

Leitfaden

Risikomanagement während der Bohr- und Testphase von Tiefengeothermieprojekten

Stand: 12/2025

Bundesverband Erdgas,
Erdöl und Geoenergie e. V.



In Zusammenarbeit mit
der DGMK e.V.

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzerläuterung des Leitfadens.....	4
2.	Einleitung.....	4
3.	Risikomanagement in der Bohr- und Testphase	6
3.1	Allgemeines zum Ablauf einer Tiefengeothermiebohrung.....	6
3.2	Organisationsstruktur.....	7
3.3	Der Bohrprozess	7
3.4	Produktions- und Injektionstests	10
3.5	Berichtswesen und Dokumentation.....	11
3.6	Management von Gesundheit, Sicherheit und Umwelt	11
4.	Risikomanagement-Prozess	12
4.1	Risikomanagement-Kreislauf.....	13
4.2	Effektives Risikomanagement	15
4.3	Einteilung von Risiken nach Wahrscheinlichkeit und Auswirkung	16
4.3.1	Eintrittswahrscheinlichkeit	16
4.3.2	Auswirkung (Schadenshöhe)	16
4.4	Risikomatrix.....	17
4.4.1	Aufbau der Matrix	17
4.4.2	Erfassung der Risikosteuerung.....	18
4.4.3	Einsatz der Risikomatrix	18
5.	Werkzeuge der Risikoanalyse	19
5.1	SWOT-Analyse	19
5.2	Risikoregister.....	20
5.3	Bow-Tie-Analyse.....	20
5.4	Entscheidungsbaumplanung („Decision Tree Planning“).....	21
6.	Erstellung von Risikoregistern.....	22
6.1	Risikoerkennung und -beschreibung.....	22
6.2	Kategorisierung von Risiken	23
6.3	Risikobewertung	23
6.4	Priorisierung von Risiken.....	24
6.5	Planung der Risikoreaktion	24
6.6	Überwachung und Steuerung von Risiken	25
7.	Versicherung von bohrtechnischen und Fündigkeits-Risiken	26
7.1	Bohrrisiko und Lost-in-Hole Versicherung.....	26

7.2 Fündigkeitsversicherung.....	27
7.3 Haftpflichtversicherung inkl. Bergschadensabdeckung.....	27
7.4 Kommerzielle Aspekte.....	27
Quellenverzeichnis	28
Anhang A: Stage-gate-Prozess zur Erstellung einer Tiefbohrung	30
Anhang B: Beispiel eines Bow-Tie-Diagramms	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitliches, integratives Zusammenwirken der beiden Leitfäden.....	5
Abbildung 2: Bohranlage mit schematischer Darstellung des Bohrstranges und der Bohrlochkonstruktion.....	6
Abbildung 3: Typisches Organigramm für die Durchführung von Tiefbohrarbeiten.....	7
Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Bohrarbeiten: Geologie und bohrtechnische Anforderungen bestimmen die Absetztiefen der Verrohrung	9
Abbildung 5: Barrieren-Konzept bei Tiefbohrungen zum Grundwasserschutz und sicheren Thermalwasserförderung während der Betriebsphase	10
Abbildung 6: allgemeiner Risikomanagement-Kreislauf.....	13
Abbildung 7: Risikomanagement-Kreislauf bei Tiefengeothermieprojekten.....	14
Abbildung 8: Geothermischer Stage-Gate-Prozess.....	15
Abbildung 9: Risikoevaluierung nach Projektgröße/-komplexität und Projektumfeld.....	16
Abbildung 10: 5x5 Risikomatrix.....	18
Abbildung 11: Quadranten einer SWOT-Analyse.....	19
Abbildung 12: generisches Bow-Tie-Diagramm.....	21
Abbildung 13: Typischer Entscheidungsbau einer Geothermiebohrung.....	22
Abbildung 14: Spalten zur Risikobeschreibung und Risikobewertung eines Risikoregisters.....	24
Abbildung 15: Abschnitt eines Risikoregisters, das risikosteuernde Maßnahmen beschreibt.....	25
Abbildung 16: Risikomatrix mit Beispielrisiko vor und nach Mitigation.....	25

Unsere Kommunikation schließt alle Geschlechter ein. Für bessere Lesbarkeit verzichten wir auf Mehrfachbezeichnungen.

1. Kurzerläuterung des Leitfadens

Ziel des Leitfadens ist die Beschreibung und Anwendung eines allgemein gültigen Risikomanagementprozesses für Tiefengeothermieprojekte. Der Fokus liegt auf der systematischen Vorgehensweise zur Identifikation, Bewertung und Handhabung von möglichen Risiken, die während der Bohr- und Testphase eines Tiefengeothermieprojektes auftreten können. Der Leitfaden soll dabei unterstützen, Risiken frühzeitig zu erkennen, angemessen zu dokumentieren und mit geeigneten Maßnahmen zu steuern.

Wesentliche Bestandteile des Leitfadens:

- Technischer und organisatorischer Ablauf von Bohr- und Testarbeiten (Kap. 3)
- Struktur und Umsetzung eines effektiven Risikomanagementprozesses (Kap. 4)
- Beschreibung und Anwendung gängiger Risikoanalysewerkzeuge (Kap. 5)
- Erstellung und Pflege eines Risikoregisters (Kap. 6)
- Optionen zur Versicherung von bohrtechnischen Risiken und Fündigkeitsrisiken (Kap. 7)

Abgrenzung zu bestehenden Leitfäden:

- Die Thematik Bohrungsintegrität wird umfassend im Leitfaden Bohrungsintegrität des BVEG über den gesamten Lebenszyklus (Auslegung, Herstellung, Betrieb und Verfüllung) von Bohrungen behandelt.
- Der vorliegende Leitfaden ist eng verknüpft mit dem Leitfaden „Wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken tiefengeothermischer Projekte. Er gilt, wenn aufgrund der geologischen Vorerkundung die Entscheidung gefallen ist, das Vorhaben umzusetzen.

2. Einleitung

Zielsetzung des Leitfadens

Der vorliegende Leitfaden wurde in Zusammenarbeit von DGMK und BVEG erstellt. Er richtet sich an alle mit tiefer Geothermie befassten Institutionen und Personen, wie beispielsweise Projektentwickler, Investoren, Versicherer, Planer, Aufsichts- oder Genehmigungsbehörden sowie Bohr- und Servicefirmen, die mit der Ausführung der Bohr- und Testarbeiten beauftragt werden.

Inhaltlich befasst sich der Leitfaden mit dem Umgang möglicher Risiken, die während der Bohr- und Testphase eines Tiefengeothermieprojektes in Verbindung stehen und gibt Empfehlungen, wie diese Risiken bereits im Vorfeld erkannt und im Eintrittsfall kontrolliert werden können.

Der vorliegende Leitfaden ist eng mit dem Leitfaden „Wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken tiefengeothermischer Projekte“ verknüpft. Er gilt, wenn aufgrund der geologischen Vorerkundung die Entscheidung gefallen ist, ein Tiefengeothermieprojekt in die Praxis umzusetzen und soll sicherstellen, dass die praktische Umsetzung „richtig“ gemacht wird und vermeidbare Fehler unterbleiben. Da die geologische Erkundung eng mit der praktischen Umsetzung des Projektes verbunden ist und teilweise parallel zueinander bearbeitet werden, greifen auch die beiden Leitfäden ineinander.



Abbildung 1: Zeitliches, integratives Zusammenwirken der beiden Leitfäden

Der vorliegende Leitfaden beschreibt einen allgemein gültigen Risikomanagementprozess. Die dabei anzuwendenden technischen Methoden (z.B. verschiedene Bohrtechniken oder Spülungssysteme) können je nach den spezifischen geologischen und bohrtechnischen Bedingungen variieren.

Der Leitfaden bezieht sich vornehmlich auf Einzelprojekte, ist aber auch auf einen Portfolioansatz mit mehreren Projekten anwendbar.

Kontext und Abgrenzung

Der vorliegende Leitfaden betrachtet alle Bohr- und Testarbeiten, die mit einem Tiefengeothermieprojekt in Verbindung stehen. Er deckt petrothermale (einschließlich geschlossener) und hydrothermale Systeme ab, die tiefer als 400 Meter abgeteuft werden sollen. Der Fokus liegt auf Projekten wie sie in Deutschland vorkommen. Der Leitfaden ist sowohl für Explorationsbohrungen (regionale Erst-Bohrungen) als auch für Produktionsbohrungen (Folgebohrungen in einem nachgewiesenen geothermischen System) anwendbar.

Der Leitfaden deckt nur die bohrtechnischen Aspekte sowie solche der anschließenden Testarbeiten eines Geothermieprojektes ab. Er umfasst nicht die Risiken beim späteren Betrieb der Anlage.

3. Risikomanagement in der Bohr- und Testphase

3.1 Allgemeines zum Ablauf einer Tiefengeothermiebohrung

Die tiefengeothermische Energiegewinnung erfordert den Einsatz der Tiefbohrtechnik für Bohrtiefen meist von mehreren Kilometern, wie sie auch aus der Erdöl-Erdgas-Branche bekannt ist und sich von Geothermiebohrungen in Tiefen geringer ca. 400m deutlich unterscheidet. Angewandt wird üblicherweise das Rotary-Bohrverfahren, bei dem ein Meißel unter Andruckbelastung auf der Bohrlochsohle rotiert und eine Bohrspülung verwendet wird. Die Bohrspülung hat u.a. die Aufgaben, das durch den Meißel erbohrte Bohrklein von der Bohrlochsohle nach Übertage zu transportieren und das Bohrloch gegen den Gebirgsdruck abzustützen und Flüssigkeiten und Gase aus dem Gestein aus der Bohrung zu halten. Um sich in die Zieltiefe (bergmännisch „Teufe“ genannt) vorzuarbeiten, wird die Bohrung in Abhängigkeit von der lokalen Geologie mit zur Teufe abnehmenden Bohrdurchmessern abschnittsweise „teleskopiert“ gebohrt. Im Rahmen der Bohrungsplanung wird zunächst der für die geplante Produktion erforderliche Enddurchmesser der Bohrung im Reservoir festgelegt und die weitere Bohrlochkonstruktion von unten nach oben geplant. Bei Förderbohrungen muss der Durchmesser der zum Einsatz kommenden Förderpumpe berücksichtigt werden. Sie bestimmt somit den Anfangsbohr- und -verrohrungsdurchmesser der Tiefbohrung.

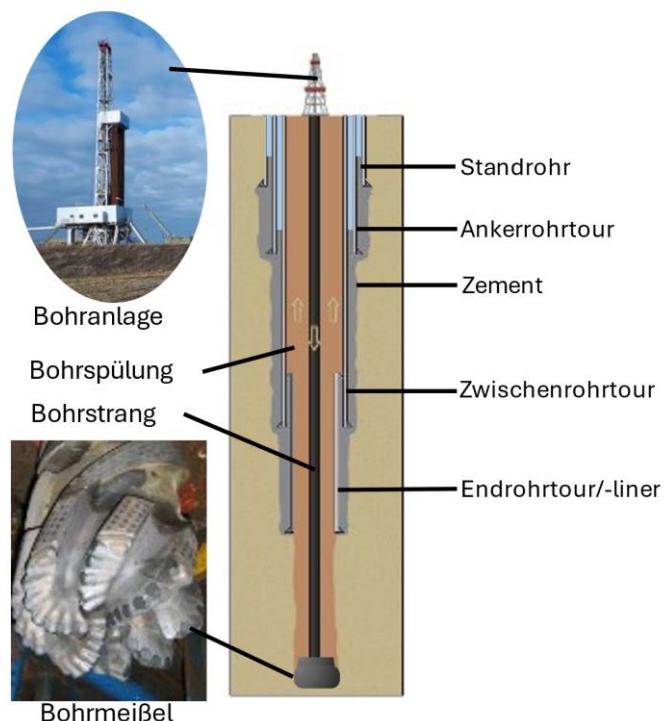


Abbildung 2: Bohranlage mit schematischer Darstellung des Bohrstranges und der Bohrlochkonstruktion

3.2 Organisationsstruktur

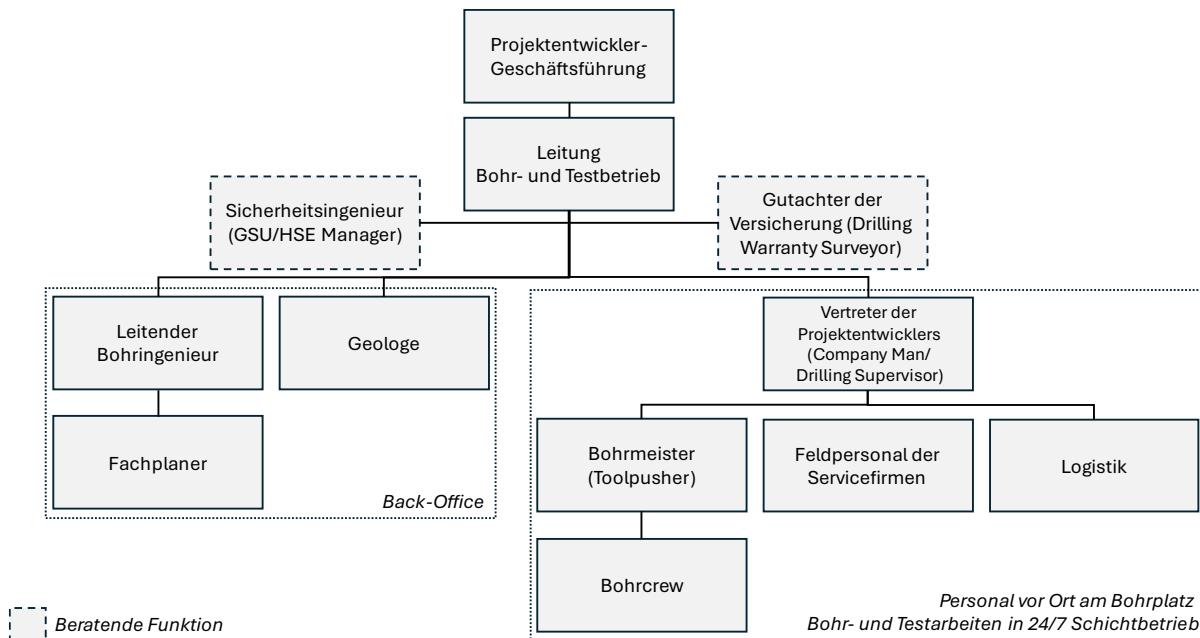


Abbildung 3: Typisches Organigramm für die Durchführung von Tiefbohrarbeiten

Da der Bohrbetrieb in der Regel rund um die Uhr läuft und Überraschungen, die eine fundierte und umgehende Reaktion erfordern, nicht unüblich sind, ist eine auf das jeweilige Projekt und dessen spezielle technische Anforderungen abgestellte Strategie von benötigten Auftraggebervertretern (Drilling Supervisor und Fachplanern), die im 24/7 Bohrbetrieb vor Ort tätig sind, einzurichten. Der Rolle des Drilling Supervisors (Company Man) kommt dabei eine besondere Verantwortung zu, da diese Person üblicherweise die sicherheitstechnische und bis zu einem gewissen Grad auch die Kostenverantwortung vor Ort trägt. In Abbildung 3 ist ein typisches Organigramm abgebildet.

Hier ist es ratsam und meist vorgeschrieben, entsprechend erfahrene und für Bohrlochkontrolle nach internationalen Standards (IWCF-Level-4-Zertifizierung) qualifizierte Personen einzusetzen (siehe [2] Leitfaden Bohrlochkontrolle). Zudem ist auf eine ausreichende Unterstützungsstruktur mit qualifiziertem Back-Office zu achten, da die vielen komplexen technischen Fragestellungen eines Multigewerk-Tiefbohrvorhabens in der Regel nicht umfassend von einer einzelnen Supervisor-Position beantwortet werden können.

Es ist zudem verpflichtend, qualifizierte bergrechtlich verantwortliche Personen zu bestellen und bei der Bergbehörde formal namhaft zu machen.

3.3 Der Bohrprozess

Die Vorgehensweise bei der Erstellung einer Tiefbohrung läuft nach Erschließung und Bau eines Bohrplatzes (siehe [14] Leitfaden Gestaltung des Bohrplatzes) typischerweise in folgenden Arbeitsschritten ab.

Zunächst werden die „Standrohre“ der Bohrungen eingebracht, um die oberflächennahen Grundwasserleiter abzusperren. Dies geschieht entweder durch Bohren oder durch Rammen schon während des Bohrplatzbaus. Dann erfolgt die Mobilisierung und der Aufbau einer Tiefbohranlage sowie der Geräte und Anlagen der verschiedenen Fachdienstleistungsunternehmen für die Feststoffkontrolle, Bohrspülung inklusive Spülungsservice (Messung von Bohrspülungseigenschaften), Mudlogging (Bohrdatenerfassung und geologische Beschreibung des Bohrkleins) sowie Richtbohrservice und Einrichtung der Bohrklein- und Spülungsentsorgung.

Nach eingehender sicherheits- und funktionstechnischer Prüfung aller Bohranlagenkomponenten und Geräte und Anlagen der verschiedenen Fachdienstleistungsunternehmen erfolgt die Freigabe zum Bohrbeginn (Spud). Ab diesem Zeitpunkt fallen üblicherweise Tagesraten für die meisten Bohrdienstleistungen an und somit steht der Auftraggeber in einer besonderen Kostenverantwortung, die nur über ein effektives Risikomanagement- und Überwachungskonzept wirksam steuerbar ist.

Auch anders als bei üblichen Bauprojekten ist es u.a. wegen der erheblichen finanziellen und geologischen Risiken sowie einem gewerkeübergreifenden Zusammenspiel zahlreicher Spezialisten nicht industrieüblich, dass ein Dienstleister für einen ggf. eintretenden Schaden aufkommt, der durch seinen Werkzeugausfall entsteht.

Entsprechend der vorab erstellten Bohrlochkonstruktion (siehe [13] Leitfaden Futterrohrberechnung) wird die Bohrung nun abschnittsweise zunächst erbohrt, vermessen und schließlich verrohrt und zementiert, bis die Endteufe erreicht ist. Ein wichtiger Auslegungsparameter ist hierbei die Geologie. Der letzte Bohrabschnitt, als Förder- oder Injektionshorizont, wird bei ausreichender Standfestigkeit des Gesteins häufig nicht verrohrt.

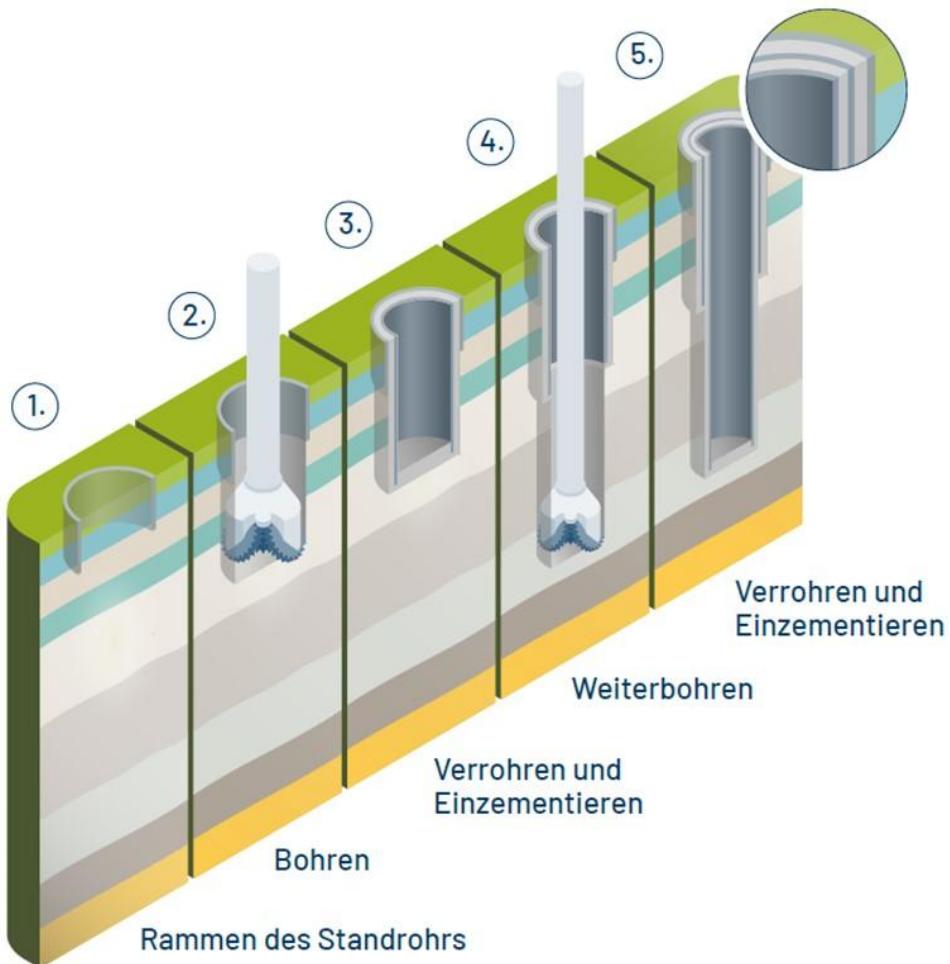


Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Bohrarbeiten: Geologie und bohrtechnische Anforderungen bestimmen die Absetztiefen der Verrohrung

Beim Bohren folgt man dem sogenannten Multi-Barrieren-Konzept, damit kein unkontrollierter Austritt von Fluiden wie Bohrspülung oder Reservoirflüssigkeiten oder -gasen eintritt. Es benötigt somit immer mindestens zwei Barrieren, wobei die erste in der Regel die Druckkontrolle durch die Bohrspülung ist. Zudem tragen hier zur Wahrung der Integrität während der Bohrphase ein mehrwandiger Bohrungsaufbau und Bohrlochabschluss (Blow-out-Preventer) bei. Siehe auch [2] BVEG Leitfaden Bohrlochkontrolle.

Zudem ist im späteren Betrieb auch eine Integritätsüberwachung eines innenliegenden Ringraumes, wie es z.B. gemäß [15] BVEG Leitfaden Bohrungsintegrität empfohlen wird, möglich und teils vorgeschrieben. Während der Bohrphase ist hingegen eine hinreichend dichte Bohrspülung die erste Barriere.

Für den Bohrungsausbau werden zeitweise weitere Bohrdienstleistungsunternehmen wie Rohrverschraubservice (Casing Running), Liner Hanger Service, Zementationsservice, sowie kabelgebundene Loggingservices zur geologischen Vermessung und zur Qualitätskontrolle der Verrohrungs- und Zementationsarbeiten benötigt.

3.4 Produktions- und Injektionstests

Mit Abschluss des Bohrlochausbau und erfolgreichem Erbohren des Reservoirs schließen sich bei hydrothermalen Tiefengeothermieprojekten zur Evaluierung der Fündigkeits (Temperatur, Förderrate, chemische Zusammensetzung des Thermalwassers) meist direkt ein oder mehrere Produktions- und Injektionstests an. Dies dient der Ermittlung verschiedener Reservoirparameter und insbesondere des Produktivitäts- und Injektivitätsindex, welche im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeit des Projektes definieren.

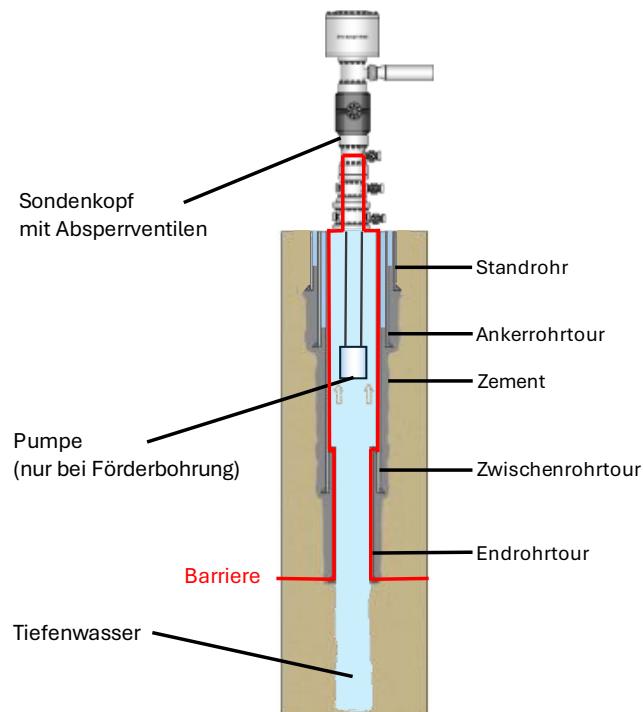


Abbildung 5: Barrienen-Konzept bei Tiefbohrungen zum Grundwasserschutz und sicheren Thermalwasserförderung während der Betriebsphase

Insbesondere beim Injektionstest können auch erste Erkenntnisse zur Evaluierung des potenziellen seismischen Risikos im späteren Betrieb der Anlage erhoben werden. Mit den Ergebnissen des Tests werden die vorausgegangenen seismologischen Gefährdungsstudien eines hydrothermalen/petrothermalen Projekts und das dazugehörige Ampelsystem verifiziert, um sicherzustellen, dass keine gefährlichen seismischen Ereignisse durch die Anlage ausgelöst werden. Ein Ampelsystem (vgl. [6]-[8] BVG-Richtlinie 1101 Teil 1 bis 3 sowie [9] Empfehlungen zur Überwachung induzierter Seismizität – Positionspapier des FKPE) gibt klare Handlungsanweisungen (vgl. [5] BVG-Hintergrundpapier zur induzierten Seismizität bei Geothermieprojekten), um auf ggf. auftretende induzierte Seismizität rechtzeitig und effektiv reagieren zu können, damit Schadensereignisse an der Oberfläche vermieden werden.

Bei offenen petrothermalen Systemen schließt sich in der Regel noch eine umfangreiche Stimulation des Reservoirs (z.B. hydraulisch oder durch Säuerung) an. Geschlossene petrothermale Systeme benötigen dagegen weder eine Stimulation noch einen Injektionstest.

3.5 Berichtswesen und Dokumentation

Eine wichtige Grundlage für einen effektiven Risikomanagementprozess ist auch ein detailliert ausgearbeitetes Berichtswesen während der Ausführung der Bohr- und Testarbeiten. Hierzu zählen tägliche Berichte der verschiedenen Servicefirmen und des Auftraggebervertreters mit Darstellung aller relevanten Ausführungsparameter (z.B. Spülungseigenschaften, Bohranlagenparameter, Bohrkleinuntersuchungen, etc.) aber auch logistische Angaben wie Lagerbestände von Spülungsschemikalien, Massenbilanzen der der Bohrung zugeführten und der entsorgten Materialien, vor Ort befindliche Bohrwerkzeuge, etc. Diese Informationen sind zum einen für die kostenrelevante Abrechnungsdokumentation erforderlich, aber auch für die Qualitätssicherung und Vorbereitung spezifischer technischer Meetings. Die Meetings sollten mindestens auf täglicher, wöchentlicher und sektionsweiser Basis durchgeführt werden, um den Bohrbetrieb effektiv steuern und auf Abweichungen vom Bohrprogramm fachgerecht reagieren zu können.

Besteht ein staatlicher oder privater Versicherungsschutz für die Bohrarbeiten oder eine Absicherung der Fündigigkeit, wird in der Regel die Einbindung eines externen Gutachters (Drilling Warranty Surveyor) in die tägliche Berichterstattung verbindlich. Es ist empfehlenswert, den externen Gutachter frühzeitig in die Ausführungsplanung (z.B. Drilling Well On Paper-Meeting (DWOP): ein gemeinsames theoretisches Durchgehen der Arbeitsschritte mit allen beteiligten Unternehmen) mit einzubeziehen, um ihm ein tiefgreifendes Verständnis der Planung und Ausführungsarbeiten zu ermöglichen. Die Aufgabe des externen Gutachters in der Ausführungsphase ist im Wesentlichen eine Risikobewertung der tatsächlichen täglichen Arbeitsanweisungen durch den Projekteigentümer/Operator, um bei Abweichungen vom geplanten Ausführungsprogramm den Versicherungsschutz zu bestätigen oder ggf. nicht gedeckte Risiken/Arbeiten zu identifizieren. Auch hier greift ein im Projekt etabliertes Risikomanagement sowie ein Management-of-Change Prozess wie hier beschrieben Hand-in-Hand mit der externen Begutachtung.

Grundsätzlich unterliegen tiefe Bohrarbeiten in Deutschland dem Bergrecht und erfordern umfangreiche Genehmigungsprozesse, u.a. ein Betriebsplanverfahren inklusive vorgelagerter UVP-Vorprüfung.

3.6 Management von Gesundheit, Sicherheit und Umwelt

Die Arbeitssicherheit ist in der Bohrphase ein zentraler Punkt, da grundsätzlich mit großen Massen, Mengen und hohen Drücken gearbeitet wird. Aber auch z.B. Vibrationen, Licht-, Lärm- und Gasemissionen können auftreten.

Zudem bestehen nach wie vor geologische Unsicherheiten in der Prognose, deshalb muss grundsätzlich mit dem unerwarteten Antreffen und Zufluss von Kohlenwasserstoffen (Erdöl, Erdgas) gerechnet werden. Solche Gefahrensituationen systematisch frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig geeignete Maßnahmen einzuleiten ist wichtig, um die Bohrung unter Kontrolle zu halten, ohne dass es zu Schäden oder Verschmutzungen kommt. Die Tiefbohranlage muss dafür mit einer speziellen Ausrüstung ausgestattet sein.

Ein strukturiertes umfangreiches HSE-Managementsystem (Health/Safety/Environment, auch GSU Gesundheit/Sicherheit/Umwelt), welches mit dem Risikomanagement verschnitten sein muss, ist somit notwendig und teilweise vorgeschrieben, wobei dies deutlich strenger zu handhaben ist, als es in vielen anderen Baubranchen üblich ist.

4. Risikomanagement-Prozess

Der Prozess der Planung und Erstellung einer geothermischen Tiefbohrung sollte einem strikten Managementprozess unterliegen.

Dies beinhaltet die Einhaltung von Entscheidungspunkten (stage gates, vgl. [3] BVEG-Leitfaden wirtschaftliche Bewertung von geologischen Risiken von Tiefengeothermieprojekten), die Vorgabe von Standards und die Definition von einzelnen Projektphasen. Dies dient der Anpassung der Planung und Umsetzung der Arbeiten an die gewonnenen geologischen Erkenntnisse unter stetiger Berücksichtigung der Projektziele. Nur so kann der Prozess einer Risikominimierung systematisch und mit Fokus auf die jeweiligen kritischen Parameter umgesetzt werden. Dieser Prozess zur Erstellung einer Bohrung ist im Anhang A beispielhaft dargestellt.

Ziel dieses Prozesses ist die Schaffung einer grundlegenden Struktur zur Auswahl, zum Entwurf, zur Umsetzung und zur Evaluierung aller Arbeiten der Bohrlocherstellung, der Bohrungstestung und der Bohrlochinbetriebnahme. Dabei sollen Lücken zwischen den Projektschritten geschlossen werden, die im Rahmen der Projekteinheiten bestehen, und die einzelnen Phasen einer rigorosen Überprüfung unterzogen werden, bevor das Projekt voranschreitet. Dazu gehören insbesondere folgende Aspekte:

- **Integration** – von einer Entscheidungsfindung in einer Fachabteilung zu einem multidisziplinären Entscheidungsprozess mit verschiedenen Gewerken der Bohrungsausführung und den geowissenschaftlichen Stakeholdern.
- **Lernen und technische Kompetenz** – von einer individuellen Kompetenzentwicklung zu einer unternehmensweiten Lernkurve
- **Organisation** – von einer ineffizienten Duplikation durch Überschneidungen zu einer klaren Verteilung von Rollen und Verantwortungen
- **Risikosteuerung** – von einer zufälligen, individuellen zu einer strukturierten und auf die wichtigen Punkte fokussierten Risikosteuerung

Jedes Unternehmen oder Planungsbüro wird einen eigenen Management-Prozess hierfür entwickelt haben. Der Management-Prozess sollte bei der Erstellung einer Tiefbohrung chronologisch folgende Punkte beinhalten:

- **Identifizierung** der geeigneten Ausführungsoptionen zur Erstellung eines Bohrloches.
- **Auswahl** der Option, welche das geringste Risiko und den größten Mehrwert generiert.
- Diese Option mit einem **detaillierten Design** inklusive Eventualfallplanung (contingency planning) ausarbeiten.
- **Umsetzung** unter strikter Einhaltung von Gesetzen, Verordnungen, Standards, Leitfäden und Auflagen.
- **Nachbereitung** der Arbeiten und Aufnahme der Verbesserungsvorschläge für Folgebohrungen oder -projekte.

Der Erstellungsprozess einer Tiefbohrung sollte weiterhin folgenden Prinzipien unterliegen:

Zu vordefinierten Entscheidungspunkten werden Schlüsselentscheidungen gemäß dem Stage-Gate-Prozess aus Anhang A getroffen, wie z.B. Konzeptauswahl oder Umsetzungsgenehmigung, und erst dann kann die nächste Phase des Projektes bearbeitet werden.

In diesem Prozessrahmen werden Ressourcen zur Verfügung gestellt. Dies beinhaltet nicht nur finanzielle Ressourcen, sondern vor allem personelle Ressourcen aller relevanter Disziplinen zur

strukturierten Erarbeitung der Vorlagen für den nächsten Entscheidungspunkt, aber auch die personellen Ressourcen zur Überprüfung dieser Vorlagen im Rahmen eines „peer review“-Verfahrens.

Ein logischer Arbeitsablauf ist in allen Phasen des Projektes aufrecht zu halten – beginnend mit einem Erkennen der Optionen und den damit verbundenen Chancen/Risiken und folgend mit einer Erarbeitung der besten Option.

Insbesondere bei geothermischen Tiefbohrungen gilt es, bereits zu Beginn der Planungsphase alle verfügbaren Daten und Informationen zum Untergrund sowie lokale bzw. regionale Bohrerfahrungen zusammenzutragen, auszuwerten, auf Relevanz zu prüfen und im weiteren Bohrplanungsprozess zu berücksichtigen (siehe auch [5] BVEG-Leitfaden geologische Risikobewertung von Tiefengeothermieprojekten).

4.1 Risikomanagement-Kreislauf

Es ist darauf zu achten, dass verschiedene Risikokategorien, die z.B. von geologischer, technischer, organisatorischer, logistischer, ökologischer, sicherheitstechnischer und vertraglicher Natur sein können, berücksichtigt und entsprechend in einem zusammenfassenden Risikokreislauf eingebunden werden.

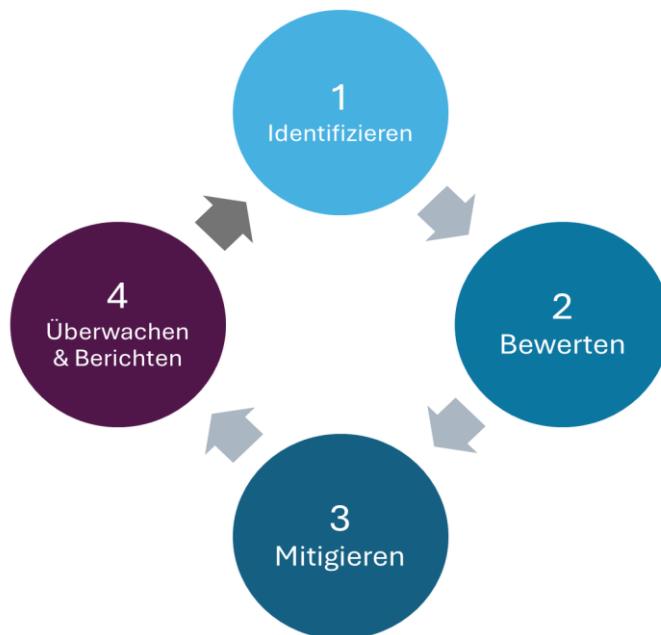


Abbildung 6: allgemeiner Risikomanagement-Kreislauf

Dieser Kreislauf besteht im allgemeinen Fall aus den Stufen Identifizieren, Beurteilen, Mitigieren und Überwachen/Berichten.

Im Idealfall sind mehrere Bohrprojekte Teil des Kreislaufes, somit kann über einen Portfolioansatz und einen Lernprozess über viele Bohrungen hinweg das Risiko minimiert werden.

Die allgemeine Abbildung 6 wird in Abbildung 7 für Tiefbohrungen konkretisiert:

1. Auf Basis einer unternehmensspezifischen Risikopolitik wird Frühaufklärung betrieben und werden Risiken identifiziert. Ein Werkzeug hierfür ist z.B. die unten beschriebene SWOT-Analyse.
2. Anschließend werden Werkzeuge wie die nachfolgend beschriebenen Risikomatrizen, Bowties und Risikoregister verwendet, um die identifizierten Risiken zu bewerten.
3. Daraufhin werden mit Hilfe derselben Werkzeuge mögliche Mitigationsmaßnahmen identifiziert und ausgewählt (Risikosteuerung), wobei von Vermeiden über Vermindern und Versichern bis zur Akzeptanz von Restrisiken priorisiert wird.
4. Beim folgenden Überwachen und Berichten werden Ergebnisnachweise erbracht, um die Risiken zu kontrollieren. Zudem ist eine entsprechende, insbesondere auch interdisziplinäre Kommunikation bedeutsam.

Risikomanagement - Kreislauf

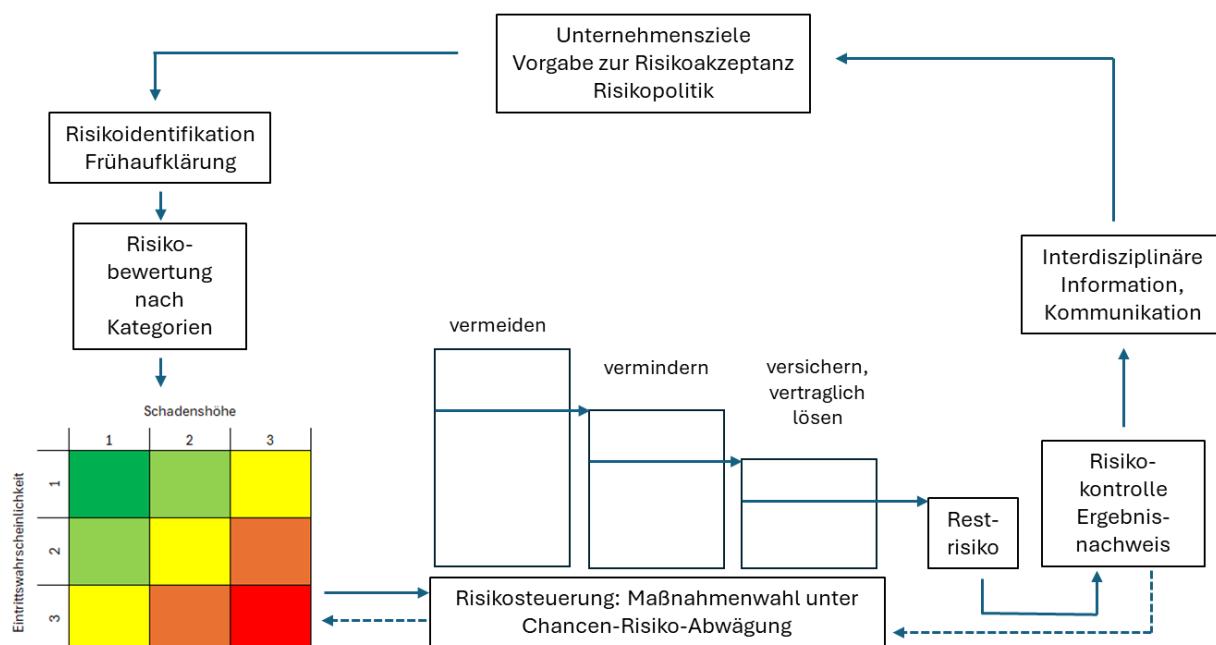


Abbildung 7: Risikomanagement-Kreislauf bei Tiefengeothermieprojekten

Der in Abbildung 7 beschriebenen Prozesskreislauf findet als Teilprozess mit zunehmender Detaillierung entlang der Phasen des geothermischen Stage-Gate Prozesses statt (siehe Abbildung 8), der in seiner Gesamtheit im Leitfaden [3] „wirtschaftliche Bewertung geologischer Risiken von tiefengeothermischen Projekten“ beschrieben wird. Die Ergebnisse von Risikosteuerung und -kontrolle sind dabei wichtige Eingangsparameter für die Final Investment Decision (FID) insbesondere von Gate 3. Bohrtechnische und geologische Aspekte sind hierbei verzahnt zu betrachten.

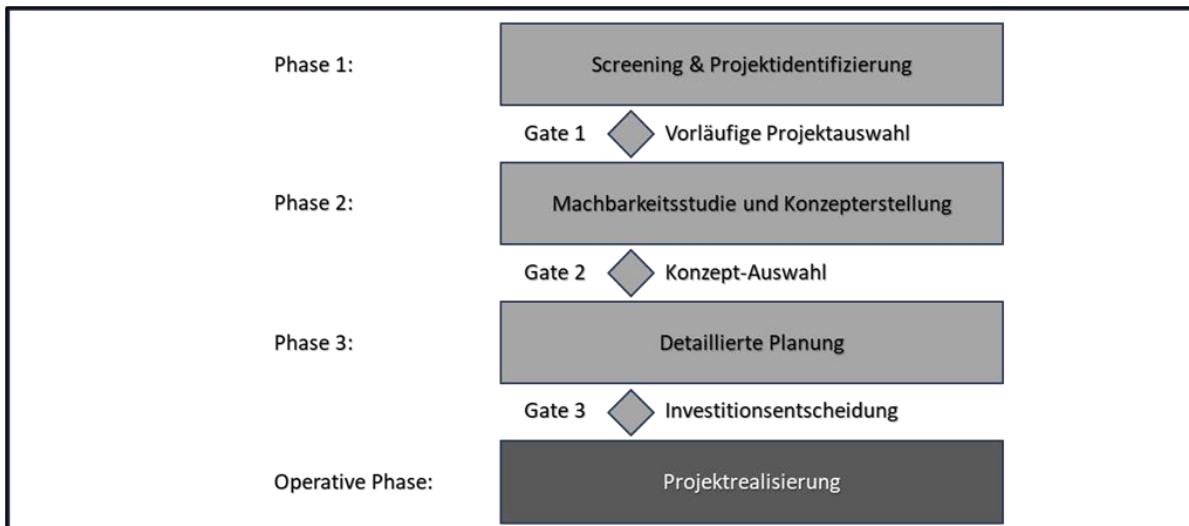


Abbildung 8: Geothermischer Stage-Gate-Prozess

4.2 Effektives Risikomanagement

Basierend auf der Projektgröße, der Projektkomplexität und der Erfahrung des Unternehmens wird der Erstellungsprozess einer Tiefbohrung komplexer bzw. weniger aufwendig. So kann z.B. bei sich wiederholenden Bohrungen im Rahmen einer größeren Feldesentwicklung und nach einer ausgiebigen Explorationsphase von einem individuellen Erstellungsprozess abgesehen und standardisiert werden. Dies stellt in der Kohlenwasserstoffindustrie, die größere Feldesentwicklung betreibt, einen positiven Einfluss auf Prozess und Ergebnisse dar. Hierfür gibt es u.a. die private weltweite «Rushmore» Datenbank und in den Niederlanden als öffentliche Lösung [11] „NLOG.nl“. In der Geothermie ist dies in der Regel erst im Entstehen.

In vielen europäischen Kohlenwasserstoffregionen befindet man sich auf der Abbildung 9 im unteren linken Quadranten. Ähnliches gilt z.B. für Erweiterungen von Anlagen in Teilen der bayrischen Molasse.

Viele aktuelle Geothermieprojekte befinden sich jedoch im oberen rechten Quadranten und bedürfen daher einer detaillierten Prozessbegleitung zur Risikomitigation.

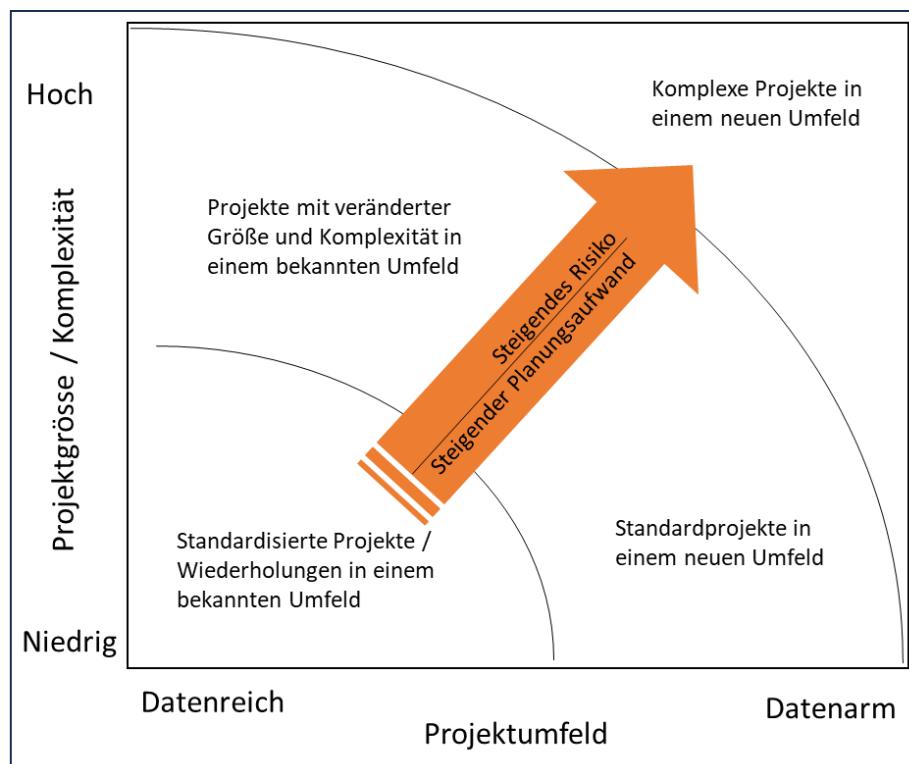


Abbildung 9: Risikoevaluierung nach Projektgröße/-komplexität und Projektumfeld

4.3 Einteilung von Risiken nach Wahrscheinlichkeit und Auswirkung

Die Aufteilung von Risiken nach Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung (Schadenshöhe) ist dabei ein wesentlicher Bestandteil eines effektiven Risikomanagements. Sie ermöglicht die Priorisierung und gezielte Behandlung von Risiken, verbessert die Ressourcenzuweisung und unterstützt eine fundierte Entscheidungsfindung. Darüber hinaus fördert sie die Transparenz und Kommunikation innerhalb des Projekts und erleichtert die kontinuierliche Überwachung und Anpassung der Risikomanagementstrategien.

4.3.1 Eintrittswahrscheinlichkeit

Die Eintrittswahrscheinlichkeit beschreibt, wie wahrscheinlich es ist, dass ein Ereignis eintritt. Sie kann auf einer Skala von sehr unwahrscheinlich bis sehr wahrscheinlich bewertet werden:

1. Sehr unwahrscheinlich: Weniger als 5% Eintrittswahrscheinlichkeit.
2. Unwahrscheinlich: 5-20% Eintrittswahrscheinlichkeit.
3. Möglich: 21-50% Eintrittswahrscheinlichkeit.
4. Wahrscheinlich: 51-80% Eintrittswahrscheinlichkeit.
5. Sehr wahrscheinlich: Mehr als 80% Eintrittswahrscheinlichkeit.

4.3.2 Auswirkung (Schadenshöhe)

Die Schadenshöhe beschreibt die potenziellen Auswirkungen eines Ereignisses auf das Projekt. Diese können ebenfalls z.B. auf einer Skala von gering bis katastrophal bewertet werden:

1. Gering: Geringfügige Auswirkungen auf den Projektzeitplan oder das Budget, leicht zu bewältigen.

2. **Moderat:** Moderate Auswirkungen auf Zeitplan oder Budget, erfordert Anpassungen im Projektplan.
3. **Erheblich:** Erhebliche Auswirkungen auf Zeitplan oder Budget, erfordert erhebliche Anpassungen und Managementaufmerksamkeit.
4. **Schwerwiegend:** Schwere Auswirkungen auf das Projekt, potenziell gefährdend für das Projektziel, erfordert sofortige Maßnahmen.
5. **Katastrophal:** Katastrophale Auswirkungen, führt möglicherweise zum Scheitern des Projekts, erfordert sofortige und umfassende Maßnahmen.

Auswirkungen können dabei verschiedener Natur sein, z.B. bezogen auf Kosten, Umwelt, Arbeitssicherheit oder Akzeptanz.

Auswirkungskategorien können ggfs. noch weiter konkretisiert werden, z.B. ab X Euro Kosten oder nach Emissionsmenge.

4.4 Risikomatrix

Eine Risikomatrix, z.B. mit obigen Definitionen als 5x5 Matrix, ist ein visuelles Werkzeug, das im Risikomanagement verwendet wird, um Risiken basierend auf ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und ihren Auswirkungen zu bewerten und zu priorisieren. Die Matrix besteht aus einem Raster, wobei die Spalten die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Reihen die Auswirkung darstellen.

4.4.1 Aufbau der Matrix

Die 5x5-Risikomatrix wird durch die Kreuzung der fünf Eintrittswahrscheinlichkeitsstufen mit den fünf Auswirkungs-Stufen gebildet, sodass insgesamt 25 Felder entstehen. In der Praxis werden auch 3x3-Matrizen bis 7x7-Matrizen je nach Komplexitätsbedarf der Organisation verwendet. Jedes Feld in der Matrix repräsentiert eine Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung. Häufig werden die Felder der Matrix farblich kodiert, um die Risikoeinstufung auf einen Blick ersichtlich zu machen.

- **Grün:** Niedriges Risiko (nicht kritisch, geringe Priorität)
- **Gelb:** Mittleres Risiko (moderate Priorität, regelmäßige Überwachung erforderlich)
- **Rot:** Hohes Risiko (kritisch, hohe Priorität, sofortige Maßnahmen erforderlich)

		Schadenshöhe				
		1 Gering	2 Moderat	3 Erheblich	4 Schwerwiegend	5 Katastrophal
Eintrittswahrscheinlichkeit	1 Sehr un- wahrscheinlich					
	2 Un- wahrscheinlich					
	3 Möglich					
	4 Wahrscheinlich					
	5 Sehr wahrscheinlich					

Abbildung 10: 5x5 Risikomatrix

Das Risiko selbst wird häufig neben farblicher Markierung auch als priorisierte Kategorie dargestellt, z.B. als Produkt der Kategorien Schadenshöhe (z.B. „2“) und Eintrittswahrscheinlichkeit (z.B. „4“) als Priorisierungskategorie 8 (= 2 x 4).

4.4.2 Erfassung der Risikosteuerung

Nachdem die anfänglich erkannten Risiken bewertet wurden und Steuerungsmaßnahmen zur Risikosteuerung vorgeschlagen worden sind, muss eine zusätzliche Risikobewertung nach der Risikosteuerung erfolgen. Dies wird ebenfalls in der Risikomatrix eingetragen, sodass sichtbar wird, wie sich die Risikobewertung dort verschoben hat.

4.4.3 Einsatz der Risikomatrix

Risikomatrizen werden wie folgt benutzt:

1. Bewertung von Risiken: Jedes identifizierte Risiko wird anhand seiner Eintrittswahrscheinlichkeit und seiner Auswirkung bewertet und in das entsprechende Feld der Matrix eingetragen.
2. Priorisierung von Maßnahmen: Risiken, die in den roten Feldern (hohes Risiko) landen, erhalten höchste Priorität für Maßnahmen zur Risikosteuerung und sollten weiter analysiert werden, z.B. mit einer Bow-Tie-Analyse. Risiken in den gelben Feldern werden regelmäßig überwacht und bei Bedarf behandelt. Risiken in den grünen Feldern erfordern meist keine unmittelbaren Maßnahmen.
3. Kommunikation: Die Matrix bietet eine visuelle und verständliche Darstellung der Risikolandschaft eines Projekts, was die Kommunikation mit Stakeholdern erleichtert.

Bei der oben genannten Risikosteuerung wird wie in Abbildung 7 dargestellt, zunächst nach Maßnahmen gesucht, die das jeweilige Risiko komplett vermeiden (z.B. kann aufgesalzene Bohrspülung das Auswaschen von zu durchbohrenden Salzschichten vermeiden). Wenn dies nicht möglich ist, werden Maßnahmen zur Verringerung des Risikos gesucht (z.B. ein Messwerkzeug nicht

am Kabel, sondern an einem „coiled tubing“ herablassen). Alternativ oder ergänzend ist eine Versicherung gegen den Eintrittsfall zu prüfen und ggfs. abzuschließen.

5. Werkzeuge der Risikoanalyse

Die Risikoanalyse ist ein wesentlicher Bestandteil des Risikomanagements in Projekten. Sie hilft, potenzielle Risiken systematisch zu identifizieren, zu bewerten und geeignete Maßnahmen zur Risikosteuerung zu planen. Verschiedene Werkzeuge der Risikoanalyse bieten strukturierte Ansätze, um Risiken zu verstehen und zu bewältigen. Diese Werkzeuge ermöglichen es Projektmanagern und Teams, fundierte Entscheidungen zu treffen und die Eintrittswahrscheinlichkeit negativer Auswirkungen auf das Projekt zu minimieren. Zu den gängigen Werkzeugen der Risikoanalyse gehören die Bow-Tie-Analyse, die SWOT-Analyse und das Risikoregister, die jeweils spezifische Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten bieten.

In der Regel wird zunächst eine SWOT-Analyse oder alternative Risikoerkennungsmethode durchgeführt, deren Ergebnisse dann in ein Risikoregister einfließen. Anschließend sollte für die hohen Risiken noch jeweils eine Bow-Tie-Analyse durchgeführt werden.

5.1 SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse (Strengths/ Weaknesses/ Opportunities/ Threats) ist ein weiteres nützliches Werkzeug zur Risikoanalyse. Sie hilft dabei, interne Stärken und Schwächen sowie externe Chancen und Risiken zu identifizieren, die das Projekt beeinflussen könnten.

1. Stärken (S): Interne Faktoren, die das Projekt positiv beeinflussen.
2. Schwächen (W): Interne Faktoren, die das Projekt negativ beeinflussen.
3. Chancen (O): Externe Faktoren, die positive Auswirkungen auf das Projekt haben.
4. Risiken (T): Externe Faktoren, die negative Auswirkungen auf das Projekt haben.

SWOT Analyse

	Hilfreich im Erreichen der Ziele	Schädlich im Erreichen der Ziele
organisations- intern	S	W
organisations- extern	O	T

Abbildung 11: Quadranten einer SWOT-Analyse

Mithilfe dieser Darstellung können anschließend zielgerichtet Maßnahmen identifiziert werden, die auf der einen Seite Stärken weiter verstärken und Chancen wahrscheinlicher werden lassen und auf

der anderen Seite Schwächen verringern und Risiken unwahrscheinlicher werden lassen. Die Ergebnisse können dann als Eingangsgrößen für ein Risikoregister dienen.

Zu den typischen Gefahren bei geothermischen Tiefbohrprojekten gehören unter anderem die Möglichkeit des Auftretens von induzierter Seismizität, das Auftreten von unerwarteten geologischen Formationen, Druckabfälle oder -anstiege in den Bohrlöchern sowie potenzielle Umweltauswirkungen und unzureichende Organisationsformen und die daraus resultierenden Unzulänglichkeiten.

5.2 Risikoregister

Ein Risikoregister ist ein zentrales Werkzeug der Risikoanalyse, das dazu dient, alle identifizierten Risiken eines Projekts an einem Ort zu dokumentieren. Ein Beispiel hierfür wird u.a. im Risikoregister auf (10) www.georisk-project.eu aufgeführt.

Es bietet eine strukturierte Übersicht über die Ereignisse, ihre Bewertung hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung sowie die geplanten Maßnahmen zur Risikosteuerung. Durch regelmäßige Aktualisierung und Überwachung des Risikoregisters können Projektmanager sicherstellen, dass Risiken proaktiv behandelt werden und das Projektteam stets über den aktuellen Risikostatus informiert ist.

5.3 Bow-Tie-Analyse

Die Bow-Tie-Analyse ist ein visuelles Werkzeug zur Darstellung und Analyse von Risiken. Sie kombiniert Elemente der Fehlerbaumanalyse und der Ereignisbaumanalyse), um die Ursachen und Auswirkungen eines Risikos sowie die Kontrollmaßnahmen zur Risikominderung zu identifizieren. Die Bow-Tie-Analyse wird in der Regel nur für die höchsten Risiken, die in der Risikomatrix identifiziert wurden, durchgeführt und sind Ereignis-zentriert.

Folgende Schritte werden dabei umgesetzt:

1. Risikomanagement:
In der Mitte des Diagramms wird das zentrale Ereignis dargestellt.
2. Ursachenanalyse:
Auf der linken Seite des Bow-Tie-Diagramms werden die Ursachen eines möglichen Ereignisses identifiziert und dargestellt.
3. Folgenanalyse:
Auf der rechten Seite des Diagramms werden die potenziellen Folgen oder Auswirkungen des Ereignisses dargestellt.
4. Kontrollmaßnahmen:
 - a. Maßnahmen („Barrieren“) zur Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses werden links eingefügt
 - b. Maßnahmen („Barrieren“) zur Begrenzung der Folgen (reaktive Maßnahmen) werden rechts dargestellt.

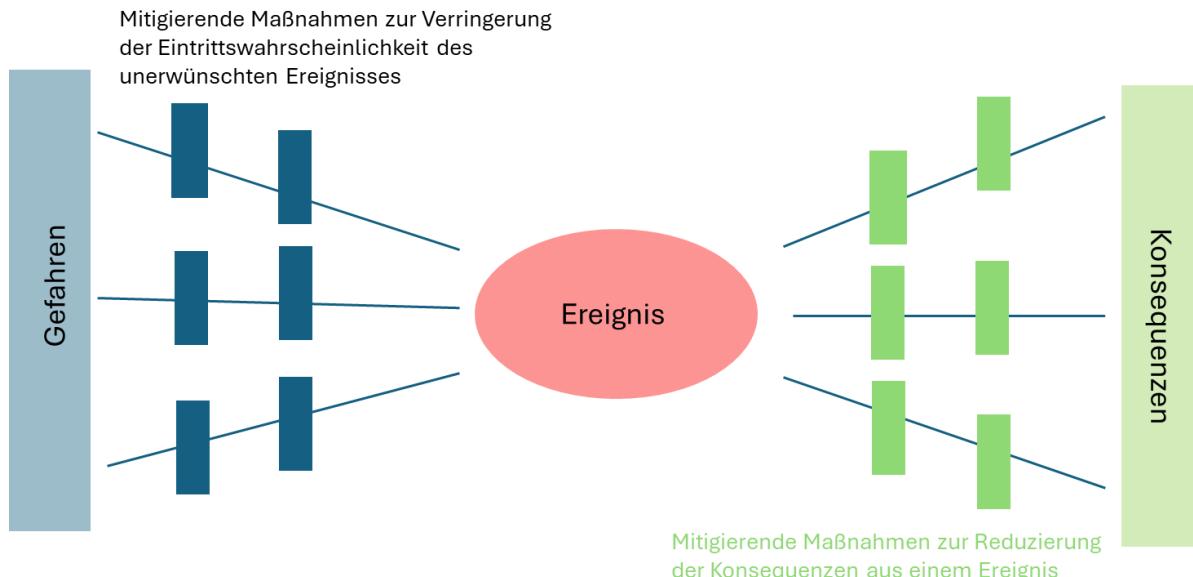


Abbildung 12: generisches Bow-Tie-Diagramm

Grundgedanke des Bow-Tie-Diagramms ist Risikominderung durch möglichst viele, möglichst wirksame Risikosteuerungsmaßnahmen, die seriell wirken. Keine Maßnahme wird dabei als perfekt angenommen, es ist die Summe (genaugenommen das Produkt), die den Unterschied macht.

Anhang B zeigt ein Beispiel eines Bow-Tie-Diagramms – links die Ursachen und dazu passende präventive Maßnahmen des Ereignisses und rechts die mitigierenden Maßnahmen und möglichen Konsequenzen.

5.4 Entscheidungsbaumplanung („Decision Tree Planning“)

Ein Entscheidungsbaum ist eine grafische Darstellung von Entscheidungen und ihren möglichen Folgen, einschließlich zufälliger Ereignisse, Ressourcenkosten und Nutzen. Bei der Bohrlochplanung hilft er Ingenieuren und Managern dabei, verschiedene Bohrstrategien unter Unsicherheit zu bewerten – beispielsweise ob ein Bohrloch abgelenkt, neu gebohrt oder fertiggestellt werden soll – basierend auf der erwarteten Leistung und den Kosten.

Entscheidungsbäume werden vor Abteufen der Bohrung definiert, um a-priori die richtigen Entscheidungen während der Bohrphase festzulegen. So können Kosten gespart und Ergebnisse optimiert werden. Je genauer die Wahrscheinlichkeiten für die möglichen Eintrittsfälle bestimmt werden, umso effektiver arbeitet das Tool.

Dabei können Entscheidungsbäume auf unterschiedlichen Ebenen wirken. Auf der höchsten Ebene werden Entscheidungsbäume z.B. verwendet, um auf unterschiedliche Ergebnisse der Injektivität oder Produktivität zu reagieren. Dann gibt der vorab erstellte Entscheidungsbaum die bestmöglichen Reaktionen auf die angetroffenen Ergebnisse bereits vor (siehe Abbildung 13). Aber auch auf niedrigeren Ebenen können Entscheidungsbäume sehr zur Qualität der Bohrung beitragen, etwa bei der Festlegung von Verrohrungstiefen oder der Spülungsgewichte etc.

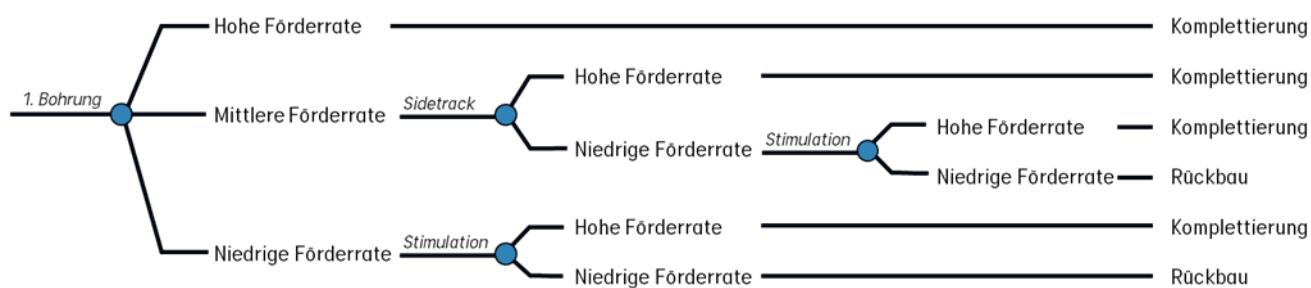


Abbildung 13: Typischer Entscheidungsbaum einer Geothermiebohrung

Abbildung 13 zeigt einen typischen Entscheidungsbaum, wie bei einer Geothermiebohrung auf niedrige und hohe Förderraten reagiert wird. Die blauen Punkte repräsentieren dabei geologische Ergebnisse nach einer Aktion. Je genauer die Wahrscheinlichkeiten für die möglichen Ergebnisse vorab bestimmt wurden, umso effektiver kann die Bohrung geplant und während der Bohrphase reagiert werden. Für Details siehe auch [19].

6. Erstellung von Risikoregistern

Die Bedeutung eines Risikoregisters liegt in seiner Fähigkeit, ein Projektteam proaktiv auf mögliche Probleme vorzubereiten. Durch die strukturierte Dokumentation und Bewertung von Risiken können Maßnahmen zur Risikosteuerung frühzeitig geplant und umgesetzt werden, was die Wahrscheinlichkeit des Projekterfolgs erhöht.

Ein Risikoregister ist ein Werkzeug für Projektmanager, Teammitglieder und relevante Stakeholder wie Versicherer und Investoren. Es umfasst für gewöhnlich folgende Aspekte (weiterführend siehe auch [16]):

- die identifizierten Gefährdungen,
- bestehende Sicherungen, Minderungs- und Kontrollmaßnahmen,
- eine anfängliche Risikobeschreibung ohne Einsatz von Kontrollmaßnahmen
- Plan zur Umsetzung von Kontrollmaßnahmen
- Beschreibung des Risikos nach den Kontrollmaßnahmen

Chronologisch geht man in der Regel wie folgt vor:

6.1 Risikoerkennung und -beschreibung

Die erste und grundlegende Komponente eines Risikoregisters ist die Risikoerkennung.

Es gibt verschiedene Methoden zur Identifizierung von Risiken, darunter:

- Brainstorming: Eine Gruppenaktivität zur Generierung von Ideen und möglichen Risiken.
- Interviews: Gespräche mit Experten und Stakeholdern zur Identifizierung spezifischer Risiken, z.B. durch ein Beratungsgespräch bei der Bergbehörde
- SWOT-Analyse: Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken eines Projekts, wobei die Risiken als Einträge übernommen werden und Stärken, Chancen und Schwächen als bewertende Parameter verwendet werden
- Generische Risikolisten wie z.B. bei [10] www.georisk-project.eu, von [1] bgrm in Frankreich oder [12] KEM-06 in den Niederlanden

- Recherche von ähnlichen bereits durchgeführten Bohrprojekten und ihrer verfügbaren Dokumentation.

Risiken können aus verschiedenen Quellen stammen, darunter:

- Interne Quellen: Organisatorische Veränderungen, technische Probleme, Ressourcenmangel.
- Externe Quellen: Marktveränderungen, rechtliche Vorschriften, Umweltfaktoren.

Auch Risiken, die nicht nur für Bohrprojekte relevant sind, z.B. herunterfallende Gegenstände oder Unfälle durch unordentliche Arbeitsbereiche, müssen identifiziert und mitigiert werden. Anschließend werden die erkannten Risiken im Risikoregister beschrieben, wobei in der Regel neben dem Ereignis auch der Auslöser sowie die Konsequenz benannt werden (siehe Abbildung 14).

6.2 Kategorisierung von Risiken

Eine effektive Kategorisierung von Risiken hilft dabei, den Überblick zu behalten und gezielte Maßnahmen zu planen. Hier sind einige der gängigsten Kategorisierungen aufgeführt:

- Strategische Risiken: Risiken, die sich auf die strategischen Ziele und das Geschäftsmodell auswirken. (z.B. Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung vor Ort, Verfügbarkeit von kritischen Ressourcen)
- Operative Risiken: Risiken, die den operativen Betrieb und die internen Prozesse betreffen. Hierzu zählen u.a. die bohrtechnischen Risiken und Arbeitssicherheitsrisiken. (z.B. Bohrstrangabbruch oder eine zusätzlich notwendige Ablenkbohrung)
- Finanzielle Risiken: Risiken, die die wirtschaftlichen Ergebnisse beeinflussen. (z.B. Zinsentwicklung oder Fördergeldzusagen)
- Rechtliche Risiken: Risiken, die aus rechtlichen und regulatorischen Anforderungen entstehen. (z.B. neue Vorgaben zum «Stand der Technik» oder Notwendigkeit von zusätzlichen Genehmigungen)
- Technologische Risiken: Risiken im Zusammenhang mit Technologie und IT-Systemen. (z.B. Festlegung und Abhängigkeit von Partnern durch Technikauswahl oder Bohranlagenverfügbarkeit)
- Umweltrisiken: Risiken, die sich auf die Umwelt auswirken oder von Naturereignissen verursacht werden. (z.B. Bohrungsintegritätsrisiken oder Hochwasserereignisse)
- Geologische Risiken: Risiken, welche sich durch Unsicherheiten bei der geologischen Prognose ergeben. Siehe auch [3] „BVEG-Leitfaden wirtschaftliche Bewertung von geologischen Risiken bei tiefengeothermischen Projekten“ (z.B. fehlendes oder nicht ausreichend durchlässiges Reservoir)
- Marktrisiken: Risiken, die durch Veränderungen im Marktumfeld und im Wettbewerb entstehen. Hierunter fallen auch Akzeptanzrisiken. (z.B. Energiepreisentwicklung oder die Ausbaugeschwindigkeit des Wärmenetzes)

Diese vorliegenden Risiken sollten grundsätzlich bei Geothermieprojekten betrachtet werden und können mit Risikoregistern umfassend dargestellt werden. Es kann auch ein engerer Kreis von Risiken so abgebildet werden (z.B. nur operative Risiken); für eine projektumfassende Analyse sind jedoch alle Risikokategorien zu berücksichtigen.

6.3 Risikobewertung

Nachdem Risiken identifiziert wurden, müssen sie bewertet werden. Die Risikobewertung findet oft zeitgleich mit oder sofort nach der Risikoerkennung statt. Wichtig ist dabei, dass dies durch eine damit

erfahrene interdisziplinäre Gruppe von Fachleuten geschieht, meist im Rahmen eines Workshops. Folgendes sind die Bewertungsparameter:

1. Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit: Dies kann durch qualitative (niedrig, mittel, hoch) oder quantitative (prozentuale Eintrittswahrscheinlichkeit) Methoden bewertet werden. Hierfür wird oft eine Risikomatrix geführt.
2. Bewertung der Auswirkungen: Die Auswirkungen eines Risikos beschreiben den potenziellen Schaden, den ein Ereignis verursachen kann. Dies wird ebenfalls qualitativ oder quantitativ bewertet und oft in einer Risikomatrix geführt.

Für Details zur Risikobewertung mittels Risikomatrizen siehe Kapitel 4.4.

Risikobeschreibung			Evaluierung vor Mitigationsmassnahmen		
Auslöser	Ereignis	Konsequenz	Eintrittswahrscheinlichkeit	Schadenshöhe	Schwere der Konsequenz

Abbildung 14: Spalten zur Risikobeschreibung und Risikobewertung eines Risikoregisters

6.4 Priorisierung von Risiken

Nach der Bewertung müssen die Risiken priorisiert werden. Optisch kann dies sehr gut in einer Risikomatrix dargestellt werden (siehe Abbildung 16).

Kriterien zur Priorisierung umfassen die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Auswirkungen des Ereignisses.

Risiken werden basierend auf ihrer Bewertung eingestuft, um die höchsten Risiken zuerst und am detailliertesten zu steuern. Häufig wird dabei das Produkt der qualitativen Stufen von Eintrittswahrscheinlichkeit und von Konsequenz verwendet.

6.5 Planung der Risikoreaktion

Für die wichtigsten Risiken müssen Reaktionsstrategien entwickelt werden.

Dies sind Strategien zur Risikoreaktion (siehe auch Abbildung 7), wobei folgende Reihenfolge wünschenswert ist:

1. Priorität: Vermeidung (Maßnahmen zur Vermeidung des Risikos).
2. Priorität: Verminderung (Maßnahmen zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeit oder Auswirkungen)
3. Priorität: Übertragung (Übertragung des Risikos auf eine dritte Partei (z.B. Versicherung))
4. Priorität: Akzeptanz (Bewusste Entscheidung, das Risiko zu akzeptieren).

Strategien werden durch detaillierte Aktionspläne konkretisiert und die Verantwortlichkeiten und Ressourcen zur Risikobewältigung festlegen. Danach wird eine verantwortliche Person oder Gruppe benannt, deren Aufgabe es ist, diese Maßnahmen umzusetzen.

Risikokategorie	Risikomitigierende Massnahmen	Risikoeigentümer	Evaluierung nach Mitigationsmaßnahmen		
			Eintrittswahrscheinlichkeit	Schadenshöhe	Schwere der Konsequenz

Abbildung 15: Abschnitt eines Risikoregisters, das risikosteuernde Maßnahmen beschreibt

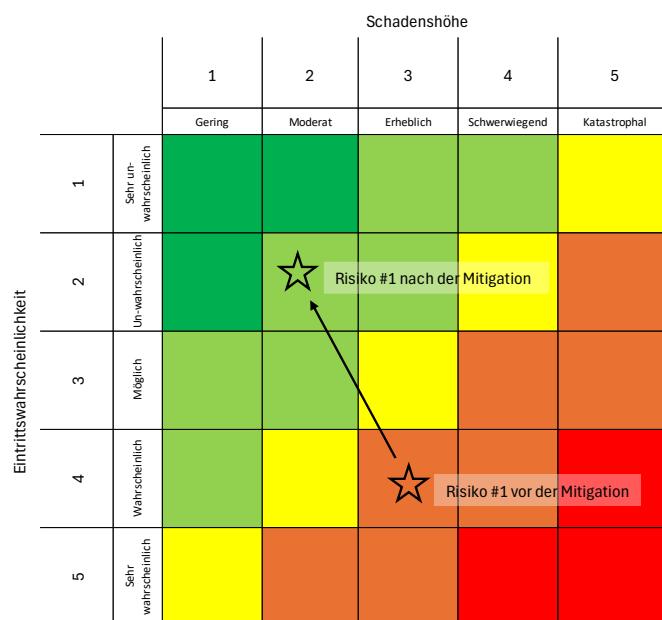


Abbildung 16: Risikomatrix mit Beispielrisiko vor und nach Mitigation

6.6 Überwachung und Steuerung von Risiken

Risiken müssen kontinuierlich überwacht und gesteuert werden. Dies ist wichtig, um Genauigkeit und Relevanz sicherzustellen. Dies kann im Rahmen von Projektstatusmeetings oder speziellen Risikobewertungen erfolgen.

Der Überwachungsprozess umfasst die ständige Beobachtung der identifizierten Risiken und der Wirksamkeit der Maßnahmen zur Risikobewältigung. Das Risikoregister sollte dabei nahtlos in die bestehenden Projektmanagementprozesse integriert werden, um eine kohärente und effektive Risikobewältigung zu gewährleisten.

Um neue Risiken zu erfassen und bestehende Einträge zu überarbeiten, erfolgt eine regelmäßige Aktualisierung des Risikoregisters.

Dies ermöglicht eine regelmäßige Berichterstattung an Stakeholder über den Status der Risiken, dokumentiert die getroffenen Maßnahmen und erlaubt so, den Überblick zu behalten und die Nachvollziehbarkeit der Reaktionspläne zu gewährleisten.

Bei der Nutzung und Erstellung des Risikoregisters ist es angeraten, eine Sicherheitsfachkraft einzubinden. Ein funktionierendes HSE- und Qualitätsmanagement ist notwendig und bergrechtlich verpflichtend.

Eine Kultur der kontinuierlichen Verbesserung sollte gefördert werden, indem aus vergangenen Erfahrungen gelernt und die Risikomanagementprozesse entsprechend weiterentwickelt werden.

Bei den zentralen Risiken und Mitigationsmethoden ist es oft sinnvoll im Rahmen eines Management-of-Change-Prozesses für Entwicklungen, die vom Plan abweichen, im Vorfeld eine Decision Tree Planung durchzuführen. Dies erlaubt schnelles und angemessenes Reagieren auf Überraschungen.

Grundsätzlich ist eine eindeutige Verteilung der Verantwortlichkeiten (und ihren Grenzen) mit klaren Stellenbeschreibungen in allen Bereichen der Planung und Ausführung vom Management bis hin zum Schichtbohrarbeiter entscheidend für einen reibungslosen und sicheren Bohrbetrieb. Dies spiegelt sich in den hier beschriebenen Managementsystemen wider. Wichtig ist auch zu verstehen, dass diese Prozesse aufgrund von einem 24/7 Bohrbetrieb wichtige Entscheidungen auch am Wochenende, Feiertagen und auch nachts erlauben müssen. Zudem ist wegen der Interdisziplinarität ein strukturiertes Informationsmanagement wichtig.

7. Versicherung von bohrtechnischen und Fündigkeits-Risiken

Durch ein umfassendes Risikomanagement in der Planungs- und Ausführungsphase können zahlreiche technische und geologische Risiken bereits umfassend reduziert oder vermieden werden. Allerdings bestehen Restrisiken, die mit den Unsicherheiten des nur zum Teil bekannten Untergrundes und den gewählten Ausführungsoptionen verbunden sind. Um die Restrisiken für den Projektentwickler teilweise zu übertragen, bestehen verschiedene Versicherungslösungen am Markt, um dieses Risiko abzusichern.

7.1 Bohrrisiko und Lost-in-Hole Versicherung

Bohrtechnische Risiken können über eine spezifische Bohrrisiko- und Lost-in-hole-Versicherung abgesichert werden. Hierbei ist die detaillierte technische Analyse des Bohrprogramms und der involvierten Ausführungsunternehmen ein zentraler Bestandteil der Eingangsprüfung der Versicherer.

Dies ist insbesondere deswegen wichtig, da bei Tiefbohrungen die Bohrrisiken in der Regel nicht von den Auftragnehmern übernommen werden. Die Bohrrisikoversicherung deckt üblicherweise physische Schäden an der hergestellten Bohrung während des Bohr-, Ausbau- und Testprozesses ab, wobei hier projektspezifische Randbedingungen definiert werden können.

Eine Teilkomponente der Bohrrisikoversicherung kann eine Lost-in-hole-(LiH)Versicherung sein, die im Falle eines Feststeckens von Bohrwerkzeugen erforderliche Fangarbeiten zur Bergung der Werkzeuge oder des Bohrstranges bis zu einer zuvor festgelegten Deckungssumme übernimmt oder bei nicht erfolgreicher Bergung den Wert der eingesetzten Werkzeuge ersetzt. Komplexe Bohrwerkzeuge werden in der Regel von Dienstleistern gemietet. Eine Lost-in-hole Versicherung kann Teil eines Versicherungskonzeptes sein, das vorzugsweise vom Auftraggeber beauftragt werden sollte. Die im Falle von nicht erfolgreichen Bergungsarbeiten als Folge auszuführende Ablenkbohrung (Sidetrack) zur Umfahrung des steckengebliebenen Abschnittes ist dann ggf. durch die Bohrrisikoversicherung gedeckt.

Ein unwahrscheinliches, aber sehr folgenreiches Szenario stellt ein «Blow-out» der Bohrung dar (unkontrollierter Austritt von großen Mengen Lagerstättenflüssigkeiten oder -gasen aus der Bohrung) dar, der als weitere Teilkomponente («Control of well») der Bohrrisikoversicherung abgedeckt werden kann.

7.2 Fündigkeitsversicherung

Darüber hinaus kann auch das Explorationsrisiko der Fördigkeit je nach Region zu unterschiedlichen Konditionen versichert werden. Hierbei werden die geowissenschaftlichen Daten und Ressourcenbewertung in den Fokus der Evaluierung durch den Versicherer genommen. Geothermieprojekte, die in Regionen mit bereits erfolgreich laufenden Projekten oder zahlreichen alten Kohlenwasserstoff-Bohrungen liegen, sind hier gegenüber sog. greenfields, also Regionen mit wenigen Untergrund- oder Bohrungsdaten im Vorteil.

Eine Möglichkeit hierbei liegt in Deutschland voraussichtlich beim Programm 572 der KfW zur Absicherung der Fördigkeit bei Tiefengeothermieprojekten. Ziel ist es dabei, eine durch Hausbanken gestützte Finanzierung der ansonsten nur aus Eigenmitteln darstellbaren ersten Bohrung vor Feststellung der Fördigkeit zu ermöglichen.

7.3 Haftpflichtversicherung inkl. Bergschadensabdeckung

Sehr häufig wird von den zuständigen Bergbehörden eine Absicherung der potenziellen sogenannten Bergbaufolgeschäden gefordert. Hier haben die Behörden meist potenzielle umweltrelevante Technikfolgen, wie zum Beispiel das Austreten von Flüssigkeiten oder Mikroseismizität (leichte Erdbeben) im Fokus. Auch hierzu gibt es am Versicherungsmarkt spezifische Haftpflichtversicherungen, welche Bergschäden zusätzlich zu den üblichen Haftpflichtversicherungsbedingungen inkludieren. Darüberhinausgehend kann es sinnvoll sein, als Projektentwickler in den Bergschadensausfallkasse e.V. einzutreten. Dies ist ein Verein aller wesentlichen Akteure im Bergbaubereich in Deutschland, die mit Bergbaufolgeschäden potenziell befasst sind. Innerhalb der Bergschadensausfallkasse besteht der Zugang zu einem zusätzlichen Absicherungsmechanismus, der im Extremfall greifen würde, wenn die vorgelagerte Haftpflichtversicherungssumme nicht ausreicht, um den tatsächlich aufgetretenen Schadensfall zu regulieren. Es ist anzumerken, dass dieser Extremfall seit dem Bestehen der Bergschadensausfallkasse noch nie zur Anwendung kommen musste, da die vorgelagerten Versicherungslösungen ausreichend in ihren Deckungssummen (meist hohe 7- bis 8-stellige Beträge) bemessen sind und zudem in der Geothermie in Deutschland auch noch keine hohen Millionenschäden entstanden sind und damit auch zukünftig nicht zu rechnen ist.

7.4 Kommerzielle Aspekte

Die üblichen Versicherungsprämien und Selbstbehalte für solche Versicherungslösungen orientieren sich an den Gesamtbohrkosten bzw. im Falle der LiH-Versicherung am teuersten Bohrwerkzeug- oder Loggingstrang und sind meist deutlich 6- bis 7-stellig, so dass für ein Einzelprojekt (typischerweise Dublette) oder einen Portfolioansatz mit mehreren Bohrungen eine unterschiedliche wirtschaftliche Bewertung und Sinnhaftigkeit eines solchen Konzeptes gegeben sein kann. Es empfiehlt sich insbesondere bei einem Portfolioansatz, verschiedene worst-case Szenarien und Prämienmodelle zu evaluieren.

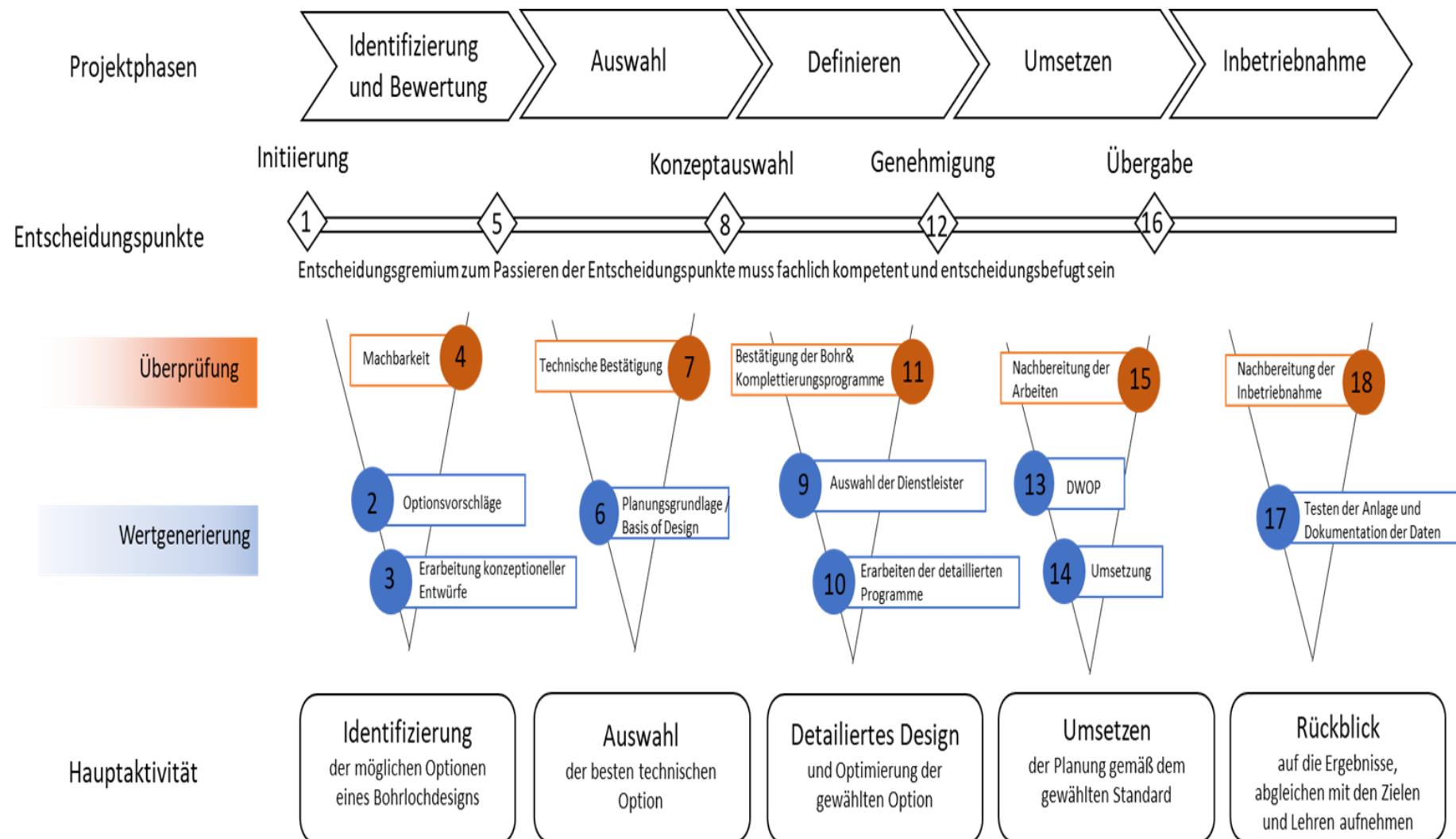
Üblicherweise werden die privatwirtschaftlichen Versicherungslösungen in einem Konsortium von verschiedenen Versicherungsunternehmen angeboten, die sich das Risiko zu intern ausgehandelten Prozentsätzen teilen. In der Regel gibt es für den Projektentwickler dabei aber nur einen Ansprechpartner des Versicherers, der die Führung des Konsortiums übernimmt und die angeschlossenen Versicherer intern informiert. Dabei muss in der Regel ein „Warranty Surveyor“, also ein fachspezifischer Versicherungsgutachter wie oben beschrieben projektbegleitend eingebunden werden.

Quellenverzeichnis

- [1] BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières, „Good practice guide for lessons learned from deep geothermal drilling“, *Geothermies*, 2021.
<https://www.geothermies.fr/good-practice-guide-lessons-learned-deep-geothermal-drilling> (zugegriffen 3. Februar 2025).
- [2] BVEG Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., „Bohrlochkontrolle. Bohren, Workover, Well Intervention“, 2015. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bveg.de/wp-content/uploads/2021/09/BVEG-Technische-Regel-Bohrlochkontrolle.pdf>
- [3] BVEG Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., „Geologische Risikobewertung tiefengeothermischer Projekte.“, 2024. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bveg.de/wp-content/uploads/2024/12/2024-12-13_BVEG_DGMK_Leitfaden-Wirtschaftliche-Bewertung-geologischer-Risiken-von-tiefengeothermischen-Projekten.pdf
- [4] BVEG Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., „BVEG-Leistungsspektrum für Geothermieprojekte V1.0.4“, 2024. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bveg.de/die-branche/tiefe-geothermie-in-deutschland/das-leistungsspektrum-geothermie/leistungsspektrum-geothermie/>
- [5] BVG Bundesverband Geothermie, „Induzierte Seismizität bei Geothermieprojekten“, 2023. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.geothermie.de/fileadmin/user_upload/Bibliothek/Downloads/20231201_Hintergrundpapier_Seismizitaet.pdf
- [6] BVG Bundesverband Geothermie, „Seismizität bei Geothermieprojekten Teil 1: Seismische Überwachung (Messnetze)“, 2023. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/r/richtlinie-gtv-1101>
- [7] BVG Bundesverband Geothermie, „Seismizität bei Geothermieprojekten Teil 2: Reaktionsschema (Ampel)“, 2023. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/r/richtlinie-gtv-1101>
- [8] BVG Bundesverband Geothermie, „Seismizität bei Geothermieprojekten Teil 3: Seismologisches Basisgutachten“, 2023. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/r/richtlinie-gtv-1101>
- [9] FKPE Forschungskollegium Physik des Erdkörpers e. V., „Position des FKPE e.V. zur Induzierten Seismizität“, 2012. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fkpe.org/fileadmin/user_upload/Microsite_FKPE/dokumente/Induzierte_Seismizitaet/fkpe_ind_seis_monitor_120709_final.pdf
- [10] GEORISK, „Georisk Tool“, *Georisk*, 2019. <https://www.georisk-project.eu/georisk-tool/> (zugegriffen 3. Februar 2025).
- [11] NLOG Nederlandse Olie- en Gasportaal Hoofdnavigatie, „NLOG Nederlandse Olie- en Gasportaal Hoofdnavigatie“, *NLOG Nederlandse Olie- En Gasportaal Hoofdnavigatie*. <https://www.nlog.nl/geothermie> (zugegriffen 3. Februar 2025).

- [12] Ritsema, „KEM-06 Hazard and risk assessment for Ultra Deep Geothermal Energy (UDG) and inventory of preventive and mitigation measures (finished)“, *KEM Programma*, 2018. <https://kemprogramma.nl/blog/view/21db9ade-3ffd-4d1f-97f0-2e7716583e08/kem-06-hazard-and-risk-assessment-for-ultra-deep-geothermal-energy-udg-and-inventory-of-preventive-and-mitigation-measures-finished> (zugegriffen 3. Februar 2025).
- [13] WEG Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., „Leitfaden Futterrohrberechnung“, 2006.
- [14] WEG Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V., „Gestaltung des Bohrplatzes“, 2006.
- [15] BVEG Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., „Leitfaden Bohrungsintegrität“, 2022. Zugegriffen: 3. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bveg.de/wp-content/uploads/2021/09/BVEG-Leitfaden-Bohrungsintegritat_Technische-Regel.pdf
- [16] DIN EN ISO 16530-1:2017-11 Erdöl- und Erdgasindustrie - Bohrungsintegrität - Teil 1: Lebenszykluslenkung <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-iso-16530-1/265410798>
- [17] BVG Bundesverband Geothermie e.V. „Lexikon der Geothermie“ <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie> (zugegriffen 21. Juli 2025)
- [18] BVEG Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., „Wörterbuch der Bohr-, Förder- und Offshore-Technik, Englisch-Deutsch /Deutsch-Englisch“, 2018
- [19] Grant, M. A. “Decision Tree Analysis of Possible Drilling Outcomes to Optimise Drilling Decisions.” Proceedings of the Thirty-Third Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, 2008. <https://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/SGW/2008/grant.pdf>

Anhang A: Stage-gate-Prozess zur Erstellung einer Tiefbohrung



Anhang B: Beispiel eines Bow-Tie-Diagramms

