetzung eines transdisziplinären Ansatzes)
6. Ein Beitrag zur Identifikation von Gelingensbedingungen zu leisten, aufbauend auf einer Fallstudie zu den Geothermievorhaben in Staufen und St. Gallen.

3 Der transdisziplinäre Forschungsansatz in GECKO

Allen drei Teilprojekten liegt ein gemeinsamer transdisziplinärer Forschungsansatz zugrunde, der im Laufe des Projektes aufgrund neuer Erkenntnisse angepasst wurde. Er wurde auf Basis einer Literaturstudie sowie ersten Gesprächen mit Stakeholdern in einem iterativen Prozess im Forschungsteam weiterentwickelt. In GECKO ist die Einbindung von Bürger*innen und Stakeholdern aufgrund des transdisziplinären Forschungsdesigns ein essenzieller Bestandteil. Sie dient neben dem diskursiven Austausch auch einer möglichst vollständigen Erfassung der vielfältigen relevanten (positiven wie negativen) Aspekte auf verschiedenen Ebenen, beispielsweise hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte. Zu diesem Zweck wurden Workshops mit Bürger*innen und Stakeholdern konzipiert, die ermöglichen sollten, dass alle Teilnehmenden ihre Themen einbringen konnten, ohne dass eine Sichtweise dominierte. Die aktualisierte Struktur ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Farbe Blau steht dabei für „Akteure aus der Wissenschaft“ und die Farbe Orange für „Praxisakteure“, also gesellschaftliche Akteure im Sinne von relevanten Stakeholdern und Bürger*innen. Als Basis der Weiterentwicklung diente auch die im nächsten Unterkapitel vorgestellte lokale Sondierungsstudie.

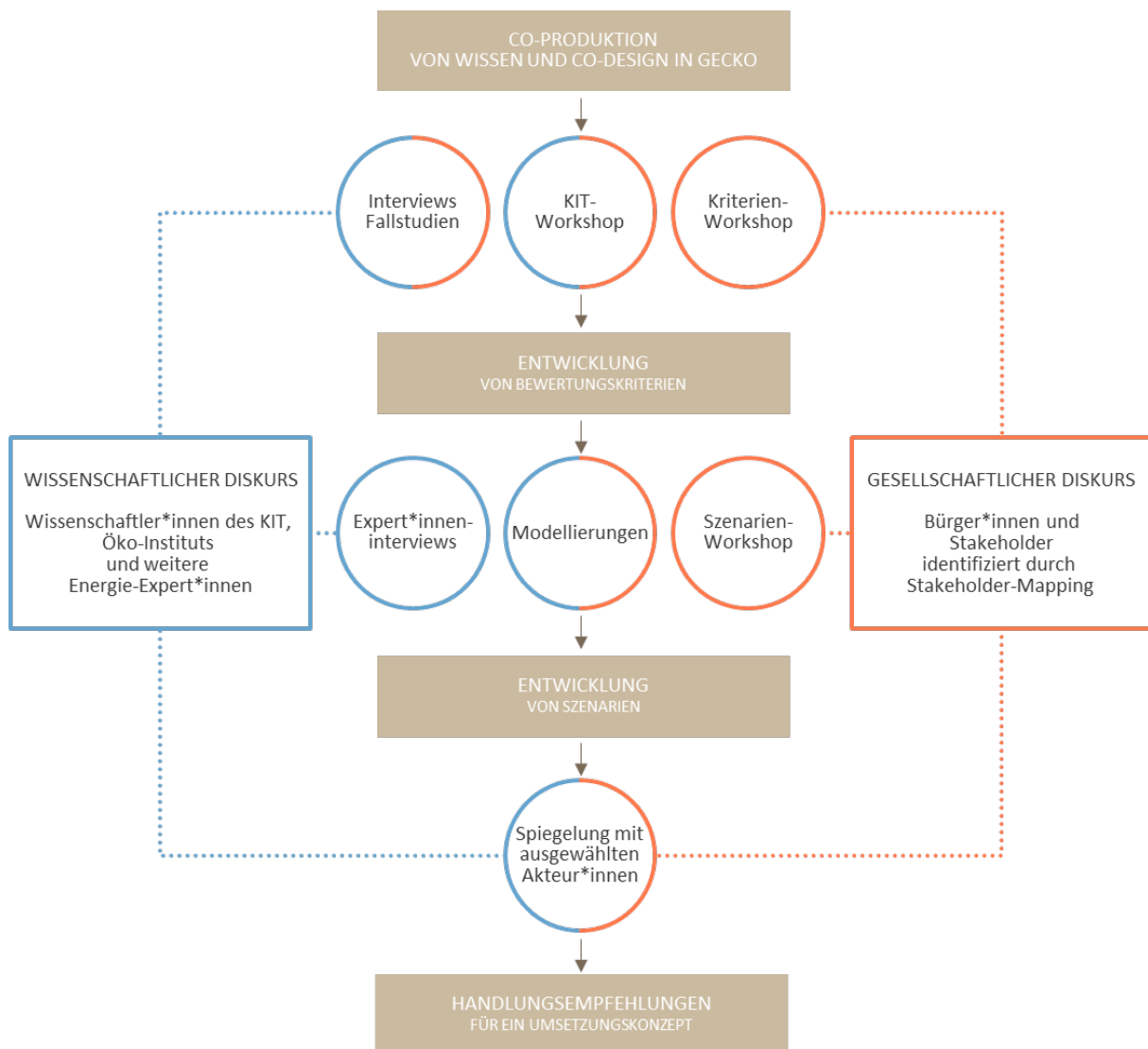


Abbildung 1: Transdisziplinärer Forschungsansatz des GECKO-Projektes

Durch die Stakeholderanalyse wurde deutlich, dass die Mitarbeitenden des KIT eine große, eigene Stakeholdergruppe darstellen, mit in sich vielfältigen Interessen und Betroffenheiten. Die Literaturstudie und die Erkenntnisse der Fallstudie verdeutlichten die Notwendigkeit, alle relevanten Stakeholdergruppen (inklusive interessierter Bürger*innen) angemessen einzubeziehen und hierbei darauf zu achten, dass es keine Machtasymmetrien oder Dysbalancen zwischen einzelnen Stakeholdergruppen gibt, die zu möglicherweise einseitigen Themensetzungen oder Bedeutungsgewichtungen führen. Diesen Aspekten wurde Rechnung getragen, indem das Forschungsdesign um einen KIT-Workshop zur Kriterienentwicklung erweitert wurde, an dem sowohl Wissenschaftler*innen als auch Nicht-Wissenschaftler*innen des KIT teilnahmen (Abbildung 1). Hiermit konnte sichergestellt werden, dass die Interessen der großen und vielfältigen Stakeholdergruppe der KIT-Mitarbeitenden, die in unmittelbarer Nachbarschaft der geplanten Anlage arbeitet und von ihr profitieren aber auch betroffen sein wird, geeignet in den Prozess einfließen konnten. Im anschließend stattfindenden Kriterienworkshop wurde ein Rahmen aufgespannt, in dem die Erwartungen und Befürchtungen der verschiedenen Stakeholder und Bürger*innen der Region zur Wärmewende allgemein und zur Tiefengeothermie im Speziellen sowie zu dem vorgestellten konkreten Vorhaben am KIT geäußert werden konnten. Durch diese Zweiteilung konnte eine mögliche Dominanz von technisch-wissenschaftlichen Fragestellungen im Kriterien-Workshop vermieden werden.

Eine zweite Erweiterung im aktualisierten Forschungsdesign war die Einführung des Zwischenschritts „Spiegelung mit ausgewählten Akteuren“, die in diesem Bericht unter „Reflexionsworkshop“ vorgestellt wird (Abbildung 1). Dieser Schritt wurde als notwendig erachtet, um die Perspektiven von Vertreter*innen der Praxis (z. B. Betreiber*in/Projektierende, Entscheider*innen in der Verwaltung, von Unternehmen, der Politik) zu integrieren und so die Ergebnisse des Forschungsprojektes hinsichtlich deren praktischer Relevanz zu prüfen.

4 Lokale Sondierungsstudie „Social site characterization“

Als Hintergrund für die Überarbeitung des Forschungsansatzes und in Vorbereitung der transdisziplinären Workshops wurde eine lokale Sondierungsstudie in Anlehnung an eine „social site characterization“ (Wade und Greenberg 2011) durchgeführt.

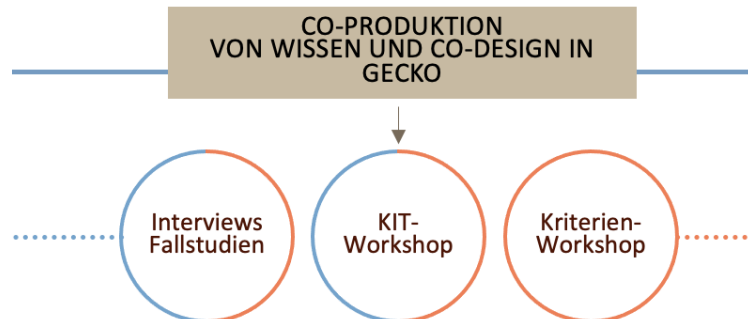


Abbildung 2: Co-Produktion von Wissen und Co-Design des Gecko-Projektes

Diese beinhaltet eine umfassende Stakeholder- und Kontextanalyse, d.h. es wurden qualitative Interviews mit Bürgermeister*innen und eine regionale Medienresonanzanalyse durchgeführt.

4.1 Stakeholderanalyse

Die Stakeholderanalyse wurde nach der Methodik von Wade und Greenberg (2011) in einem mehrstufigen Prozess im Projektteam durchgeführt. Dafür wurden in einem teaminternen Brainstorming-Prozess zunächst eine möglichst große Bandbreite an Stakeholdern identifiziert. Dies geschah mit Hilfe einer Reihe von Leitfragen (entnommen aus Wade und Greenberg (2011)).

Die auf diese Weise identifizierten Stakeholder wurden in folgende vier Cluster gegliedert:

- Nachbarn, Bildung
- Forschung, Betreiber, NGOs
- Bürgerinitiativen, Wirtschaft und öffentliche Einrichtungen
- Regierungsorganisationen.

In einem zweiten Schritt fand eine Einordnung der identifizierten Stakeholder bezüglich ihrer Interessen am Geothermie-Vorhaben, ihrer Macht, den Vorhabenverlauf zu beeinflussen, und ihrer Grundeinstellung gegenüber dem Geothermie-Vorhaben, d.h. ob sie dem Vorhaben grundsätzlich positiv oder eher skeptisch begegnen (Macht/Interesse Raster), statt (nach Jammes et al. (2013)).

4.2 Qualitative Interviews mit Bürgermeister*innen

Als zweiter Teil der lokalen Sondierungsstudie wurden qualitative Interviews mit den Bürgermeister*innen der umliegenden Gemeinden geführt. Der thematische Fokus lag auf den Fragen, welche Themen die Bürger*innen in der jeweiligen Gemeinde im Allgemeinen besonders bewegen, zu welchen Themen Entscheidungen anstehen und welche Rolle der Klimaschutz und die dezentrale Wärmewende dabei spielen. So konnten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, in welchem Kontext das Thema Wärmewende in den Kommunen verhandelt wird und ob aktuelle Konflikte zu anderen Themen eventuell in die Diskussionen im Workshop Eingang finden könnten. Die Ergebnisse wurden zusammengefasst und dem GECKO-Projektteam zur Verfügung gestellt.

4.3 Regionale Medienresonanzanalyse

Die regionale Analyse von Themen und Akteuren, die in der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit mit Geothermie genannt werden, ist ein wichtiger Bestandteil der „social site characterization“, da sie darüber Aufschluss gibt, welche Informationen in welcher Form in den Meinungs- und Willensbildungsprozess einfließen. In der Medienresonanzanalyse wurden nach Artikeln zum Thema Geothermie in der Online-Datenbank der regionalen Tageszeitung, die Badische Neuste Nachrichten (BNN), im Zeitraum von März 2017 bis Mai 2020 gesucht. Mit den Suchbegriffen „Geothermie“, „Tiefenwärme“, „Tiefengeothermie“ und „Erdwärme“ konnten ca. 50 Artikel identifiziert werden. Die Geothermie wurde in vielen Artikeln positiv bewertet und in Zusammenhang mit den Themen *Klimawandel*, *klimafreundliche Lösung*, *Karlsruher Klimaschutzkonzept*, *Nachhaltigkeit*, *Zukunftstechnologie*, *geringer CO₂-Auststoß*, *erneuerbare Energien* oder *Grundlastfähigkeit* genannt. Die analysierten kritischen Berichterstattungen bezogen sich auf den geplanten Geothermie-Standort in Graben-Neudorf und beschrieben die Ängste und Sorgen der Bevölkerung zu induzierter Seismizität durch Bohrungen oder Anlagenbetrieb, und die dadurch verursachten möglichen Schäden, vor allem Risse an Gebäuden. Auch wurde die Sorge genannt, dass Schäden nicht durch Deckungssummen der Versicherungen gedeckt seien. Thematisiert wurden auch der Austritt von Isopentan und Radioaktivität und andere Störfälle im Anlagenbetrieb, die zu einer Verschmutzung von Luft und Grundwasser führen können. Zudem wurde die Wirtschaftlichkeit von Geothermieanlagen bezweifelt. Betrachtet man die Akteure, die in Zusammenhang mit Geothermie genannt oder zitiert wurden, ist vor allem die regionale Politik und Verwaltung in den umliegenden Gemeinden wie Waghäusel, Graben-Neudorf, Karlsruhe-Neureut oder Bruchsal zu nennen.

5 Kommunikationswerkzeuge

5.1 Projektwebseite

Wesentliche Funktion der Projektwebseite war zunächst die Bekanntmachung des Projekts und die Bereitstellung von Informationen für interessierte Bürger*innen und Stakeholder, um möglichst allgemeinverständlich die Grundlagen des Projekts und der Geothermie zu erläutern. Weiterhin diente sie der Rekrutierung der Workshop-Teilnehmer*innen und für die Anmeldung zu den Workshops. Im Projektverlauf wurden über die Website aktuelle Entwicklungen und Erkenntnisse aus dem Projekt zugänglich gemacht, wie Dokumentationen der Workshops und Veröffentlichungen.

5.2 FAQ

Während der Workshops traten bei den Teilnehmenden einige Fragen auf, die aus Zeitgründen nicht direkt beantwortet werden konnten. Daher wurde im Nachgang eine Liste mit Frequently Asked Questions (FAQ) inklusive Antworten zu sozioökonomischen Themen auf der Webseite eingestellt. Auf diese Weise wurde Hintergrundwissen einer breiten Öffentlichkeit kurz, verständlich und fundiert zugänglich gemacht. Zu den technischen FAQ hat das TP1 zusätzlich an der Erstellung und Beantwortung der FAQs des Landesforschungszentrums Geothermie teilgenommen (siehe <https://www.lfzg.de/125.php>).

6 Fallstudie Beteiligung und Kommunikation in Geothermievorhaben am Beispiel von Staufen (D) und St. Gallen (CH)

6.1 Methodisches Vorgehen der Fallstudie

Die zwei Fallbeispiele – Staufen und St. Gallen (CH) – für die detaillierte Untersuchung hinsichtlich Beteiligung und Kommunikation in Geothermievorhaben waren schon in der Antragsphase ausgewählt worden und wurden weiterhin für sinnvoll erachtet (siehe Mbah und Krohn (2021)).

Basierend auf einem Literaturreview und der Analyse weiterer Dokumente wurden relevante Akteure der beiden Vorhaben identifiziert und in Summe zwölf ca. einstündige, qualitative leitfadengestützte Interviews durchgeführt (jeweils sechs pro Fallbeispiel).

Der Fokus der Interviews lag in Fragen nach konkreten Maßnahmen von Kommunikation und Beteiligung, die im Zusammenhang mit den Geothermievorhaben an den beiden Standorten durchgeführt wurden. Hierbei wurden sowohl die gesellschaftliche Resonanz und Wirkung von kommunikativen und dialogischen Formaten auf den Planungs- und Entscheidungsprozess als auch potenzielle Veränderungen aufgrund der Schadenereignisse in den Blick genommen.

Interviewt wurden jeweils zwei Vertreter*innen der Kommunalverwaltung, zwei von Interessengruppen bzw. das Vorhaben begleitende, interessierte Personen aus der Bürgerschaft und zwei weitere Verfahrensbeteiligte (z.B. Vorhabenträger, externe Sachverständige und Berater*innen sowie Vertreter*innen von Aufsichtsbehörden oder Verbänden). Ziel war es, möglichst diverse Perspektiven abzubilden.

Alle Interviews wurden via MS Teams oder Zoom geführt und aufgenommen und in Form eines einfachen wissenschaftlichen Transkripts transkribiert. Anschließend wurde eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) mithilfe der Software MAXQDA durchgeführt. Hierbei wurden Kategorien und Subkategorien einerseits deduktiv aus dem Leitfaden und induktiv auf Basis des empirischen Materials entwickelt. Wichtige Kategorien waren beispielsweise „Gelingensbedingungen“ – mit den Subkategorien, wie z.B. „Authentizität“, „Vision“, „Transparenz“, „Identität“ – und „Beteiligung“ sowie „Kommunikation“ – mit den Subkategorien, wie beispielsweise „Formate“ und „Herausforderungen“.

6.2 Verfahrenshergang und Erkenntnisse des Fallbeispiels Staufen

Das Geothermievorhaben in Staufen ist ein Vorhaben oberflächennaher Geothermie und unterscheidet sich daher in der Verfahrensplanung hinsichtlich des Einbezugs der Öffentlichkeit, da es sich hierbei im Vergleich zu einem Tiefengeothermie-Vorhaben um einen eher kleinen Eingriff in den Untergrund handelt. In Staufen wurden bereits mehrere Wohngebäude sowie ein Gewerbebetrieb mit der Wärmeenergie aus oberflächennaher Geothermie versorgt. Der Beschluss über die Art der Wärmeversorgung des Rathauses wurde deshalb ausschließlich in den öffentlichen Gemeinderatssitzungen diskutiert und im Jahr 2005 gefällt. Schon kurz nach der Bohrung, im Oktober 2007, traten die ersten Hebungsrisse am Rathaus und an umgebenden Gebäuden auf (siehe Mbah und Krohn (2021)). Ein Gutachten bestätigte später den Zusammenhang zwischen Hebungsrisse und Bohrung.

Eine systematische Kommunikation und Begleitung des Schadenereignisses wurde ein Jahr später mit der Einrichtung eines Runden Tisches, dem Arbeitskreis Hebungsrisse, aufgenommen. Parallel bildete sich eine Interessengemeinschaft der Rissgeschädigten. Teil der kooperativen Schadensbewältigung war der Entwurf und die Verabschiedung einer Schlichtungsordnung und das Einsetzen eines Schlichters. Seitdem wurden bis Februar 2018

insgesamt über 420 Schlichtungsanträge durch die Schlichtungsstelle bearbeitet (Stadt Staufen i.Br. 2018).

In der Analyse des Verlaufs der Schadensbewältigung zeigt sich, dass das Zusammenspiel zentraler Einzelpersonen mit Unterstützung der jeweiligen kollektiven Akteure zur erfolgreichen Bewältigung beigetragen haben. Die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses darüber, dass nur eine kooperative und intensive Auseinandersetzung zielführend ist, war die Basis für die konstruktive Bearbeitung und Bewältigung der entstandenen Schäden.

Als besonders wichtige lessons learnt dieses Fallbeispiels, sind folgende Aspekte hervorzuheben: Erstens der hohe Stellenwert einer offenen und transparenten Kommunikation. Zweitens, die fachliche Kompetenz und die Empathie von Einzelakteuren, die zentral beteiligt waren (z.B. Bürgermeister, Schlichter, Vorsitzender der Interessengemeinschaft). Drittens ist hervorzuheben, dass Fragen und Argumente grundsätzlich mit allen Teilnehmenden der eingerichteten Beteiligungsformate beraten und geprüft wurden, sodass nach Aussage der Interviewpartner*innen alle eingehenden Sorgen und Nöte Anerkennung finden konnten.

In der Analyse des Fallbeispiels Staufen wurde zudem deutlich, dass zwischen den Verfahrensabschnitten Planung, Umsetzung und Ereignisbewältigung zu unterscheiden ist. Kommunikation und Beteiligung bei der Schadensbewältigung sind aufgrund des höheren Betroffenheitsgrades in der Bevölkerung von denen in der Vorbereitung eines Vorhabens, oder während der technischen Umsetzung zu abstrahieren. Dabei zeigt sich, dass es selbst bei kleineren Vorhaben sinnvoll sein kann, frühzeitig und in Ergänzung zum formalen Prozess informelle Formen der Kommunikation und ggf. auch der Beteiligung anzubieten.

6.3 Verfahrenshergang und Erkenntnisse des Fallbeispiels St. Gallen

Das Geothermievorhaben in St. Gallen hat im Vergleich zu den in Deutschland umgesetzten Vorhaben die Besonderheit, dass das Schweizer Politiksystem mit seinen Referenden bei der Planung von Vorhaben mit hohen Investitionssummen eine im kantonalen Recht vorgeschriebene Beteiligungskomponente hat.

Im Vorfeld der konkreten Vorhabenplanung wurde deshalb neben einer geologisch-technischen Machbarkeitsstudie (BFE 2009) zudem eine Studie zum Umgang mit den Hoffnungen und Bedenken der Bevölkerung durchgeführt (Holenstein 2009), um sowohl die Zustimmungsfähigkeit zu einem solchen Projekt als auch die Anforderungen an Kommunikation und Beteiligung zu identifizieren. Vor diesem Hintergrund entschieden sich die Projektverantwortlichen, alle vorbereitenden Maßnahmen wie auch die konkrete Durchführung intensiv kommunikativ zu begleiten. Nachdem in einem Referendum 83% der stimmberechtigten Bürgerschaft dem Projekt zustimmte und damit der Rahmenkredit bewilligt wurde, konnte das Vorhaben im Jahr 2012 in die konkrete Umsetzung gehen.

Bei den Tiefbohrungen stieß man unerwartet auf Gas, welches zu einem schnellen Druckanstieg im Bohrloch führte. Im Zuge der sofort eingeleiteten Gegenmaßnahmen kam es im Juli 2013 zu einer Erschütterung des Untergrunds, die mit einer Stärke von 3.5 auf der Richterskala registriert wurde. Diese war nur partiell in der Stadt spürbar und verursachte kleine Schäden an einzelnen Liegenschaften (Voneschen 2018). Die im Anschluss daran durchgeführten Produktionstests zeigten geringe Wasserförderraten. Dies führte in Kombination mit der Beurteilung des seismischen Risikos schließlich zu der Entscheidung, das Tiefengeothermie-Vorhaben zu beenden (Stadt St. Gallen 2018; Mbah und Krohn 2021).

Während des gesamten Vorhabens (auch in der Planung) wurde intensiv mit der Öffentlichkeit kommuniziert (z.B. via Webseite, Newsletter, Reportagen, Medienkonferenzen, Informationsplakaten, Info-Pavillon, etc.). Dialogische oder gestaltende Veranstaltungen, die über die Information und Konsultation hinausreichen, wurden mit Ausnahme des Referendums nicht durchgeführt.

Als lessons learnt können aus diesem Fallbeispiel folgende Aspekte abgeleitet werden: Erstens wird eine Kommunikation mit dem Ziel maximaler Transparenz positiv wahrgenommen, auch oder insbesondere der ehrliche und offene Umgang mit Nicht-Wissen und Ungewissheiten durch die zentralen Projektbeteiligten. Zweitens ist die Vor-Ort-Präsenz dieser Projektbeteiligten, ihre Erreichbarkeit bzw. Bereitschaft zu persönlichen informellen Gesprächen sowie ihre direkte und authentische Gesprächsführung bedeutend. Drittens ist entscheidend, dass Kritik ernst genommen, der Dialog mit kritischen Personen gezielt gesucht wird und in der Folge beispielsweise Maßnahmen bzw. Vorgehensweisen angepasst werden.

6.4 Synthese der Fallbeispiele und daraus abgeleitete Gelingensbedingungen

Die beiden untersuchten Fallbeispiele, Staufen und St. Gallen, sind hinsichtlich des technischen Konzepts und Vorgehens sehr verschieden und auch die unterschiedlichen politischen Systeme wirken auf die jeweilige Vorgehensweise hinsichtlich Kommunikation und Beteiligung (siehe Mbah und Krohn (2021)). Aus der Analyse der Fallbeispiele können dennoch Gemeinsamkeiten identifiziert werden, die generell als wichtige Aspekte einer gelungenen Planung und Umsetzung herangezogen werden können und die zur Akzeptabilität eines spezifischen Planungsprozesses bzw. des Vorhabens beitragen können.

Als wichtige Gelingensbedingungen konnten folgende Aspekte identifiziert werden:

- a. **Entwicklung eines sinnstiftenden Narrativs und einer gemeinsamen Vision mit lokalem/regionalem Mehrwert:** Auf beiden Ebenen – der lokalen und der nationalen – spielen Narrative, in Form von einfachen Erzählungen, insofern eine Rolle, als dass diese eine „bessere“ (z.B. nachhaltigere) Zukunft mit einer gemeinsamen Vision aufzeigen. Wichtige Aspekte eines solchen Narrativs können die Regionalität der Energieerzeugung, die dadurch gewonnene Unabhängigkeit von externen Energieversorgern, ggf. der Pioniergedanke im Sinne eines Vorreiters in Bezug auf spezifische Technologien sowie der aktive Beitrag zur Energiewende sein. Neben den Narrativen, die Teil einer gemeinsamen Vision für die Umsetzung eines spezifischen Projektes (hier: Geothermie) sein können, braucht es zudem einen lokalen/regionalen Mehrwert (z. B. Gewerbesteuererinnahmen, Sicherstellung einer (vergünstigten) Wärmeversorgung o. ä.), d.h. einen direkten Nutzen für den Ort/die Gemeinde und die dort lebende Bevölkerung, der die potenziellen Lasten, z. B. in Form von Risiken für die bebaute und natürliche Umwelt, ausgleichen kann.
- b. **Kontextualisierung und Konkretisierung des Vorhabens:** Um ein (Geothermie)Vorhaben eng an den Bedarfen vor Ort auszurichten, ist es notwendig, im Vorfeld der Vorhabenplanung eine Akteurs- und Kontextanalyse zu erstellen. In der Akteurs- und Kontextanalyse sollten neben der (technischen) Machbarkeitsanalyse sowohl Erwartungen und Befürchtungen hinsichtlich der konkreten Technologie (hier: Tiefengeothermie) als auch Wünsche bezüglich Kommunikation und Beteiligung identifiziert werden, die dann in konkreten Konzepten operationalisiert werden können. Die Analyse beider Fallbeispiele zeigt deutlich, dass frühzeitige Information (z. B. über mögliche Risiken und Ziele eines Vorhabens), und zwar bestenfalls schon vor der konkreten Planung eines Geothermievorhabens, für die spätere Zustimmungsfähigkeit sehr wichtig ist. Neben der technischen Machbarkeit sollten auch das historische Setting

sowie die Einstellungen gegenüber einer spezifischen Technologie (hier: Tiefengeothermie) in die Kontextanalyse einbezogen werden. Diese kann beispielsweise darüber Auskunft geben, wie aufgeschlossen eine Region gegenüber technologischen Innovationen generell ist. Angepasst an die vor Ort bestehenden Bedürfnisse sollte ein Kommunikationskonzept entwickelt werden. Für die Entwicklung eines Beteiligungskonzeptes bzw. verschiedener Formen der Beteiligung kann ein sogenanntes Beteiligungsscoping nach Ewen (2017), bestehend aus vier Schritten (Klärung der Zielsetzungen und Rahmenbedingungen, Themenfeld- und Akteursanalyse, Konzept Design und Fahrplan der Beteiligung, Verhandlung des Beteiligungskonzeptes) hilfreich sein.

c. **Transparenz und die Bedeutung einer Risiko-Governance:** Es ist notwendig, das Vorhaben als einen transparenten Prozess zu entwickeln, der mit der Projektplanung beginnt und in der Durchführung bzw. Umsetzung kontinuierlich fortgesetzt wird. Teil dieses transparenten Vorgehens sollte auch die Auswahl der Technologie sein, ausgehend von einem gesellschaftlichen Diskurs über die verschiedenen Optionen eine Energiewende herbeizuführen (d. h. Diskurs über alternative Technologien), den damit verbundenen Risiken und der Stellung der Tiefengeothermie darin (vgl. Stauffacher et al. 2015). Dies gilt auch und insbesondere dann, wenn beispielsweise Ungewissheiten oder Nicht-Wissen über mögliche Folgen oder Risiken bestehen. Ungewissheiten sollten artikuliert werden, jedoch nicht im direkten Zusammenhang mit quantitativen Angaben, da dies als Widerspruch gesehen werden könnte (Knoblauch et al. 2018). Hierzu gehört auch eine transparente Auswahl der Anlagenbetreiber*innen und Auftragnehmer*innen (z.B. für die Durchführungen der Bohrungen, die Messung von Seismizität, etc.) sowie die frühzeitige Kommunikation der Vorhabenschritte (als Teil des oben genannten Kommunikationskonzeptes). Transparenz wie auch Beteiligung sollten Kernbestandteile einer Risiko-Governance sein, die in der Vorhabendurchführung verschiedene Intensitäten erreichen kann, je nach den zu einem spezifischen Zeitpunkt/Vorgang möglichen (erwartbaren) Risiken und insbesondere zu Zeitpunkten spezifischer Ereignisse (z.B. induzierte Seismizität) (vgl. Trutnevyte und Wiemer (2017)).

d. **Transversale Steuerung, Authentizität und Haltung:** Es zeigte sich in beiden Fallbeispielen, dass die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteuren in den Geothermievorhaben maßgeblich für das Gelingen eines Projektes ist. Hierbei geht es nicht nur darum, nach Außen geschlossen aufzutreten, sondern gegenseitiges Vertrauen aufzubauen und ein gemeinsames Verständnis der Ziele und des Weges dorthin – also der transversalen Steuerung – zu entwickeln, um auf herausfordernde Situationen ggf. situativ ohne Vorabstimmung in ähnlicher Weise reagieren zu können. Die Fallstudie zu Staufen und St. Gallen macht deutlich, wie wichtig die Kooperation und Zusammenarbeit zwischen den Akteuren einerseits und die gesellschaftliche Verankerung und Anerkennung der Akteure vor Ort andererseits sowie das authentische Auftreten zentraler Personen, für den Aufbau von Vertrauen innerhalb der Bevölkerung ist. Die Haltung der zentralen Personen gegenüber Beteiligung im Allgemeinen sowie gegenüber den Einwänden und Erwartungen der Bevölkerung im Besonderen ist dabei von hoher Bedeutung. Beteiligung darf nicht instrumentell-funktionalistisch als ein Mittel zum Zweck verstanden werden, sondern sollte als ein elementarer Bestandteil für das Projekt und das Lernen generell gesehen werden.

Die Ergebnisse der Fallstudie wurden im Projektteam vorgestellt und diskutiert und flossen sowohl in die Vorbereitung der Workshops als auch in die weiterführende Analyse und Entwicklung von Empfehlungen ein.

7 Entwicklung der Bürger*innen- und Stakeholder - Kriterien

Die Kriterien für die Nutzung der Tiefengeothermie sollten in einem Präsenzworkshop mit Bürger*innen, Stakeholdern und KIT-Mitarbeiter*innen gemeinsam erarbeitet werden. Aufgrund der Pandemie-Situation wurde frühzeitig entschieden zwei Online-Workshops mit einer Teilnehmendenzahl von maximal 40 Personen vorzubereiten: einen Workshop mit Mitarbeiter*innen des KIT und einen mit Bürger*innen und Stakeholdern. Ziel war zunächst die Identifikation relevanter (positiver wie negativer) Aspekte, aus welchen in einem zweiten Schritt Kriterien für die Akzeptabilität – auf unterschiedlichen Ebenen, z. B. auf der Prozess- oder Technologie-Ebene – sowohl des konkreten GECKO-Projekts, als auch weiterer Geothermie-Projekte im Allgemeinen formuliert wurden.



Abbildung 3: Entwicklung von Bewertungskriterien im Gecko-Projekt

7.1 Vorbereitung des Workshops und Auswahl der Teilnehmenden

Die Vorarbeiten zu den Workshops umfassten fünf Teilschritte, die in enger Abstimmung im Projektteam erfolgten:

1. Fachliche Rahmensetzung des Tiefengeothermieprojektes nach technischen und bergrechtlichen Möglichkeiten
2. Aufbau der Webseite (siehe Kapitel 5.1) zur Information über das Projekt GECKO und zur Anmeldung für die Workshops
3. Stakeholderanalyse (siehe Kapitel 4.1) zur Identifizierung, Auswahl und Einladung der Teilnehmer*innen
4. Inhaltliche Konzeption und Ausgestaltung des Workshops
5. Technische Vorbereitung und Auswahl der Online-Methoden, die einerseits der Information und andererseits dem direkten Austausch zwischen den Teilnehmenden dienen sollten.

7.1.1 Fachliche Rahmensetzung

Die fachliche Rahmensetzung des Projektes ergibt sich aus der bergrechtlichen Erlaubnis im Feld „KIT-Campus Nord“. Das Karlsruher Institut für Technologie forscht in verschiedenen Themenbereichen und Disziplinen an der „Energie für morgen“. Mit dem Blick auf die eigene Energiesituation unterstützt das KIT das Klimakonzept der Bundesregierung und die Klimavorgaben der Landesregierung Baden-Württemberg. Auf dieser Grundlage verfolgt das KIT das Ziel, die zukünftige Energieversorgung einer möglichst nachhaltigen, regenerativen und CO₂-neutralen Versorgung zuzuführen.

Mit der angestrebten Wärmegewinnung aus einem Tiefengeothermieprojekt soll ein wesentlicher Teil der Wärme-Grundlast am Campus Nord klimaneutral abgedeckt werden. Die vorhandene Infrastruktur mit einem flächendeckenden Nahwärmenetz bietet ideale Voraussetzungen zur Einspeisung der Wärme. Basierend auf ersten Untersuchungen ergänzen sich die geothermische Kapazität und vorhandene Bedarfsstrukturen am Standort Campus Nord auf ideale Weise. Es ist erklärtes Ziel der Partner KIT und EnBW, moderate Fließraten bei

der Wärmeversorgung anzustreben, um die Umweltbeeinflussung gering zu halten. Dieses Konzept basiert auf den Erfahrungen in Soultz (Schill et al. 2017), Bruchsal und Riehen. Es u.a. soll die Instrumentation des Campus Nord schützen, sowie die Wahrnehmung in den umliegenden Gemeinden reduzieren. Bei einer späteren Realisierung des Projektes kann hier stark auf die Erfahrung mit moderaten Fließraten der EnBW in Bezug auf geringe Umweltbeeinflussung in Bruchsal zurückgegriffen werden.

Mit dem Konzept der moderaten Fließraten wird den bisherigen Erfahrungen in der Wahrnehmung von Tiefengeothermieprojekten (Meller et al. 2018) bereits Rechnung getragen. Das Konzept der moderaten Fließraten bedeutet für den KIT-Campus Nord aufgrund der technischen Notwendigkeit von stabilen Fließraten, die Möglichkeit der Deckung der Wärmegrundlast von ca. 2 MW. Um die Deckung des Gesamtwärmebedarfes auf ca. 80% zu erhöhen, wurde im Rahmen von GECKO das Konzept der **Speicherung von geothermischer Überschusswärme** erarbeitet. Hierbei handelt es sich um eine neuartige Hochtemperatur Wärmespeicherung, die der Vorlauftemperatur von 110°C des KIT-Wärmenetzes genügt. Dieses Konzept wird in Kapitel 8 ausführlich erläutert.

7.1.2 Auswahl und Einladung der Teilnehmer*innen des KIT-Workshops

Die Einladungsliste für den KIT-Workshop umfasste alle Institutionen am KIT, die in einem inhaltlichen Zusammenhang mit dem Projekt stehen könnten. Dies umfasste alle Institute am Campus Nord sowie Institute, die durch mögliche Auswirkungen in ihrer Arbeit beeinträchtigt werden könnten. Des Weiteren wurden sonstige übergeordnete Institutionen des KIT, wie zum Beispiel das Facility Management, Vertreter*innen der KIT-Mitarbeitenden, wie der Personalrat, die Klimainitiative, der Konvent und Mitglieder des Senats oder die Gleichstellungsbeauftragten eingeladen. Auch sollten Studierende über die Fachschaften eingebunden werden.

7.1.3 Einladung der Teilnehmer*innen des Kriterien-Workshops für Bürger*innen und Stakeholder

Auf Basis der Stakeholderanalyse (s. Kap. 4.1) wurde eine Liste mit Personen und Gruppierungen mit unterschiedlichen Einflussmöglichkeiten und Interessenlagen erstellt, um ein möglichst vollständiges Abbild der vorhandenen Interessen und Perspektiven gegenüber dem Projekt zu bekommen. Die Einladungsliste für den Kriterien-Workshop umfasste ca. 220 Personen und Gruppierungen, welche per E-Mail und im Nachgang teilweise per Telefon kontaktiert wurden. Ergänzend zu diesen persönlichen Einladungen wurde ein allgemeiner Aufruf in den Amtsblättern der Gemeinden Bruchsal, Dettenheim, Eggenstein-Leopoldshafen, Graben-Neudorf, Karlsruhe, Linkenheim-Hochstetten, Stutensee und Weingarten, sowie in der Tageszeitung „Badische Neueste Nachrichten“ veröffentlicht. Eine weitere Gemeinde stimmte der Veröffentlichung im Amtsblatt nicht zu.

7.1.4 Inhaltliche und technische Vorbereitung und Konzeption der Workshops

Die inhaltliche und technische Ausgestaltung der Workshops wurde jeweils von einem Teil des Projektteams vorbereitet und im gesamten Projektteam iterativ weiterentwickelt. Die Workshop-Teilnehmer*innen sollten jeweils in einem mehrstufigen Verfahren Kriterien entwickeln und gewichten. Die Erkenntnisse aus dem KIT-Workshop zur Umsetzbarkeit der inhaltlichen und technischen Ausgestaltung konnten wichtige Hinweise für die technische Ausgestaltung des Kriterien-Workshops für Bürger*innen/Stakeholder geben und halfen bei der Auswahl der dort eingesetzten digitalen Tools.

7.1.4.1 Ziele und Fragestellungen der Kriterien-Workshops

Ziel des Kriterien-Workshops war es, Kriterien für die Umsetzung und Nutzung der Tiefengeothermie am KIT Campus Nord und in der Region sowie allgemein für die Nutzung von Geothermie in der Wärmewende zu identifizieren und zu sammeln. Sie spiegeln damit die Interessen, Erwartungen, Sorgen und Bedürfnissen der Akteure in der unmittelbaren Umgebung des geplanten Standorts der Anlage sowie gleichermaßen die in den umliegenden Gemeinden lebenden und arbeitenden Akteure wider. Die Sammlung von Kriterien fand in den beiden Workshops anhand der folgenden Fragen statt:

1. Welche Erwartungen haben Sie an das Geothermie-Vorhaben am KIT Campus Nord? (KIT-WS)
2. Welche Anforderungen würden Sie an ein Tiefengeothermie-Vorhaben in der direkten Umgebung stellen, wie beispielsweise die geplante KIT-Anlage? (Kriterien-Workshop für Bürger*innen)
3. Was sind für Sie grundlegende Kriterien, die für die Umsetzung der Wärmewende und der Nutzung von Tiefengeothermie gelten sollten? (Bürger*innen-Workshop)

Der Fokus der Fragestellung des KIT-Workshops lag dabei deutlich spezifischer auf dem Vorhaben am Campus Nord (siehe Frage 1), während die Fragestellungen im Kriterien-Workshop für Bürger*innen/Stakeholder (Frage 2 und 3) bewusst offener formuliert wurden. Das Konzept des Kriterien-Workshops für Bürger*innen/Stakeholder sollte dadurch den Aspekt der Übertragbarkeit auf mögliche weitere Vorhaben im Umfeld mitberücksichtigen.

7.2 Durchführung der Kriterien-Workshops

Der KIT-Online-Workshop fand am 16. Oktober 2020 von 9:00 bis 12:30 Uhr mit 35 projektexternen Mitarbeiter*innen und Studierenden des KIT statt. Der Kriterien-Online-Workshop für Bürger*innen und Stakeholder wurde am 14. November 2020 von 9:00 bis 13:00 Uhr mit 30 Bürger*innen und Stakeholdern aus den umliegenden Gemeinden durchgeführt.

Der Fokus der Workshops lag auf dem Austausch und gemeinsamen Erarbeiten von Kriterien, weshalb zur Einführung in das Thema nur kurze Informationsblöcke zum Forschungskonzept und der geplanten Tiefengeothermie-Anlage eingeplant waren. In den Kleingruppen diskutierten die Teilnehmenden die Erwartungen und Anforderungen an eine Geothermie-Anlage. Anschließend stellten die Moderator*innen die Ergebnisse aus den Kleingruppen im Plenum vor und die Teilnehmenden priorisierten alle Kriterien. In der Abschlussrunde blieb dann noch Zeit, um weitere Fragen zu stellen und einen Ausblick auf das weitere Vorgehen zu geben.

Insgesamt waren mehr als 10 Personen aus den Institutionen des Projektteams für die inhaltliche Moderation, sowie die Protokollierung der Gruppenarbeit und für die technische Umsetzung im Einsatz, um zur erfolgreichen Durchführung der Workshops beizutragen. Die Workshops wurden in Teilen aufgezeichnet.

7.3 Ergebnisse und Dokumentation des KIT-Workshops

Im KIT-Workshop erarbeiteten die Teilnehmer*innen in vier Gruppen Kriterien für die Erschließung und Nutzung der Tiefengeothermie am KIT Campus Nord. In der anschließenden Priorisierung erhielten die Kriterien „Transparenz und Kommunikation“, „Risiken“, „Nutzungskonzept zu Alternativen der Campuserwicklung“ und „Nachhaltigkeit“. Weitere als wichtig eingestufte Kriterien waren „CO₂-Neutralität“, „Vernetzung der Forschung“ und „Technische Kriterien“ die meisten Stimmen.

Im Nachgang des Workshops wurden erstens eine Dokumentation erstellt und zweitens die Aufzeichnungen der Gruppenarbeiten transkribiert und ausgewertet (Krohn und Mbah 2020). Die Dokumentation der Ergebnisse des Workshops wurde nach einer Iterationsschleife durch die Teilnehmenden auf der Homepage veröffentlicht.

Für die Detailanalyse wurden die einzelnen Beiträge der Teilnehmenden zunächst den aus dem Workshop resultierenden Kriterien zugeordnet. Zum Kriterium „Transparenz und Kommunikation“ wurde beispielsweise genannt: „ehrlich sein“ (TN A), „Transparenz heißt, auch Risiken und Probleme zu kommunizieren“ (TN B); zum Kriterium „Integration in die Region und Einbindung von Bürger*innen“ sind beispielhafte Aussagen: „Infozentrum mit allgemeinverständlichen Erklärungen, welche Risiken bei welchen Projektarten auftreten können“ (TN C) und „mit Positivbeispielen oder aus den Erfahrungen lernen“ (TN D).

In einem zweiten Schritt wurde die Zuordnung zu den Kriterien überprüft und teilweise angepasst, wenn sich dies aus dem transkribierten Wortlaut so darstellte. Dies resultierte teilweise in einer Zusammenfassung und/oder Umbenennung der Kriterien¹.

Durch die Zusammenfassung ähnlicher Kriterien durch das Projektteam in der Auswertung veränderte sich die Bepunktung und damit die Rangfolge der Kriterien (Tabelle 1).

Tabelle 1: Priorisierung der Kriterien für die Geothermie-Nutzung NACH der weiteren Bearbeitung durch das Projektteam

| | |
|---|-----------|
| Nachhaltigkeit und Klimaschutz | 33 Punkte |
| Konzeptentwicklung Energiesystem Campus | 27 Punkte |
| Zukunftswirkung | 26 Punkte |
| Transparenz und Kommunikation | 24 Punkte |
| Integration in die Region und Einbindung von Bürger*innen | 21 Punkte |
| Vernetzung der Forschung und Lehre | 20 Punkte |
| Risiken | 18 Punkte |
| Technische Kriterien | 15 Punkte |
| Kriterien ökonomischer Effizienz | 7 Punkte |

7.4 Ergebnisse und Dokumentation des Kriterien-Workshops für Bürger*innen/Stakeholder

Im Nachgang des Workshops fasste das Projektteam die Kriterien in Clustern zusammen. Hierfür wurde zunächst eine Tabelle mit allen genannten Kriterien, die in den Arbeitsgruppen dokumentiert wurden, angelegt und Überbegriffe gesucht, unter welchen jeweils mehrere dieser Kriterien zusammengefasst werden konnten.

Diese Clusterbegriffe wurden jeweils mit ein bis zwei Sätzen definiert, sodass nachvollzogen werden konnte, was darunter verstanden wird und warum welche Kriterien darunter subsummiert werden:

¹ Die Zuordnung der Beiträge der Teilnehmer*innen aus den Gruppenarbeiten zu den einzelnen Kriterien-Clustern sind in der Workshopdokumentation im Detail aufgeführt (<https://gecko-geothermie.de/aktuelles>).

- Unter dem Cluster „Allgemeine Sicherheit“ wurden Diskussionen zusammengefasst, welche sich mit Themen beschäftigten, wie dem Versicherungsschutz bei möglichen Gebäudeschäden durch induzierte Erdbeben, der Schutz vor möglichen Umweltauswirkungen, wie Grundwasserschutz oder Lärmbelästigung und klimaschutzrelevante Anforderungen, wie CO₂-Neutralität. Diese wurden sowohl spezifisch bezüglich der KIT-Anlage, als auch allgemeiner im Kontext der Wärmewende diskutiert. In Bezug auf die Wärmewende wurde zusätzlich noch einmal die Notwendigkeit einer allgemeineren Betrachtung der Geothermie hinsichtlich ihres Potentials, zur Wärmewende beizutragen, hervorgehoben.
- Das Cluster „Alternativenprüfung“ beinhaltet insbesondere die Forderung nach einer gründlichen Prüfung der einsetzbaren Technologien hinsichtlich ihres Beitrags zum Klimaschutz und hinsichtlich der damit verbundenen Risiken sowohl bezogen auf das KIT als auch im Allgemeinen.
- Unter „Anpassung politischer Rahmenbedingungen für die Wärmewende“ sind Diskussionen zum Bürokratieabbau und zu Anreizen für den Umstieg auf Erneuerbare zusammengefasst.
- „Kommunale Zusammenarbeit und Bürgerbeteiligung“ bezieht sich vor allem auf Forderung nach Beteiligungsmöglichkeiten an der Planung für Bürger*innen und Stakeholder sowie auf die Einbindung der Kommunen in die Wärmenutzung. Für die Wärmewende im Allgemeinen wird die Notwendigkeit der Vernetzung der Kommunen und der gemeinsamen Planung hervorgehoben.
- Unter „Transparenz und Kommunikation“ fallen Forderungen nach maximaler Transparenz und der aktiven Bereitstellung umfassender Informationen sowie allgemeiner auch Bildungsangebote zur Tiefengeothermie.
- „Neutrale Bewertung“ bezieht sich auf den Wunsch nach einer Bewertung eines Vorhabens durch unabhängige Dritte, sowohl für die KIT-Anlage, als auch allgemein für die Wärmewende.
- Unter „Sektorkopplung“ sind alle Aussagen gefasst, welche die Möglichkeiten der kombinierten Nutzung der Geothermie zur Strom- und Wärmegewinnung betonen.
- Das Cluster „Technische Umsetzung“ beinhaltet Diskussionen zu technischen Details der Anlage, wie beispielsweise die Notwendigkeit der Erstellung von Notfallplänen und Fragen zum Verteilernetz sowie im Allgemeinen insbesondere die Frage der Anbindung des Gebäudebestands an neue Wärmenetze.
- „Wirtschaftlichkeit“ bezieht sich auf Themen wie die Notwendigkeit einer Nutzen-Risiko-Analyse oder den Wunsch, dass Sicherheit vor wirtschaftlichem Gewinn stehen sollte. Allgemein sollten den Bürger*innen Informationen zur Wirtschaftlichkeit im privaten Kontext zur Verfügung gestellt werden.
- Der „Vorbildcharakter“ der KIT-Anlage sollte beinhalten, dass diese nach höchsten Standards als Vorzeigeprojekt durchgeführt wird.

Die Dokumentation des Workshops wurden den Teilnehmenden für eine Feedbackschleife zugesendet ² und anschließend der Öffentlichkeit auf der Webseite zur Verfügung gestellt wurden. Darüber hinaus wurden die Teilnehmenden im Nachgang gebeten, die vom Projektteam erstellten Cluster über Mentimeter zu priorisieren. In einer ersten Frage konnten die Teilnehmenden die für sie drei wichtigsten Kriterien benennen. Dabei erhielt Klimaschutz

² Die Workshopdokumentation kann unter <https://gecko-geothermie.de/aktuelles> eingesehen werden. Darin enthalten sind auch die ausführlichen Auswertungstabellen.

die meisten Stimmen gefolgt von Umweltsicherheit und Transparenz. In einer zweiten Frage konnten sie alle Kriterien nach ihrer Wichtigkeit einordnen. Die meisten Punkte erreichten dabei die Alternativenprüfung, die neutrale Bewertung, die technische Umsetzung und der Klimaschutz.

Zusätzlich wurde eine Feinanalyse des empirischen Materials in Form einer qualitativen Inhaltsanalyse durchgeführt. Hierfür wurden die transkribierten Audiomitschnitte mit Hilfe der Software MAXQDA den in der Kurzanalyse identifizierten Cluster Aussagen der Workshop-Teilnehmenden zugewiesen. Dadurch wurden zu den einzelnen Cluster Unterkategorien gebildet, die teilweise in eine Zusammenführung bzw. Umbenennung einzelner Cluster führte. In Summe konnten dadurch acht Cluster gebildet werden, die dann der weiteren Bearbeitung (Szenarienentwicklung und Entwicklung von Handlungsempfehlungen) dienten (vgl. Krohn und Mbah (2020)). Die acht Cluster lauten: „Transparenz, Objektivität und Befähigung zur Mitsprache“, „Risikomanagement und Umweltverträglichkeit“, „Wirtschaftlichkeit“, „ganzheitliche Betrachtung der technischen Machbarkeit und Umsetzung“, „ganzheitliche Konzepte für Klimaschutz“, „Bürgerbeteiligung und Kooperation zwischen den Akteuren“, „lokaler Nutzen“ und „politische Rahmenbedingungen“.

8 Numerische Modellierung des Untergrundes des KIT-Campus Nord

8.1 Umsetzung der Bürger*innen Kriterien in technische Aspekte

Die Ergebnisse des Kriterienworkshops wurden auf ihren technischen Inhalt und deren Möglichkeiten zur technischen Umsetzung hin untersucht (Abbildung 4). Dazu wurden die technischen Kriterien anhand ihrer Nennungen quantifiziert

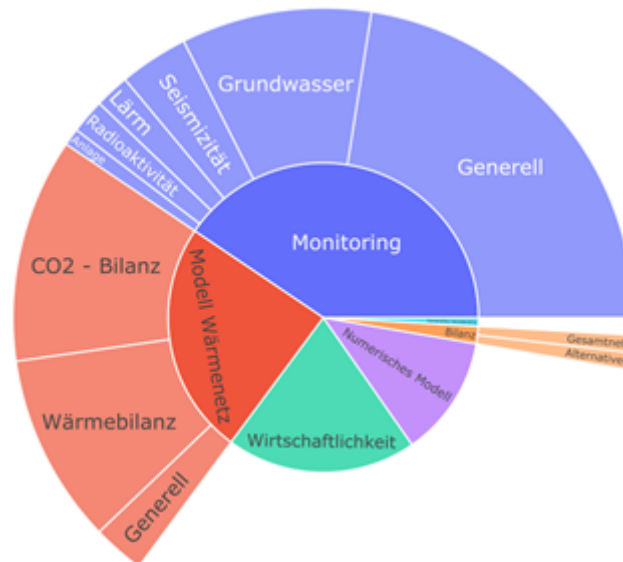


Abbildung 4: Gliederung der technischen Kriterien und relative Anzahl der Nennungen

Es wurden vier übergeordnete technische Kriterienfelder aus den transkribierten Kriterienworkshop Mitschnitten entwickelt, die im Folgenden bezüglich der Kriterien, die Ihnen zugeordnet sind, erläutert werden:

1. Monitoring: Kommentare, die auf die technische Umsetzung zur Bereitstellung von Daten und deren Visualisierung fokussieren und meist mit dem Ziel verbunden sind, die Transparenz zu erhöhen.
2. Analyse des Wärmenetzes: Kommentare, die Produzenten und Abnehmern, sowie die Auswirkungen auf das Einsparpotential von CO₂ fokussieren.
3. Wirtschaftlichkeit: Kommentare, die Kosten für Installation und Betrieb der Anlage adressieren.
4. Numerische Modellierung: Kriterien, die die Prognose von Prozessen im Untergrund betreffen.

Das Vorgehen als auch die Ergebnisse sind Gegenstand einer in Bearbeitung befindlichen Publikation, welche die Auswertungen detailliert beschreibt.

Der Großteil der Nennungen bezieht sich auf den Zugang zu Daten und einer Überwachung möglicher negativer Auswirkungen. Dabei haben wir zwischen einem generellen Bedürfnis nach Transparenz der Daten und thematisch spezifischen Kriterien unterschieden. Der Schutz des Grundwassers wurde unter den der Überwachung zugeordneten spezifischen Kriterien mit Abstand am häufigsten genannt, vor induzierter Seismizität, Lärm, Radioaktivität und Störungen im Anlagenbetrieb.

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Adressierung der Kriterien in den vier Feldern entwickelt. Das Monitoring ist Bestandteil der regulären Betriebszulassung und muss über die

gesamte Laufzeit der Anlage erfolgen. Um die technische Umsetzung des Monitorings für die Szenarien zu integrieren, wurden über die Vorgaben hinaus Monitoringkonzepte mit zunehmender Interaktivität eingeführt. Dem Bedürfnis direkten Zugriff auf die Daten zu haben kann mit einer Möglichkeit der Echtzeitvisualisierung der Messwerte entgegengekommen werden. Eine noch stärkere Einbeziehung bietet „Citizen Science“, bei dem Bürger*innen mit zur Verfügung gestellten Messgeräten eigenständig Daten erheben und so die Überwachungsichte erhöhen. Insbesondere die Parameter Erschütterung und Radioaktivität können durch zusätzliche Geräte die Qualität des Monitorings erhöhen.

Nennungen, die direkt die numerische Modellierung betreffen, adressieren Prozesse, die im Untergrund ablaufen können. Dazu zählt auch die induzierte Seismizität. Diese soll verhindert werden bzw. soll eine Abschätzung des Risikos erfolgen. In den numerischen Modellen liegt daher die maximale Förderrate nicht über 25 L/s, welches ein Erfahrungswert aus benachbarten Anlagen darstellt, bei denen durch den Betrieb keine messbare Seismizität ausgelöst wurde. Zudem wurden die Modellrechnungen so konzipiert, dass auf den gespannten Störungen keine Drücke oberhalb 2 MPa auftreten. Dies wiederum ist ein Erfahrungswert aus der Geothermie-Anlage in Soultz (Schill et al. 2017).

Die meist genannten Kriterien betreffen das Feld der Wärmenetzmodellierung. Daher wurde im Verlauf des Projektes der Schwerpunkt von Modellierungen zur induzierten Seismizität auf die Kriterien CO₂- und Wärmebilanz verschoben. Dies hat ebenfalls Auswirkungen auf die Parameter, die im Labor erhoben wurden. Die Frage nach den Vorteilen einer Umstellung der Wärmeversorgung geht in Kriterien meist einher mit der Frage nach der Wärmebilanz und der Verteilung verschiedener Energieträger. Durch diese Umverteilung der Energieträger lässt sich bei Substitution fossiler Energieträger die CO₂ Einsparung ermitteln und damit der Beitrag für die Wärmewende. Die Bilanzierung ist von der produzierten Wärmemenge sowie deren saisonalen Verteilung abhängig. Damit stellt sie einen wesentlichen Anspruch an die numerische Modellierung. Die Wärmeproduktion ist vorwiegend das Resultat des Temperaturfeldes im Untergrund, der Wasserwegsamkeiten und der möglichen Entnahmemenge. Im Zuge der Berechnungen wurden, wie in Kapitel 7.1.1 eingeführt, **Hochtemperatur Wärmespeicher hinzugefügt, um die Wärmemengen besser dem Jahresgang des Wärmebedarfes anzupassen**. Trotz maximaler Umverteilung vom Sommer in den Winter verbleibt ein Überschuss an Wärme. Unter dem Hintergrund der Teilhabe angrenzender Gemeinden kann die Überschussmenge auf Kosten der Bedarfsabdeckung des KIT-Campus Nord erhöht werden. Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Tiefengeothermie Anlage ist ebenfalls teilweise an die Bewirtschaftungsszenarien geknüpft. Diese wurde überschlagsweise bilanziert und in der finalen Betrachtung der Szenarien eingebracht.

8.2 Anpassung der Modelle für die Szenarientwicklung und -analyse

Die in Kapitel 7 entwickelten Kriterien wurden, sofern dieses möglich war, mittels numerischer Modellierung in technische Szenarien überführt. Durch die Dominanz der Nennungen zu den Themen Klimabilanz und Wärmebilanz wurde der Fokus dementsprechend auf die Modellierung der Strömung und des Wärmehaushaltes im Untergrund fokussiert. Der Schwerpunkt lag dabei auf einer optimierten Nutzungsentwicklung mit nachfolgender Bewertung der Klimabilanz. Die Modellierung diente im Wesentlichen der Quantifizierung der möglichen Substitution des Erdgases zur Wärmeherzeugung, wie sie zum jetzigen Zeitpunkt am KIT-Campus Nord betrieben wird. Es wurde zusätzlich eine Kopplung des Untergrundmodelles mit einem Wärmenetzmodell durchgeführt, da auch dieser Punkt Gegenstand der Diskussionen im Kriterien- als auch Szenarienworkshop war.

Nach Auswertung der Kriterien wurden zwei unterschiedliche Modelle erstellt. Das eine liefert die Druck- und Temperaturbedingungen bei der Wärmeproduktion durch Tiefengeothermie in den mesozoischen Reservoirgesteinen etwa 3000-4000 m unter Gelände. Ein weiteres Modell wurde für die Simulation der Speicher erstellt und beschränkt sich auf eine Tiefe bis 2000 m mit Fokus auf die „Meletta“-Sandsteine. Es wurde verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Förderraten gerechnet, deren Ergebnisse hinsichtlich der zu erwartenden Temperaturen und Drücke ausgewertet und bewertet wurden.

8.3 Wärmebedarfsanalyse

Der Wärmebedarf des KIT-Campus Nord zeigt eine Verteilung des Wärmebedarfes mit starken saisonalen Schwankungen. Sie liegen zwischen etwa 25 MW im Winter und etwa 2 MW im Sommer. Das Fernwärmesystem des KIT-Campus Nord versorgt über 300 Gebäude mit 70 bis 80 GWh Wärme pro Jahr, von denen die KIT-Einrichtungen etwa die Hälfte nutzen, während der Rest von anderen Einrichtungen auf dem Gelände verbraucht wird. Es besteht aus einem Netz von Rohren mit einer einfachen Länge von 17 km und einem zentralen Punkt, an dem das heiße Wasser in die drei Hauptversorgungsleitungen "Nord", "Ost" und "Süd" eingespeist wird.

Die Wärme für das Fernwärmesystem wird derzeit von den folgenden Systemen geliefert:

- Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einem Gasmotor, der die Grundlast von etwa 2 MW liefert,
- das Gasmotorenprüflabor (GEL), eine Versuchsanlage mit zwei Gasmotoren, die zu Versuchszwecken eingesetzt werden und daher nicht steuerbar sind, und
- ein Heizwerk mit drei Heizkesseln mit einer Gesamtheizleistung von 49 MW, die mit Erdgas betrieben werden, aber auch Heizöl als Brennstoff verwenden können.

Da die Wärmeerzeugung vollständig auf der Verbrennung von fossilen Brennstoffen beruht, hat sie einen großen Einfluss auf die CO₂-Emissionen des KIT.

Die Grundlast der Wärmeversorgung wird über das Blockheizkraftwerk geliefert, das ganzjährig eine Leistung von etwa 2 MW liefert (Abbildung 5).

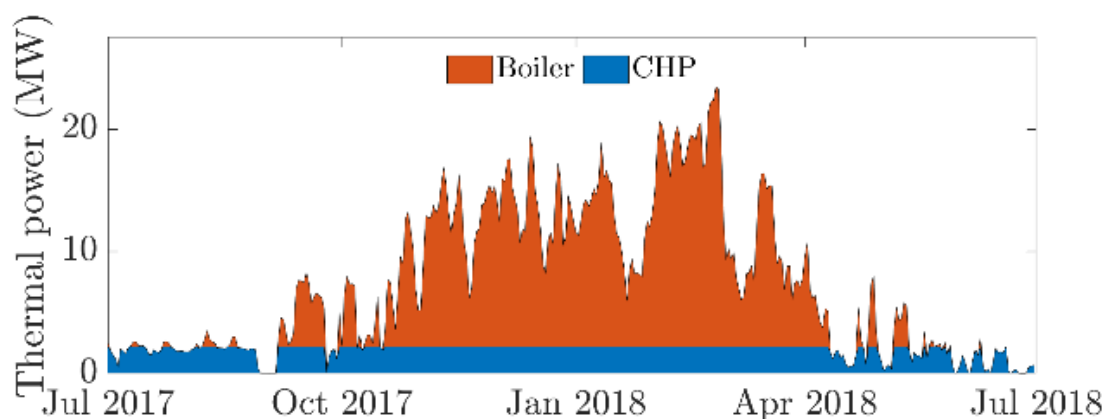


Abbildung 5: Simulation der Lastverteilung der Wärmeversorgung am KIT-Campus Nord mit den bestehenden Wärmeproduzenten Kessel (Boiler) und Blockheizkraftwerk (CHP).

Die Spitzenlasten werden ausschließlich über die Heizkessel gedeckt, die Gasmotoren (GEL) werden hier nicht berücksichtigt, da sie sehr unregelmäßig Wärme liefern und zum Gesamtbedarf nur einen kleinen Beitrag leisten.

Unabhängig von den Wärmelieferanten werden für die Modellbetrachtungen über die Glättung der Bedarfskurve Energieeffizienzmaßnahmen eingeführt.

8.4 3-D geologisches Strukturmodell

8.4.1 Einleitung

Grundlage aller Modellierungen von Prozessen im Untergrund ist das 3-D geologische Strukturmodell. Es liefert sowohl die Geometrien für die Wasserwegsamkeiten als auch die Lage der Störungen, die für die Betrachtung des Wärmetransportes und induzierter Seismizität wichtig sind. Daher wurde große Sorgfalt auf seine Erstellung gelegt, da insbesondere der Störungsverlauf sehr belastbar sein muss. Der hohe Detailgrad des Modells wurde weiterhin genutzt, um die Zerrüttungszone der Störungen empirisch zu berechnen, die ebenfalls maßgeblich für das Strömungs- und Wärmetransportgeschehens entlang der Störungen verantwortlich ist. Eine Fault Seal Analyse hatte zum Ziel, die Durchlässigkeit einzelner Strukturen bewerten zu können. Wegen der Geheimhaltungspflicht für bestimmte geophysikalische Datensätze aus dem Untersuchungsgebiet ist insbesondere die bildliche Darstellung der Ergebnisse eingeschränkt.

8.4.2 Modellerstellung

Grundlage sämtlicher Simulationen sollte das 2019 erstellte geologische 3D Strukturmodell aus dem Verbundprojekt TG Charming sein, welches am Institut für Angewandte Geowissenschaften am KIT erstellt wurde. Dieses musste aufgrund neuer Erkenntnisse und weiterer neu zur Verfügung stehender Daten in der Projektlaufzeit grundlegend überarbeitet werden und insbesondere bezüglich der Strukturgeologie neu interpretiert werden.

In beiden Kriterien-Workshops wurde von Teilnehmenden die Wichtigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung des Wärmedargebotes in dessen Anbindung an Fernwärmenetze thematisiert. Eine ganzjährige Deckung des Wärmebedarfs am Campus Nord wird durch einen HT-ATES ermöglicht, da der erhöhte Bedarf in den Wintermonaten durch das in den warmen Sommermonaten in einen Tiefenspeicher eingespeiste Thermalwasser ausgeglichen werden kann. Es wurde daher entschieden, schon in der Modellaufbauphase verstärktes Augenmerk auf die Modellierung des tertiären Tiefenspeichers zu legen und bohrlochphysikalische Auswertungen in das Strukturmodell einzubinden, um die geringmächtigen Speicherformationen im 3D Modell abbilden zu können. Es wurden sowohl die Sandsteine der Melettaschichten aus der Froidefontaine Formation als auch die Sandsteine der Bunten Niederrödern Schichten in das Modell aufgenommen, beides mögliche Zielhorizonte eines Hochtemperaturspeichers.

Datengrundlage des 3-D geologischen Strukturmodells sind die geophysikalischen Daten innerhalb des Gebietes der Aufsuchungserlaubnis KIT-Campus Nord, deren Datensatz Ende 2020 für die Interpretation zur Verfügung stand. Er umfasst ein Gebiet von etwa 40 km² bis in eine Tiefe von etwa 5 km und reicht damit bis in das kristalline Grundgebirge. Die für die Interpretation der Seismik wichtigen Bohrungsdaten wurden für das Feld Leopoldshafen interpretiert und die Schichtoberkanten in das Modell übertragen. Im Laufe der Projektlaufzeit bis Anfang 2022 kamen noch Daten weiterer Bohrungen hinzu, da das neue Geologiedatengesetz den freien Zugang zu den sonst unter Verschluss geführten Daten ermöglichte. Diese wurden ebenfalls in das 3-D Modell integriert.

8.4.3 Stratigraphische Einheiten und Lithostratigraphie

Der generelle Umfang im Untersuchungsgebiet vorkommender Stratigraphie und deren lithologische Ausbildung wurden aus der Literatur zum Oberrheingraben entnommen und mittels der vorhandenen Bohrungsdaten korreliert. Das verwendete Standardprofil setzt jetzt aus Informationen von Tiefbohrungen zusammen sowie Mächtigkeiten aus den geophysikalischen Daten. Damit wird der Bereich der Grabenscholle nahe dem Campus Nord bis in das kristalline Grundgebirge erfasst. Generell fallen einzelnen Stratigraphien schwach in Richtung Südost (Mesozoikum) bzw. Nordost (Tertiär) ein. Ihre Tiefenlage ist durch die hohen Versatzbeträge der zwei großen Abschiebungen Leopoldshafen-Störung und Stutensee-Störung segmentiert und sinkt von Ost nach West.

Die Mächtigkeit des Grundgebirges ist nicht ermittelt, wird aber mit > 5 km angenommen. Innerhalb der Grabenscholle liegt es bei maximal 3800 m unter GOK, fällt jedoch in Richtung Grabenrand ein bis auf unter 5 km Tiefe ein.

Bislang wurde das Grundgebirge im Bereich des Untersuchungsgebiets nicht erbohrt. Über die lithologische Ausprägung kann daher nicht mit Sicherheit Auskunft gegeben werden. Mögliche Gesteine können Granite oder metamorphe Gesteinseinheiten, Phyllite oder Pelite sein.

Das Grundgebirge wird von Tonsteinen/Schluffsteinen und Sandsteinen des Rotliegend überlagert, die zusammen mit der Zechsteindolomit-Fm. und den darüber liegenden Sandsteinen (Tigersandstein-Fm.) das Perm bilden. Die Mächtigkeit liegt etwas über 500 m.

Die triassischen Sedimentgesteine werden durch eine Bohrung im Untersuchungsgebiet aufgeschlossen, der Buntsandstein tritt im unteren und mittleren Buntsandstein einheitlich als Fein- und Grobsandstein auf, der obere Buntsandstein hat einen höheren Tongehalt. Der Muschelkalk ist eine Wechselfolge von Kalksteinen und Dolomiten, im mittleren Muschelkalk treten Kalkmergelsteine und Anhydrit auf, im oberen Muschelkalk Tonsteine.

Der Keuper besteht hauptsächlich aus Tonstein und Tonmergelstein, Dolomit sowie Kalksteine kommen untergeordnet vor, vereinzelt auch Anhydrit. Er unterscheidet sich lithologisch wenig von den jurassischen Tonsteinen und Tonmergelsteinen (Dogger und Lias).

Der Jura ist im Untersuchungsgebiet nicht vollständig vertreten, der Dogger wird durch die Diskordanz der Tertiärbasis abgeschnitten, der Obere Jura fehlt.

Die Tertiärbasis kann über das gesamte Modellgebiet nachvollzogen und kartiert werden. Sie ist in zwei Bohrungen erbohrt worden, deren stratigraphische Marker die Tiefenlage verifizieren.

Über den mesozoischen Schichten (Dogger) liegen die klastischen Feinsedimente der Hagenau-Fm. Vertreter sind die brackisch abgelagerten Lymnämmergel, die mit dünnschichtigen Kalksteinen sowie Einschaltungen von Steinsalzlagen durchsetzt sein können. Westlich der Leopoldshafen-Störung sind die Mächtigkeiten etwa 150-200 m größer als östlich der Abschiebung, was auf eine Verwerfungsaktivität zu dieser Zeit und auf die im Mesozoikum gebildete Verwerfungsmulde hindeutet. Die Ablagerungen der Pechelbronn-Fm. weist eine ähnliche lithologische Ausprägung auf.

Die Pechelbronn-Fm. endet im Hangenden mit dem Auftreten der Foraminiferenmergel und des Fischeschiefers, die mit der Froidefontaine-Fm. assoziiert sind. Die bituminösen Mergel und Tonsteine repräsentieren die tieferen marinen Ablagerungsbedingungen während der Rupel-Transgression. Die darüber liegenden Subformationen der Froidefontaine-Fm. sind durch Abfolgen von grauem Mergel definiert, was der Formation auch den Beinamen Graue-Mergel-

Formation eingebracht hat. Darüber hinaus sind sie durch Einschaltungen von Feinsandsteinen gekennzeichnet, die in unterschiedlichen Tiefen und Mächtigkeiten zusammenhängend auftreten und Erdöllagerstätten bilden. Besonders erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang die "Meletta"-Sandsteine und die im obersten Teil der Formation vorkommenden Sandsteine der Cyrenenmergel. Bereiche mit höherem Sandgehalt bis hin zu homogenen Mergeln lassen sich in den Widerstandsmessungen der Tiefbohrungen sehr gut abgrenzen.

Mit der Niederröden-Fm. setzen flachmarine bis terrestrische Ablagerungsbedingungen ein, deren Produkt bunte Mergel mit zwischengelagerten Sandsteinlagen sind. Diese wechselnde Ablagerung spiegelt sich in den Widerstands-Logs durch hohe Amplituden wider.

Mit dem Auftreten der Bruchsal-Fm. (bis mittlere Ceritienschichten) ändert sich die Richtung der abnehmenden Mächtigkeit. Die Mächtigkeiten nehmen von 250 m auf unter 150 m östlich der Leopoldshafen-Störung ab.

Die Mergel der Landau-Fm. (Obere Corbicula und Hydrobienschichten) variieren in ihrer Mächtigkeit je nach Bereich der Scholle stark, da sie durch die pliozänen feinkörnigen Klastika diskordant überlagert werden. Sie sind im Resistivity-Log gut durch eine zunehmende Amplitude zum Hangenden hin identifizierbar.

8.4.4 Störungsanalyse

Das Hauptstrukturmerkmal des Randbereiches des Oberrheingrabens ist die Grabenrandverwerfung, die weiter östlich nahe der Ortschaft Bruchsal verläuft und nicht Teil des Untersuchungsgebietes ist. Dabei handelt es sich um großräumige Abschiebungen mit Versätzen von mehreren hundert Metern. Zum Grabeninnern verzweigt sich die Grabenrandstörung und bildet assoziierte Zweigstörungen, die parallel oder spitzwinklig auf den Hauptverwerfungen stehen, im Wesentlichen eine ähnliche Versatzrichtung haben und ebenfalls große Versatzbeträge aufweisen. Diese großräumigen Strukturen reichen bis in das Grundgebirge und spielen für die Nutzung der Tiefengeothermie eine große Rolle, da sie zum einen den Wärmetransport tieferer Schichten über Tiefenwässer gewährleisten, zum anderen aber auch in Zusammenhang mit induzierter Seismizität relevant sind, da diese in besonderem Maße im kristallinen Grundgebirge auftreten kann.

Das Modellgebiet umfasst drei Hauptstörungszonen, die Stutensee-Störung im Osten, die Leopoldshafen-Störung sowie die Störung bei Linkenheim (hier Linkenheim-Störung genannt) im Westen, die jedoch nur im oberen Teil bis zu der Froidefontaine-Fm innerhalb des Modellgebietes liegt. Das Störungssystem ist vertikal in zwei Abschnitte geteilt.

Die Strukturen im Mesozoikum unterscheiden sich in ihrer Ausprägung von denen im Tertiär. Die Hauptabschiebungen steilen ab dem unteren Tertiär zum Mesozoikum auf und fallen steiler ein. Im Mesozoikum bestimmen die Hauptabschiebungen und assoziierte antithetische Zweigstörungen mit gleichem Streichen das strukturelle Bild.

Alle Störungen im Mesozoikum streichen etwa NE-SW, wobei die Hauptabschiebungen in Richtung NW einfallen, die Zweigstörungen SE. Wichtig für den Wärmetransport sind sowohl die Hauptabschiebungen als auch die Zweigstörungen, die alle bis in das kristalline Grundgebirge reichen und hochtemperierte Fluide transportieren können.

In den tertiären Schichten nimmt die Vielfalt an Strukturen zu, sowohl in Quantität als auch Diversität. Die Hauptabschiebungen flachen ab, die antithetischen Zweigstörungen mit gleichem Streichen, die im Mesozoikum präsent sind, setzen sich oberhalb des Eozäns nicht fort. In ihrer Stelle treten mit dem Beginn des Tertiärs antithetische Zweigstörungen mit

abweichender Richtung in Erscheinung, die gestaffelt (en-echelon) auftreten und insbesondere auf der Scholle zwischen Stutensee-Störung und Leopoldshafen-Störung ausgeprägt sind. Die antithetischen Zweigstörungen sind für die Modellierung des Speichers von Bedeutung, da durch eine Fault-Seal Analyse ermittelt wurde, dass diese Störungen voraussichtlich undurchlässig sind und damit das Reservoir nach Osten hin begrenzen.

8.4.4.1 Einschätzung der Breite der Zerrüttungszone im Bereich der mesozoischen Störungen

Die hydraulischen Eigenschaften der Störungen im Untersuchungsgebiet sind von der Ausprägung der Zerrüttungszone um die jeweilige Störung herum beeinflusst. Die Störungsgeometrie gliedert sich in die eigentliche diskrete Störungsfläche (principle slip-surface), einen Störungskern (fault core), der Zerrüttungszone (damage zone) sowie den umgebenden, von der Störung unbeeinflussten Trennflächensystem (background fractures).

Für die Bewertung der Permeabilität der Störungen ist insbesondere die Zerrüttungszone von großer Bedeutung, da sie durch die Häufung von Trennflächen diese wesentlich erhöhen kann und die notwendigen Wasserwegsamkeiten für eine Entnahme von Thermalwasser liefert. Der Störungskern hingegen wird in der Literatur häufig als wasserundurchlässig beschrieben. Eine mögliche abdichtende Funktion der Störungen im Tertiär wird im Kapitel Fault-Seal-Analysis näher untersucht.

Die Mächtigkeit der Zerrüttungszone ist von mehreren Faktoren anhängig und ist daher schwer zu generalisieren. Faktoren wie Lithologie, Diagenese, Tiefe der Störung, tektonische Rahmenbedingungen etc. und der Versatz entlang der Störung beeinflussen deren Breite. Für die folgenden Überlegungen wurde sich auf den größten Einflussfaktor konzentriert, der Versatz. Es besteht ein Zusammenhang zwischen maximalem Versatz, die die Störung erzeugt und der Breite der Zerrüttungszone. In mehreren Arbeiten wurde empirisch durch das Zusammentragen von Fallbeispielen versucht, diesen Zusammenhang durch Kurvenanpassung zu quantifizieren und zu generalisieren.

Die Ausbildung der Zerrüttungszone um ist meist nicht symmetrisch. Im Falle der hier vorliegenden Extensionstektonik mit weitreichenden Abschiebungen übertrifft die Breite der Zone auf der Hangendseite (hanging-wall) die auf der Liegendseite (footwall) um ein Vielfaches.

Nach Choi et al. (2016) wurden die Störungsbreite ermittelt.

Wegen ihrer Bedeutung für die Tiefengeothermie wurden sämtliche Störungen, die im Mesozoikum auftreten, untersucht. Da die Versätze mit abnehmendem stratigraphischem Alter geringer werden, wurden die maximalen Versätze an der Oberkante des oberen Buntsandsteins gewählt, da diese in etwa den mittleren Tiefenbereich des angestrebten Reservoirs wiedergeben.

Für die Hauptabschiebungen beträgt die Gesamtbreite der Zerrüttungszone durch die mehrere hundert Meter Versatz über 200 m. Die Hangendseite ist dabei über viermal mächtiger als die Liegendseite. Die exponentielle Regressionsfunktion bewirkt, dass bei geringeren Versätzen der Unterschied zwischen Hangend- und Liegendseite nicht so stark ausgeprägt ist. Bei den drei antithetischen Zweigstörungen im Mesozoikum beträgt die Zerrüttungszone weniger als 100 m. Das Verhältnis beider Seiten liegt bei 1:2 oder darunter.

Die Berechnungen der Breite der Zerrüttungszone mit dem Bezug zu einer Zone erhöhter Permeabilität kann in die Modellgeometrie des numerischen TH Modells aufgenommen werden, sie bietet jedoch nur eine grobe Abschätzung und lässt großen Spielraum. Die mathematische Herleitung mittels Regression zeigt durch die große Streuung der

Referenzwerte Unsicherheiten bezüglich der Ausprägung dieser Zone. Die Berücksichtigung der Lithologie ist nur bedingt möglich, andere Einflussfaktoren können nicht in die Betrachtungen einbezogen werden. Das Vorgehen bietet dennoch eine bessere Realitätsnähe als die Abstraktion der Störungszone auf eine einzelne diskrete Fläche. Auch unterstützt die Berechnung der asymmetrischen Zonenbreite die Entscheidung für einen potentiellen Reservoirbereich.

8.4.4.2 Störungsversiegelungsanalyse

Für die Produktivität des Wärmespeichers als auch für die Einschätzung einer möglichen induzierten Seismizität durch Einpressen des Thermalwassers ist die Kenntnis der Durchlässigkeit der relevanten Störungen um Umfeld der Bohrungen. Entlang undurchlässiger Störungen wird das Reservoir räumlich begrenzt, eine Druckerhöhung durch die Injektion kann sich auf der Störungsfläche aufbauen. Um die hydraulischen Eigenschaften entlang der Störungsflächen abzuschätzen, wurde eine Störungsversiegelungsanalyse (fault-seal analysis) durchgeführt.

Für die Analyse wurden die vier dem Bohrungsziel nächstgelegenen Störungen gewählt. Im Westen liegt die Hauptabschiebung der Leopoldshafen Störung mit ihren großen Versätzen von fast 1 km. Aufgrund der großen Bewegungen entlang dieser Störung in der Vergangenheit und der Nähe zum Erschließungsziel (> 500 m) ist diese Struktur besonders wichtig zu untersuchen. Wenn auch in deutlich größerer Entfernung gilt das auch für die Stutensee-Störung, der zweiten großen Abschiebung im Untersuchungsgebiet, auch wenn der Versatzbetrag mit maximal 700 m kleiner ist. Die beiden antithetischen Staffelbrüche liegen östlich des geplanten Speichers und haben Versätze deutlich kleiner als 100 m. Die hydraulischen Eigenschaften spielen bei den beiden Strukturen für die Eingrenzung des Speicherhorizontes in Richtung Osten eine Rolle.

Die Störungsversiegelungsanalyse betrachtet zum einen den Versatz durchlässigen Schichten entlang der Störung (Juxtaposition) und ermittelt damit die Kontaktflächen zwischen durchlässigen Bereichen, zum anderen wird der Tongehalt auf der Störungsfläche durch Analyse von Gamma-Ray-Logs prognostiziert um damit ein Verschmieren bindigen Material auf der Störungsfläche durch die Bewegung (in diesem Fall Abschiebung) betrachtet.

Die Daten des Gamma-Ray-Logs aus der Bohrung LH-1a nahe der Leopoldshafen-Störung lassen zwei Interpretationsmöglichkeiten bezüglich der Größe der Messwerte zu.

Die Juxtaposition Analyse ergibt nach Szenario 1 für beide betrachteten Störungen Leopoldshafen und W2 eine größtenteils dichte Störung unter hydrostatischen Bedingungen. Nur kleine Bereiche zeigen eine Sandstein-Sandstein Verbindung im Zielbereich. Nach Szenario 2 sind beide Störungen als durchlässig einzustufen.

Die Fault Rock Seal Analyse ergibt nach Szenario 1 flächendeckend einen Tongehalt von etwa 70% und ist danach als abdichtend einzustufen. Nach Szenario 2 ist der Tongehalt auf den beiden betrachteten Störungen 0%, womit diese als undicht einzuordnen sind.

Das Szenario 1 ist wegen der Werteanalogie der Gamma-Ray-Logs zu anderen Bohrungen als das wahrscheinlichere Szenario einzustufen. Damit wären alle betrachteten Störungen als dicht einzustufen. Das deckt sich mit dem Umstand, dass die Leopoldshafen-Störung eine Erdölfalle für das ehemalige Erdölfeld Leopoldshafen bildet und die Erdölproduktion an diesem Ort erst ermöglicht hat.

8.5 Abschätzung des Spannungssystems und der Bruchkriterien

Die Spannungsanalyse wurde aus nahegelegenen Tiefbohrungen ermittelt. Hauptspannungsrichtung für das Mesozoikum liegt zwischen etwa 140° und etwa 180° (N-S). Für das Tertiär liegen keine Werte vor, wichtig für die Betrachtung der induzierten Seismizität ist für die Tiefengeothermie (Wärmeproduktion) das Mesozoikum. Der Speicher in den tertiären Sandsteinlagen wird gesondert betrachtet. Für die numerischen Modellrechnungen wurden im Labor und aus Literatur die notwendigen Modellparameter ermittelt.

Die für die Kalibrierung der Modelle benötigten Temperaturdaten aus dem Untergrund wurden aus Tiefbohrungen herangezogen. Für das Reservoir der ergaben sich Temperaturen von mindestens 170°C, je nach Tiefenlage der Muschelkalk, Buntsandstein und Perm-Sedimente. Diese Temperaturen sind für die Tiefen von etwa 3300 m mit die höchsten im Oberrheingraben. Die Temperaturen in der Tiefe der tertiären Sandsteinlagen, die als Speicher genutzt werden sollen, zeigen eine Bandbreite von 70-90°C.

Insbesondere im kristallinen Grundgebirge spielt die Wärmeproduktion durch radioaktiven Zerfall eine wesentliche Rolle für das Temperaturfeld und damit für die Modellrechnungen. Um die Wärmeproduktionsraten der einzelnen Formationen zu bestimmen, wurden Analoggesteine im weiteren Umfeld des Campus Nord gesammelt, präpariert und mittels Gammaskopie auf Uran-238, Thorium-232 und Kalium-40 untersucht, aus deren Konzentrationen empirisch die volumetrischen Wärmeproduktionsraten abgeschätzt werden können. Da die Gesteine des kristallinen Grundgebirges unterhalb des KIT-Campus Nord nicht erbohrt sind, wurden mehrere kristalline und metamorphe Gesteine, die den tiefen Untergrund bilden können, untersucht. Die Wärmeproduktionsraten variieren von 2,13 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ für Granit bis 0,3 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ für Phyllit. Die mesozoischen Sedimente haben eine geringere Wärmeproduktion von 0,9 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ für die permischen Konglomerate bis Werte unterhalb der Nachweisgrenze für die Kalke des Muschelkalkes.

Der für den konduktiven Wärmetransport wichtige Parameter der spezifischen Wärmeleitfähigkeit wurde anhand der gesammelten Gesteinsproben experimentell mittels optischem Wärmeleitfähigkeitsmessinstrument ermittelt und durch Literaturwerte ergänzt. Die Werte wurden zur Kalibrierung des Modells in einem weiteren Schritt leicht verändert, für die tertiären Speicherhorizonte wurden die Ausgangswerte beibehalten.

Die hydraulischen Parameter wurden aus der Literatur entnommen. Die kritischen Parameter Porosität und Permeabilität für den Speicherhorizont, die maßgeblich die Nutzungsmöglichkeiten bestimmen, wurden im Zuge der Modellrechnungen variiert um eine Bandbreite an möglicher Effektivität der Speicherung zu gewinnen. Die in Stricker et al. (2020) angenommene Permeabilität von etwa 70 mD wurde als Maximum, also „best case“ Szenario angenommen, eine mittlere Permeabilität aus der benachbarten Tiefbohrung (25 mD) als minimaler Wert.

8.6 Bewirtschaftungsszenarien unter Berücksichtigung des Bedarfs

Nach der Auswertung des Kriterienworkshops und die sich daraus ergebene Einbeziehung eines Speichers wurden entschieden, zwei numerische Modelle zu erstellen, ein Modell zur Simulation der Wärmeproduktion aus Tiefengeothermie, welches sich auf die mesozoischen Reservoir konzentriert und ein Detailmodell der tertiären Speicherhorizonte mit Nutzung der Überschusswärme im Winter.

8.6.1 Tiefengeothermische Wärmeproduktion

Grundlage der Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der regionalen Wärmeproduktion aus Tiefengeothermie ist das Vorhandensein einer ausreichend hohen Temperatur im Untergrund in nicht zu großer Tiefe sowie eine geeignete Wasserwegsamkeit im Zielreservoir. Ein geeignetes Temperaturfeld ist durch mehrere Arbeiten nachgewiesen worden und konnte auch anhand einer nahegelegenen Tiefbohrung, in der 170°C heißes Wasser in etwas über 3000 m Tiefe nachgewiesen wurde, belegt werden. Die Wasserwegsamkeiten sind schwieriger zu ermitteln und hängen vom Vorhandensein geöffneter Trennflächen ab. Die Lokation dieser Flächen erfolgte anhand des 3-D geologischen Strukturmodells, zur Abschätzung der Tendenz, ob die Flächen eher geschlossen oder offen sind, wurde eine Dilation Tendency Analyse durchgeführt. Diese zeigte für die meisten Strukturen im tiefen Untergrund eine Öffnungstendenz. Bohrziel sind die mesozoischen Zweigstörungen, die bis zur Tertiärbasis reichen und deutlich geringere Versätze zeigen. Es wird dennoch davon ausgegangen, dass auf der Hangendseite der Hauptstörungen durch die hier vorhandene Zerrüttungszone von bis zu 200 m die Durchlässigkeiten erhöht.

Für die Entwicklung möglicher Bohrungspfade wurde daher der Bereich dieser Strukturen gelegt mit einer über mehrere hundert Meter langen horizontalen Förderstrecke in Muschelkalk, Buntsandstein und die oberen Bereiche der permischen Klastika. Zudem deuten die geophysikalischen Daten an, dass im Zielbereich mehrere kleinere Zweigstörungen parallel zu den großen Zweigstörungen vorhanden sein können, was die Durchlässigkeit und damit Produktivität des Reservoirs erhöht.

Die Ausdehnung des bestehenden 3-D geologischen Strukturmodells ist im Süden und Norden des Modells nicht ausreichend für die Simulation des Förderbetriebes. Es wurde mittels des öffentlich verfügbaren geologischen Kartenmaterials zur Tiefenlage der mesozoischen Horizonte im Oberrheingraben (Sokol et al. 2013) erweitert. Dafür wurden die Isobathenkarten der Oberkante des kristallinen Grundgebirges, des Perms, des Buntsandsteins, des Muschelkalkes sowie der Tertiärbasis digitalisiert und die Interpolation der Schichtflächen dahingehend erweitert. Das so erzeugte Modell hat einen hohen Detailgrad im Zentrum, wo die geophysikalischen Daten vorliegen, und einen geringen in den Randgebieten. Die Modellausdehnung (Abbildung 6) umfasst eine Fläche von etwa 240 km².

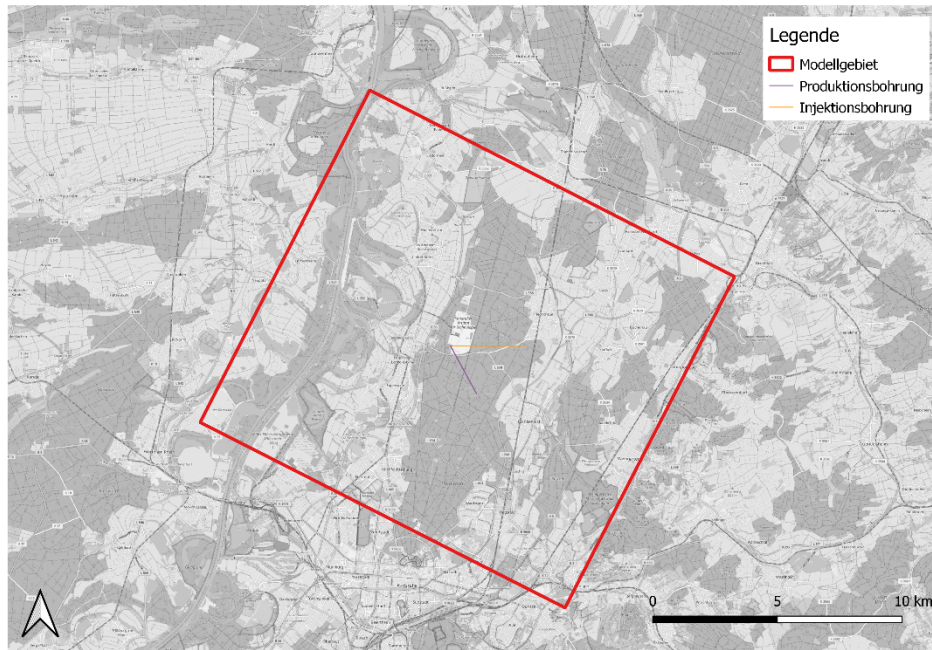


Abbildung 6: Ausdehnung des Modellgebietes der Tiefen Geothermie

In den Modellrechnungen wurden moderate Förderraten (25 L/s) nicht überschritten. Durch die hohen Temperaturen des Fluides können jedoch auch mit geringen Förderraten eine relativ hohe Wärmebereitstellung erfolgen.

Für die hydraulischen Randbedingungen wurden an der Ober- und Unterkante hydrostatische Drücke angenommen. Die Wärmerandbedingungen sind ein basaler Wärmefluss und die langjährige mittlere Lufttemperatur an der Modelloberfläche. Um den Wärmefluss entlang der Störungen zu simulieren, wurde unter Annahme einer aufsteigenden Strömungskomponente der Basisdruck um 2 MPa erhöht und eine unterhalb der Störungszonen eine zusätzliche Wärmequelle eingefügt.

Das Modell wurde mit etwa 2,5 Mio. Zellen diskretisiert.

Permeabilitäten und Porositäten sowie Temperaturen sind in Tabelle 2 aufgelistet. Grundsätzlich wurde bei angegebenen Bandbreiten in der Literatur tendenziell die geringeren Werte in das Modell aufgenommen, um ein „worst-case“ Szenario abzubilden. Das betrifft insbesondere die Reservoirformationen des Bundsandsteins und des Perms.

Tabelle 2: Hydraulische Modellparameter

| Gestein | Permeabilität [m ²] | Porosität [%] |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Tertiär (Mergel) | 1·10 ⁻¹⁸ (1) | 15 |
| Jura/Keuper (Tonstein/Mergelstein) | 1·10 ⁻¹⁸ | 15 |
| Muschelkalk (Kalkstein) | 5,9·10 ⁻¹⁵ (2) | 2,7 |
| Buntsandstein (Sandstein) | 1·10 ⁻¹⁵ (4) | 3 (3) |
| Perm (Konglomerat/Sandstein) | 1·10 ⁻¹⁶ | 5 |
| Grundgebirge [Metamorphe Gesteine] | 5·10 ⁻¹⁶ (2) | 5 |

| | | |
|-----------|--------------------|----|
| Störungen | $1 \cdot 10^{-13}$ | 15 |
|-----------|--------------------|----|

1:Stricker et al. (2020); 2:Schill et al. (2009); 3: Bohrungsdaten LH-20; 4: Sokol et al. (2013)

Die petrophysikalischen Eingangsparameter sind in Tabelle 3 aufgelistet und stammen aus eigenen Messungen sowie Literaturwerten.

Tabelle 3: Petrophysikalische Modellparameter

| Gestein | Wärmeleitfähigkeit [W/m/K] | Wärmekapazität [MJ/kg/K] | Volumetrische Wärmeproduktion [μ W/m ³] |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| Tertiär (Mergel) | 1,4 (1) | 2,4 (2) | 0 (3) |
| Jura/Keuper (Tonstein/Mergelstein) | 1,4 | 2,4 | 0 |
| Muschelkalk (Kalkstein) | 3,2 (3) | 2,2 (2) | 0 (3) |
| Buntsandstein (Sandstein) | 3,3 (3) | 2,2 (2) | 0,3 |
| Perm (Konglomerat/Sandstein) | 3,3 (3) | 2,2 | 0,9 |
| Grundgebirge [Metamorphe Gesteine] | 3,25 (2) | 2,2 (2) | 0,9-2,13 (3) |

1:Stricker et al. (2020); 2:Schill et al. (2009); 3: Labormessungen

Die Kalibration erfolgte an Temperaturmessungen in zwei Bohrungen. Es wurden die höchsten Bottom-hole Temperatur für die Kalibration verwendet.

Die Temperaturanpassung wurde durch Variation der Wärmeleitfähigkeiten, der Wärmeproduktionsraten im Grundgebirge sowie des basalen Wärmeflusses erreicht.

Die Simulation zeigt, dass die bei einer Entnahme von 25 L/s die Drücke auf die Stutensee-Störung unterhalb von 2 MPa bleiben. Hohe Drücke bauen sich durch die lange offene Bohrlochstrecke und die etwas erhöhten Permeabilitäten im Bereich der Zweigstörung sowie im Muschelkalk nicht auf. Die Fördertemperatur liegt bei über 170°C, dabei handelt es sich um eine Mischtemperatur über Muschelkalk, Buntsandstein und oberem Perm. Bei geringerer offener Bohrlochstrecke im unteren Bohrlochbereich könnten höhere Temperaturen produziert werden, jedoch würden auch die Drücke steigen. Um das Risiko induzierter Seismizität so gering wie möglich zu halten, wurde daher auf die hohen Temperaturen zu Gunsten der langen offenen Bohrlochstrecke und damit geringeren Drücken und Spannungen verzichtet. Die Kopplung mit dem Wärmebedarf des KIT-Campus Nord lässt jedoch die resultierende Wärmeleistung, nach Abzügen von einer simulierten Abkühlung von etwa 10 °C und einem Wärmeverlust von 10% in den obertägigen Anlagen zeigt auch für die geringen Fördermengen eine kontinuierliche Wärmeleistung von etwa 9 MW. Diese ist in der Lage einen Großteil des Wärmebedarfes zu decken, erzeugt jedoch einen Überschuss von bis zu 7 MW in den Sommermonaten, dafür werden insbesondere in den Monaten Dezember, Januar und Februar große Anteile des Wärmebedarfes nicht durch die Tiefengeothermie gedeckt werden. Um eine bessere Nutzung der tiefen Geothermie zu gewährleisten werden ein oder zwei Hochtemperaturspeicher mit in die Bilanzierung einbezogen (Kapitel 8.6.2).

Die durch verschiedene Szenarien ermittelte Druckbeaufschlagung muss durch hydraulische Tests in einer Explorationsbohrung verifiziert werden. Die Lage der Filterstrecken von Muschelkalk bis Perm muss ebenfalls bei Vorliegen erster Testergebnisse angepasst werden. Das Temperaturfeld des Modells legt die Existenz von Konvektionszellen nahe. Diese verlieren mit zunehmendem Abstand zu den Hauptstörungen an Intensität, sind jedoch ursächlich für die erhöhten Temperaturen im tiefen Untergrund im Bereich der Hauptstörungen.

8.6.2 Speicherleistung

Die Simulation des HT-ATES ist für die Nutzungsszenarien Tiefer Geothermie von besonderem Interesse, da mittels Speicher Teile der Wärmeüberproduktion im Sommer in den Winter verlagert werden kann, in dem der Großteil des Wärmebedarfes liegt. Der Untergrund in der Umgebung des KIT-Campus Nord erfüllt die grundsätzlichen Voraussetzungen, er verfügt über die notwendigen Speicherreservoirs in geeigneter Tiefe. Für den wirtschaftlichen Betrieb der Speicheranlage ist ein ausreichendes Speichervolumen und eine gute Durchlässigkeit notwendig. Die Mächtigkeit der Speicherhorizonte liegt bei etwa 10 m, was relativ gut durch die nahegelegene Tiefbohrung LH13 ermittelt wurde. Unsicherer sind die Angaben zu Porosität und Permeabilität, die zwar an gekernten Bohrstrecken gemessen wurden, jedoch wegen der Unkenntnis der Messmethoden und Probenahme recht unsicher ist. Das betrifft im Wesentlichen die Permeabilität. Um die Auswirkungen auf die Wärmeproduktion des Speichers zu berücksichtigen, wurden zwei verschiedene Szenarien mit unterschiedlicher Permeabilität des Speichergesteines als auf unterschiedlichen Pumpraten berechnet.

Die Kopplung des Speichers an das bestehende Wärmenetz des KIT-Campus Nord inklusive einer Abschätzung des eingesparten CO₂ wurde mittels Lastgangkurve des Wärmebedarfs durchgeführt, in einem zusätzlichen Schritt wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) das Speichermodell mit einem vereinfachten Wärmenetzmodell verbunden und eine Wärmebilanz erstellt, die auch Grundlage der Berechnung der CO₂ Einsparung darstellt.

Grundlage der Modellgeometrie ist das 3-D geologische Strukturmodell (Kapitel 8.4). Die laterale Ausdehnung des Modellgebietes beschränkt sich auf das Gebiet zwischen den beiden Hauptabschiebungen, der Leopoldshafen-Störung im Westen sowie der Stutensee-Störung im Osten (Abbildung 7). Die Oberkante des Modells ist das SRTM Höhenmodell. Die Basis des Modells wurde bei -1900 mNN verortet, welches vereinfacht die Unterkante des Tertiärs darstellt. Der Speicherhorizont liegt in einer Tiefe von etwa 1400 m, so dass durch die Modellausdehnung ausreichend große Bereiche um das Reservoir herum vorhanden sind. Neben den beiden Hauptstörungen wurden die beiden en-echelon Zweigstörungen in das Modell mit aufgenommen, da sie nach der Fault-Seal Analyse abdichtend sind und sich damit auf die hydraulischen Bedingungen auswirken.



Abbildung 7: Lage des Modellgebietes

Ober- und Unterkante des Speicherhorizontes sind dem 3-D geologischen Modell entnommen. Die weiteren stratigraphischen Einheiten des geologischen Modells wurden wegen der großen lithologischen Ähnlichkeit der Mergel zusammengefasst. Der obere Lockergesteinshorizont ist in das Modell aufgenommen worden. Damit besteht das Modell aus 4 Modellschichten (Abbildung 8).

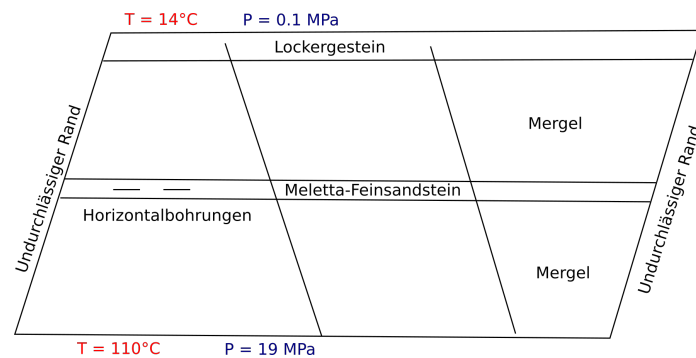


Abbildung 8: Modellskizze HT-ATES

Die Modellgeometrie wurde für die numerische Simulation vermascht. Eine Verfeinerung des Netzes erfolgte an den Sandsteinlagen als auch um die Bohrungen. Im Bereich der Brunnen wurde die Maschenweite auf etwa 1 m verfeinert.

Durch den hohen Grad der Netzverfeinerung hat das Modell knapp 1 Mio. Zellen. Durch die den großen Einfluss der Permeabilität auf die Effektivität des Speichers wurde eine Variante mit Permeabilität der Reservoirs von 25 mD gerechnet, bei dem 5 L/s eingespeist als auch gefördert werden. In einer weiteren Variante wurde die Permeabilität mit etwa 70 mD angenommen und die Pumpraten verdoppelt.

Im Ergebnis kann die Geothermie am KIT-Campus Nord einen Großteil des Wärmebedarfes decken, sowohl mit 5 L/s Speicher als auch 10 L/s Speicher.

Eine weitere Steigerung der Speicherleistung und damit der Umverteilung von Wärmeüberschuss im Sommer hin zum Winter lässt sich durch die Installation einer zweiten Speicherdoublette im östlichen Bereich des Campus Nord. Die Simulationen belegen die Machbarkeit einer solchen Installation, jedoch senken die zusätzlichen Brunnen lokal stärker das Grundwasser ab, was die Kosten der Förderung erhöht. Die Leistung des Speichers liegt für eine Förderrate von 10 L/s bei etwa 2,7 MW, bei 5 L/s sind es 1,25 MW. Diese Werte sind ohne Wärmeverlust entlang des Förderstranges oder am Wärmetauscher gerechnet. Diese Untersuchungen sind Gegenstand weiterer Arbeiten außerhalb dieses Projektes, sie werden allerdings sukzessive in zukünftige Modellrechnungen integriert.

Für die Szenarien wurde ein maximaler Wert für zwei Speicher von 4 MW verwendet, welches den Mittelwert der beiden Varianten darstellt.

9 Entwicklung von Entwurfsszenarien

9.1 Methodik zur Entwicklung von Entwurfsszenarien als Ausgangsbasis für den Szenarienworkshop

Zur Entwicklung von Bürger*innen-Szenarien für ein Umsetzungskonzept für das Geothermievorhaben am KIT Campus Nord wurden im folgenden Schritt Entwurfsszenarien interdisziplinär entwickelt., Sie wurden aus Expert*inneninterviews, Untergrundmodellierungen (Kapitel 8) zusammengefügt und im Szenarien-Workshop (Kapitel 10.1) erneut dem gesellschaftlichen Diskurs und der wissenschaftlichen Spiegelung unterzogen.

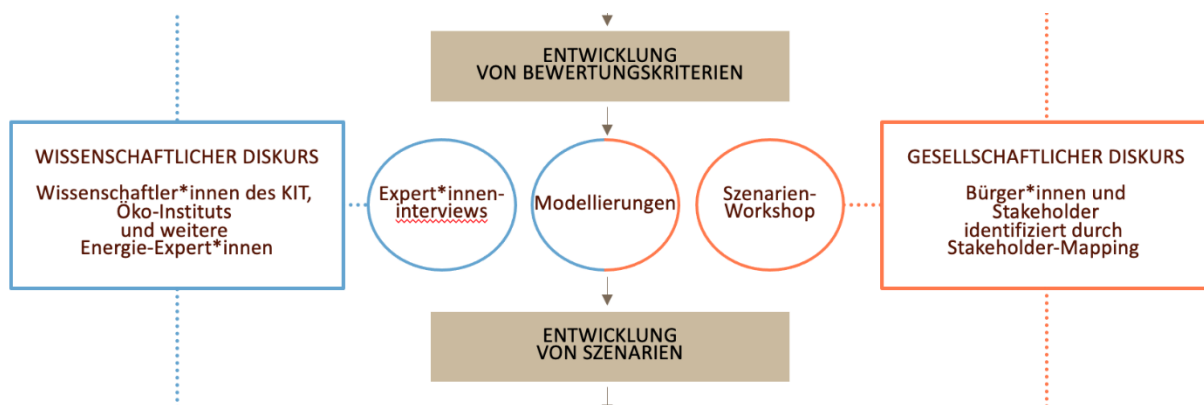


Abbildung 9: Entwicklung von Bewertungskriterien und Szenarien im GECKO-Projekt

Die bisher erarbeiteten Kriterien wurden zusammengeführt, strukturiert, geclustert (Kapitel 7) und in folgende drei Kriterien-Kategorien unterteilt:

- (1) Kriterien, die relevant für die gesellschaftspolitische Rahmung der Szenarien sein können,
- (2) Kriterien, die den Raum der technischen und nicht-technischen Optionen definieren und
- (3) Kriterien, die in die Modellsprache übersetzt und anhand von Berechnungen und Sensitivitätsberechnungen quantifiziert werden können.

Das Projektteam beschloss drei Entwurfsszenarien zu entwickeln, damit einerseits möglichst diverse Szenarien zur Diskussion gestellt werden ohne andererseits zu sehr in technische Details zu gehen. Wichtig war dabei, die Komplexität der Szenarien nicht zu überfrachten, damit eine Bearbeitung durch die Bürger*innen und Stakeholder im Rahmen eines Workshops möglich ist. Der Ankerpunkt der drei Entwurfsszenarien ist das sozio-technische Anlagenkonzept für die Nutzung der Tiefengeothermie zur Wärmeversorgung. Dabei wird die Geothermie nur in einem umweltverträglichen Umfang genutzt. Dieses Anlagenkonzept kann in den Szenarien angepasst, aber nicht vollständig geändert werden. Das jeweilige Betriebsmodell hat Auswirkungen auf Aspekte wie Klimaschutz, lokaler Nutzen oder Wirtschaftlichkeit. Andere Aspekte, wie Kommunikation und Bürgerbeteiligung sind in Teilen unabhängig vom Betriebsmodell und können frei angepasst werden. Andere Anlagenkonzepte können vorgeschlagen, aber nicht umfassend diskutiert werden. Folgend wurden aus den oben genannten drei Kriterien-Kategorien sieben Schwerpunkte entwickelt, die als übergeordnete Themen auch in die Szenarien aufgenommen wurden. Innerhalb der

Entwurfsszenarien werden die oben genannten drei Kriterien-Kategorien in ihrer Reichweite und Ausprägung variiert.

Die übergeordneten Themen sind:

- 1. Risikomanagement:** Das Verhindern von negativen Auswirkungen auf Menschen und Natur wird in gesetzlichen Vorgaben adressiert. In den Kriterien-Workshops wurden in diesem Zusammenhang insbesondere die induzierte Seismizität und der Grundwasserschutz diskutiert. Die induzierte Seismizität wurde schon bei der Analyse der geologischen Gegebenheiten am Standort als auch in den numerischen Modellrechnungen berücksichtigt. Moderate Fließraten wurden nicht überschritten. Die Möglichkeit von Citizen Science zur weiteren Datengewinnung wurde in die Szenarien eingeführt.
- 2. Haftung:** Insbesondere die Haftungssumme im Falle von weitreichenden Schäden an Gebäuden wurde in den Kriterien-Workshops angeführt. Es wurde das geltende Recht und die Möglichkeiten von Versicherungen und anderer finanzieller Absicherungen analysiert und insbesondere in Experteninterviews ermittelt und in die Szenarien eingearbeitet. Des Weiteren spielt die Schadensregulierung eine große Rolle. Hier wurden mehrere Möglichkeiten der Einflussnahme durch die Bevölkerung aufgezeigt.
- 3. Klima- und Umweltschutz:** Neben dem Grundwasser- und Emissionsschutz wurde die Variation in den Szenarien bezüglich des Umweltschutzes hauptsächlich durch die CO₂ Einsparungen abgebildet. Die Tiefengeothermie substituiert in großen Teilen die vorhandenen, durch fossile Energieträger beheizten Wärmeproduzenten und generiert damit eine positive Umweltbilanz. Die CO₂ Einsparungen haben in den Kriterien einen hohen Stellenwert und sind direkt mit den Ergebnissen aus dem numerischen Modell verknüpft.
- 4. Wirtschaftlichkeit:** Die technischen Szenarien weisen unterschiedliche Investitionen, Betriebskosten und Einsparungen auf. In den Kriterien-Workshops wurde auf das Thema Wirtschaftlichkeit fokussiert. Die Betriebskosten sind in Bezug auf die Förderleistung der Pumpen mit den Modellierungen verbunden. Es wurde auch eine Übersichtsanalyse zu Fördermöglichkeiten durchgeführt und versucht, die CO₂ Einsparungen finanziell abzubilden.
- 5. Lokaler Nutzen:** Die technischen Szenarien wurden hinsichtlich ihres möglichen Mehrwerts für die Region ausgewertet. Ausschlaggebend waren Faktoren wie Innovation, Technologie- und Wissenstransfer sowie eine Betrachtung des Images und Möglichkeiten der lokalen Wertschöpfung.
- 6. Information und Transparenz:** Die Entwurfsszenarien basieren auf unterschiedlichen Graden des Umfangs und Arten der Bereitstellung von Daten in den verschiedenen Projektphasen von Planung bis Betrieb. Bei der Auswertung der technischen Kriterien war die Thematik des Monitorings und der Zugang zu diesen Daten von besonderer Wichtigkeit für die Workshop-Teilnehmenden, dem wurde in den Entwurfsszenarien Rechnung getragen.
- 7. Kommunale und Bürgerbeteiligung:** Für die Einbindung von Stakeholdern und Bürger*innen wurden verschiedene Stufen der Beteiligung, die sich durch unterschiedliche Einflussmöglichkeiten auf Planung, Bau und Betrieb in den Entwurfsszenarien abbilden, ausgeprägt von der gesetzlich vorgegebenen Daten- und Entscheidungseinsicht über weitergehende informelle Formen der Information und Konsultation bis hin zu Optionen einer formalisierten Mitsprache und

Entscheidungskompetenz. Auch mögliche Formen wirtschaftlicher Beteiligung werden berücksichtigt.

9.2 Schärfung der Szenarien durch Stakeholderinterviews

Die kategorisierten Kriterien wurden mit Hilfe von 12 umfangreichen Leitfaden-Interviews mit Expert*innen und Stakeholdern (Vertreter*innen aus Wissenschaft, Umwelt, Wirtschaft, einem Regionalverband und von Kommunen) geschärft und weiter ausformuliert und mit weiteren wissenschaftlichen Erkenntnissen unterfüttert. In diesen Interviews konnten Fragen bezüglich relevanter technischer oder politisch-institutioneller Aspekte geklärt werden. Anregungen aus diesen Interviews flossen beispielsweise durch Informationen aus bestehenden Geothermieprojekten in die modellgetriebene Analyse der Untergrundbewirtschaftung wie zur Fließrate ein. Auch die Variation der Ausprägung des 'Lokalen Nutzens' oder der 'kommunalen und Bürgerbeteiligung' wurde durch Wissen aus best-practice Beispielen größer. Diese zusätzlichen Erkenntnisse flossen in die intensive und interdisziplinäre Ausarbeitung der Entwurfsszenarien ein, die mit allen an GECKO beteiligten Projektpartnern in mehreren Bearbeitungsschleifen stattfand.

9.3 Ausschluss von Themenfeldern bei der Szenarientwicklung

Folgende Bereiche konnten bei der Entwicklung der Entwurfsszenarien nicht berücksichtigt werden, da sie im Projektzeitraum auf Grund fehlender Daten nicht ermittelbar oder zu umfangreich gewesen wären.

1. **Stromerzeugung:** Die Geothermie kann als dezentraler grundlastfähiger Stromlieferant genutzt werden. Im Vergleich zu anderen erneuerbaren Stromproduzenten wie Wind und Sonne ist sie deutlich teurer. Grund dafür sind hohe Investitionskosten, das Risiko der Fündigkeit und die niedrige Stromausbeute bei der Umwandlung von Wärme in elektrische Energie. Die Stromproduktion setzt höhere Fließraten voraus als sie für das Geothermievorhaben am KIT-Campus Nord mit moderaten Fließraten als Obergrenze festgelegt wurden. Geothermische Stromerzeugung auch saisonal ist bei Wärmeüberschuss im Sommer möglich, häufig jedoch nur unter den Förderbedingungen des EEG finanziell interessant.
2. **Gewinnung von Lithium:** Die Gewinnung könnte wirtschaftlich interessant sein. Die Technologie befindet sich in der Demonstrationsphase.
3. **Nutzung von alternativen Energieträgern:** Die Region bietet grundsätzlich ein hohes Potenzial zur Nutzung der Sonnenenergie. Siedlungs- und Nutzungsstrukturen sowie naturschutzrechtliche Restriktionen schränken das tatsächlich nutzbare Potenzial ein. Weiterhin kann es auch hier zur Ablehnung durch Bürger*innen und Stakeholder kommen.

9.4 Definition der Ausgangslage (Basis-Szenario)

Für die jeweiligen Themen wurde eine Ausgangslage definiert, die einen Ist-Zustand beschreibt, wie er schon gegeben ist oder in naher Zukunft geregelt wird. Das Ziel der Szenariendiskussion im Workshop war die Entwicklung von Gelingensbedingungen, die über dieses vorgeschriebene Maß an gesetzlichen Auflagen hinausgehen.

Risikomanagement

Die Definition des Ist-Zustands erfolgte anhand der Analyse vorhandener Gesetze und Regelwerke für die Planung, den Bau als auch den Betrieb geothermischer Anlagen und das gesetzlich geforderte Monitoring umweltrelevanter Daten.

Im Bundesberggesetz ist verankert, dass für den Bau und den Betrieb der Förderung ein Betriebsplan zu erstellen ist. Der Betriebsplan ist an eine Umweltverträglichkeitsvorprüfung (UVP-V) gebunden, der ggf. eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) folgt, in der mögliche Auswirkungen auf Menschen und Umwelt durch die Fachbehörden bewertet werden und bei positivem Ergebnis zur Genehmigung des Hauptbetriebsplans führt.

Die Zulassung des Baus und Betriebes ist in der Regel an das Aufweisen eines umfangreichen und geeigneten Monitoringkonzeptes gekoppelt, welches die Überwachung der schützenswerten oberflächennahen Grundwasserleiter und möglicher induzierte Seismizität einschließt. Dazu werden Grundwassermessstellen um den geplanten Bohrplatz, die regelmäßig die Wasserqualität kontrollieren, sowie ein seismisches Netz, welches Erschütterungen in Echtzeit registriert und ein schnelles Eingreifen ermöglicht, errichtet.

Um die Wahrscheinlichkeit induzierter Seismizität zu minimieren, wurde im Speziellen das Konzept der moderaten Fließraten angewendet. Insbesondere durch die positiven Erfahrungen der benachbarten geothermischen Produktionsanlage in Bruchsal, die mit etwa 28L/s betrieben wird, kann bei Förderung in ähnlicher Größenordnung davon ausgegangen werden, dass induzierte Seismizität verhindert werden kann. Des Weiteren wurden die moderaten Fließraten im numerischen Modell analysiert, um rechnerisch sicherzustellen, dass Störungen im Untergrund nicht reaktiviert werden.

Als Basis der Entwurfsszenarien werden folgende Grundannahmen für die einzelnen Projektphasen zusammengefasst:

- a. **Planungs-/ Umsetzungsphase:** Prüfung der Betriebspläne zum Bau und der Inbetriebnahme durch das zuständige Bergamt, im Falle des KIT durch das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB); UVP-Vorprüfung
- b. **Monitoring der Bohrung:** Integritätsmessung zum baulichen Zustand der Bohrung
- c. **Monitoring vor Inbetriebnahme:** Null-Messung zur Erfassung natürlicher Schwankungsbreiten
- d. **Monitoring nach Inbetriebnahme:** Überwachung der seismischen Aktivität während Bau und Betrieb.

Haftung

Das Bundesberggesetz legt in §120 die Bergschadensvermutung fest, d.h. dass ein Schaden „durch Senkungen, Hebungen, Pressungen oder Zerrungen der Oberfläche oder durch Erdrisse oder durch Erschütterungen“ von den bergbaulichen Vorgängen verursacht ist, sofern nicht das Gegenteil bewiesen wird. Diese Beweislastumkehr bezieht sich auf den gesamten Einwirkungsbereich, der durch das LGRB festgelegt wird. Betriebshaftpflichtversicherungen für die Errichtung und den Betrieb einer Geothermieanlage formulieren Bedingungen und Einschränkungen, ihre Deckungssummen sind üblicherweise auf 20 Mio. € pro Jahr begrenzt. Es gibt die Möglichkeit der freiwilligen Teilnahme an einer Bergschadensausfallkasse, die privatwirtschaftlich organisiert ist. Des Weiteren kann es eine kommunale Haftung geben. Für die Ausgangslage wird diese Bergschadensausfallkasse als freiwillig beibehalten.

Für die Schadensregulierung werden keine offiziellen Vorgaben gemacht.

Als Basis der Entwurfsszenarien werden folgende Grundannahmen zusammengefasst:

- a. Es gilt die Bergschadensvermutung und damit die Beweislastumkehr zugunsten der Geschädigten.
- b. Der Betreiber muss eine Betriebshaftpflichtversicherung mit einer Deckungssumme von 20 Mio. Euro vorweisen.
- c. Eine Teilnahme an einer privaten Bergschadensausfallkasse ist freiwillig.
- d. Es gibt keine Vorgaben zur Schadensregulierung.

Klima- und Umweltschutz

Die Betrachtung des Klima- und Umweltschutzes umfasst mehrere Aspekte. Die Einsparung von CO₂ durch den Betrieb der Geothermie ist der wesentliche Beitrag für den Klimaschutz in den Szenarien durch die Substitution fossiler Energieträger wie Öl und Gas.

Die Wärmeversorgung des Campus muss gewährleistet sein, auch wenn die Wärmeproduktion durch Tiefengeothermie die Spitzenlasten nicht abdeckt. Diese können durch die Nutzung des vorhandenen Kessels unter Verwendung fossiler Energieträger erzeugt werden.

Die CO₂ Bilanz wurde auf Grundlage des Wärmebedarfs und der Verteilung auf die jeweiligen Erzeuger BHKW bzw. Heizkessel errechnet.

Ein weiterer Umweltaspekt ist die mögliche Kontamination des Grundwassers mit salinarem Grundwasser, welches bei der Tiefengeothermie, auch schwach radioaktiv sein kann. Im Falle einer Bruchstelle entlang des Bohrstranges kann salin角度 Thermalwasser in oberflächennahe Grundwasserleiter übertreten. Um das zu verhindern, werden die Bohrung und deren Verbau auf Integrität untersucht. Diese Prüfung, zusammen mit einem geeigneten Grundwassermonitoringkonzept, wird in dem Zulassungsprocedere im Rahmen des Hauptbetriebsplanes abgefragt und bewilligt. Eine Versiegelung des Bohrplatzes ist vorgeschrieben, um einen möglichen Eintrag während der Abteufung der Bohrung über den Bohrplatz zu verhindern.

Durch Veränderung der Druck-Temperaturbedingungen bei der Förderung von Thermalwasser können in Lösung befindliche Ionen mineralisieren und in Form von Ablagerungen (Scalings) an der Rohrinneiseite ausfallen. Da das Thermalwasser in einem Kreislauf geführt wird, ist das Rohrsystem zwar geschlossen, durch eine Aufkonzentration möglicher radioaktiver Bestandteile müssen die obertägigen Rohrleitungen jedoch regelmäßig getauscht und fachgerecht entsorgt werden. Diese Instandhaltungsmaßnahmen sind Teil der allgemeinen Betriebserlaubnis und gelten für alle Szenarien. Etwaige Flächenumwandlungen im Bereich des Bohrplatzes müssen durch ökologische Ausgleichsflächen kompensiert werden.

Zusammenfassend kann der Ausgangszustand in Bezug auf Klima- und Umweltschutz wie folgt beschrieben werden:

- a. Die Spitzenlasten werden durch fossile Energieträger erzeugt.
- b. Bei der Schadstoffemission über die Luft, Lärm und Abwärme gelten die gesetzlichen Vorgaben.
- c. Abfälle, insbesondere, wenn sie eine erhöhte Radioaktivität aufweisen, werden gemäß gesetzlichen Regelungen fachgerecht entsorgt.
- d. Grund-/Trinkwasserschutz erfolgt über Regelungen bei der Planung im Zuge des Genehmigungsverfahrens und wird durch die Versiegelung des Bohrplatzes als auch durch ein im Monitoringkonzept festgehaltenes Reaktionsschema gewährleistet.

Wirtschaftlichkeit

Die Kosten der Tiefen Geothermie setzen sich aus den Investitionskosten für den Bau der Bohrungen, der oberirdischen Anlagen sowie etwaiger Nah- bzw. Fernwärmenetze zusammen. Hinzu kommen Betriebskosten, die im Wesentlichen aus dem Strombedarf der Förderpumpen bestehen, Wartungsarbeiten und Instandhaltungen spielen auch eine Rolle.

Die Errichtung einer Wärmeproduktion mit Tiefer Geothermie wird staatlich bezuschusst. Fördergeber ist die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Sie fördert unter anderem die Errichtung von Anlagen sowie die Förder- und Injektionsbohrungen für Anlagen zur thermischen Nutzung. Daneben fördert das Programm Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (Wärmenetzsysteme 4.0), verwaltet durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, neue Wärmenetze mit bis zu 50% der Investitionskosten.

Ein weiterer Faktor der Wirtschaftlichkeit liegt in der Bepreisung des CO₂, welcher durch die Einsparung von Gas und Öl positive Auswirkungen auf die Kostenbilanz hat. Der momentane Preis für eine Tonne CO₂ liegt bei 25€/t, wird allerdings bis zum Jahr 2025 mehr als verdoppelt (55€/t) und ab 2026 sogar auf bis zu 65€/t weiter angehoben. Weitere Steigerungen in der Zukunft sind wahrscheinlich.

Lokaler Nutzen

Geothermische Anlagen bedürfen relativ zu anderen Energieerzeugungsanlagen einer geringen oberirdischen Flächennutzung. Aufgrund der Möglichkeit zur CO₂ Einsparung haben sie Vorbildcharakter bei der kommunalen Wärmewende und können zu einem Imagegewinn der Region beitragen. Eine reine Wärmeversorgung durch Tiefengeothermie ohne Speicherlösung oder Sektorkopplung hat keinen besonders hohen Innovationscharakter, stellt aber eine klimaneutrale und langfristig kalkulierbare Wärmeversorgung dar.

Information und Transparenz

Wie gesetzlich vorgeschrieben, wird nach Beantragung der Aufsuchungserlaubnis Einsicht in Arbeitsunterlagen, Stellungnahmen der Träger öffentlicher Belange (TÖB: Verwalter öffentlicher Sachbereiche wie Kommunen) sowie die Bewertung der Stellungnahme durch das Bergamt bei der Konzessionsvergabe offengelegt. Gesetzlich ist der Projektbetreiber für die Information der Öffentlichkeit verantwortlich, es werden jedoch keine weiteren Vorgaben über die Häufigkeit oder die Wahl der Mittel gemacht.

Kommunale und Bürger*innen-Beteiligung

Eine frühe Öffentlichkeitsbeteiligung ist nur im Falle einer UVP (Umweltverträglichkeitsprüfung) bindend vorgesehen. Die Ergebnisse der UVP Vorprüfung sind öffentlich einsehbar jedoch ohne Möglichkeit der Einflussnahme. Sollte eine UVP erforderlich sein, wird diese unter Einbezug der Öffentlichkeit durchgeführt. Für die Öffentlichkeit werden die Unterlagen ausgelegt. Das geschieht sowohl in Papierform an öffentlich zugänglichen Orten als auch elektronisch über spezielle UVP-Portale. Die betroffene Öffentlichkeit, d.h. „jede Person, deren Belange durch eine Entscheidung über ein UVP-pflichtiges Vorhaben berührt werden; einschließlich Vereinigungen, deren satzungsgemäße Aufgabenbereiche durch die Zulassungsentscheidung berührt werden“ (<https://www.uvp-portal.de/de/node/310>) kann sich zum Vorhaben äußern. Die Hinweise können im Zuge der UVP berücksichtigt werden. Die finale Entscheidung liegt außerhalb des Einflusses der Öffentlichkeit, sie wird lediglich über den Ausgang des Verfahrens informiert. Eine darüber hinaus gehende Verpflichtung zur kommunalen und Bürger*innen-Beteiligung gibt es nicht.

9.5 Entwurfsszenarien für den Szenarien-Workshop

Die drei Entwurfsszenarien sind in Abbildung 10 zusammengefasst und werden im Folgenden erläutert.

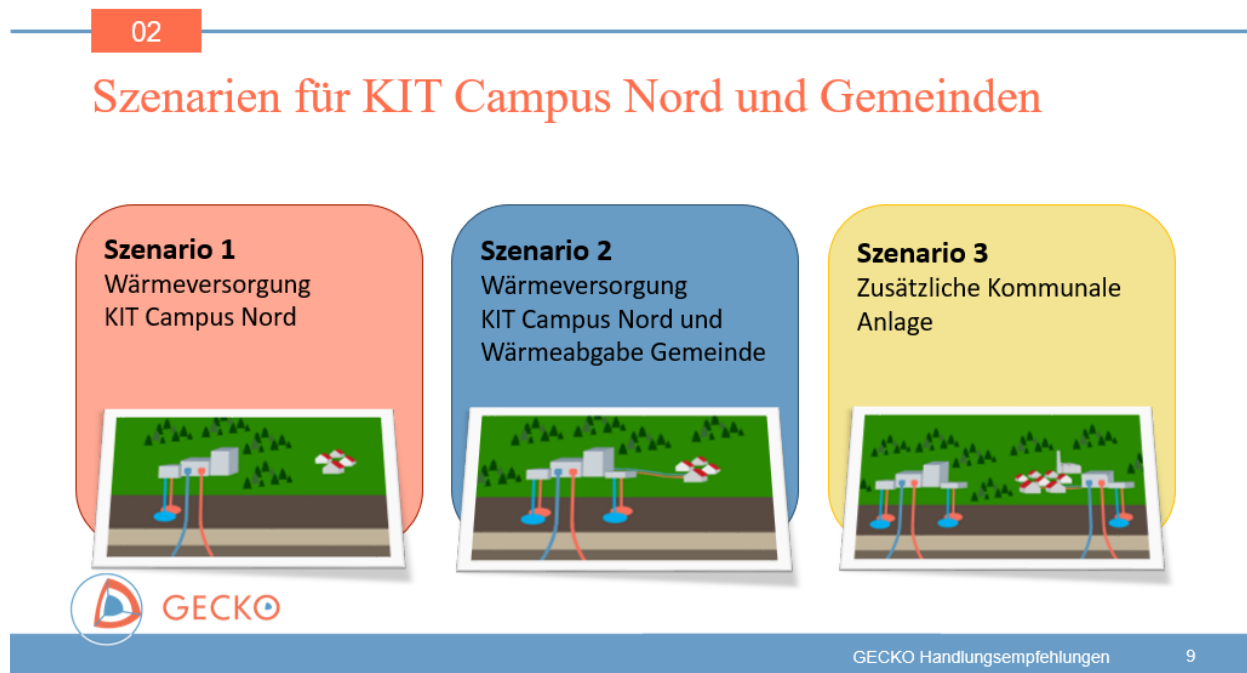


Abbildung 10: Vorgestellte Szenarien im Szenarioworkshop mit Stakeholdern

9.5.1 Szenario 1: KIT-Campus Nord Wärmeversorgung mit Wärmespeicher

Szenario 1 betrachtet die Nutzung der Tiefen Geothermie als Insellösung ausschließlich für das Betriebsgelände des KIT-Campus Nord. Die Wärmeproduktion mit moderater Fließrate erzeugt eine grundlastfähige Wärmemenge von ganzjährig etwa 9 MW. Mit diesem Angebot lässt sich die gesamte Grundlast des Campus decken. Das bislang dazu verwendete BHKW kann für die Bereitstellung von Spitzenlasten verwendet werden und es entfallen somit etwa 2,2 MW der Wärmeerzeugung aus Erdgas. Das Wärmeangebot übersteigt den Wärmebedarf in den Sommermonaten um ein Vielfaches (etwa 7 MW). Diese Wärme kann zur Strom- oder Kältegewinnung oder als Prozesswärme genutzt werden. Für das vorliegende Szenario wird ein HT-ATES vorgesehen, der die sommerliche Überschusswärme im Winter der Gebäudeheizung zur Verfügung stellt. Es sind zwei Doubletten vorgesehen, eine im Südwesten des Betriebsgeländes, eine weitere im Nordosten. Die Anlage kompensiert somit große Teile des fossil betriebenen BHKWs und des Heizkessels.

Die Spitzenlasten können durch die geothermische Wärmegewinnung nicht gedeckt werden, eine weitere Verbesserung würde ein Ausbau der Gebäudeisolation liefern, die im Zuge der Szenarientwicklung nicht explizit berechnet wurde, sie wird jedoch durch die Verwendung gleitender Monatsmittel in die Bilanzierung aufgenommen, die extreme Lastspitzen kompensiert. Für den Betrieb der Anlage ist ein privatwirtschaftliches Unternehmen vorgesehen.

Risikomanagement

In Szenario 1 unterscheidet sich die Wärmeproduktion aus Tiefengeothermie nicht von der Ausgangslage und somit auch nicht die Risikobetrachtung. Seismizität, Grundwasserqualität und Emissionen werden laufend aufgezeichnet. Zusätzlich werden Messungen von weiteren

Emissionen wie Radon vorgenommen. Die dabei gesammelten Daten werden von einem Team aus wissenschaftlichen Expert*innen des KIT ausgewertet. Als Grundlage der Auswertung und der Steuerung des Anlagenbetriebs dient ein in der Entwicklung befindliches prognostisches Ampelsystem, das genaue Vorgehensweisen bei der Überschreitung vorgegebener Grenzwerte vorschreibt. Bezüglich der Grundwasserverschmutzung und weiteren Emissionen gilt eine Nulltoleranz-Regel, d.h. Anzeichen für eine solche Verschmutzung würden zum Anlass genommen, die Anlage abzuschalten und auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen.

Haftung

Sollten Schäden an Infrastruktur oder Gebäuden von Dritten auftreten, wird unter Beachtung der Beweislastumkehr die Haftung übernommen, auch wenn die Kosten höher sind als die übliche Deckungssumme. Das KIT verlangt vom privatwirtschaftlichen Betreiber den Nachweis über eine Haftpflichtversicherung. Eine neutrale Schiedsstelle überwacht diesen Prozess. Eine Ansprechperson wird benannt, die für die Schadensbegutachtung und Schadensregulierung verantwortlich ist. Der Betreiber kann Mitglied in der Bergausfallkasse werden, welche zur Deckung der Schadenskosten aufkommt.

Klima- und Umweltschutz

Die Tiefengeothermie reduziert große Teile des emittierten CO₂ der ansonsten mit fossilen Energieträgern bereitgestellten Wärme. Die CO₂ Einsparung wird durch den Betrieb des Hochtemperaturspeichers deutlich angehoben. Die Gesamteinsparung setzt sich zusammen aus der Einsparung (Grundlast) des BHKWs sowie des Heizkessels, dessen Einsatz bei Speicherbetrieb deutlich reduziert werden kann.

Emissionen während der Bauphase unterliegen der gesetzlichen Regelung, im Betrieb fallen keine nennenswerten Umweltbeeinträchtigungen an. Die Entsorgung von Ausfällungen erfolgt fachgerecht. Zusätzlich zu den vorgeschriebenen Monitoringaktivitäten wird ein Multibarrierenförderrohr verbaut. Durch faseroptische Messtechnik wird die Dichtigkeit des Förderrohres während der gesamten Betriebsphase lückenlos überwacht.

Wirtschaftlichkeit

Die Risiken bei der Exploration tragen das KIT und der Betreiber. Das Risiko der Entwicklung des Wärmespeichers trägt das KIT im Rahmen des DeepStor Projektes. Investitionen in ein neues Wärmenetz sind nicht von Nöten. Insgesamt kann die Wirtschaftlichkeit in diesem Szenario als sehr gut eingestuft werden, da ein Wärmenetz vorhanden ist und keine Investitionskosten für einen umfangreichen Neubau aufkommen. Ein Wärmeabnehmer ist vor Ort, was langfristige Stabilität garantiert. Des Weiteren ist die Renditeerwartung hoch.

Lokaler Nutzen

Neben dem allgemeinen Imagegewinn für die Region bietet Szenario 1 einen hohen Innovationsgrad durch die Entwicklung des Hochtemperaturspeichers. Es ermöglicht die Erprobung des sozio-technischen Anlagenkonzept auf seinen Nutzen, seine Machbarkeit und seine Wirtschaftlichkeit hin, so dass im Nachgang umliegende Gemeinden, welche eventuell ebenfalls eine Wärmeversorgung mittels Geothermie in Betracht ziehen, von diesen Erfahrungen profitieren können. Die Region bzw. das KIT können damit zum Pionier werden. Der Bau und Betrieb der Anlage hat positive Effekte auf die lokale Wertschöpfungskette sofern lokale und regionale Anbieter gewählt werden.

Information und Transparenz

In diesem Szenario wird vorgeschlagen, Information und Transparenz deutlich über das übliche Maß zu erhöhen. Die Öffentlichkeit wird in Informationsveranstaltungen umfassend über das Vorhaben informiert. Ein Geothermie-Informationszentrum wird aufgebaut und es wird ein*e Ansprechpartner*in vor Ort benannt. Es werden Führungen beim Bau und Betrieb der Anlagen angeboten. Auf digitalen Plattformen werden aktuelle Planungs- und Bauschritte erläutert. Die Messdaten, die im Rahmen des Monitorings erhoben werden, wie beispielsweise Seismizität und Erschütterungen, werden nicht offengelegt.

Kommunale und Bürger*innenbeteiligung

Im Szenario 1 sollen Bürger*innen die Möglichkeit haben, mit persönlich durchgeführten Erschütterungsmessungen zum Seismizitäts-Monitoring beizutragen. Dazu werden sie mit Messgeräten versorgt, die in den eigenen Wohnungen installiert werden. Diese messen Bodenschwingungen und zeigen sie direkt auf dem Gerät an. Gleichzeitig werden die Messdaten an eine Forschungsdateninfrastruktur übertragen. Die Daten können so wissenschaftlich ausgewertet und für die Öffentlichkeit zugänglich dargestellt werden.

[9.5.2 Szenario 2: Wärmeversorgung KIT-Campus Nord und Wärmeabgabe an Kommunen](#)

Große Teile des Wärmebedarfs des Campus werden durch die Tiefengeothermie bereitgestellt. Es wird wie auch in Szenario 1 ein Speicher die sommerliche Überschusswärme im Winter nutzbar machen. Zusätzlich ist ein weiterer Speicher geplant, der einer umliegenden Gemeinde Grundlastwärme liefern kann, da auch hier der im Winter höher ist und im Sommer ein Wärmeüberschuss erzeugt wird. Um dieses Szenario zu ermöglichen, bedarf es einer Fernwärmeleitung zwischen KIT-Campus Nord und der Gemeinde. Wichtig ist auch ein geeigneter Abnehmer der Grundlastwärme.

Für den Betrieb der integrierten Anlage ist ein privatwirtschaftliches Unternehmen angedacht.

Risikomanagement

Das Risikomanagement unterscheidet sich nicht von dem des Szenario 1.

Haftung

Das KIT regelt die Haftung zusammen mit der Kommune und dem Betreiber. Wie gesetzlich vorgeschrieben gilt die Beweislastumkehr. Darüber hinaus verpflichtet sich der Betreiber der Anlage, sich an der Bergschadenausfallkasse zu beteiligen, die Schäden oberhalb der Haftungsdeckung zusammen mit anderen Unternehmen ausgleicht. Wie auch in Szenario 1 benennt der Betreiber eine Ansprechperson zur Schadensbegutachtung und Schadensregulierung.

Klima- und Umweltschutz

Zusätzlich zu der Einsparung an CO₂ am KIT-Campus Nord trägt die Einsparung in der Kommune zu einer weiteren positiven Klimabilanz bei. Die Wärmenutzung der Gemeinde kann sich auf bis zu 3,6 MW belaufen und für eine dementsprechende Einsparung von CO₂ sorgen. Die Umweltschutzmaßnahmen gleichen denen aus Szenario 1.

Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten für den Bau eines weiteren Hochtemperaturspeichers verdoppeln sich. Ebenso verdoppeln sich die Betriebskosten für die Pumpen der Speicher. Eine weitere Investition ist für die Fernwärmeleitung in die Kommune erforderlich. Beispielsweise ist für die nahegelegene Gemeinde Eggenstein-Leopoldshafen ein Leitungsbau von circa 1,5 bis 2 km

Länge vonnöten. Die Investitionssumme kann unter Zuhilfenahme der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze halbiert werden.

Ein wichtiger Punkt der Wirtschaftlichkeit ist das Vorhandensein eines permanenten Grundlastabnehmers. Dieser muss im Vorfeld ermittelt werden.

Durch die CO₂ Einsparung können Ausgaben im CO₂ Zertifikatehandel am KIT-Campus Nord wie auch in der teils mitversorgten Kommune eingespart werden.

Lokaler Nutzen

In Szenario 2 werden zwei Untergrundspeicher für die geothermische Wärme errichtet. Da ein großer Teil des Wärmebedarfs seitens KIT bereits abgedeckt wird, ermöglicht Szenario 2 die Bereitstellung von Wärme für Anrainer-Kommunen im Winter. Die Kommunen profitieren damit unmittelbar von der Pilot-Anlage am KIT. Darüber hinaus bringt die Errichtung eines zweiten Speichers zusätzlichen Erfahrungs- und Erkenntnisgewinn für weitere zukünftige Anlagen in der Region.

Information und Transparenz

Die Maßnahmen zu Information und Transparenz aus Szenario 1 werden erweitert. Die Bereitstellung von Informationen erfolgt schon früh mit Beginn der Planungsarbeiten. Die Daten werden online bereitgestellt und Zeitreihen sollten möglichst in Echtzeit abrufbar sein. Sollten entgegen der Erwartungen Grenzwerte überschritten werden, wird die Durchführung der festgelegten Maßnahmen ebenfalls auf den digitalen Plattformen dokumentiert. Neben den Monitoringdaten werden Betriebsdaten zur Verfügung gestellt, z.B. die aktuelle Leistung und die Klimaschutzwirkung. Zusätzlich werden Originaldokumente zur Umweltverträglichkeit veröffentlicht.

Kommunale und Bürgerbeteiligung

Die digitalen Plattformen dienen auch der Online-Kontaktaufnahme, indem ein Kontaktformular für Fragen und Anregungen zur Verfügung gestellt wird. Es wird über die Bereitstellung der nötigen Ressourcen sichergestellt, dass die Bearbeitung und Beantwortung in einem festgelegten Zeitraum stattfindet. Es wird ein Runder Tisch eingerichtet, an dem gewählte Vertreter*innen der Stakeholder und der interessierten Öffentlichkeit teilnehmen. Dieser dient dem regelmäßigen Austausch mit den Planer*innen und Betreibern der Anlage. Interessierte Bürger*innen und andere Stakeholder der angrenzenden Kommunen können ihre Bedürfnisse, Wünsche und Sorgen in den Planungsprozess einbringen. Die genaue Form wird bedarfsorientiert festgelegt. Denkbar sind beispielsweise Workshops, Diskussionsrunden oder Umfragen

9.5.3 Szenario 3: Kommunale Anlage (unabhängig von der KIT-Anlage)

In diesem Szenario wird neben der KIT Anlage eine zweite von der KIT-Anlage unabhängige Geothermieanlage gebaut, welche der Wärmeversorgung einer umliegenden Gemeinde dient. Die Wärmeproduktion durch Tiefengeothermie erfolgt dabei unter den gleichen technischen Bedingungen wie am KIT-Campus Nord. Die Förderraten der Pumpen sollen moderat sein, um das Risiko induzierter Seismizität minimal zu halten. Es sollen geothermische Reservoirs in ähnlicher Tiefe wie im Bereich des Campus bewirtschaftet werden, die geologisch vergleichbare Eigenschaften aufweisen. Bei vergleichbaren geologischen Parametern wie der Transmissivität (Durchlässigkeit), dem Spannungsfeld und der Orientierung der Störungen sollen die Risikobetrachtungen der Anlage am KIT-Campus Nord auch für eine kommunale Anlage gelten.

Wie in Szenario 2 soll die Saisonalität des Wärmebedarfs der Kommune mittels Hochtemperaturspeicher abgeschwächt werden. Für den Betrieb der kommunalen Anlage wird eine genossenschaftliche Lösung oder die Anbindung an die Stadtwerke Karlsruhe angestrebt. Ein Wärmenetz muss unter Umständen neu errichtet werden.

Risikomanagement

Das Risikomanagement unterscheidet sich nicht von dem des Szenario 1.

Haftung

Wenn ein kommunaler Betreiber die Anlage erbaut und nutzt, werden mögliche Schäden durch kommunale Haftungsregelungen abgesichert. In diesem Fall übernimmt das Land Baden-Württemberg die finanzielle Haftung. Bei einem Betrieb durch einen privatwirtschaftlichen oder genossenschaftlichen Betreiber sind eine Betriebshaftpflicht sowie der Beitritt in die Bergschadenausfallkasse notwendig. Schadensansprüche werden durch eine Vertrauensperson aus der Bevölkerung geregelt (Ombudsfrau/-mann), die Schadensansprüche unbürokratisch und bei kleineren Schäden eigenständig regeln darf.

Klima- und Umweltschutz

Wenn durch die Versorgung mit Wärme aus der tiefen Geothermie Ölheizungen substituiert werden, erhöht sich die Einsparung von CO₂ in Summe der beiden Anlagen. Die Umweltschutzmaßnahmen gleichen denen aus Szenario 1 und 2.

Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten für die Anlagen sind durch die zweifache Ausführung doppelt so hoch wie in Szenario 1. Das Gleiche gilt für die Betriebskosten für die Pumpen. Um Reserveleistungen bereitzustellen müssen unter Umständen weitere Investitionen getätigt werden. Es kommt Investitionen für den Bau eines Wärmenetzes in der Kommune hinzu, sofern dieses noch nicht existiert. Bei hohem Anschlussgrad und Anschluss kommunaler Liegenschaften verbessert sich die Wirtschaftlichkeit.

Lokaler Nutzen

Hauptnutzen ist die autarke Nutzung einer zentralen kommunalen Einrichtung mit hoher Zuverlässigkeit für eine langfristige und klimaneutrale Wärmeversorgung. Der Bau und Betrieb der Anlage hat positive Effekte auf die lokale Wertschöpfung sofern lokale und regionale Anbieter gewählt werden. Da die Anlage in kommunaler Hand ist, kommen erwirtschaftete Überschüsse der Kommune zugute. Es ist somit mit positiven Effekten auf die Gewerbesteuererinnahmen und lokale Arbeitsplätze zu rechnen. Zusätzlich zum in Szenario 2 erläuterten Nutzen erhöht sich durch eine zweite Anlage der Erfahrungs- und Erkenntnisgewinn.

Information und Transparenz

Es wird ein frühzeitiger, offener, umfassender, kontinuierlicher und dialogorientierter Informationsfluss während der gesamten Planungs-/Bau- und Betriebsphase gewährleistet, an dessen Gestaltung die Bürger*innen sowie die Kommune aktiv beteiligt sind.

Kommunale und Bürgerbeteiligung

Bürger*innen werden bereits bei der Konzessionsvergabe durch das Bergamt aktiv eingebunden. Das lokale Bürger-Wissen wird in den Planungsprozess und den Betrieb der Anlage eingebunden. Das kann beispielsweise mittels eines interdisziplinären Beirats geschehen, dessen Mitglieder aus Expert*innen, Bürger*innen und Stakeholdern bestehen.

Dessen Aufgabe ist es, in kontinuierlichem Austausch mit den Planer*innen und Betreiber*innen der Anlage zu stehen und deren Arbeiten kritisch zu beleuchten, auch durch das Hinzuziehen von externer Expertise, um so eine Bewertung vornehmen zu können und auf dieser Basis Empfehlungen zu entwickeln und auszusprechen. Der Beirat spricht auch Empfehlungen gegenüber den Betreiber*innen bezüglich einer erweiterten Bürgerbeteiligung aus, d.h. insbesondere an welchen Stellen im Prozess eine breitere Öffentlichkeit eingebunden werden sollte. Denkbar sind beispielsweise Workshops, Diskussionsrunden oder Umfragen. Durch eine neutrale Moderation können Lösungen in Konfliktsituationen unterstützend erarbeitet werden und es werden finanzielle Mittel für die Einbindung externer Expertise bereitgestellt.

10 Bürger*innen Szenarien

10.1 Vorbereitung und Durchführung des Szenarien-Workshops

Als Teil des mehrstufigen transdisziplinären Ansatzes, der im Projekt GECKO verfolgt wird, wurde am 15. Oktober 2021 ein Szenarienworkshop mit 33 Praxisakteuren per Zoom durchgeführt. Zu diesem Workshop wurden die in den ersten beiden Workshops beteiligten und weitere Stakeholder und Bürger*innen eingeladen. Ziel war es, die Grobszenarien zu diskutieren, zu modifizieren und weiterzuentwickeln und anhand der in den vorherigen Workshops erarbeiteten Kriterien zu bewerten. Angestrebtes Ergebnis dieses Workshops sollten mindestens zwei Szenarien sein, welche aus Sicht der Beteiligten das Kriterium der Akzeptabilität erfüllen könnten und aus welchen Gelingensbedingungen im Sinne von Mindestanforderungen an die Ausgestaltung eines Umsetzungskonzepts für die Nutzung von Geothermie im Oberrheingraben, insbesondere am KIT (Campus Nord), ersichtlich werden.

Nach einer kurzen Vorstellung der drei Szenarien wurden die Teilnehmer*innen in drei Arbeitsgruppen eingeteilt, denen jeweils eins der drei Szenarien zur Diskussion zugeteilt war. Zu Beginn der Arbeitsgruppe fragte der Moderator*in ab, welche Aspekte des Szenarios diskutiert werden wollten. Anhand der Priorisierung wurde pro Arbeitsgruppe 3-4 Aspekte in der Arbeitsgruppenphase diskutiert und die Ergebnisse anschließend in der Plenumsrunde vorgestellt. Anschließend stellten die Moderator*innen die Ergebnisse der Kleingruppen im Plenum vor und in einer kurzen Abschlussrunde wurden offene Fragen beantwortet und das weitere Vorgehen erläutert. Der Szenario-Workshop wurde auf Basis der Ergebnisdokumentation und Transkripte ausgewertet. Auf Basis der Erkenntnisse und Ergebnisse wurden Handlungsempfehlungen für ein Umsetzungskonzept abgeleitet und mit ausgewählten Akteuren in einem abschließenden Reflexionsworkshop gespiegelt. Die Ergebnisse wurden in verschiedenen Formaten über die Webseite den Stakeholdern und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Zudem erfolgte eine wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse in Vorträgen und Publikationen.

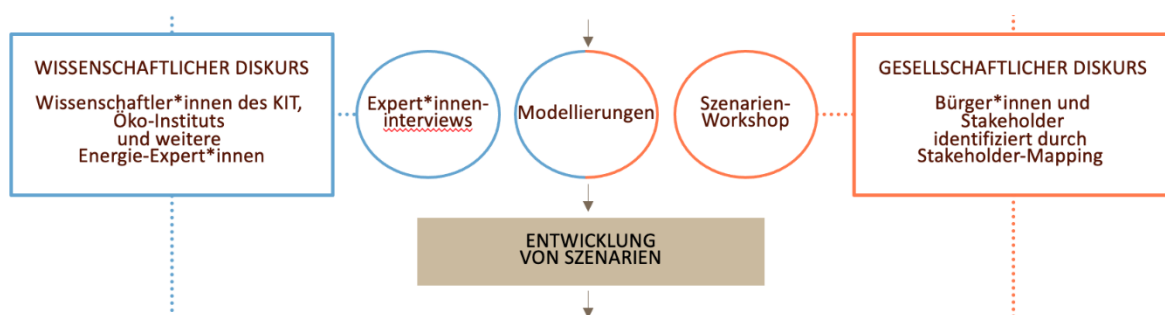


Abbildung 11: Entwicklung von Szenarien im Szenarien-Workshop im GECKO-Projekt

10.2 Was ist den Bürger*innen wichtig?

Die folgenden Ergebnisse fassen die Inhalte der Diskussion im Szenarienworkshop zusammen, unterstützt durch einige ausgewählte Originalzitate. Ziel der Zusammenfassung ist, Empfehlungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu identifizieren, die aus ihrer Sicht bei der Umsetzung eines Geothermie-Vorhabens am KIT Campus-Nord oder in der Umgebung berücksichtigt werden sollten. Es handelt sich bei den dargestellten Aussagen ausschließlich um die Meinungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops und entspricht nicht notwendigerweise der Sicht des Projektteams

10.2.1 Kommunikation, Information und Bewertung

(1) Transparente und proaktive Kommunikation

Der Planungs- und Entscheidungsprozess sollte **größtmöglich transparent und interaktiv** sein, um der „*Verantwortlichkeit gegenüber Bürgern*“ nachzukommen. *„Es hat ein Gschmäcke, wenn nicht alles gesagt wird“*. Es brauche eine **proaktive Kommunikation** und Beteiligung und den verständnisvollen Umgang mit den Ängsten der Bürger*innen vor Erdbeben und eine sachliche Beruhigung der „aufgeheizten“ Diskussionen. Das bedeutet, *„..., dass man die Information (nicht) nur anbietet, zum Abholen, sondern wie soll ich sagen so zum potentiellen Interessenten bringt.“*

Eine **frühzeitige Kommunikation** wird empfohlen, auch wenn es eine reine KIT-Anlage zur Forschung und ohne Beteiligungsmöglichkeit ist. Dies gilt auch für weitere Tiefengeothermie-Anlagen, die beispielsweise in der Hardt-Region geplant sind (z.B. durch die Deutsche Erdwärme oder die EnBW). Auch Kommunen und Stadtwerke haben Interesse an der Nutzung der Geothermie für die Wärmeversorgung ihrer Wohn- und Gewerbegebiete. *„Wenn also hier eine offene Kommunikation stattfindet mit der Bevölkerung, dass dieser Widerstand und vor allen Dingen diese Unsicherheit dann von den Bürgern genommen wird, das wäre ein sehr großes Anliegen.“* Alle Entwicklungen im Projektverlauf sollten öffentlich gemacht und **Fortschritte und Veränderungen kommuniziert** werden. *„Jedes Mal, wenn etwas neu kommt, muss (es) veröffentlicht werden oder zumindest die Schritte, in welche Richtung das geht.“* Das weitreichende Informationsangebot müsse auch für das **Monitoring** gelten, wenn die Daten ausgelesen werden und auch wenn Probleme auftauchen, v.a. bei technischen Problemen; es müssen nicht alle wirtschaftlichen Daten auf den Tisch. Es bestehe Bedarf an transparenter Kommunikation über die Inhibitoren, Ausfällungen und Abfälle, Luftemissionen, Lärm und Abwärme.

Gewünscht wird eine klare und gut konzipierte Strategie, um die Kommunikation professionell, proaktiv und für alle Interessensgruppen ansprechbar und gut zugänglich zu gestalten. Dafür müsse ein **ausreichendes Budget** bereitgestellt werden. *„[...] Kommunikation und Information brauchen ein großes Budget.“* Es sollte einen oder mehrere neutrale fachliche **Ansprechpartner** am KIT (z.B. Geologen) und beim Unternehmen geben, welche die Kommunikation organisieren und verantwortlich und bei Veranstaltungen **präsent** sind. *„[...] man braucht einen Ansprechpartner. Wer ist verantwortlich.“*

Es sollten **Vertrauenspersonen** mit fachlicher Expertise aus Forschung und der lokalen Politik und Multiplikatoren involviert und für die Online- und Offline Kommunikationsformate gewonnen werden. Empfohlen wird *„von der anderen Seite“* zu lernen, bspw. wie Bürgerinitiativen gegen die Tiefengeothermie ihre Interessensgemeinschaft immer aktuell mit Informationen versorgen. *„Ihr müsst vom Format von den BIs lernen (instrumentell). Ihr müsst die mitnehmen, die noch nicht angesprochen sind. Auch die Älteren mitnehmen“*.

(2) Regelmäßiger Informationsaustausch

Es brauche einen **regelmäßigen Informationsaustausch (Dialog)** und Veranstaltungen mit der Bevölkerung/ Interessensgruppen, die den Zweck und die Art der Anlage kommunizieren, über Projektverlauf und technische Probleme informieren und Fragen der Bevölkerung zur Planung oder den Betrieb beantworten. *„Und deswegen hat sich die Bürgerinitiative gegründet, um die Bevölkerung zu informieren, Info-Chats zu machen, Infoabende zu machen, was der Vorhabenträger eigentlich nicht so gemacht hat am Anfang.“* Es sollte eine interaktive **Homepage mit Info-Angeboten** und Informationsveranstaltungen geben und Sprechstunden

organisiert werden. *[Wir haben] gute Erfahrung damit gemacht neben einer Veranstaltung vor Ort [...] auch kontinuierlich ein Mitteilungsblatt [herauszugeben]. Das bedeutet bei uns automatisch auf der Homepage und gegebenenfalls auf Facebook über Fortschritte anlassbezogen zu berichten und das dann auch immer mit weiterführenden Links mit Hintergrundinformationen zu verbinden.“*

Die Information sollte in einfach **verständlicher Sprache** formuliert und mit Visualisierungen ergänzt sein, um alle Bevölkerungsgruppen anzusprechen und die Interessensgruppen (z. B. Bürgerinitiativen, Wärmekunden) **regelmäßig und passgenau zu informieren**. *„Also das es auch nicht in so ein Studiendeutsch ist was andere Bürger ausschließt, sondern dass es jeder verstehen kann.“* Es sollten **verschiedene Kommunikationskanäle** genutzt werden, vom kommunalen Amtsblatt über die regionale Tageszeitung oder den lokalen TV-Sender bis hin zu den Social Media Plattformen wie Facebook und Instagram. *„Und da kann man sich – denke ich – ein gutes Beispiel an der Kommunikationsarbeit der Bürgerinitiativen nehmen, zumindest was die Form angeht nicht jetzt zwingend den Inhalt und die Darstellungen. [...] Social-Media-Kanäle* seien insbesondere geeignet, um schnell und umfangreich Informationen zu der Planung und den Bau von Anlagen der Bevölkerung zu kommunizieren *„...“, dass man entsprechend aktiv mit eigenen Social-Media-Kanälen arbeitet. ... dass man von vorneherein ein entsprechendes Informationsangebot macht über all diese Fragen, wo man auch Fragen einreichen kann. Also, ein gemanagter Social Media Talk.“*

Beispiele von vorhandenen, vergleichbaren Geothermieranlagen, wie in Bruchsal oder München, sollten als **Best Practice Beispiele** genannt und **proaktiv** gezeigt werden. Es können auch Ausflüge zu den Anlagen angeboten werden. *„Ich finde, transparent sollte sein, was man mal bei anderen Sachen auch gemacht hat. [...] wir machen einen Ausflug dahin und wir zeigen euch mal, den schärfsten Kritikern, ein Geothermiekraftwerk in der Innenstadt von München.“* Auf Risiken sollte explizit hingewiesen werden. Beim Bau als auch beim Betrieb von Geothermieranlagen kann Seismizität auftreten. Der Einsatz eines Ampelsystems könne helfen, Risiken zu kommunizieren (Beispiel Vendenheim). **Risiken** der Anlagen sollten **regelmäßig, offen und in klar verständlicher Sprache kommuniziert** werden, ... *„und da kann halt passieren, dass man leichtere Erdbeben auslöst. [...] Ob die jetzt 2,5 Magnitude haben oder 3,5 oder 1,5, das ist jetzt eine andere Frage. Aber man muss den Menschen sagen, wenn ein Geothermiekraftwerk bei euch in der Kommune gebaut wird, dann löst dieses auch Erdbeben aus.“*

(3) Unabhängige Bewertung und Begleitung

Die Geothermievorhaben sollten von **unabhängigen Institutionen moderiert und begleitet** werden, *„... es ist GANZ wichtig, dass diese regelmäßigen Infoveranstaltungen nicht vom Betreiber, also jetzt von der Deutschen Erdwärme oder der EnBW durchgeführt werden, sondern, dass es unabhängige Leute sind, die [...] auch ein kritisches Renommee besitzen.“*

Die Einbindung von **unabhängiger Beratung** und **wissenschaftlicher Begleitung**, die zum Projekt auch kritisch Stellung nehmen, ist gewünscht. Wichtig wäre eine Ansprechperson, die auf Fragen der Bevölkerung, wie zum Beispiel in Dialogveranstaltungen eingehen, und das Projekt bewerten kann. *„... der Betreiber darf nicht sozusagen – der Erklärer seiner eigenen Anlage ist ja in Ordnung – aber, dass er auch dann noch zu den Risiko Stellungen nimmt, die Leute sagen, na klar, der sieht die und wird sie verharmlosen oder so.“*

Es wird als wichtig angesehen, die Planung kommunaler Anlagen für die Bürger*innen auch durch einen **interdisziplinären Beirat** zugänglich zu machen. Der Beirat wird auch als wichtige vertrauensbildende Maßnahme angesehen. *„Dann wären wir natürlich auch daran*

interessiert, dass so eine Art Beirat gebildet wird, einfach als vertrauensbildende Maßnahme, der die Tätigkeiten der Geothermienutzung sozusagen kontinuierlich begleitet, indem [...] dann auch berichtet wird, wie die Verhältnisse sind, [...] wie die Nutzungsintensität ist und ähnliches.“

Voraussetzung für ein aktives Lernen vom „**Vorbild KIT**“ sei ein möglichst offener und kontinuierlicher Wissenstransfer. Die **Erfahrungen aus der Forschungsanlage** könnten „*bessere Lernkurven*“ bei anderen Anlagen ermöglichen und zu geringeren Risiken für spätere Anlagen führen, wenn das Konzept (mit Speicher) auf andere Gemeinden übertragbar ist oder angepasst werden kann. Dies könnte angesichts der guten techno-ökonomischen und wissenschaftlichen Bedingungen am KIT jedoch schwierig sein. *„Und dann habe ich noch zusätzlich hier am KIT durch eine relativ hohe Grundlast, während wenn ich jetzt eine Gemeinde habe, wo ich gar keine Industrie habe oder nur ein kleines Industriegebiet dann ist es schon sehr schwierig die Wärme im Sommer unterzubringen.“*

Zusammenfassung der Wünsche und Empfehlungen der Teilnehmenden

Transparente und proaktive Kommunikation

- Transparenz auf allen Prozessstufen von der Entwicklung über die Genehmigung bis zur Realisierung des Vorhabens und während des Betriebs (inklusive Monitoring, Datenerhebung, -bearbeitung und -bewertung) sowie ggf. bei Veränderungen im Projektverlauf und technischen Problemen.
- Proaktive Kommunikation, sowohl zu Best Practice Beispielen, wie z.B. Bruchsal oder München, als auch zu Risiken, wie z.B. mögliche Seismizität, in einfach verständlicher Sprache und mit Symbolen, wie z.B. dem Ampelsystem. Dafür ist eine Kommunikationsstrategie zu entwickeln.

Regelmäßiger Informationsaustausch

- Regelmäßiger und zielgerichteter Informationsaustausch mit allen Interessensgruppen über verschiedene Kommunikationskanäle und -formate.
- Öffentliche Infoveranstaltungen mit Beteiligung unabhängiger Expert*innen und Moderator*innen. Der Betreiber darf nicht alleiniger Erklärer seiner Anlage und der damit verbundenen Risiken sein.

Unabhängige Bewertung und Begleitung

- Ausgewogene Bewertung, Begleitung und Kommunikation über „neutrale“, kompetente und verantwortliche Vertrauenspersonen, die über Bürgernähe, eine gute regionale Reputation und ein entsprechendes Budget verfügen, und einen interdisziplinären Beirat.
- Wissenschaftliche Einrichtungen wie das KIT können Vorbildcharakter haben, eine ehrliche Prüfung der Übertragbarkeit gewährleisten und bessere Lernkurven für kommunale Anlagen ermöglichen.

10.2.2 Einbindung und Teilhabe von Kommunen

(1) Einbindung der Kommunen

Sobald klar ist, dass es Planungen zu einer Anlage gibt, wird empfohlen, die **Gemeinde frühzeitig in die Entscheidungsfindung mit einzubinden**. Das Ziel sollte dabei sein, die Anliegen und Wünsche der Projektierer und Betreiber einerseits und der Kommunen andererseits möglichst frühzeitig und kohärent zusammenzubringen damit alles aus einer Hand geplant werden kann. Dabei spiele die Wärmebedarfsermittlung eine zentrale Rolle. Diese sei möglichst frühzeitig durchzuführen, damit die Abnahmestruktur **der Wärme** geplant werden kann. *„Und tatsächlich, glaube ich, ist es da ganz wichtig, frühzeitigst dafür quasi Unterstützung zu werben und Leute zu finden, die diese Wärme, die so teuer quasi oder so aufwändig gehoben wird, dann auch sinnvoll eingesetzt wird.“* Dies schließe die Suche nach **Großabnehmer*innen mit Grundlastbedarf** der Wärme mit ein. *„Und gibt es nicht dann größere Firmen oder was, also, dass man schon vorher mit denen spricht und sagt, Mensch, was könnt ihr abnehmen.“* Ohne **Abnehmer*innen von Grundlast-Wärme** und einen Wärmespeicher sei es für Kommunen schwierig eine Geothermie Anlage zu betreiben ohne Verstromung der Wärme, auch wenn diese einen geringen Wirkungsgrad hat. *„Wir könnten (nur) die Grundlast decken oder wir verstromen, das ist wie gesagt die Alternative (ohne Speicher).“*

Der Leitungsbau sollte im Kontext der Infrastrukturplanung und -entwicklung geschehen. Ein **Nah- oder Fernwärmenetz** wird als notwendig angesehen, wenn Geothermieanlagen geplant sind, damit Wärme auch abgenommen werden kann. *„Die Kommunen müssen ihr Wärmenetz selbst bauen. [...] bei Neubaugebieten, bevor sie überhaupt geplant, oder wenn sie geplant sind, müssen schon die Wärmenetze gebaut werden und nicht erst hinterher, wenn die Baugebiete schon erschlossen sind.“*

Es wird empfohlen zu prüfen, an welchen Stellen **Einflussmöglichkeiten gegenüber dem Betreiber** /Investor*innen bestehen. Welche Ansatzpunkte gibt es für Beteiligung? Wieviel Mitspracherecht bieten Investor*innen? *„Wenn ich das jetzt aus Gemeindesicht sehe, steht für mich erstmal die Frage, was haben wir denn überhaupt für Einflussmöglichkeiten? [...] als kleine Kommune [...] werden wir kaum die Mittel haben, das selber durchzuführen. Das heißt, wir haben irgendeinen Investor und die Frage ist dann, wie weit wird der sich reinreden lassen“.* Ein Ansatzpunkt für Einflussnahme sei der Zeitpunkt, zu dem das Grundstück, auf dem die Anlage gebaut werden soll, von der Gemeinde an den Investor verkauft wird. Über einen solchen **privatrechtlichen Kaufvertrag** könnten Interessen geltend gemacht werden. *„Also zum einen, wenn man als Kommune über die Ansiedlung einer Geothermieanlage sozusagen beteiligt wird, indem man ein Grundstück verkauft oder Ähnliches, dann kann man neben den bergrechtlichen Anforderungen noch weitere privatrechtliche Forderungen der Kommune in den Kaufvertrag mit integrieren, das heißt, man hat dadurch mehr Einflussnahmemöglichkeiten und Gestaltungsmöglichkeiten im Interesse der Kommune.“*

(2) Teilhabe von Kommunen

Der formale Genehmigungsprozess durch das Bergamt sieht vor, dass betroffene Kommunen als Träger öffentlicher Belange Stellungnahmen abgeben können. Jedoch erfolgt bei der Konzessionsvergabe die Bewertung der kommunalen Stellungnahmen alleinig durch das Bergamt. *„Das steht auch gar nicht zur Debatte, dass man sagt, man nimmt ein anderes Unternehmen, das vielleicht geeigneter oder zuverlässiger [...] scheint, sondern die haben alleine das Recht, dieses Claim zu nutzen.“* Es sollte darauf geachtet werden, dass bei der **Vergabe der Aufsuchungsrechte** auch **Kommunen eine Chance haben, davon zu profitieren**

und diese nicht zu früh erfolgt. Dazu wurde angemerkt, dass die bereits vergebenen Aufsuchungsrechte nur zeitlich begrenzt gültig sind. *„Das finde ich halt prinzipiell eigentlich ein bisschen kritisch, dass [...] diese ganzen Rechte einfach schon quasi von der Deutschen Erdwärme oder teilweise EnBW [...] aufgekauft wurden und da jetzt irgendwie gar nicht die Stadt oder die Bevölkerung von dem Grund, auf dem sie eigentlich quasi lebt, irgendwie profitieren kann. Also da finde ich, sollte man auch noch ein bisschen, keine Ahnung, offener und zukunftsfähiger nachdenken.“*

Die Idee des Betriebs einer Anlage im **Genossenschaftsmodell** wurde von verschiedenen Stellen kritisch betrachtet. Einerseits hat es das Potential, die Zustimmung in der Bevölkerung zu neuen Energieanlagen zu erhöhen. Die Energiewende sei nur mit neuen, kreativen Organisationsformen zu schaffen. Andererseits bleibe aber unklar, ob ein Genossenschaftsmodell überhaupt mit dem Konzessionsträger umsetzbar wäre. Außerdem entspräche es nicht dem Stand der Praxis – beispielsweise bauen Kommunen Fernwärmenetze – und kann auch Probleme mit sich bringen. Eine Sorge ist, dass in einem Genossenschaftsmodell das Fachwissen und die Kontinuität fehlen, um eine solche Großtechnologie, wie es die Tiefengeothermie oder der Wärmenetzbau ist, fachgerecht umzusetzen. *„Ja, also zunächst mal so ein Netz, das muss in professionelle Hände gehen. Also das kann nicht sein, dass man sozusagen versucht es auf bürgerschaftliche Beine und dann irgendeinen ehrenamtlichen Menschen sucht, der sich dieses Netzthemas annimmt.“*

Anstelle des im Szenario vorgeschlagenen Genossenschaftsmodells sollte über **alternative Beteiligungsmodelle** nachgedacht werden, wie sie z.B. bei der Windkraft umgesetzt werden (Ankauf von Anteilen). *„[...] gibt es da nicht auch irgendwie andere Lösungen, dass man wirklich Anteile kaufen kann, also wie Bürgersolaranlagen [...], dass halt die betreffende Kommune einen Anteil bekommt an den Erlösen, weil es auf dem Gebiet ist.“* Auch die Gründung einer Gesellschaft für die regionale Wärmeversorgung wäre denkbar, die mit den Kommunen interagiert und dadurch kommunale Beteiligung ermöglicht. *„Dazu ähnlich könnte das dann [...] entweder eine Stadtwerke-Kombination sein oder man macht eine eigene Gesellschaft, die für die regionale Versorgung zuständig ist, die dann im Benehmen mit den Kommunen agiert und damit ist auch eine Beteiligung auf kommunaler Ebene möglich.“*

(3) Öffentlichkeitsbeteiligung

Es wird die Option eine verpflichtende **Umweltverträglichkeitsprüfung mit Öffentlichkeitsbeteiligung** einzuführen diskutiert. *„Deswegen würde ich, egal, [...] was man macht, auf jeden Fall eine verpflichtende UVP, weil, wenn man nichts zu befürchten hat, kann man es auch machen, dann vorschlagen.“* Diese darf aber die Projektrealisierung **nicht verzögern**. *„... ich bin auch dafür, dass man mehr macht, als gesetzlich vorgeschrieben ist, aber es darf nicht so viel mehr sein, dass das Verfahren dadurch im Jahre zurückgeworfen wird. Also, ich kann im Moment noch nicht einschätzen, ob eine verpflichtende UVP nicht das bedeuten würde, dass das ganze Modell dann überhaupt sich nicht rechnet. Oder halt zeitlich so verzögert wird, dass es nicht möglich ist, umzusetzen.“*

Zusammenfassung der Wünsche und Empfehlungen der Teilnehmenden

Einbindung von Kommunen

- Frühzeitige Entscheidungsfindung in den Kommunen und Prüfung der Einfluss- und Beteiligungsmöglichkeiten, z.B. über den Besitz von Grundstücken
- Konzessionsvergabe so gestalten, dass die Wünsche der Kommunen berücksichtigt werden bzw. diese davon profitieren können.
- Gemeinsame Planung mit dem Projektierer aus einer Hand

Teilhabe von Kommunen

- Frühzeitig kommunale Abnahmestruktur klären, Großabnehmer für Wärme-Grundlast identifizieren und Wärmenetzausbau planen und vorantreiben
- Aber: Wenn Kommunen an ein Nahwärmekonzept angeschlossen werden kann das zu Verzögerungen in der Realisierung eines Vorhabens führen.
- Möglichkeiten der finanziellen Teilhabe prüfen

Öffentlichkeitsbeteiligung

- Verpflichtende Umweltverträglichkeitsprüfung mit Öffentlichkeitsbeteiligung für alle Vorhaben
Aber die Verfahren dürfen nicht durch Auflagen verzögert werden

10.2.3 Lokaler Nutzen und Kooperation

(1) Lokale Wertschöpfung

Es bedürfe einer hohen **Ehrlichkeit und Transparenz**, zu diskutieren, welcher lokale Nutzen entstehen kann. *„Mir ist wichtig bei dem lokalen Nutzen, dass da offen und transparent mit umgegangen wird auch für Kommunen und die Bürgerinnen, weil natürlich kann so eine lokale Wertschöpfung extrem gesteigert werden durch so eine Tiefengeothermieanlage oder allgemein durch den Ausbau erneuerbare Energien, muss es aber auch nicht“*

Die erste wegweisende Entscheidung sei, ob die Kommunen lokale Wertschöpfung **über ein Nah-/Fernwärmenetz** erzielen können und sie es deshalb haben oder entwickeln wollen.

„Der Lokalnutzen wird jetzt dann aus meiner Sicht dann am größten, wenn ich eben die Wärme verteilen kann und das hängt steht und fällt halt eben im Wärmenetz.“ Es wird empfohlen, in diesem Kontext den **kommunalen Wärmebedarf und den Investitionsbedarf** zu prüfen. Altbaubestände seien häufig schwer anzuschließen und Neubaugebiete hätten nur einen geringen Wärmebedarf und die Hausbesitzer hätten bereits in erneuerbare Wärmequellen investiert. Kleinere Gemeinden könnten leicht überfordert sein mit den Investitionen, da es auch noch ein Redundanzkraftwerk bräuchte, das auch Fläche benötigt. Da müsse die Frage gestellt werden, wann sich das lohnt. *„[...] es geht wirklich darum, dass der Gemeinde, wenn sie so ein Wärmenetz ausbaut, extreme Kosten entstehen, [...] und da muss man sich natürlich auch drüber im Klaren sein, kann so eine kleine Gemeinde diese Kosten überhaupt aufbringen, weil ich denke, es geht nicht nur um den Ausbau des Wärmenetzes an sich, sondern die Gemeinde muss sich dann auch noch darum kümmern, dass ein Redundanzkraftwerk gebaut wird [...].“*

Eine **zentralere Wärmeplanung** wäre hilfreich, damit die Wärmeabnahme besser koordiniert und abgeschätzt werden könne. *„Also das sollte vielleicht auch hier in den Kommunen so vorkommen, dass man diese Wärmenetze irgendwie zentraler plant. [...]. Also das bewirkt so, dass man noch bei der Planung auch die Abnahme schätzen soll oder planen sollte. Also das ist schon ein etwas ganzheitlicheres Problem.“*

Wünschenswert wäre neben der Nutzung der eigenen Wärme, dass auch die **Wertschöpfung lokal** stattfindet und keine Gewinne an externe Unternehmen abfließen. „[...] dass sie vom Gewinn praktisch, den der Vorhabenträger hat, einen gewissen Prozentsatz bekommen, damit die Akzeptanz in der Bevölkerung steigt.“ Eine Beteiligung der **Kommunen** an den finanziellen **Erträgen und Gewinnen** der Geothermieanlagen wird als wichtig angesehen, da dies auch zur Steigerung der Akzeptanz führen könne. Ein **lokaler Nutzen** sei überregional und wirke über die Region hinaus. „Aber nichtsdestotrotz will ich einfach nur hochhalten wird nicht sein, dass irgendein internationaler Fond da investiert und der ganze Gewinn dann eben dorthin abfließt, sondern es muss eben die Kommune vor Ort mit profitieren, sonst wird es eben wieder viele Bürgerinitiativen dagegen geben.“ Gleichzeitig sei Geothermie aber mit **hohen Investitionskosten** verbunden, welche Investor*innen nicht ohne Renditeaussichten tätigen werden. Fonds als Investor*innen seien in diesem Kontext denkbar, wenn die Wertschöpfung auch lokal stattfindet. „[...] also das stimmt natürlich schon, dass jetzt ein Wärmenetz oder auch eine Geothermiebohrung genossenschaftlich zu organisieren, bei den hohen Investitionen, die dastehen, kann man kann man schon bezweifeln, ob das so einfach ist und so gut geht.“

Als lokaler Nutzen werde ein **Imagegewinn** erwartet, da es sich um „eigene“ Wärmeversorgung mit klimaneutraler Energieressource und hohem Potential handele. Dies ermögliche eine autarke Energieversorgung und es wurde diskutiert, „dass eben diese **Unabhängigkeit von Energieimporten für die Region, für die Kommunen ein Vorteil ist**“. „Ich werbe einfach dafür bei den Kommunen, dass man das wertschätzt [...] auf was für einem Schatz wir hier quasi sitzen. Wie viel einfacher wir es haben [...]. Und da wird es für jede lokale Kommune hier ein unglaublicher Nutzen sein, diese Wärme eben quasi selbst nutzen zu können [...]“

(2) Kommunale Kooperation

Für die Umsetzung einer geothermischen Wärmeversorgung sei eine **Zusammenarbeit der Kommunen notwendig**. Einzelne Gemeinden seien zu klein, weshalb überkommunale Anlagen benötigt würden sowie ein Wärmenetz, das alle Anlagen miteinander verbindet (auch die KIT-Anlage). „Dann [...] wäre es noch ganz wichtig bei den kleinen Kommunen, die wir ja alle sind, hier im Umkreis, dass man auch kommunale Lösungen andenkt, also hier denke ich, ist die Stadt und der Landkreis auf jeden Fall gefordert.“

In einem **Wärmeverbundnetz** wäre auch die **Redundanz** weniger problematisch und es würden eventuell weniger Geothermiekraftwerke benötigt. „Also, wenn das Modell eines Wärmeverbundnetzes existieren würde, also sprich alle Kommunen oder mehrere Kommunen würden an einem Netz hängen und hätten mehrere Einspeisequellen, dann wäre das Thema Redundanz auch weniger problematisch, wie wenn ich das nur lokal vor Ort mache und sozusagen nur für mich selbst verantwortlich bin. Deshalb ist dieser Verbundgedanke, der vorhin mal geäußert wurde, sehr gut, weil er im Prinzip auch sagt, es muss gar nicht in jeder Kommune selbst eine Tiefengeothermiebohrung stattfinden, sondern es genügen vielleicht zwei oder drei [...] und die können dann in im Netz kursieren und sind dabei in der Lage, sich gegenseitig auszugleichen.“

Zusammenfassung der Wünsche und Empfehlungen der Teilnehmenden

Lokale Wertschöpfung

- Möglichkeiten und Grenzen des lokalen Nutzens durch kleine Kommunen diskutieren und kommunizieren, z.B. Imagegewinn durch Unabhängigkeit von Energieimporten
- Bei Vorhaben mit finanzstarken externen Investor*innen lokale Wertschöpfung ermöglichen
- Kommunen an den Erträgen und Gewinnen beteiligen

Kommunale Kooperation

- Zentrale Koordination und Förderung der Wärmeplanung bzgl. Bedarf und Abnahme und damit auch kleinen Gemeinden die Nutzung der Geothermie ermöglichen
- Gemeinsames Wärmenetz Karlsruhe / KIT/ weitere Gemeinden und Verbundnetze fördern, um Synergien zu nutzen und z.B. Reservekraftwerke einzusparen

10.2.4 Wirtschaftlichkeit

(1) Übertragbarkeit

Konkrete Wirtschaftlichkeitsberechnungen seien schwierig. Trotz der günstigen Umstände (s.o.) gibt es Sorgen, ob die KIT-Anlage wirklich wirtschaftlich ist, da der Speicher nicht getestet ist. „...weil ich da noch ein bisschen Sorge habe was die Wirtschaftlichkeit betrifft, Investitionen was zurückkommt und so weiter.“ Die wirtschaftliche Ausgangslage für eine Geothermie-Anlage sei gegenüber anderen Standorten vorteilhaft, wenn, wie z.B. am KIT, ein ganzjähriger **Grundlast-Wärmebedarf** und ein **Fernwärmenetz** zur Wärmeversorgung vorhanden seien. Das **Fündigkeitsrisiko** bei der KIT-Anlage sei relativ gering, da der Untergrund sehr gut erforscht und bekannt sei, inklusive der Nutzung des ehemaligen Erdölreservoirs als Wärmespeicher. Insbesondere die **Übertragbarkeit des geothermischen Wärmespeichers** auf andere Anlagen wird als voraussetzungsvoll angesehen. Die Verfügbarkeit von geothermischen Wärmespeichern ist begrenzt und diese sind noch nicht erforscht und erprobt. „Also was den Speicher angeht, da ist die Übertragbarkeit eventuell etwas begrenzt“

Es werden **kommunale Pläne** zur erneuerbaren Wärmeversorgung benötigt, in denen auch Geothermie Bestandteil der Betrachtung ist. Es sollte nicht von einzelnen Bürger*innen abhängig sein, ob so eine Anlage gebaut werden kann. Bei der Übertragung des Konzepts auf kommunalen Anlagen wird ein „vernünftiges Modell“ benötigt, bei **dem der/die Investor*in auch Geld verdienen kann**. „Es muss ein vernünftiges Geschäftsmodell hinter solch einem Geothermiekraftwerk stehen. Wenn es niemand gibt, der damit Geld verdient, dann funktioniert das nur, indem man Steuern einsammelt und da reinsteckt. Also ich möchte einfach die Illusion mal nehmen, dass wir immer dran denken, irgendjemand anderes müsse dafür bezahlen. Wenn der Investor kein Geld verdient, funktioniert das nicht.“

(2) Alternative Einnahmenquellen

Eine **Stromerzeugung mit „Überschuss“-Wärme** sollte nicht explizit ausgeschlossen werden. Diese könne Sinn machen, wenn bestehende gasbetriebene BHKWs ersetzt werden sollen und nicht nur die Wärme, sondern auch die Stromversorgung aus regenerativen Ressourcen erfolgen soll. „Dann ist vielleicht Wärmespeicherung nicht das optimale, um diese Überschusswärme loszuwerden, sondern dann kann ich natürlich ein wärmegetriebenes Konzept denken, wo ich vielleicht im Sommer Strom produziere.“

Die Erforschung der **Lithiumgewinnung** in Verbindung mit der Geothermienutzung erscheine sinnvoll, vor allem wenn es sich um eine Forschungsanlage handelt. „Wenn geforscht wird und wenn KIT das Thema angeht, wäre es doch auch sinnvoll zum Thema Lithium eine Forschung anzustellen, das zu extrahieren und das Thema aufzugreifen. Das ist ja ein wichtiger Grundstoff für das Batteriethema und so weiter.“

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit sollten auch die Vermeidung von **CO₂-Schadenskosten** berücksichtigt werden, d.h. die CO₂-Kosten, die noch nicht über CO₂-Preise oder Steuern abgedeckt, also noch nicht internalisiert sind.

„Ja, also ich wollte nochmal ein bisschen dafür werben bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auch immer so einen CO₂-Schattenpreis mit anzunehmen [...]. Weil wir uns [...] einfach bei den Kosten selbst betrogen haben, indem wir Schadenskosten, die ermittelt werden können [...] nicht abgebildet wurden in den in den Berechnungen. Ich weiß, dass es nicht so ganz einfach ist, solche Gemeinkosten zu internalisieren und gut reinzubringen [...]. Man muss sich einfach bewusst machen, wenn man Alternativen abwägt, wie man jetzt irgendwie den Ort mit Wärme versorgen könnte, dass man sowas mal mitberücksichtigt.“

Zusammenfassung der Wünsche und Empfehlungen der Teilnehmenden

Übertragbarkeit

- Wärmeabnahme in der Grundlast
- Verfügbarkeit von Nahwärmenetzen
- Nutzung von geologischen Wärmespeichern
- Gewinne für Investoren und Betreiber

Alternative Einnahmequellen

- Stromerzeugung aus Überschusswärme
- Lithiumgewinnung
- Vermiedene CO₂-Schadenskosten

10.2.5 Klima- und Umweltschutz

(1) Umfassender Klimaschutz

Die **klimaneutrale Energieversorgung** für die nächsten Jahrzehnte sei eine Aufgabe für die regionale Planung und das KIT „... wie kann das KIT zum gesamten Klimaschutz beitragen, wie viel CO₂ wird vom KIT emittiert?“ Der „oberirdische“ **Klimavorteil der Geothermie** sei wichtig und durch den Ersatz des mit fossilen Energieträgern betriebenen BHKWs am KIT nachvollziehbar, jedoch sollte die „Badewannenkurve“ in einfacher Sprache erklärt werden. Wie steht es um die CO₂-Effizienz in Abhängigkeit von der Auslegung und Größe der Anlage? „Also welche Skalierungseffekte gibt es neben den ökonomischen auch bezüglich CO₂ Effizienz.“ Das KIT müsste **insgesamt klimaneutral** werden, keine CO₂ Emissionen mehr emittieren und nicht nur die Wärmeversorgung im Blick haben. Dies betrifft auch die Gewährleistung der Wärmeversorgung in der Spitzenlast, denn die Geothermieanlage deckt nur die Grund- und Mittellast. Hier brauche es eine **klimaneutrale Reserve-/Spitzenlast-Lösung** und nicht mit Erdgas betriebene BHKWs.

In der Region haben oder wollen verschiedene Unternehmen eine Konzession zur Nutzung der Geothermie. Dabei sei unklar wie groß das jeweilige Gebiet und die Abstände dazwischen sind. Die **Umweltauswirkungen durch Interaktionen zwischen mehreren Projekten auf engstem Raum** und die Interaktionen zwischen diesen Anlagen seien zu betrachten und zu untersuchen, vor allem hinsichtlich der langfristigen Versorgung mit geothermischer Wärme aus dem Untergrund ohne Abkühlung und des Auftretens seismischer Aktivitäten. „Zum einen, wenn jetzt sehr viel Anbieter in engem Raum da bohren und diese Zirkulation da haben, welche Umweltauswirkungen hat das im Untergrund?“ Hier stellt sich die Frage der Übertragbarkeit von Erfahrungen aus anderen Regionen, wo es auch bei langen Laufzeiten und kleineren Gebieten keine Auskühlungen gab.

Bei geothermischen Anlagen sollte **prioritär die Wärmezeugung** im Vordergrund stehen und keine Stromgewinnung vorgesehen werden, da der Wirkungsgrad zu gering sei. Doch was macht man mit dem Überschuss der Wärme in Sommer, wenn man ihn nicht speichern kann? Ein **Energiemix** aus Erneuerbaren Energien wie Wind, Elektrolyse und Photovoltaik sei vorteilhaft und Geothermie könne ggf. für **Grundlast** eingesetzt werden. *„... ein rein stromgeführtes Geothermiekraftwerk ist kein Beitrag zur Klimawende, sondern wenn, dann muss das mit Wärmenutzung verbunden sein. Und das müsste auch das KIT klar darstellen, und dann kann man noch zusätzlich sagen.“*

(2) Grundwasserschutz

Tiefengeothermie könne eine CO₂-neutrale Energieform sein. **Sicherheit** müsse jedoch an oberster Stelle stehen. Insbesondere Grundwasserschutz sei sehr wichtig bei der Bewertung der Umweltverträglichkeit. Klimaneutralität gehe nicht, wenn alle nach dem St. Florians-Prinzip agierten. *„Was natürlich wichtig ist, ist das Thema Sicherheit. Das ist ganz klar. Das steht an oberster Stelle. Das sehen wir genauso. Und was wir auch als wichtig sehen, ist, dass der Grundwasserschutz gewährleistet ist. Das wäre der Punkt, wo wir auch, wenn wir Eigentümer von einer Grundstücksfläche wären [...] auch noch mal einhaken würden.“*

Alle **Auswirkungen vor allem im Untergrund** seien sorgsam zu prüfen auf ökologische Schwachstellen, hier gibt es Sorgen, dass später Auswirkungen bekannt werden, die heute nicht bekannt sind oder kommuniziert werden. *„Ich habe ein bisschen Ängste, dass das dann wird wie zum Beispiel bei Kernkraft, das wurde ja auch erst als toll angesehen und dann hinterher ist es ganz böse. Kohlekraft war auch erst toll, ist jetzt ganz böse und hat Nachteile. Dass das hier dann auch massive Nachteile ergeben kann, über die wir jetzt noch gar keine Erfahrungen haben. Da habe ich Bauchweh, dass da irgendwas passiert, was man nicht abschätzen kann.“*

Es besteht Sorge vor Beeinträchtigungen durch die dauerhafte Zugabe und **Einbringung von Inhibitoren** (z.B. Salzsäure) zur Verhinderung von Ausfällungen (z.B. an Calcit) in den Leitungen, auch wenn diese nur in geringen Konzentrationen eingebracht werden, über das große Fluidvorkommen verdünnt werden und nach kurzer Zeit nicht mehr messbar sind. *„So arg mit dem Verdünnen scheint das da doch nicht gegeben zu sein. Da habe ich ein bisschen Bauchweh.“*

(3) Wärmespeicher und Lithiumgewinnung

Ökologische Auswirkungen des Wärmespeichers sollten geprüft werden: Wie groß ist der Wasserbedarf, um den Speicher zu befüllen und wieviel Wasser/Wärme kann davon später wieder zurückgepumpt werden? Was passiert mit den möglicherweise vorhandenen Ölbestandteilen? Speicher sollten auch nutzbar gemacht werden für die **Speicherung von Wärmeüberschüssen** anderer erneuerbarer Energieträger. *„Ob man den Speicher theoretisch auch mit anderer Energie, ich sage mal bisschen gesponnen, vielleicht einer Solarthermieanlage (füllen kann)“.*

Umweltauswirkungen der **Lithiumgewinnung** erforschen.

Zusammenfassung der Wünsche und Empfehlungen der Teilnehmenden

Umfassender Klimaschutz

- Ganzheitliche Klimaneutralität: EE für Strom und Spitzenlast, Verstromung Überschusswärme
- Langfristige Wechselwirkungen zw. benachbarten Anlagen
- Regionales Gesamtkonzept zu Mix aus EE, Wärme-Infrastruktur, Reserveleistung, Skalierungseffekten

Grundwasserschutz

- Prüfung Auswirkungen und Schwachstellen beim Grundwasserschutz, z.B. durch Inhibitoren und Ölbestandteilen aus Wärmespeicher
- Monitoring von Veränderungen im Untergrund, durch Bohrungen, Bohrspülverluste etc.

Wärmespeicher und Lithiumgewinnung

- Erstellung von Energiebilanzen
- Speicherung Überschusswärme erzeugt durch andere EE, v.a. Solarthermie
- Ökologische Auswirkungen Lithiumgewinnung

–Diese Auswertung diente erstens der Identifizierung von Themen für den Reflexionsworkshop und zweitens als Grundlage für die Erstellung der Handlungsempfehlungen.

10.3 Modifizierte Szenarien der Bürger*innen zur Nutzung der Geothermie am KIT-Campus Nord

Zum Abschluss des Workshops wurden die Teilnehmer*innen gefragt, welches Szenario sie bevorzugen würden bzw. wie dieses angepasst sein müsste. Zusammenfassend wurden Szenario 2 und 3 priorisiert, jedoch mit unterschiedlichen Anpassungen zur Bürgerbeteiligung und Wärmeversorgung. Folgende Empfehlungen wurden von den Teilnehmer*innen für die einzelnen Szenarios während des Workshops und in der abschließenden Diskussionsrunde gegeben:

Szenario 1: KIT-Anlage zur Wärmeversorgung des Standorts Campus Nord -

Empfehlungen aus der Kleingruppendiskussion und der abschließenden Diskussionsrunde:

Insgesamt ist das Szenario unkomplizierter umzusetzen und weniger Voraussetzungen und Absprachen als Szenario 2 und 3 bedarf. Der Nutzen für die Allgemeinheit ist durch die CO₂-Seinparung ebenfalls gegeben.

(1) Kommunikation

- Die Kommunikation mit der Öffentlichkeit ist offen und in verständlicher Sprache zu führen.
- Ziel ist ein Beitrag zur Versachlichung der Debatte und zur Verständigung in umstrittenen Punkten.
- Kontinuierlich ist über Fortschritte, Veränderungen und auch Probleme zu berichten.
- Verschiedene Zielgruppen sind mit geeigneten Formaten - vom Amtsblatt bis zu Social Media Plattformen und Infoveranstaltungen – aktiv zu informieren.
- Neben den Vorzügen der Anlage, sind auch mögliche Risiken und die Sorgen der Bürger*innen zu adressieren.
- Ein ausreichendes Budget für umfassende und professionelle Kommunikationsarbeit ist frühzeitig einzuplanen.

- Eine für die Kommunikationsarbeit verantwortliche Ansprechperson ist zu benennen.

(2) Auswirkungen auf die Umwelt

- Die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Anlagen und deren Auswirkungen auf die Umwelt sind zu analysieren.
- Die möglichen Auswirkungen von Inhibitoren auf die Grundwasserqualität sind zu prüfen.
- Bürger*innen sind bereit sich an der Erforschung der Auswirkungen im Rahmen von Citizens Science zu beteiligen – bspw. am Monitoring von Seismizität mit Raspberry Shakes

(3) Alternativenprüfung

- Der Beitrag der Geothermie ist im Kontext der Energie- und Wärmende zur Erreichung von Klimaneutralität zu betrachten und vergleichend zu bewerten. Dies umfasst die Prüfung von alternativen erneuerbaren Energiequellen für Wärme- und Stromversorgung und Maßnahmen zur Verringerung des Energiebedarfs, bspw. durch Sanierung des Gebäudebestands.
- Die Übertragbarkeit der geologischen Wärmespeicherung ist zu prüfen und ihre Nutzbarkeit für andere regenerative Wärmeproduzenten, bspw. Solarthermieanlagen
- Alternativen zur Nutzung der Geothermie im Sommer sind zu betrachten, bspw. Verstromung.

Szenario 2: Campus Nord Wärmeversorgung KIT-Campus Nord und Wärmeabgabe

Empfehlungen aus der Kleingruppendiskussion und der abschließenden Diskussionsrunde:

Insgesamt wird Szenario 2 wird als Fortführung von Szenario 1 gesehen.

(1) Kommunikation und Dialog

- Best practice Beispiele kommunizieren und Social Media nutzen.

Vergleichbare Anlagen als best practice Beispiele zeigen, wie München (Wärmeerzeugung in der Innenstadt), Ausflug zu den Anlagen organisieren.

- Mit Social-Media-Kanälen arbeiten und Informationen/Angebot etc. bieten, gemanagter Social Media Talk ist wichtig.
- Risiken transparent, offen, klar und unabhängig kommunizieren.
- Ampelsystem anwenden, es kann aber trotzdem noch zu spürbarer Seismizität kommen (Bsp. Vendenheim).
- Kommunikation der Bevölkerung, dass es zu Seismizität kommen kann, Risiken offen kommunizieren. Informationsaustausch hat hohe Priorität, dieser soll u.a. in Bürgerversammlungen und durch soziale Medien erfolgen.
- Klare Kommunikation über Zweck und Art der Anlagen (Strom oder Wärme) gewährleisten.
- Regelmäßiger Informationsaustausch/Dialog zwischen Betreiber und Gemeinden, Bürger*innen ist gewünscht.

(2) Unabhängige Bewertung/Begleitung des Projektes

- Unabhängiger Berater, unabhängige wissenschaftliche Begleitung nimmt zum Projekt Stellung.
- Unabhängige Moderation des Projektes sicherstellen.
- Infoveranstaltungen auch von/mit Unabhängigen und Experten durchführen. Der Betreiber darf nicht alleiniger Erklärer seiner Anlage sein.

(3) Frühzeitige Einbindung und Beteiligung der Gemeinden

- Frühzeitige Kommunikation des Zweckes (Strom oder Wärme) der Anlage gewährleisten.
- Da Gemeinden involviert sind, sollten diese auch frühzeitig in die Planung mit eingebunden werden.
- Frühzeitige Entscheidungsfindung zu den Szenarien in den Kommunen ermöglichen.
- Bürger*innen in den Prozess mit "echter" Beteiligung. Einbinden.

(4) Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) mit Öffentlichkeitsbeteiligung

- Verpflichtende UVP (für alle Szenarien) mit Öffentlichkeitsbeteiligung anwenden. Verfahren darf nicht durch viele Auflagen sehr verzögert werden.
- Aus Nahwärmekonzept wird ein Fernwärmekonzept - Anschluss der Kommune kann das Projekt zu stark verzögern.

(5) Frühzeitige Planung der Abnahmestruktur der Wärme, Nah- und Fernwärmenetz

- Leitungsbau in die Planung mit einbeziehen, Infrastruktur ist notwendig.
- Fernwärmenetz - gibt es überhaupt Abnehmer in den Gemeinden?
- Abnehmersituation der Wärme muss geklärt sein. Es sollte Abnehmer geben bevor gebaut wird.
- Anfrage/Planung an größere Firmen vorsehen, die die Wärme abzunehmen.
- Bedarf an Wärmeversorgung außerhalb KIT bei Bürger*innen abfragen bevor Entscheidung zum Bau gefällt wird.
- Umfangreiche Infrastruktur notwendig – Infrastrukturentwicklung planen.
- Anlage nur sinnvoll, wenn Nahwärmenetz vorhanden oder gebaut wird.
- Wärmenetze der Kommunen frühzeitig bauen, um an Anlagen anzuschließen.
- Geothermie macht nur mit Wärmenetz Sinn.
- Kommunen sollten eine Förderung für ein Nahwärmenetz erhalten.
- Problem: Umstellen der Heizungsanlage in den Häusern auf Fernwärme kann Nutzung erschweren.
- Szenarios für eine regenerative Transformation der städtischen Fernwärme ausweiten.

(6) Wärmeerzeugung und Energiemix

- Wärmeerzeugung sollte prioritär bei geothermischen Vorhaben sein, maximale Wärmenutzung garantieren Energiemix aus Erneuerbaren ist vorteilhaft.
- Was passiert mit der Abwärme bei der Stromerzeugung?

- Stromerzeugung nur mit Wind, Elektrolyse, Photovoltaik, aber nicht mit Erdwärme erzeugen.
- Warum den Überschuss nicht in Strom umwandeln, statt ihn zu speichern? Stromerzeugung ist nicht geplant, die Gründe sollen durch das KIT kommuniziert werden.

(7) Lokaler Nutzen ist überregional

- Kommunen an den Erträgen/Gewinn der Geothermieanlagen beteiligen (zur Steigerung der Akzeptanz).
- Lokaler Nutzen ist überregional.
- Eine große Anlage bauen, damit diese auch umgesetzt wird.
- Geothermie für Wärme geht und wird vom KIT positiv und mit Transparenz durchgeführt.
- Exploratives Risikomanagement auf Forschungs- und EnBW-Seite mit potenziellen Benefits für die Umlandgemeinden umsetzen.

Szenario 3 zusätzliche kommunale Anlage:

Empfehlungen aus der Kleingruppendiskussion zu den Themen Kommunikation, Auswirkungen auf die Umwelt und Alternativenprüfung und der Abschlussrunde.

(1) Lokaler Nutzen ist überregional

- Realisierung regionaler Wertschöpfung, auch wenn Genossenschaftsmodell nicht, oder nur schwer umsetzbar.
- Lokaler Nutzen als Teil der transparenten Kommunikationsstrategie.

(2) Frühzeitige Planung der Abnahmestruktur der Wärme, Nah- und Fernwärmenetz

- Kommunale Anlage häufig nur im Verbund machbar, da einzelne Gemeinden zu klein; Stärkung des Vernetzungsgedankens.
- Kooperative Wärmebedarfsplanung als Voraussetzung.
- Kostenvergleiche (zu anderen Technologien) realistisch gestalten, z.B. über Berücksichtigung der CO₂-Schadenskosten.
- Mit Verbindung der Wärmenetze des KIT CN mit dem Karlsruher Fernwärmenetz und weiteren Netzen von Kommunen, da es den Aufbau von allen möglichen Kraftwerken in der Region braucht, um den Klimaschutz ernsthaft anzugehen. Falls möglich sollte dann das KIT-Kraftwerk auch in ein zukünftiges überregionales Wärmenetz einspeisen.
- Mit Wärmeverbund und kommunaler Beteiligung beim Wärmenetz organisieren. Die Exploration sollte von Experten gemacht werden.
- Maximale Wärmenutzung garantieren.
- Die Landkreise und Kommunen müssen sich für Wärmenetze entscheiden und diese konsequent aufbauen.

- Wenn umliegende Gemeinden Wärme aus der Tiefengeothermie nutzen wollen würden und Bedarf bestünde, dann würde ich auf jeden Fall Szenario 2 oder 3 bevorzugen mit noch weiterer Koordination und Ausweitung.

(3) Frühzeitige Einbindung und Beteiligung der Gemeinden

- Szenario 3 mit weniger Beteiligung umsetzen.

Hierbei wird deutlich, dass Szenario 2 und 3 grundsätzlich auf eine Zustimmung der Teilnehmenden stoßen, aber sie einen Wärmeverbund bzw. überregionales Wärmenetz als eine wichtige Voraussetzung zur Umsetzung sehen.

11 Empfehlungen für ein Umsetzungskonzept

Aus dem Szenarienworkshop wurden Empfehlungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer identifiziert, die aus ihrer Sicht bei der Umsetzung eines Geothermie-Vorhabens am KIT Campus-Nord oder in der Umgebung berücksichtigt werden sollten. Die Handlungsempfehlungen wurden in einem Reflexionsworkshop nochmals mit ausgewählten Akteuren gespiegelt. Nach einer Analyse der Ergebnisse des Reflexionsworkshops wurden die finalen allgemeinen Handlungsempfehlungen zusammengestellt. Sie flossen gemeinsam mit den weiteren Projektergebnissen als Empfehlungen für ein Umsetzungskonzept für Geothermie-Anlagen ein.



Abbildung 12: Spiegelung der Handlungsempfehlungen im GECKO-Projekt

11.1 Reflexionsworkshop

Der Reflexionsworkshop im Projekt fand am 16. Dezember 2021 im Online-Format mit 10 Akteuren der ENBW, des KITs, Vertretern der Stadtwerke und Gemeinden, der Umwelt- und Energieagentur und des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württembergs statt.

Die Leitfragen im Workshop prüften die realistische Umsetzung (Reality-Check) der Handlungsempfehlungen. Sie hatten das Ziel festzustellen, in weit die Wünsche des Szenarienworkshops in konkrete Empfehlungen für die Pilotanlage des KIT und einer kommunalen Anlage umgesetzt werden können. Auch wurde die Frage angegangen, welche Empfehlungen schnell umgesetzt können und welche eine längere Vorlaufzeit benötigen.

Nach der Vorstellung der Empfehlungen aus dem Szenarienworkshop diskutierten die Teilnehmer im Plenum und erläuterten, wo sie Probleme in der Umsetzung sehen und was eher einfach und schnell umgesetzt werden kann. Hier drehte es sich im ersten Teil des Workshops vor allem um die „Transparenz und Kommunikation auf allen Kanälen einer Informationsgesellschaft“ und die Übersetzung wissenschaftlicher Daten in verständliche Information für die Bürger*innen. Die Informationsbeschaffung bildet die Grundlage und ist ebenso wichtig wie adäquate Bürgerbeteiligung. Es ging vor allen um die Erzeugung und Zusammenführung des verfügbaren Wissens, um die Bürger aufzuklären. Dann wurde über eine „neutrale“ Person als Ansprechpartner diskutiert (Thema Wissenschaftliche Bewertung und unabhängige Moderation) und es folgten zwei Themenblöcke zur Teilhabe der Bürger*innen und der Wertschöpfung an der Planung von Anlagen, die schon bei der Konzessionsvergabe ansetzen könnte. Es gab zudem viele Beiträge zur Wärmenetzplanung der Kommune, ohne die die Wärmegewinnung in Kommune aus Geothermieanlagen wenig Sinn ergibt und zur möglichen Teilhabe von Kommunen an Projekten. Und zuletzt wurde gefragt, in weit die Ergebnisse als Blaupause für andere Kommunen genutzt werden könnten.

Um die Kosten einer Projektentwicklung im Co-Design einordnen zu können, wurden im Nachgang zum Reflexionsworkshop Betreiber von Geothermieprojekten gebeten, ihre Kosten

für die Geothermieprojekt spezifische Öffentlichkeitsarbeit darzustellen. Diese Anfrage erfolgte schriftlich und wurde anonym ausgewertet.

11.2 Allgemeine Handlungsempfehlungen für Tiefengeothermie-Vorhaben

11.2.1 Co-Design Tiefengeothermie: von der gemeinsamen Vision zur Umsetzung

Projektierer, Stakeholder und Bürger*innen sollten sich als Team verständigen und zusammen an einer Vision für die Nutzung der Tiefengeothermie im Kontext der kommunalen Wärmewende arbeiten. Auf Basis einer Akteurs- und Kontextanalyse sollte vor Projektbeginn ein Kern-Team (Projektierer, Stakeholder, Bürger*innen) gebildet werden, um möglichst vielfältige Interessenlagen von Beginn an zu identifizieren und integrieren. Die gemeinsam zu entwickelnde Vision beschreibt, wie die zukünftige regenerative Energie- und Wärmeversorgung ausgestaltet sein könnte und wie die Tiefengeothermie in dieses Gesamtkonzept eingebettet ist. Das dazu zu entwickelnde Narrativ beschreibt im Detail warum und wozu, wo und wie das regional vorhandene Thermalwasser genutzt werden soll. Grundlage hierfür ist eine prospektive Analyse des künftigen Bedarfs der Wärme und der Beiprodukte der Tiefengeothermie wie bspw. Lithium. Zudem sind die finanziellen und technischen Voraussetzungen der Wärmeverteilung von der Tiefengeothermieanlage zu den Wärmeabnehmer*innen zu prüfen.

11.2.2 Transparenz durch Kommunikation und Beteiligung unter Nutzung vielfältiger Medien

Stakeholder und Bürger*innen sollten die Möglichkeit haben, sich aus unterschiedlichen Quellen ihre eigene Meinung zu dem Vorhaben zu bilden. Idealerweise sollten neben den Informationen und Dokumenten des Projektentwicklers weitere Informationsquellen zur Verfügung stehen. Der Planungs- und Entscheidungsprozess sollte möglichst transparent und interaktiv gestaltet sein. Neben verständlicher Sprache kann ein unterschiedlicher Informationsbedarf über Länge und Detailtiefe berücksichtigt werden. Die Nutzung vielfältiger Medien unterstützt eine breite Ansprache verschiedener Stakeholder. Eine proaktive Information und Kommunikation zum Betrieb und möglichen Problemen oder Handlungsbedarfen erfolgt möglichst während der gesamten Bau- und Betriebszeit der Anlage. Die Kommunikationsfelder umfassen sowohl Fortschritte und Veränderungen im Projektverlauf als auch die positiven Aspekte wie die erzielten CO₂-Einsparungen und mögliche Risiken wie Seismizität. Mit Unsicherheiten wird offen und ehrlich umgegangen. Der Projektentwickler sollte dialogische Formate etablieren, um sich mit Stakeholdern, Bürger*innen und unabhängigen Expert*innen kontinuierlich über die Planung und den Projektverlauf austauschen zu können. Ein offener Austausch zwischen den Teilnehmenden zeichnet sich durch gegenseitiges aktives Zuhören, das Respektieren und Wertschätzen auch von kontroversen Meinungen und gemeinsames Überlegen und Erarbeiten von Planungs- und Prozessaspekten aus. Das Ziel sollte sein, gemeinsam mögliche Lösungen für auftretende Herausforderungen zu entwickeln und umzusetzen.

Die Voraussetzung für einen Dialog auf Augenhöhe bildet der transparente und gut erreichbare Zugang zu Informations- und Datenmaterial über naturräumliche und betriebliche Details zur technischen Umsetzung der Tiefengeothermieanlage von Beginn der Planung an. Dies betrifft vor allem Daten zu möglichen Gefahrenquellen und zur Integration der Anlage in bestehende Wärmeinfrastrukturen. Die bereitgestellten Informationen sollten insbesondere auch das Monitoring kritischer umweltrelevanter Parameter umfassen, wie beispielsweise zur

Trinkwasserqualität, induzierter Seismizität und Lärmbelastungen. Die Überwachung der induzierten Seismizität sollte transparent und erlebbar gemacht werden, beispielsweise über den Zugang zu Werten von (auch selbst) durchgeführten Erschütterungsmessungen in Echtzeit. Wichtig für die generelle Zugänglichkeit zu Messdaten ist, dass diese an einer zentralen Stelle veröffentlicht werden bspw. auf der Webseite des Projektentwicklers. Ebenso ist eine gute Verständlichkeit für fachfremde Personen durch entsprechend aufbereitete Informationen und Daten sowie die Bereitstellung von Lese- und Interpretationshinweisen sicherzustellen.

11.2.3 Unabhängige wissenschaftliche Beratung und Moderation

Eine unabhängige wissenschaftliche Beratung und Moderation sind für eine professionelle Zusammenarbeit zwischen Projektentwickler Stakeholdern und Bürger*innen unerlässlich. Unabhängige Expert*innen sollten das Projekt kontinuierlich kritisch begleiten. Sie nehmen als Vertrauenspersonen an öffentlichen Informationsveranstaltungen teil und beantworten Fragen der Teilnehmenden. Die unabhängige und vertrauensvolle Beratung ist fachlich kompetent und für Online-, Offline- und Hybrid-Kommunikationsformate verfügbar und wirkt als Multiplikator und Netzwerkknoten. Sie kann in Form eines interdisziplinären Beirats organisiert sein. Mitglieder dieses Beirats sollten sowohl aus der Wissenschaft, als auch aus der kommunalen Verwaltung und der Politik sowie weiteren relevanten Gruppen kommen. Informations- und Dialogveranstaltungen zu Tiefengeothermieanlagen werden von unabhängigen Moderator*innen konzeptioniert, organisiert und durchgeführt. Sie arbeiten auch als neutrale Ansprechpartner*innen, die auf Fragen der Bevölkerung eingehen, diese strukturieren, bündeln und an die Expert*innen weitergeben.

11.2.4 Lokale Teilhabe und lokaler ökonomischer sowie ideeller Nutzen

Teilhabe schafft Gestaltungsräume für eine kollaborative Konzeptentwicklung zwischen Stakeholdern, Bürger*innen und Projektentwicklern Sie beinhaltet alle Schritte von der Konzeptionierung und Planung der Tiefengeothermieanlage bis zur Nutzung der erschlossenen Wärmequelle. Sie umfasst planerische Aspekte sowie Teilhabe am wirtschaftlichen und ökologischen Nutzen der Tiefengeothermie. Der Wunsch nach Teilhabe bezieht sich teilweise ganz konkret auf eine individuelle oder kollektive Verwendung der regional gewonnenen Wärme. Sie umfasst auch die Beteiligung am Monitoring möglicher negativer Umweltauswirkungen durch den Bau und Betrieb der Anlage. Teilhabe verbessert die Qualität der Entscheidungen, indem sie die Erfahrungen, Erwartungen und Befürchtungen der Bürger*innen einbezieht. Teilhabe an der Gestaltung des Vorhabens zur Nutzung der lokal verfügbaren Tiefengeothermie setzt eine Offenheit über Optionen, Einfluss und Beteiligungsmöglichkeiten voraus. Um Teilhabe zu ermöglichen bedarf es eines gesetzlichen Rahmens, der den Kommunen eine echte Partizipation am Prozess der Aufsuchungsgenehmigung durch das Bergbauamt und eine vorrangige Teilhabe an den lokal verfügbaren tiefengeothermischen Ressourcen ermöglicht. Dieser soll auch eine Teilhabe der Kommunen an der Konzeption der Anbindung und Erweiterung oder des Neubaus eines Wärmeverteilnetzes und dessen Betrieb ermöglichen. Der lokale Nutzen kann vielseitig sein: finanziell, ideell und durch den Beitrag zur Erlangung des Status einer klimaneutralen Kommune. Um einen finanziellen Mehrwert der Anlage in der Region zu halten, kann es sinnvoll sein, Arbeiten in der Umsetzung des Vorhabens soweit möglich an lokale oder regionale Anbieter zu vergeben. Ein finanzieller Nutzen scheint über bestehende Finanzflüsse von der Anlage zur Kommune (Gestattungsentgelt) hinaus schwierig zu realisieren, da hohe Investitionen notwendig sind. Die Umstellung der Wärmeversorgung von zunehmend teuren fossilen Energieträgern auf Wärme aus der Tiefengeothermie kann aufgrund zukünftig

geringerer Energiekosten zu einem finanziellen Vorteil für die Bürgerschaft und lokalen Unternehmen führen. Der ideelle Nutzen für einzelne Bürger*innen besteht im Bezug klimaneutraler Wärme, der gleichzeitig zur Erreichung individueller und kommunaler Klimaschutzziele beiträgt.

12 Evaluierung des transdisziplinären Ansatzes im GECKO Projekt

Im Forschungsdesign mit angelegt war auch eine reflektive und evaluierende Begleitung des transdisziplinären Ansatzes und der daraus entwickelten Erkenntnisse. Dies sollte einerseits formativ, also den Forschungsprozess begleitend, der Unterstützung der Prozessgestaltung und andererseits summativ zur Bewertung von Ergebnissen dienen. Zu diesem Zweck wurden unterschiedliche Reflexions- und Evaluationsmethoden kombiniert. Zum einen wurden in dem im Vorhaben durchgeführten Workshops zumindest in Teilen eine systematische teilnehmende Beobachtung durchgeführt sowie das Feedback der Teilnehmenden in allen Workshops eingeholt. Zum anderen wurde gegen Ende des Vorhabens der gesamte Prozess mittels eines Web-Surveys seitens des Projektteams als auch der Praxisakteure (Workshop-Teilnehmende) reflektiert und evaluiert (Versand im Januar 2022, Rücklauf bis Anfang Februar). Das Projektteam hat die Ergebnisse der Umfragen (Web-Surveys) diskutiert, und Erkenntnisse daraus sind in die Handlungsempfehlungen eingegangen.

Die Entwicklung der Evaluationskriterien und -fragen für die Web-Surveys orientierte sich an dem Evalunet-Leitfaden zur Evaluation transdisziplinärer Projekte nach Bergmann et al. (2005) und an den in GECKO formulierten Zielen, den zu erwartenden Produkten und Meilensteinen (siehe Teilprojektanträge). Es wurden auch Fragen an die Qualität, Gestaltung, Kommunikation und das Projektmanagement formuliert. Die Web-Surveys fokussierten folglich auf die Bewertung des transdisziplinären Ansatzes, wie er in GECKO umgesetzt wurde. Hierbei unterschieden sich die Web-Surveys leicht voneinander, d.h. die Praxisakteure (Workshop-Teilnehmenden) erhielten eine gekürzte und angepasste Fassung mit dem Fokus auf die Umsetzung der Workshops sowie die entwickelten Produkte und zu erwartenden bzw. schon vorliegenden Ergebnissen und den Mehrwert des transdisziplinären Ansatzes generell. Das Projektteam beantwortete darüber hinaus Fragen zur internen Projektumsetzung, d.h. zur Arbeitsplanung und Teamzusammenarbeit, zur Integration unterschiedlicher Wissensbestände sowie zu Reflexion und Kommunikation.

Ziele der Reflexion und Evaluation waren sowohl die Umsetzung des transdisziplinären Forschungsprozesses zu bewerten als auch die Erkenntnisse daraus in die Handlungsempfehlungen für ein Umsetzungskonzept einzuspeisen.

12.1 Umsetzung der Evaluationsmethoden

Aufgrund der pandemischen Lage und der damit einhergehenden Notwendigkeit, die Workshops als Online-Formate durchzuführen, wurde für die Umsetzung der Reflexion und Evaluation sowohl für die Feedbackrunden am Ende jedes Workshops als auch für die Befragung gegen Ende des Vorhabens mit digitalen Werkzeugen gearbeitet. Der Durchschnitt der Teilnahme an den am Ende jedes Workshops durchgeführten Feedbackrunden lag bei 71%. Die höchste Beteiligung konnte am KIT-Workshop sowie am Reflexionsworkshop mit jeweils etwa 80% verzeichnet werden. Dies kann auf die Zusammensetzung der Teilnehmenden zurückgeführt werden, mit mehr Erfahrung im Umgang mit diesen Formaten bei den KIT-Angehörigen als bei den teilnehmenden Bürger*innen und Stakeholdern des Kriterien- und des Szenarien-Workshops. Gestützt wird diese These durch den Bedarf einer intensiveren technischen Einführung bei den Bürger*innen-Workshops und der dort häufiger auftretenden technischen Schwierigkeiten.

Für die Web-Surveys gegen Ende des Vorhabens wurden fast alle Teilnehmenden der Workshops³ sowie das Projektteam angeschrieben und um ihre Teilnahme gebeten. Die Rücklaufquote für die interne Evaluation lag bei 100%, wovon 89% den Fragebogen vollständig ausgefüllt haben. Bei den teilnehmenden Praxisakteuren (KIT-Wissenschaftler*innen, Bürger*innen und Stakeholder, Expert*innen der Praxis) lag der Rücklauf bei 52%, allerdings gab es hier eine hohe Abbruchquote, weshalb der verwertbare Rücklauf bei 26,5% liegt. Dennoch ergibt sich aus dem verwertbaren Rücklauf des Web-Surveys der Praxisakteure ein recht gutes Abbild der Teilnehmenden der Workshops, wie die Abfrage zu den demographischen Daten zeigt (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14): So haben sowohl Wissenschaftler*innen des KIT (ca. ein Drittel der Teilnehmenden) teilgenommen als auch Bürger*innen und Stakeholder (ca. zwei Drittel der Teilnehmenden). Es haben deutlich mehr Männer als Frauen⁴ teilgenommen, was aber durchaus auch anteilig den Teilnehmenden der Workshops entspricht. Die Altersspanne reichte von der jüngeren Generation mit Teilnehmenden unter 30 Jahren bis hin zu Teilnehmenden höheren Alters, über 65 Jahren.

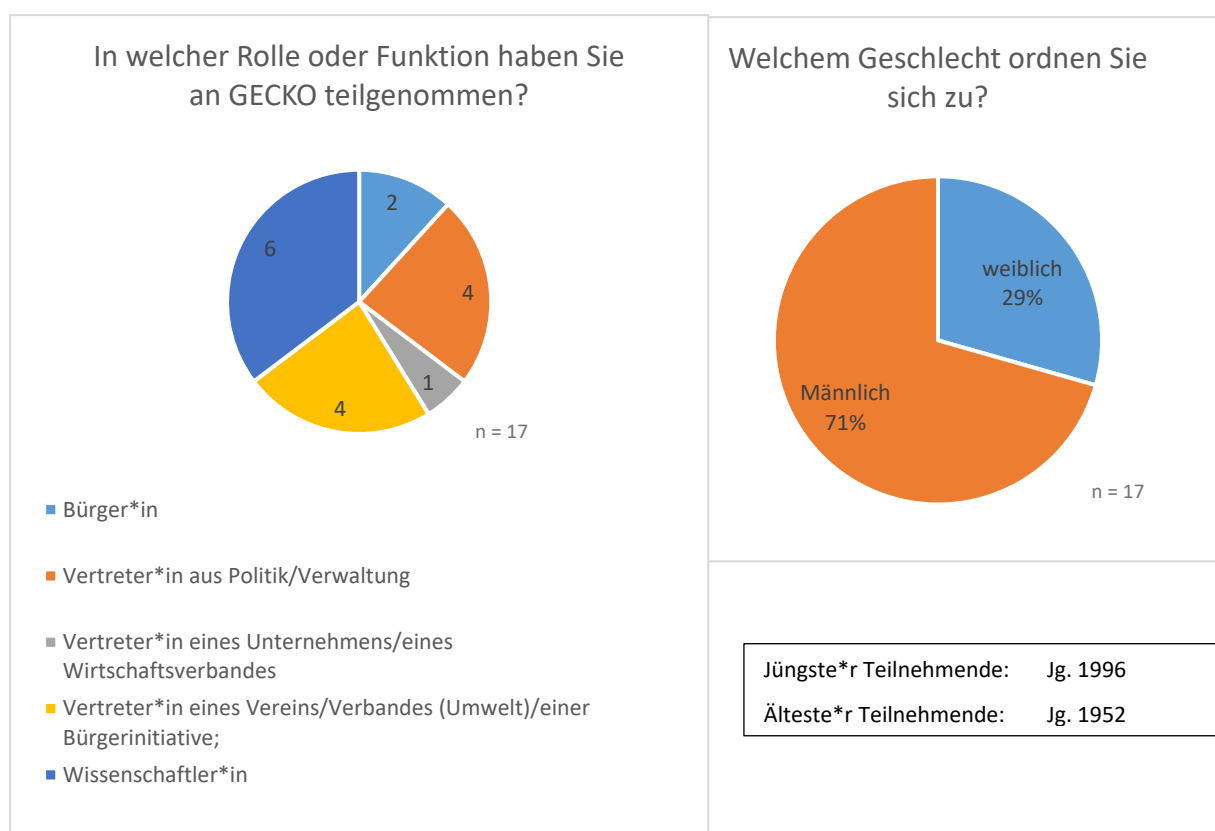


Abbildung 13: Demografische Angaben der teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys (n=17)

Die Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtung werden hier nicht angeführt, sondern zusammenfassend in Kapitel 12.3 dargestellt. Die teilnehmende Beobachtung erfolgte im Bürger*innen-Kriterien-Workshop sowie im Reflexions-Workshop. Der KIT-Workshop war nicht separat einer Beobachtung unterzogen worden. Nach allen Workshops fand jedoch eine kurze Reflexion des Verlaufs im Projektteam statt.

³ Ausgenommen waren nur diejenigen, die einer Weitergabe der Kontaktdaten (innerhalb des Projektteams von TP 2 an TP 3) nicht zugestimmt haben.

⁴ Es gab auch die Möglichkeit „divers“ anzugeben, diese wurde jedoch nicht gewählt.

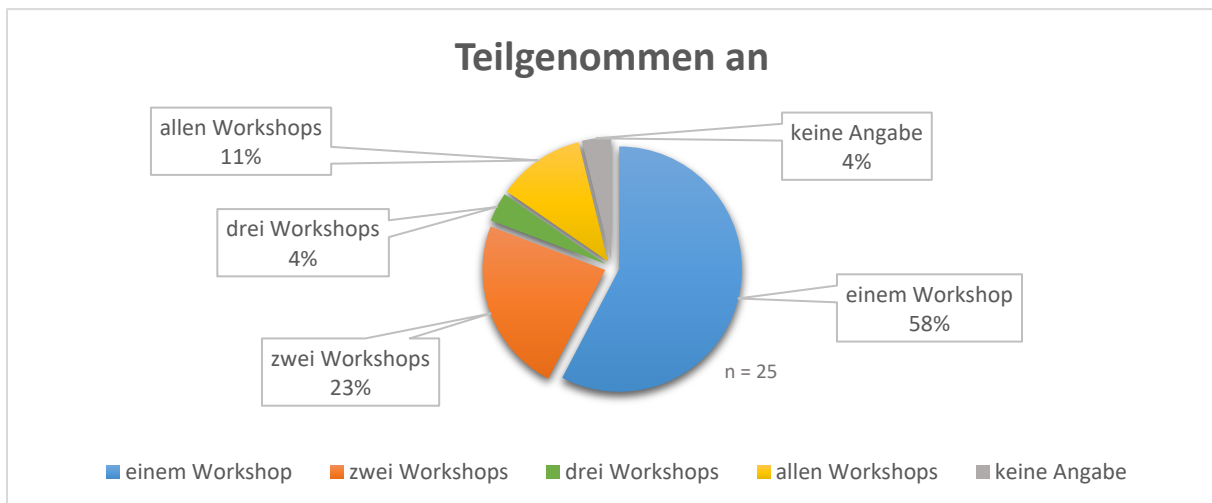


Abbildung 14: Workshop-Teilnahme(n) der teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys (n=25)

12.2 Ergebniszusammenstellung der Evaluation

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Web-Surveys themenbezogen dargestellt. Hierbei werden jeweils sowohl Ergebnisse des internen Web-Survey als auch des Web-Surveys der an die teilnehmenden Praxisakteure versandt worden war analysiert. Sofern weitere Hinweise im jeweiligen Feedback direkt zu den Workshops thematisch darauf Bezug nehmen, sind auch diese eingearbeitet, ebenfalls die Ergebnisse aus der internen Reflexion und den Beobachtungsbögen.

12.2.1 Bewertung der internen Zusammenarbeit

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Vorhaben wurde in der internen Umfrage vom Projektteam einheitlich als gut bis teilweise gut gelungen bewertet. Verbesserungspotential wurde beispielsweise in der inhaltlichen Verständigung untereinander gesehen, die durch noch stärkeren fachlichen und argumentativen Austausch zwischen den Disziplinen und häufigere Präsenztreffen gefördert werden könnte. Inhaltlich sollte diese Verständigung auf theoretische Hintergründe und Methoden fokussieren, beispielsweise in Form von inhaltlich-fachlichen Sitzungen. Des Weiteren sollte frühzeitig eine Vorabstimmung zur Klärung konkreter Aufgabenstellungen und zur Rollenverteilung erfolgen. Zudem kann die Effizienz der Arbeitsplanung gestärkt werden, indem frühzeitig eine gemeinsame Verständigung über die Ziele sowie die zu erwartenden Ergebnisse erfolgt und hierauf basierend eine gemeinsame Arbeitsplanung zugrunde gelegt wird. Dies ist in Teilen in GECKO geschehen, jedoch könnte dies noch systematischer und stringenter angelegt sein, mit einer regelmäßigen Reflexion, um Anpassungsbedarfe bzw. Abweichungen zu erkennen und Maßnahmen ergreifen zu können. Hieraus ergibt sich, dass Zeit und Ressourcen für mögliche konzeptionelle Änderungen vorgehalten werden sollten. Eine weitere Möglichkeit die Effizienz zu steigern bzw. zeitliche Ressourcen zu schonen könnte sein, kleinere Teilaufgaben stärker in Kleingruppen vorzubereiten und dann erst im Gesamtprojektteam zu diskutieren. Es zeigte sich auch, dass eine zeitliche Strukturierung der Sitzungen inklusive Zeitwächter und strikter Moderation sinnvoll in inter- und transdisziplinären Projektzusammenhängen ist.

Es zeigte sich zudem, dass zur Vorbereitung der transdisziplinären Workshops ein gemeinsames Verständnis über die Ziele und den Zweck der Kollaboration mit Praxisakteuren

sowie der einzelnen Elemente erforderlich ist. Hierfür sollten in heteroregneten bzw. interdisziplinären Projektteams frühzeitig Erwartungen geklärt und Aufgabenteilung sowie klare Zuständigkeiten festgelegt werden.

Aufgrund der Corona-Pandemie erfolgte die Projektkommunikation und -zusammenarbeit im Wesentlichen über E-Mail und Video-Konferenzen. Diese Kommunikationsformen erwiesen sich als geeignet, um kontroverse Themen zu bearbeiten und die Zusammenarbeit zu verbessern. Gleichzeitig ist zu beachten, dass hierfür kürzere, dafür aber häufigere Meetings stattfinden müssen sowie die iterative Bearbeitung von Dokumenten, um in den Arbeitsergebnissen ein Niveau zu erreichen, wie das für ein Präsenzmeeting angenommen werden könnte. Unterstützen können hier gemeinsam erarbeitete Kommunikationsregeln sowie eine Moderation, die stärker darauf achtet, dass Aufgaben frühzeitig eindeutig definiert und die Rollenverteilungen im Gesamtprojektteam für diese Aufgaben klar sind sowie dass eine zielgenaue Zeitplanung erstellt und eingehalten bzw. an neue Gegebenheiten angepasst wird. Präsenzmeetings (sowohl mit Externen als auch nur interne Arbeitsmeetings) in regelmäßigen Abständen sind ergänzend sinnvoll und notwendig, konnten in GECKO jedoch nur zu Beginn des Projektes (vor der Pandemie) durchgeführt werden. Durch eine hybride Umsetzung von regelmäßigen Projektteamtreffen kann die interdisziplinäre Verständigung verbessert und damit das gegenseitige Vertrauen im Projektteam untereinander gestärkt werden.

Regelmäßige Reflexion zur Zusammenarbeit aber auch zum Arbeitsstand und den anvisierten Zielen ist erforderlich, um das Vorhaben bzw. den Vorhabenverlauf nachjustieren zu können. Auch ist von Bedeutung ein Integrationskonzept zur Integration unterschiedlicher Wissensbestände zu entwickeln, d.h. auf interdisziplinärer Ebene die Integration und Verknüpfung unterschiedlicher disziplinärer Perspektiven und auf transdisziplinärer Ebene die Integration von Erfahrungswissen in den Forschungsprozess, also die Verknüpfung zwischen wissenschaftlichem und Praxiswissen.

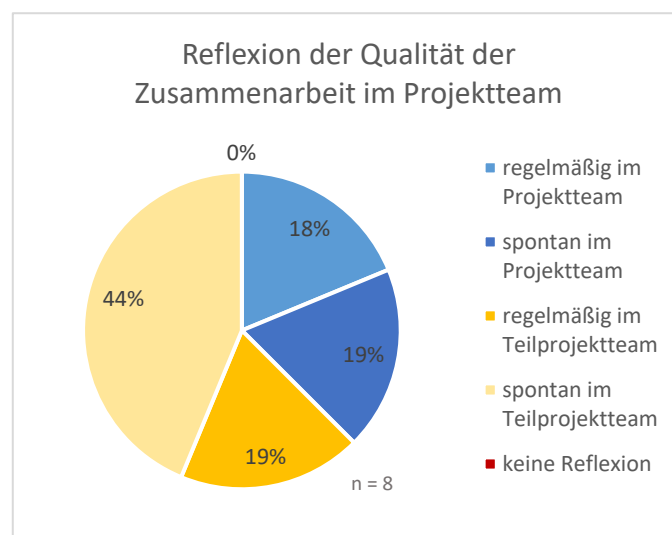


Abbildung 15: Umsetzung von Reflexionsformaten im Vorhabenverlauf (interner Web-Survey) (n=8)

In GECKO zeigte sich, dass es den Bedarf einer regelmäßigen internen Reflexion zur Integration neuer Erkenntnisse gab, dieser aber nicht systematisch erfolgen konnte. Begründet ist dies darin, dass weder Kapazitäten dafür vorgesehen waren noch zusätzliche Kapazitäten ausgeschöpft werden konnten, da sich an anderen Stellen schon zusätzliche Bedarfe zeigten,

die die vorhandenen Kapazitäten voll in Anspruch nahmen, wie z.B. in der Vorbereitung der Workshops und der Entwicklung der Szenarien. Die Reflexion zur Qualität der Zusammenarbeit fand in erster Linie innerhalb der Teilprojektteams statt. Eine regelmäßige Reflexion im Gesamtprojektteam zur stetigen Verbesserung der Zusammenarbeit im Vorhaben wäre wünschenswert. Denkbar wären hierfür Formate, die regelmäßig als Teil der Jour Fixes etabliert oder nach einem Jahr oder der Halbzeit des Vorhabens anberaumt werden könnten. Die Ergebnisse dieser Reflexionsprozesse sollten in die Projektarbeit einfließen, indem gemeinsam beispielsweise Handlungsleitfäden erstellt oder Maßnahmen abgeleitet werden, die dann im weiteren Vorhabenverlauf umgesetzt werden sollen. Wichtig ist hierbei ein gemeinsames Verständnis über die jeweilige Bedeutung und Relevanz der einzelnen Maßnahmen.

12.2.2 Ergebnisse aus den Beobachtungen während der Workshops

Die Beobachtungen der Workshops ergaben durchgängig eine gute bis sehr gute Interaktion zwischen den Teilnehmenden. In der Kleingruppenarbeit herrschte allgemein eine gute Stimmung mit interessierten und angeregten Diskussionen. Einzig im Reflexionsworkshop war die Diskussionsbereitschaft zunächst etwas zurückhaltender und beschränkte sich anfänglich auf Rückfragen und Zustimmung entwickelte sich aber im Laufe der Veranstaltung zu einer angeregten Diskussion mit Ideen für die Umsetzung.

Ruhigere Teilnehmende konnten von der Moderation in der Regel gut zur Teilnahme ermutigt werden und in den meisten Fällen haben die Teilnehmenden selbst aufeinander Bezug genommen. Es konnte insgesamt ein respektvoller Umgang der Teilnehmenden untereinander beobachtet werden

Dies deckt sich mit den Antworten des Web-Surveys zur Frage nach dem Gesamtprozess und der Teilnahmebereitschaft an ähnlichen Veranstaltungen. Der Gesamtprozess wurde von den Praxisakteuren positiv bewertet und eindeutig eine Empfehlung zur Teilnahme an einem solchen Forschungsprojekt ausgesprochen (Abbildung 16).

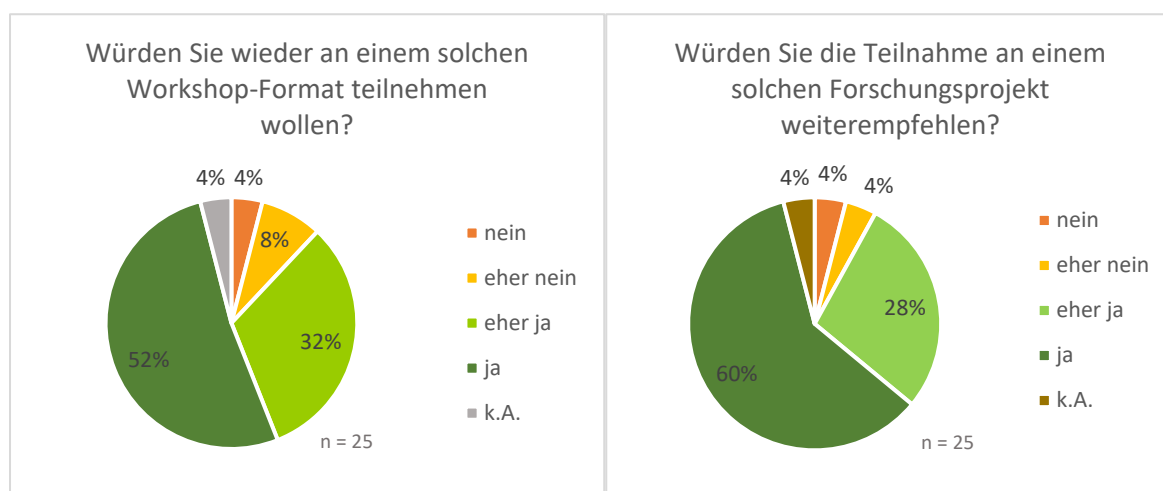


Abbildung 16: Bewertung des Gesamtprozesses seitens der durch die teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys (n=25)

12.2.3 Bewertung der Projektziele

Folgende Ziele des Vorhabens wurden in den Teilvorhabenanträgen formuliert und deren Erreichen wurde sowohl intern als auch durch die Praxisakteure beurteilt, soweit möglich⁵ (siehe Abbildung 14 und 15):

- a. Einbindung der Bürger*innen und Stakeholder
- b. inter- und transdisziplinäre Entwicklung von Kriterien und Szenarien für ein Umsetzungskonzept für die Tiefengeothermie am KIT/Campus Nord
- c. Identifikation von Gelingensbedingungen für die Nutzung der Geothermie
- d. Bewirtschaftungskonzept zur umweltverträglichen Nutzung von Geothermie in einem technischen Konzept erarbeitet und Handlungsempfehlungen
- e. Handlungsempfehlungen für ein Umsetzungskonzept

Das Erreichen der Ziele a) und b) wurde sowohl vom Projektteam als auch von den teilnehmenden Praxisakteuren von der Mehrheit als sehr gut oder gut gelungen bewertet (Abbildung 17 und Abbildung 18). Die kollaborative Entwicklung der Kriterien wurde von den Praxisakteuren als besser gelungen bewertet als die der Szenarien.

Die mehrheitlich positive Einschätzung der Bürger*innen und Stakeholder zum Erreichen des Ziels e) Entwicklung von Handlungsempfehlungen unterscheidet sich deutlich von der Einschätzung des Projektteams. Die finalen Handlungsempfehlungen lagen zum Zeitpunkt der Web-Surveys noch nicht vor, jedoch kann diese Einschätzung darauf zurückgeführt werden, dass der Reflexionsworkshop und die dortige Diskussion von Empfehlungen aus dem Szenarien-Workshop bei den Praxisakteuren positiv wahrgenommen wurden.

Die Ziele c) und d) schienen für eine Abfrage bei den Praxisakteuren als nicht passend bzw. zu komplex, insbesondere, weil diese nicht im Fokus der transdisziplinären Bearbeitung standen. Daher wurde keine Einschätzung zu diesen Projektzielen abgefragt. Das Projektteam schätzt bezüglich der Projektziele das Erreichen zwar als gut ein, erkennt aber zum Zeitpunkt der Abfrage noch Bearbeitungsbedarfe (Abbildung 17).

⁵ Hier gab es im Web-Survey für die Praxisakteure eine sprachliche Anpassung und Fokussierung auf vier (Teil-) Ziele. und zwar: a) Einbindung von Bürger*innen und Stakeholdern, b) Entwicklung von Kriterien in Zusammenarbeit von wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Akteuren, c) Entwicklung von Szenarien in Zusammenarbeit von wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Akteuren und d) Handlungsempfehlungen für ein Umsetzungskonzept.

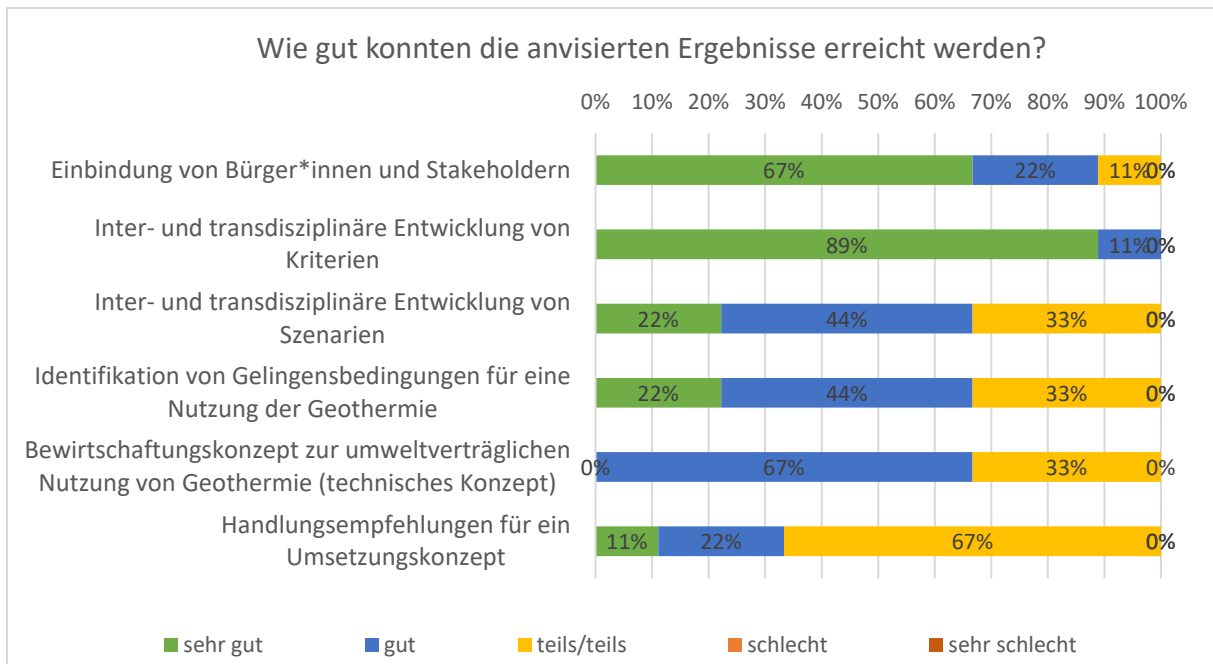


Abbildung 17: Interne Bewertung des Erreichens der anvisierten Ergebnisse (n=9)

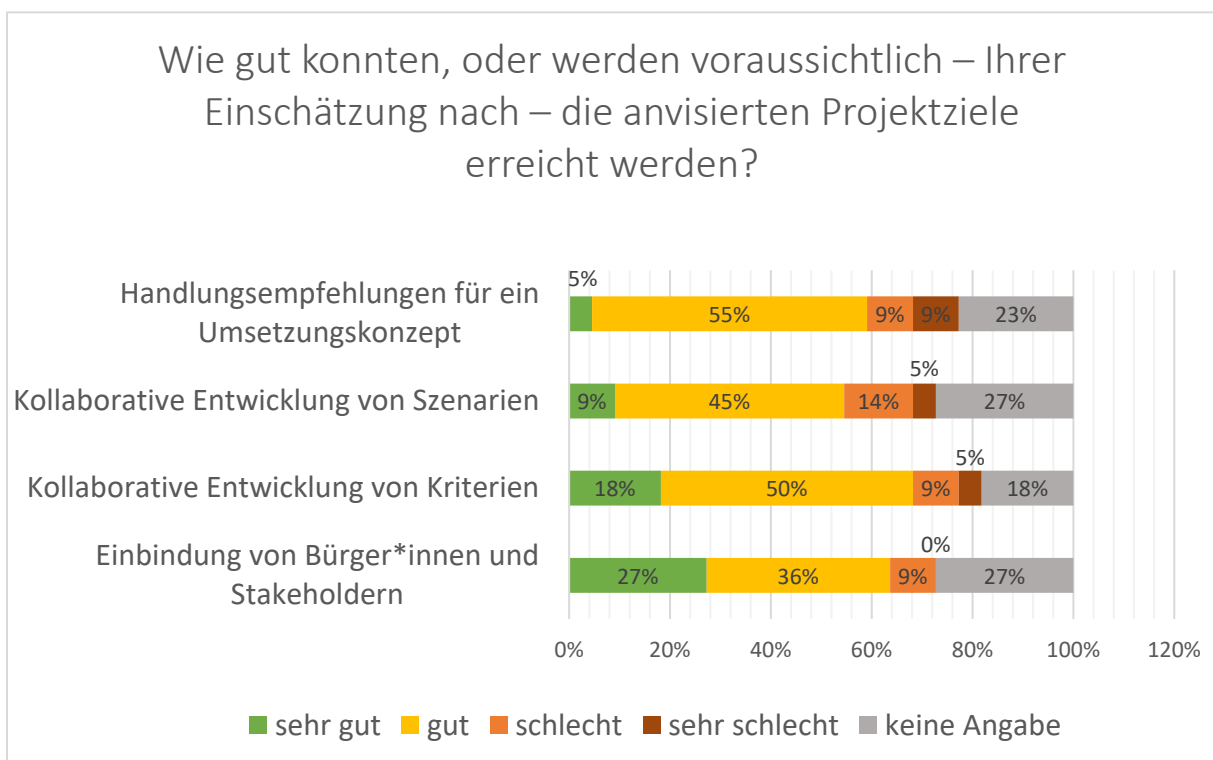


Abbildung 18: Einschätzung zum Erreichen der Projektziele durch die teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys (n=22)

12.2.4 Bewertung der Workshopdurchführung

Insgesamt war der Gesamteindruck der einzelnen Workshops bei den Teilnehmenden gut bis sehr gut. Auch die Bewertungskriterien zu Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit wurden von den Teilnehmenden in den Workshops sehr positiv bewertet. Das Feedback nach den einzelnen Workshops machte neben einer systematisierten Abfrage auch eine offene Kommentierung möglich. Dabei kristallisierten sich verschiedene Wünsche an die konkrete Einbindung der Bürger*innen und Stakeholder im Vorhaben heraus, die sich zum großen Teil

auch im Web-Survey wiederfinden. Darunter fallen Wünsche zur Befähigung zur Mitsprache, wie beispielsweise der Wunsch nach mehr fachlicher Information, nach verständlicher Sprache oder nach kurzen, vorbereitenden Informationen zu den Fragestellungen im Workshop bzw. der Ausweisung von Informationsquellen zum Thema und allgemein mehr Öffentlichkeitsarbeit. Die offene Kommunikation wurde hervorgehoben und ein Teil der Teilnehmenden wünscht sich klarere, transparente Ziele für die Workshops und ein stringentes, zielgerichtetes Erarbeiten derselben. Außerdem wurde die Relevanz der Interaktion mit und zwischen den Bürger*innen in den Workshops betont und gewünscht, dass die Rolle aller Teilnehmenden transparent ist. Neben den technisch-fachlichen Expert*innen der Forschungseinrichtung wäre zudem die Beteiligung weiterer Akteure wie beispielsweise Industrievertreter*innen und Expert*innen, die Aussagen zu den möglichen ökologischen und ethischen Risiken treffen können, wünschenswert. Bei der Erstellung von Handlungsempfehlungen für ein Umsetzungskonzept wird gewünscht, dass der lokale Kontext stärker Berücksichtigung findet. Der Vergleich mit bzw. ein Lernen von Beteiligungsprojekten anderer Großinfrastrukturvorhaben wird als eine thematisch-inhaltliche Vertiefung vorgeschlagen, um den Diskurs zu verbessern.

Ob die kollaborative Entwicklung von Kriterien oder Szenarien jeweils in der erforderlichen Detailtiefe ausgearbeitet wurden, wurde intern und extern völlig verschieden wahrgenommen. Während das Projektteam die Detailtiefe bei der Entwicklung der Szenarien als deutlich weniger gut als die der Kriterien einstuft, ist es bei der Bewertung durch die Bürger*innen und Stakeholder umgekehrt. Dies könnte ggf. an einer nicht eindeutigen Formulierung im Web-Survey bzw. fehlenden Erläuterung zur Einordnung der einzelnen Prozessschritte im Web-Survey zurückzuführen sein.

12.2.5 Bewertung der Produkte und Ergebnisse

Produkte des Vorhabens waren die Website sowie Publikationen in wissenschaftlichen Journals, sonstige veröffentlichte Dokumente, wie beispielsweise Projektberichte und Workshop-Dokumentationen sowie Vorträge auf einschlägigen Fachkonferenzen. Zielgruppen für die Produkte waren insbesondere Wissenschaftler*innen aber auch Praxisakteure, wie z. B. Entscheidungsträger*innen, Interessenvertreter*innen und Bürger*innen.

Den Praxisakteuren waren vor allem die Workshop-Dokumentationen bekannt (Abbildung 19). Doch auch wissenschaftlichen Vorträge sind von knapp der Hälfte der Teilnehmenden wahrgenommen worden. Weniger bekannt waren hingegen die wissenschaftlichen Studien und Analysen sowie Projektberichte. Der Bekanntheitsgrad der Website wurde nicht abgefragt.

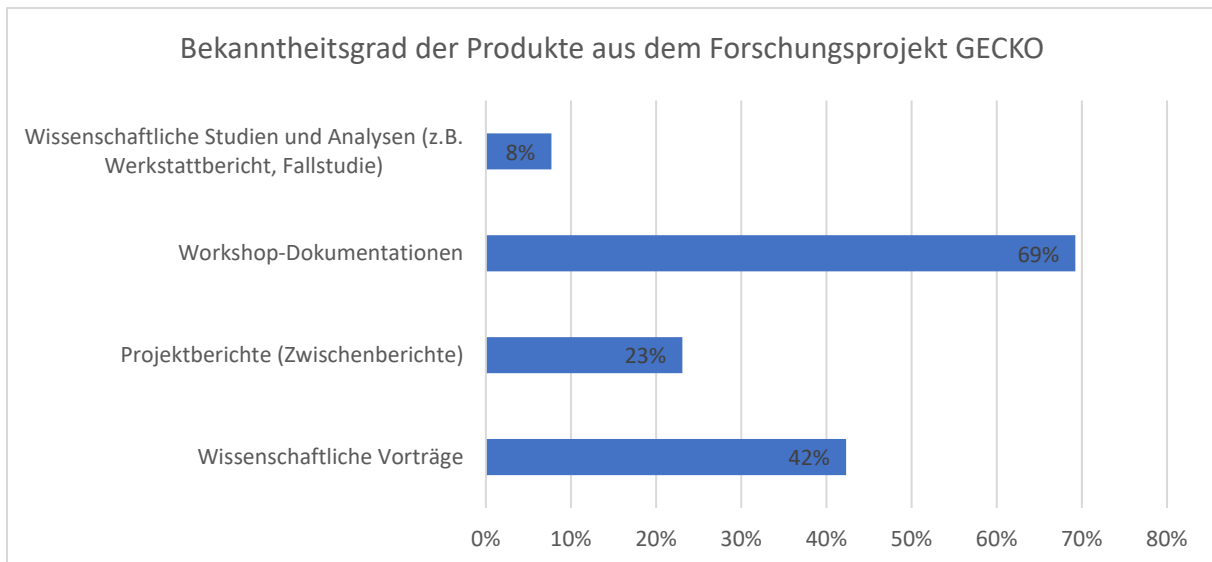


Abbildung 19: Bekanntheitsgrad der Produkte unter den teilnehmenden Praxisakteuren des Web-Surveys (n=26)

Das Projektteam verfolgte mit den diversen Produkten unterschiedliche Ziele: Erstens sollten der Forschungsprozess wie auch die Zwischenergebnisse möglichst transparent dargestellt werden. Zweitens sollte insbesondere die Homepage dazu dienen das Interesse für das Forschungsprojekt zu wecken und gleichzeitig sachliche und allgemeinverständliche Information zur Geothermie und dem transdisziplinären Forschungsansatz liefern. Die Informationen sollten außerdem die teilnehmenden Praxisakteure in ihrer aktiven Teilnahme am Forschungsprozess unterstützen. Drittens sollte über Publikationen und Vorträge auch die wissenschaftliche Fachcommunity adressiert werden und damit einen Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs geleistet werden. Zusätzlich wünschen sich die teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys, dass das Vorhaben als Vorzeigeprojekt fungiert und über die Produkte Außenwirkung entwickelt. Dabei wird betont, dass es besonders wichtig sei, dass sich die erarbeiteten Handlungsempfehlungen an der Praxis orientieren und anwendbar sind. Inhaltlich könnte deutlicher und konkreter auf die Evaluation der Vorhaben bezüglich Ökonomie und Ökologie – im Besonderen die CO₂-Einsparung – eingegangen und der erreichte Erkenntnisgewinn hervorgehoben werden.

Die Veröffentlichungen und Produkte befriedigen nur zum Teil die Erwartungen und Bedarfe der teilnehmenden Praxisakteure (Abbildung 20). Die Diversität der Zielgruppen kann hierfür eine Erklärung sein. Eine differenziertere Abfrage mit Zuordnung einzelner Akteursgruppen zu Produkten hätte hier möglicherweise mehr Klarheit verschaffen können. Eine Abschätzung von Mehrwert und Aufwand einer solchen Abfrage schienen uns an dieser Stelle jedoch nicht gerechtfertigt. Die Qualität wird jedoch mehrheitlich mit gut bewertet. Die Verständlichkeit der Workshopdokumentationen wurde besonders positiv hervorgehoben. Bei den wissenschaftlichen Vorträgen und den Workshopdokumentationen wird teilweise der Neuigkeitswert als gering erachtet. Auch die Relevanz der Produkte für die praktische Umsetzung wird nicht immer gesehen (Abbildung 21).

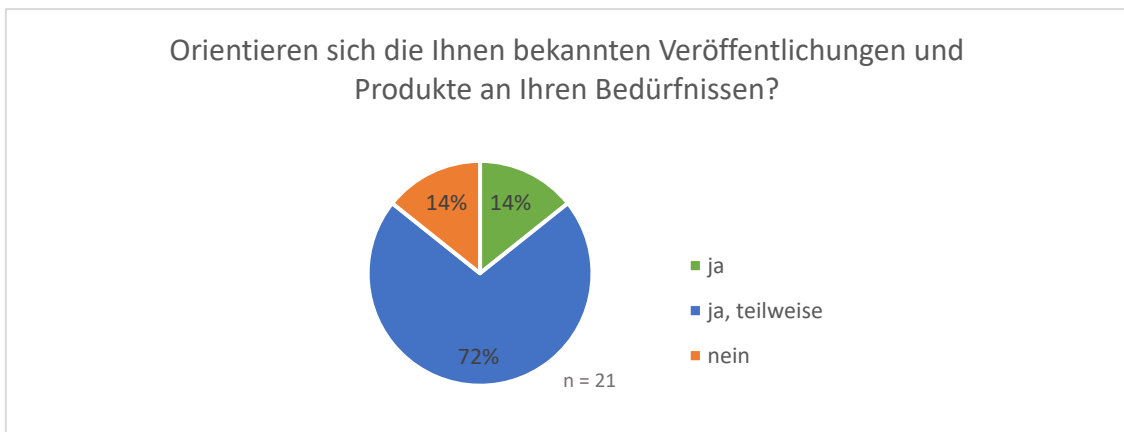


Abbildung 20: Bewertung der Passgenauigkeit der Produkte und Veröffentlichungen zu den eigenen Bedürfnissen durch die teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys (n=21)

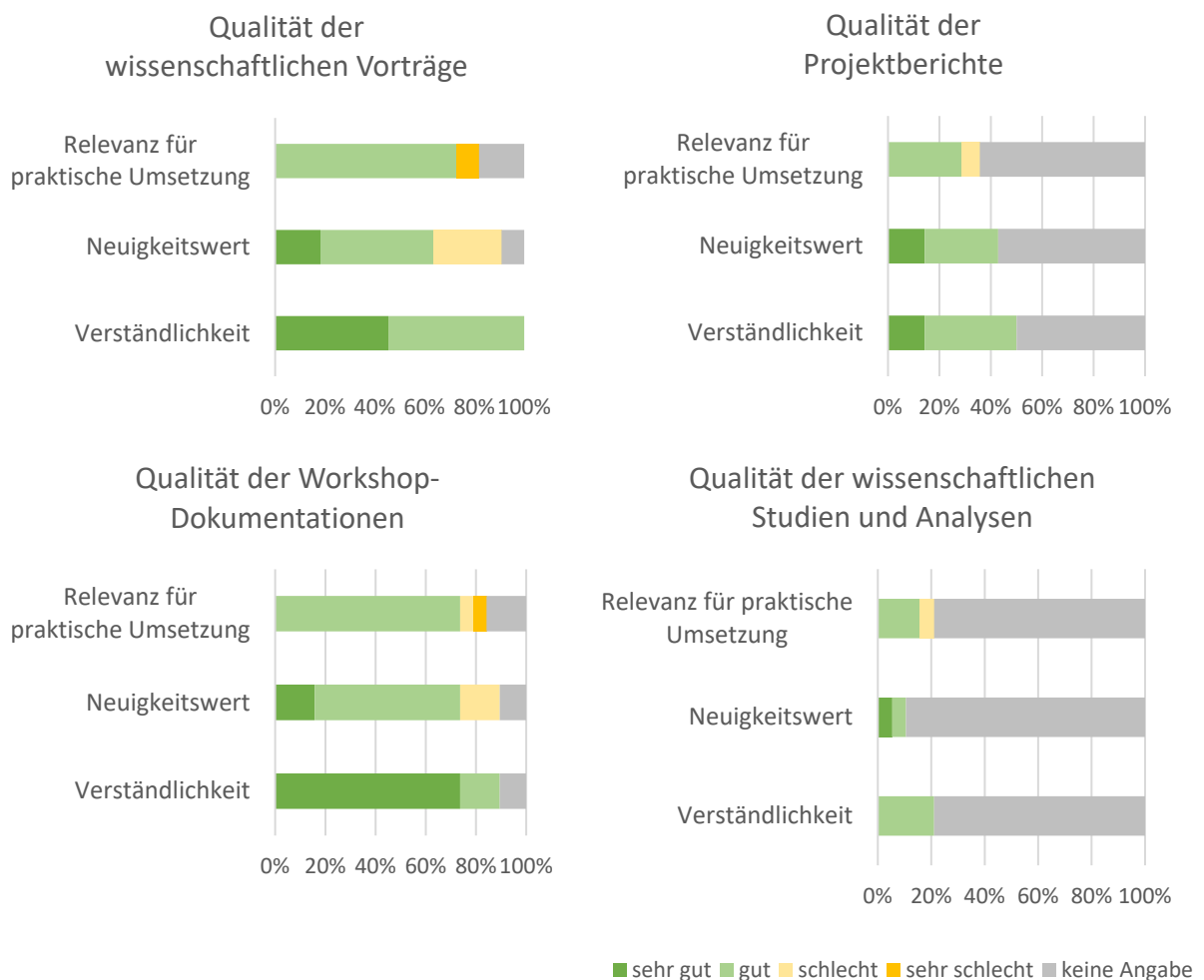


Abbildung 21: Bewertung der einzelnen Produkte durch die teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys (n=21)

Seitens des Projektteams wurde den Produkten durchweg eine hohe bis sehr hohe wissenschaftliche Qualität bescheinigt. Auch die praktische Relevanz schätzt das Projektteam selbst bei allen ihren Produkten als gut bis sehr gut ein. Einzig bei den Vorträgen auf einschlägigen Fachkonferenzen wird der praktische Nutzen nicht so hoch eingeschätzt. Als

Wünsche für zukünftige Produkte wurden von den teilnehmenden Praxisakteuren des Web-Surveys mehr Visualisierungen sowie einfache Texte, mit zusammengefassten, prägnanten Inhalten angegeben. Ideen für eine höhere Wahrnehmung wären niederschwellige Produkte wie bspw. Flyer, Instagram- oder Twitter-Posts oder auch kleine Erklär-Videos, die in die Homepage eingebunden werden könnten.

12.2.6 Einschätzung zur Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf ähnliche Vorhaben

Der methodische Forschungsansatz wurde seitens der Bürger*innen und Stakeholder des Szenarien-Workshops als gelungen bis sehr gelungen eingeschätzt. Das Projektteam befand die Transparenz und Nachvollziehbarkeit des methodischen Forschungsansatzes ebenfalls als gelungen. Exemplarische Aussagen aus einem anonymen Feedback zum Ende des Szenarien-Workshops verdeutlichen dies (Abbildung 22).

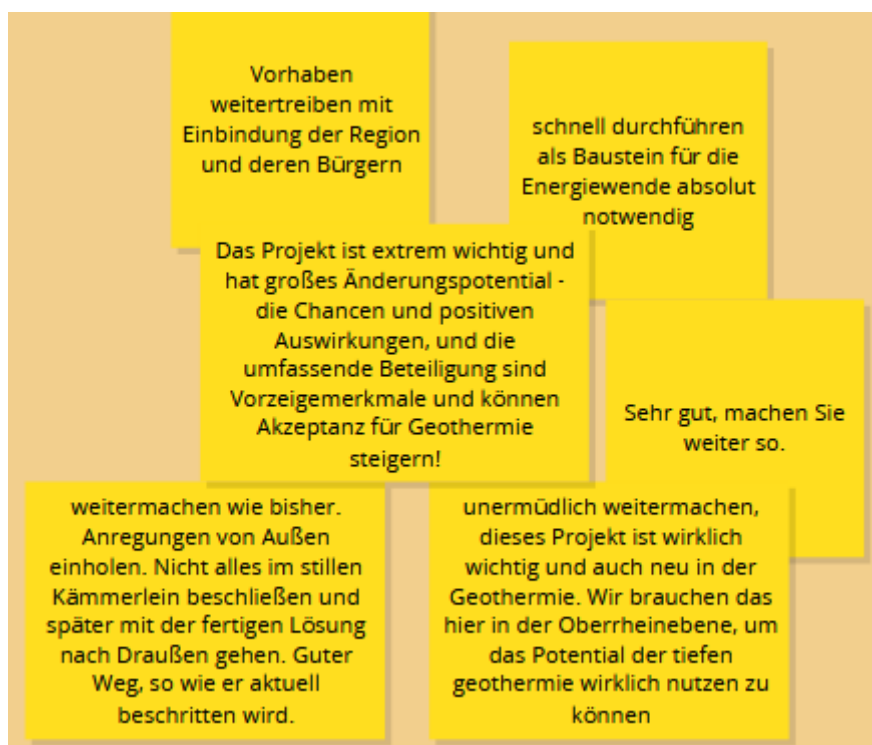


Abbildung 22: Rückmeldungen zum methodischen Ansatz im anonymen Feedback (offene Frage) nach dem Szenarien-Workshop

Auf die Frage, ob der methodische Ansatz und die Art der Umsetzung (des Forschungsprozesses) auf andere Vorhaben übertragen werden kann antworteten die teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys mehrheitlich mit ja oder ja, teilweise. Sowohl die Bürger*innen und Stakeholdern als auch das Projektteam sehen zwar nur eine bedingte Übertragbarkeit des technischen Umsetzungskonzeptes, bewerten aber einen möglichen Transfer der Methoden zur Entwicklung soziotechnischer Kriterien für die Umsetzung ebenso wie die kollaborative Erarbeitung von Szenarien, aus denen Gelingenbedingungen hervorgehen, als potenziell übertragbar.

In Bezug auf den transdisziplinären Ansatz des Vorhabens sehen die teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys die größte Herausforderung darin, trotz der Wissensdifferenz zwischen den Forschenden und den Praxisakteuren eine Einbindung auf Augenhöhe zu bewerkstelligen. In diesem Zusammenhang entsteht der Anspruch, Fakten objektiv, transparent, plausibel und umfassend sowie faktentreu darzustellen. Gleichzeitig solle die

Verhältnismäßigkeit der verschiedenen Aspekte eines Vorhabens abgewogen werden. Herausforderungen in der Umsetzung eines Vorhabens könnten auch auf vorhandene Ängste, Vorurteile oder Kritik hinsichtlich der Objektivität der Forschungsergebnisse zurückzuführen sein.

Das Projektteam sieht hingegen die Hauptherausforderung hinsichtlich Übertragbarkeit auf ein anderes Vorhaben im Zeitaufwand für den inter- und transdisziplinären Ansatz. Effizienz und Zeitmanagement sind einerseits wichtig, andererseits braucht es ausreichend Zeit für Abstimmungsprozesse und Flexibilität hinsichtlich notwendig werdender Anpassungsbedarfe. Interdisziplinäre Kommunikation ist kein Selbstläufer. Sie muss gelernt werden. Die kollaborative Entwicklung von Kriterien und Szenarien benötigt zudem zeitweise einen hohen Ressourcenaufwand. Außerdem ist für die Durchführung hochqualifiziertes Personal vonnöten. Auch die qualitative Auswertung der kollaborativen Arbeit ist zeit- und ressourcenaufwändig, die Quantifizierung der Ergebnisse herausfordernd.

Zur Verbesserung der Übertragbarkeit könnte basierend auf den Erfahrungen des Vorhabens GECKO ein für Projektierer handhabbarer Ansatz entwickelt werden, indem verallgemeinerbare Aspekte zusammengeführt und praxisorientiert aufbereitet werden. Auch weitere Workshops mit Vertreter*innen der Energiewirtschaft und anderen Sektoren wären denkbar, um vorhandene Spielräume und Grenzen auszuloten und diese in das Umsetzungskonzept zu übertragen.

12.2.7 Einordnung der Ergebnisse in den Vorhabenprozess bzw. darüber hinaus

Einig waren sich alle Teilnehmenden an den Umfragen, dass der transdisziplinäre Ansatz zu einem besseren Verständnis der Sachverhalte führt, wie die Antworten auf die, offen zu beantwortende, Frage zeigen: „Welcher Zusatznutzen wird aus Ihrer Perspektive durch die Einbindung von Stakeholdern und Bürger*innen in den Forschungsprozess gegenüber einem sozio-technischen (interdisziplinären) Forschungsansatz generiert?“ (Abbildung 23 und Abbildung 24). Bürger*innen und Stakeholder bekommen einen umfassenderen Einblick in die fachlichen Zusammenhänge eines Tiefen Geothermie-Vorhabens und der damit verbundenen Auswirkungen. Dieser Wissenszugewinn führt zu einer Befähigung der Bürger*innen und Stakeholder sich in der Planung und Umsetzung zu beteiligen. Durch den transdisziplinären Ansatz von GECKO werden gesellschaftliche Anliegen, Sorgen und der mögliche Informationsbedarf hinsichtlich des Verfahrens transparent. Dies ist bei der Erstellung des technischen Konzepts und dem damit einhergehenden Sicherheitskonzept wertvoll, wenngleich die Erkenntnisse aus der transdisziplinären Arbeit abhängig vom Kreis der beteiligten Akteure sind. Gegebenenfalls ist es sinnvoll, die Relevanz und Robustheit der Ergebnisse, beispielsweise über Vergleichsstudien, zu verifizieren. Außerdem können die Ergebnisse der Workshops für die Öffentlichkeitsarbeit des Vorhabens von Nutzen sein, da zielgenauer auf Bedürfnisse und konkrete Fragen eingegangen werden kann.

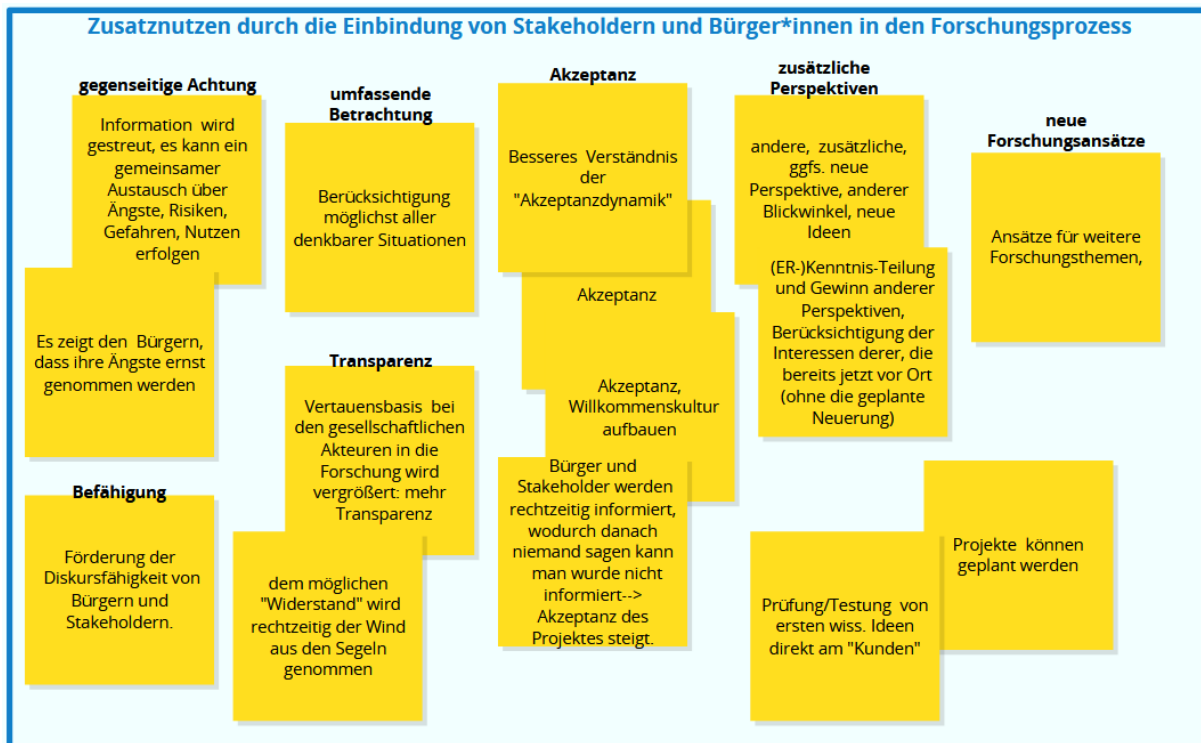


Abbildung 23: Zusatznutzen des transdisziplinären Ansatzes aus Sicht der teilnehmenden Praxisakteure des Web-Surveys



Abbildung 24: Zusatznutzen des transdisziplinären Ansatzes aus Sicht des Projektteams

Als Gewinn empfanden die Bürger*innen und Stakeholder außerdem den Austausch zwischen Akteuren mit unterschiedlichen Perspektiven. Dieser Austausch kann dazu beitragen, die gesellschaftliche Debatte um Für und Wider der Technologie zu versachlichen. Die in GECKO durchgeführten Workshops, die insbesondere den achtsamen Umgang mit Befürchtungen und Einwänden im Blick hatten stärkte das Gefühl der Wertschätzung unter den Teilnehmenden, welches ein entscheidender Faktor zur Vertrauensbildung ist. Auch durch die dargebrachte Transparenz und Offenheit des Projektteams sowohl hinsichtlich des

transdisziplinären Ansatzes als auch in Bezug auf die technisch-fachlichen Zusammenhänge inklusive der in diesem Stadium des Vorhabens vorhandenen Ungewissheiten kann Vertrauen gegenüber dem Projektteam entstehen lassen.

12.3 Zwischenfazit

Die Evaluation des GECKO-Projektes zeigt deutlich, dass der transdisziplinäre Ansatz in seiner Durchführung insbesondere bei den teilnehmenden Praxisakteuren (Bürger*innen, Stakeholder und Expert*innen aus der Praxis) sehr geschätzt wurde und auch für das Projektteam ein Wissenszugewinn darstellt.

Gleichzeitig zeigt die Evaluation aber auch Verbesserungspotenziale auf, wie beispielsweise sich im Projektteam früh auf Ziele zu verständigen und diese nach außen klar und eindeutiger zu kommunizieren. Auch wird deutlich, dass ein solches Projekt noch stärker mit der tatsächlichen Vorhabenplanung verknüpft sein sollte, um direkt Wirkung entfalten zu können.

Das transdisziplinäre Vorgehen wird zwar (in Teilen) als übertragbar auf ähnlich gelagerte Vorhaben gesehen, ist aber in der Planungspraxis ein aufwändiger und zeitintensiver Ansatz, der zusätzliche finanzielle und personelle Ressourcen erfordert. Daher gilt es in der Planungspraxis, je nach Ziel und Kontext, geeignete partizipative Elemente zum Einbezug von Praxisakteuren zu finden. Aus der Evaluation wird deutlich, dass ein früher Einbezug auch zur Prüfung von Alternativen und der Machbarkeit wünschenswert sind und dies positiv zum Vorhabenverlauf beitragen kann. Zudem kann neben der Information und dem Wissenstransfer, in diesem Fall von der Wissenschaft in die Praxis, auch relevantes Praxiswissen zur Ausgestaltung der Planung und Implementierung eines Vorhabens von den Praxisakteuren eingebracht werden.

13 Forschungstransfer

13.1 Wissenschaftliche Fortschritte durch GECKO

In GECKO wurde zum ersten Mal, unseres Wissens weltweit, ein Co-Design für ein Geothermieprojekt am Beispiel der DeepStor Anlage durchgeführt. Die wissenschaftliche Evaluierung des Co-Designs in der Schlussphase des GECKO Projektes hat aufgezeigt, dass

- 1) die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Projekt in der internen Umfrage vom Projektteam einheitlich als gut bis teilweise gut gelungen bewertet wurde. Verbesserungspotential wurde beispielsweise in der inhaltlichen Verständigung untereinander gesehen, die durch noch stärkeren fachlichen und argumentativen Austausch zwischen den Disziplinen und häufigere Präsenztreffen gefördert werden könnte.
- 2) Die Beobachtungen der Workshops ergaben durchgängig eine gute bis sehr gute Interaktion zwischen den Teilnehmenden. Es konnte insgesamt ein respektvoller Umgang beobachtet werden. Die Teilnehmenden empfanden sich und ihre Argumente als wertgeschätzt. Der Gesamtprozess wurde von den teilnehmenden Praxisakteuren positiv bewertet und es wurde eindeutig eine Empfehlung zur Teilnahme an einem solchen Forschungsprojekt ausgesprochen.
- 3) Das Erreichen der Ziele a) Einbindung der Bürger*innen und Stakeholder und b) inter- und transdisziplinäre Entwicklung von Kriterien und Szenarien für ein Umsetzungskonzept für die Tiefengeothermie wurde als sehr gut oder gut bewertet. Die kollaborative Entwicklung der Kriterien wurde von den teilnehmenden Praxisakteuren als besser gelungen bewertet als die der Szenarien.

Dies zeigt, dass die bei der Übersetzung von Kriterien in technische Parameter und der Integration gesellschaftlicher Randbedingungen, die in dieser Form erstmalig umgesetzt wurde, weiterhin Forschungsbedarf besteht. Dieser Punkt ist auch zentral für das Citizen Science Projekt, in dem die Einbindung von Akteuren direkt in die Messung technischer Parameter (wie z. B. Seismizität) erfolgen wird und folglich Fragen nach der Interpretation, Wahrnehmung und Integration in die Analyse aufwerfen wird.

Der inter- und transdisziplinäre Ansatz von GECKO ermöglichte somit eine wissenschaftliche Analyse eines Co-Design Prozesses in der Tiefengeothermie an vorderster Forschungsfront. Mit der Übertragbarkeit auf andere Standorte (siehe Kapitel 13.2) legt GECKO den wissenschaftlichen Grundstein für eine sichere, wirtschaftliche und akzeptierte Nutzung des tiefen Untergrundes für die Wärmewende.

13.2 Nutzen und praktische Verwertbarkeit

GECKO hat mit der erstmaligen Umsetzung eines CO-Designs in der Planung eines Geothermieprojekts eine Vorreiterrolle wahrgenommen und einen Grundstein für die Partizipation von Bürger*innen in Geothermieprojekten gelegt. GECKO zeigt vor allem auch Betreibern auf, dass ein eng begleitetes Co-Design umsetzbare Kriterien hervorbringt, die die Akzeptierbarkeit einer Anlage vor allem über die Wertschätzung und den fairen Diskurs der Argumente wesentlich erhöhen kann.

Die Kosten für die Umsetzung eines Co-Design Ansatzes von Geothermieprojekten sind dabei vergleichbar zu Kosten, die Betreiber bereits heute für die Öffentlichkeitsarbeit in neue Geothermieprojekte investieren. Eine kleine, anonym durchgeführte Umfrage bei Betreibern von Geothermieprojekten ergab eine sich ähnelnde Schätzung:

- Kosten für die Öffentlichkeitsarbeit für die Planungs- und Errichtungsphase (insgesamt ca. 6 Jahre) mit interner oder externer Unterstützung von ca. 2 bis 3 Personen und Sachmitteln (im Mittel ca. 50'000 € p.a.): zwischen 1,0 und 1,5 Mio €.

Die Kosten für den Ansatz im Co-Design können hier nur durch die Kosten dieses Forschungsprojektes von ca. 812'000 € bei einer Laufzeit von 2 Jahren und 4 Monaten abgeschätzt werden. Bei beiden Ansätzen zeigt sich in den Kosten, dass die Interaktion mit der Bevölkerung durch einen intensiven personellen Einsatz gewährleistet wird. Alle Beteiligten beschreiben diesen auch als Grundvoraussetzung für ein Gelingen der Interaktion.

Auch wenn teils unterschiedliche Aspekte und Inhalte zu diesen Kosten bzw. Kostenschätzungen führen, kann geschlossen werden, dass die Kosten beider Herangehensweisen vergleichbar sind. Die Investitionen für einen Ansatz der Projekt-Entwicklung im Co-Design scheinen überschaubar und im üblichen Rahmen, vor allem in Bezug auf den Mehrwert, der dadurch erreicht werden kann. Mit GECKO wurde eine Art „Blaupause“ für die Einbindung von Bürger*innen und Stakeholdern in Tiefengeothermieprojekte geschaffen, die über die reine Information weit hinausgeht. Mit dem in Kapitel 13.3 erläuterten Technologietransferkonzept kann GECKO der Geothermieentwicklung in Baden Württemberg im Allgemeinen einen Schub verleihen.

13.3 Konzept zum Ergebnis- und Forschungstransfer

Das Projekt GECKO hat die Webseite www.gecko-geothermie.de aufgesetzt. Diese Webseite wird vom KIT aus grundfinanzierten Mitteln bis mindestens 2027 weiter aktiv betrieben. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden bereits auf mehreren wissenschaftlich-technischen Kongressen präsentiert:

Katharina Schätzler, Eva Schill (2019): Ausstellung bei den Energiewendetagen Baden-Württemberg, Stuttgart, 19. September 2019

Eva Schill, Florian Bauer, Katharina Schätzler, Christine Rösch, Melanie Mbah, Christina Benighaus, Sophie Kuppler, Judith Krohn (2021): Co-production of knowledge: towards a co-design of geothermal heat utilization, European Geoscience Union, Session: Geosciences serving Society, online, 13. Februar 2021

Mbah, M.; Rösch, C.; Kuppler, S.; Krohn, J.; Benighaus, C.; Schill, E.; Schätzler, K.; Bauer, F. (2020): Co-design of an implementation concept for a deep geothermal energy project at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT). 8th European Geothermal Workshop (EGW 2020), online, 7.–8. Oktober 2020

Sophie Kuppler, Florian Bauer, Christina Benighaus, Judith Krohn, Melanie Mbah, Christine Rösch, Katharina Schätzler, Eva Schill (2021): Interaktion mit der Öffentlichkeit und gemeinsame Entwicklung von erneuerbaren Energieprojekten, Geotherm, online, 25. Juni 2021

Eva Schill, Jens Grimmer, Katharina Schätzler, Thomas Kohl (2021): Transition from hydrocarbon production to geothermal heat storage in the Upper Rhine Graben – the DeepStor project (GECKO machte ungefähr die Hälfte der Präsentationszeit aus) World Geothermal Congress (2020+1), online, 6. Juli 2021

Sophie Kuppler (2021): GECKO: Co-design of an implementation concept for a deep geothermal energy project at the KIT Statuskolloquium Umweltforschung, online, 6. Juli 2021

Rosa Sierra, Melanie Mbah, Lucas Schwarz, Dörte Themann, Christina Benighaus, Frank Becker, Paula Bräuer (2021): Experiences and challenges of digital transdisciplinary formats in complex and contested research fields, RT-1.1, online

Katharina Schätzler, Eva Schill (2021): Ausstellung bei den Energiewendetagen Baden-Württemberg Stuttgart, 19. September 2021

Sophie Kuppler, Christine Rösch (2021): Geothermie - Wärmegewinnung aus der Tiefe. Partizipation und Akzeptanz von Bürger:innen bezüglich der Umsetzung der Technologie, fesa e.V. Regionalnetzwerktreffen: Tiefen-Geothermie, Online, 4. November 2021

Sophie Kuppler, Melanie Mbah, Christine Rösch (2022): Demands for participation in renewable energy development in Germany, 20th Annual STS Conference Graz 2022 „Critical Issues in Science, Technology and Society Studies“, Graz, 2.-5. May 2022

Schill, E., Bauer, F. (2022): Entwicklung eines geothermischen Nutzungskonzepts aus einem Co-Design. Koordinierungsgruppe zur Geothermie in der TechnologieRegion Karlsruhe, Geotherm 2022, Offenburg, 2. Juni 2022

Rösch, C. (2022): Gelingensbedingungen der Wärmewende aus Sicht von Stakeholdern und Bürger*innen: Ergebnisse aus dem GECKO-Projekt. Koordinierungsgruppe zur Geothermie in der TechnologieRegion Karlsruhe, Geotherm 2022, Offenburg, 2. Juni 2022

Schill, E. (2022): Bürger*innen und Wissenschaft für eine umweltgerechte Wärmewende durch Tiefengeothermie. Energiekongress, Karlsruhe, 22. Juni 2022.

Folgende Publikationen werden derzeit erstellt:

Bauer, F., Grimmer, Houpt, L., Hertweck, T., Schill, E.: Neogene reactivation of syn-rift faults in the URG: implications from 3D-seismic data

Bauer, F., Schätzler, K., Steiner, U., Schill, E.: Integration of criteria from public into scenarios of geothermal heat utilisation

Weitere Publikationen mit sozialwissenschaftlichem Schwerpunkt sind ebenfalls in Planung.

Das KIT ist Teil der TechnologieRegion Karlsruhe. Neben idealen geothermischen Bedingungen zeichnet sich dieser Wirtschaftsstandort durch eine lebendige und zukunftsorientierte Szene von jungen und etablierten Firmen mit viel Unternehmergeist aus und bietet zudem eine vorbildliche Unterstützung für Gründer.

Es wird erwartet, dass im Rahmen der Wärmewende in dieser Region und in ganz Baden-Württemberg der Bedarf an Co-Design im Zusammenhang mit Tiefengeothermie steigt. Bei ausreichendem Bedarf wird gemeinsam mit dem KIT eine Strategie zu einer sozial-geowissenschaftlichen Ausgründung erarbeitet. Bisher hat sich GECKO auf die Planungsphase von Tiefengeothermieprojekten beschränkt.

14 Gesamtfazit und Ausblick

Im GECKO-Projekt wurden von Stakeholdern, Bürger*innen und Expert*innen in einem mehrstufigen Prozess Empfehlungen bezüglich der gesellschaftlichen Anforderungen an die Nutzung der Tiefengeothermie entwickelt. Diese sind im Kontext der geplanten Tiefengeothermieanlage zur Wärmenutzung am Standort Campus Nord des KIT erarbeitet worden. Sie bilden eine Grundlage für die partizipative Gestaltung der Planungs- und Entscheidungsprozesse für Tiefengeothermievorhaben und können so Vorbildcharakter entfalten. Wichtige Voraussetzungen dafür sind die gemeinsame Entwicklung einer regionalen Wärmewende-Vision, eine frühzeitige, transparente und offene Kommunikation über das geplante Tiefengeothermieprojekt und ein paralleles Angebot wissenschaftlicher Beratung durch unabhängige Expert*innen. Der mehrstufige inter- und transdisziplinäre Co-Design Ansatz wurde von den Stakeholdern und Bürger*innen positiv evaluiert. Dieser Ansatz kann in Teilen in seiner Gestaltung auf andere Vorhaben übertragen werden und für Entscheidungsträger*innen in Politik und Wirtschaft für künftige Tiefengeothermievorhaben als Vorlage dienen. Dabei sind die Investitionen für einen Ansatz der Projekt-Entwicklung im Co-Design vergleichbar mit Kosten eines Geothermieprojektes für die Öffentlichkeitsarbeit.

Der prozedurale Ansatz zum Gelingen der Wärmewende kann durch Änderungen von Regelungen und Förderstrukturen im Sinne einer lokal prozessualen, physikalischen und ökonomischen Teilhabe an der Nutzung der Tiefengeothermiepotenziale vor Ort und einer klimaneutralen Wärmeversorgung der Kommunen und ihrer Bürger*innen gefördert werden. Die Ansprüche an die technische Umsetzung eines Tiefengeothermievorhabens konzentrieren sich auf eine Offenheit bezüglich der Monitoringdaten und die Möglichkeit, diese zeitnah zu sehen. Wichtig bei der Bewertung des Projekts ist ein klares Bild über den Beitrag zur klimaneutralen Wärmeversorgung und den CO₂ Einsparungen, zur Integration in die bestehende bzw. künftige Energieinfrastruktur. Zur Einordnung des Vorhabens wird auch die Prüfung alternativer Möglichkeiten der erneuerbaren Wärmegewinnung gefordert, um eine optimale Kosten-Nutzen-Bilanz zu erzielen.

Die in GECKO entwickelten allgemeinen Handlungsempfehlungen wurden an die Prozessbeteiligten und Akteure verteilt, auf der Homepage veröffentlicht und stehen somit einer breiten interessierten Öffentlichkeit sowie auch anderen Entscheidungsträgern zur Verfügung.

Die im Co-Design des GECKO Projektes erarbeiteten Ergebnisse sind Grundlage der weiteren Maßnahmen im Kontext der am KIT Campus Nord geplanten Bohrung DeepStor-1. Die Empfehlungen der Bürger*innen in Bezug auf das Design der Anlage wurden bereits teilweise umgesetzt; weitere bezüglich der Entwicklung des Reservoirs und des Monitorings sollen auch weiterhin berücksichtigt werden. Ein Beispiel ist das über typische bergrechtliche Vorgaben hinausgehende Monitoring der Grundwasserqualität über die gesamte Laufzeit der Anlage. Dazu werden Daten automatisiert erfasst und in interaktive Monitoringkonzepte integriert.

Eine Echtzeitvisualisierung der Messwerte erfüllt den Wunsch der Bürger*innen nach Transparenz. Eine Erweiterung des Beteiligungsprozesses im Rahmen des Monitorings wird über eine eigenständige Datenerhebung interessierter Bürger*innen angestrebt. Parallel ist eine 3-D Visualisierungen aller Daten im öffentlichen Raum geplant.

Für die praxisnahe Weiterentwicklung der in GECKO erarbeiteten Kriterien und Szenarien zu den gesellschaftlichen Anforderungen an die Nutzung der Tiefengeothermie wäre ein gemeinsamer Lernraum für Bürger*innen, Stakeholder, Projektierer, Behörden und Wissenschaftler*innen wünschenswert – beispielsweise in Form eines Reallabors. Hier könnten weitere Themen wie die Nutzung der Tiefengeothermie zur Stromgewinnung oder die Lithiumgewinnung diskutiert werden.

15 Literaturverzeichnis

- Bergmann, Matthias; Brohmann, Bettina; Hoffmann, Esther; Loibl, Céline M.; Rehaag, Regine; Schramm, Engelbert; Voß, Jan-Peter (2005): Qualitätskriterien transdisziplinärer Forschung. Ein Leitfaden für die formative Evaluation von Forschungsprojekten. Hg. v. Insitut für sozial-ökologische Forschung (ISOE). Frankfurt am Main.
- BFE (2009): Machbarkeitsstudie Tiefengeothermie Stadt St. Gallen. Konzept für die Entwicklung einer Geothermieanlage in der Stadt St. Gallen. Hg. v. Bundesamt für Energie (BFE). Bern.
- Choi, Jin-Hyuck; Edwards, Paul; Ko, Kyoungtae; Kim, Young-Seog (2016): Definition and classification of fault damage zones: A review and a new methodological approach. In: *Earth-Science Reviews* 152, S. 70–87. DOI: 10.1016/j.earscirev.2015.11.006.
- Ewen, Christoph (2017): Frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung bei Infrastrukturprojekten gut vorbereiten. Eine Handreichung zum Beteiligungs-Scoping am Beispiel von Projekten des Bundesverkehrswegeplans. Hg. v. Allianz Vielfältige Demokratie. Berlin.
- Holenstein, Matthias (2009): Umgang mit Hoffnungen und Bedenken der Bevölkerung – Das Beispiel des Geothermieprojektes St. Gallen. Hg. v. Stiftung Risiko-Dialog. Online verfügbar unter <http://docplayer.org/52894347-Umgang-mit-hoffnungen-und-bedenken-der-bevoelkerung-das-beispiel-des-geothermieprojektes-st-gallen.html>.
- Jammes, L.; Vervier, P.; Lesueur, T. (2013): Social Site Characterization and Stakeholder Engagement. Hg. v. Global CCS Institute. Online verfügbar unter <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/119186/social-site-characterisation-stakeholder-engagement.pdf>, zuletzt geprüft am 31.5.22.
- Knoblauch, T. A. K.; Stauffacher, M.; Trutnevyte, E. (2018): Communicating Low-Probability High-Consequence Risk, Uncertainty and Expert Confidence: Induced Seismicity of Deep Geothermal Energy and Shale Gas. In: *Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis* 38 (4), S. 694–709. DOI: 10.1111/risa.12872.
- Krohn, J.; Mbah, M. (2020): Werkstattbericht zur Auswertungsmethodik und zu ersten Ergebnissen des Kriterien-Workshops. Hg. v. Öko-Institut e.V. Freiburg.
- Mayring, Philipp (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 12., überarb. Aufl. Weinheim: Beltz. Online verfügbar unter http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1875625.
- Mbah, M.; Krohn, J. (2021): Die Bedeutung von Kommunikation und Beteiligung in der Planung und Umsetzung von Geothermievorhaben – eine Fallstudie zu Staufen (D) und St. Gallen (Ch). Öko-Institut Working Paper 1/2021. Hg. v. Öko-Institut e.V. Freiburg.
- Meller, C.; Schill, E.; Bremer, J.; Kolditz, O.; Bleicher, A.; Benighaus, C. et al. (2018): Acceptability of geothermal installations: A geoethical concept for GeoLaB. In: *Geothermics* 73, S. 133–145. DOI: 10.1016/j.geothermics.2017.07.008.
- Renn, O. (2015): Akzeptanz und Energiewende. Bürgerbeteiligung als Voraussetzung für gelingende Transformationsprozesse. In: *Jahrbuch für Christliche Sozialwissenschaften* 56, 133–154. Online verfügbar unter <https://www.uni-muenster.de/ejournals/index.php/jcsw/article/view/1544>.
- Schill, E.; Genter, A.; Cuenot, N.; Kohl, T. (2017): Hydraulic performance history at the Soultz EGS reservoirs from stimulation and long-term circulation tests. In: *Geothermics* 70, S. 110–124. DOI: 10.1016/j.geothermics.2017.06.003.
- Schill, E.; Kohl, T.; Baujard, C.; Wellmann, J. F. (2009): Geothermal resources in the Süd- and Vorderpfalz (Germany).
- Sokol, G.; Nitsch, E.; Anders, B.; Beccaletto, L.; Capar, L.; Mermy, D. C. et al. (2013): Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben. Fachlich - Technischer Abschlussbericht – Teil 3 Daten, Methodik, Darstellungsweise. Hg. v. LGRB (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau), BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), LGB (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz), AUG (Abteilung Angewandte & Umweltgeologie der Universität Basel). Freiburg, Strasbourg, Mainz, Basel (LGRB-Informationen, 28).
- Stadt St. Gallen (2018): Das Geothermie-Projekt der Stadt St.Gallen. Hg. v. Stadt St. Gallen. St. Gallen. Online verfügbar unter www.geothermie.stadt.sg.ch/projekt.html.

Stadt Staufen i.Br. (2018): Das Rathaus, Amts- und Informationsblatt der Stadt Staufen. 32. Jahrgang Nummer 05 KW 05. Stadt Staufen i.Br. Online verfügbar unter https://www.staufen.de/site/Staufen/get/documents_E-1842697466/staufen/Objekte/Dateien/B%C3%BCrgerservice/Rathausblatt/2018/Das%20Rathaus%20KW%20052018.pdf, zuletzt geprüft am 04.02.2020.

Stricker, Kai; Grimmer, Jens C.; Egert, Robert; Bremer, Judith; Korzani, Maziar Gholami; Schill, Eva; Kohl, Thomas (2020): The Potential of Depleted Oil Reservoirs for High-Temperature Storage Systems. In: *Energies* 13 (24), S. 6510. DOI: 10.3390/en13246510.

Trutnevyte, E.; Wiemer, S. (2017): Tailor-made risk governance for induced seismicity of geothermal energy projects: An application to Switzerland. In: *Geothermics* 65, S. 295–312. DOI: 10.1016/j.geothermics.2016.10.006.

Voneschen, R. (2018): Der Tag, als es St.Gallen durchschüttelte: vor fünf Jahren bebte wegen des Geothermie-Projekts die Erde. Hg. v. Tagblatt. St. Gallen. Online verfügbar unter <https://www.tagblatt.ch/ostschweiz/stgallen/der-tag-als-es-die-stadt-stgallen-durchschuettelte-vor-fuenf-jahren-bebte-wegen-des-geothermie-projekts-die-erde-ld.1039149>, zuletzt geprüft am 20.07.2020.

Wade, Sarah; Greenberg, Sallie (2011): Social Site Characterisation: From Concept to Application: A review of relevant social science literature and a toolkit for social site characterisation. Hg. v. Global CCS Institute.