
Bericht Nr. 2720047.18a

Schweizer Salinen AG, Pratteln 1

Muttenz, Bohrfeldintegrität Sulz/Grosszinggibrunn

**Vorgehenskonzept Verwahrung und Nachsorge
Ziele, Projektablauf und Zeitplanung**

(Stand Abschluss Phase 1, Januar 2023)

Münchenstein, 31. Januar 2023

GEOTEST AG
FREILAGER-PLATZ 3
CH-4142 MÜNCHENSTEIN
T + 41 (0)61 205 87 50
F + 41 (0)61 205 87 51
basel@geotest.ch
www.geotest.ch

Autor(en)	Bearbeitete Themen
Céline Pittet	Überprüfung, Aktualisierung, Zeitplanung
Florentin Ladner	Alle Kapitel
Supervision	Visierte Inhalte
Felix Bussmann	Alle Kapitel
Hinweise	
Vollständig überarbeitete Version Stand Ende Januar 2023. Berichtversion 2720047.18a	

GEOTEST AG

Felix Bussmann

Florentin Ladner

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Status der Solfelder Sulz und Grosszinggibrunn	4
3.	Projektorganisation, -phasen und Aufgabenstellungen	5
3.1	ARGE «Lokales Verwahrungskonzept BL»	5
3.2	Projektphasen	5
3.3	Aufgabenstellungen der ARGE	6
3.4	Anzuwendende Methodik zur Klärung der Aufgabenstellungen	7
3.5	Umgang mit den Ergebnissen aus dem Workshop	8
4.	Phase 1: Erhebung Ist-Zustand	9
4.1	Organisation ARGE Phase 1	9
4.2	Ziele Phase 1	9
4.3	Ausgeführte Arbeiten	10
4.3.1	Integrität und Stabilität von Kavernen und Bohrungen	10
4.3.2	Gefährdungs- und Risikoanalyse.....	12
4.3.3	Gebirgsmechanische Modellierungen.....	12
4.4	Konzepte für erweiterte Überwachungsmassnahmen	13
4.4.1	Ursachenanalyse und Lösungsansätze	13
4.5	Zeit- und Arbeitsplanung	14
5.	Phase 2: Zusätzliche Untersuchungen, Massnahmenkatalog und Machbarkeit	14
5.1	Organisation Phase 2.....	14
5.2	Ziele Phase 2	14
5.2.1	Zusätzliche Untersuchungen	15
5.2.2	Umsetzung der erweiterten Überwachungsmassnahmen	16
5.2.3	Massnahmenkatalog und Machbarkeit	16
5.2.4	Vorprojekt und Bauprojekt	17
6.	Phase 3: Nachsorge.....	17
6.1	Organisation Phase 3.....	17
6.2	Ziele der Phase 3	17
7.	Zeit- und Arbeitsplanung	17
8.	Referenzen.....	18

1. Einleitung

Die Schweizer Salinen AG (SSAG) baut südlich von Muttenz und Pratteln (Kanton Basel-Landschaft BL) im Gebiet Sulz und Grosszinggibrunn (GZB) Salz im Lösungsbergbauverfahren ab. Der bestehende Konzessionsvertrag mit dem Kanton BL läuft Ende 2025 aus. Damit die Salzproduktion im Kanton BL über 2025 hinaus gesichert werden kann, strebt die SSAG eine Konzessionsverlängerung bis 2075 an. Ein wichtiger Bestandteil der Konzessionsverlängerung stellen die Überwachungs- und Nachsorgepflichten der SSAG für die Salzkavernen am Ende ihrer Betriebszeit dar. Dafür wurde ein generelles Nachsorge- und Überwachungskonzept ausgearbeitet ([1]).

Im Rahmen der Nachsorgephase ist der Nachweis zu erbringen, dass die Zugangsbohrungen und die Kavernen sicher und ohne negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt stillgelegt und verwahrt werden können.

2. Status der Solfelder Sulz und Grosszinggibrunn

Das Solfeld Sulz wurde zwischen 1981 bis 2019 in vier Etappen erschlossen und betrieben ([2]). Heute sind mit Ausnahme von wenigen bereits verschlossenen Bohrungen und Kavernen in der Etappe 1 alle Bohrungen und Kavernen im Standby-Modus (Abbildung 1). Das Solfeld GZB wurde ab 2005 in zwei Etappen erstellt. Heute befinden sich erste Bohrungen und Kavernen im Standby-Modus, in den übrigen Bohrungen und Kavernen läuft die Produktion weiter ([2]).

Planungs- und Erkundungsphase	Bauphase	Betriebsphase	Nachsorgephase	
			Ordentliche Nachsorge	Störfall-Nachsorge
			Wartephase / Standby	Nachsorge
variabel	variabel	variabel	ca. 5 Jahre	ca. 10 Jahre
Planung & Erkundung	Produktionsbohrungen	Solbetrieb	Beobachtung	Beobachtung
			↓ Verschluss	↓ Abnahme
			Störfall-Nachsorge	

Abbildung 1: Phasen im Lösungsbergbau – Lebenszyklus einer Kaverne (aus [1]).

Der zwischenzeitlich vorliegende Technische Bericht Phase 1 – Zustandserhebung ([2]) zeigt, dass im Solfeld Sulz insgesamt und im Solfeld GZB teilweise «Störfälle» vorliegen, die im Rahmen der Nachsorgephase behoben werden müssen.

Das vorliegende Vorgehenskonzept für die Verwahrung und Nachsorge macht Aussagen

- a) zu Projektorganisation, -phasen
- b) zu den Aufgabenstellungen und den anzuwendenden Methoden, welche im Rahmen eines Workshops mit Vertretern der SSAG, des Amts für Umweltschutz und Energie Kanton BL (AUE BL), der Angewandten und Umweltgeologie der Uni Basel (AUG) und der GEOTEST AG zusammen mit einem externen Experten diskutiert wurden ([3] und [4])
- c) zum Umgang mit den Ergebnissen aus dem genannten Workshop ([3] und [4])
- d) zur Zeit- und Arbeitsplanung

3. Projektorganisation, -phasen und Aufgabenstellungen

3.1 ARGE «Lokales Verwahrungskonzept BL»

Im Juni 2021 wurde die Arbeitsgruppe «Lokales Verwahrungskonzept BL» (ARGE) bestehend aus Vertretern und Fachspezialisten der SSAG und der GEOTEST gebildet mit folgenden Zielsetzungen:

- Sicherheit aller Zugangsbohrungen und Kavernen langfristig zu garantieren (Betriebsphase und Nachsorgephase)
- Störfälle in den Solfeldern Sulz und GZB festzustellen
- Lösungsansätze / Massnahmen zu definieren zwecks Behebung der festgestellten Störfälle

3.2 Projektphasen

Die ARGE hat einen generellen Projektablauf festgelegt, der sich in drei Projektphasen aufteilt. Zur Einordnung der Bearbeitungstiefe werden diese Projektstufen den Bau-Projektphasen nach Norm SIA 103 zugeordnet:

Phase (ARGE)	Beschreibung	Phase (SIA)	Beschreibung
1	Ist-Zustandserhebung der Solfelder	1	<i>Bedürfnisformulierung</i>
2	Zusätzliche Untersuchungen, Störfallanalyse, Lösungsansätze und Massnahmenkatalog	2 & 3	<i>Machbarkeitsstudie sowie Projektierung (Vor- und Bauprojekt, Bewilligung)</i>
3	Erstellung und Umsetzung des lokationsspezifisches Überwachungs- und Nachsorgekonzeptes (Störfälle beheben – ordentliche Nachsorge einleiten)	4, 5 & 6	<i>Ausschreibung, Realisierung, Bewirtschaftung</i>

Die rollende Zeit- und Arbeitsplanung gliedert sich nach diesen 3 Phasen und liegt diesem Konzept im Anhang bei.

3.3 Aufgabenstellungen der ARGE

Im Rahmen des Workshops Nachsorge Sulz – Definition Hauptfragen und Lösungsansätze (siehe [3] und [4]) mit Beteiligung von Vertretern der SSAG und der GEOTEST, der AUG, des AUE BL sowie des externen Experten Prof. Dr. Simon Löw wurden unter Berücksichtigung der Zielsetzungen der ARGE und den teilweise bereits festgestellten «Störfällen» die wichtigsten Themen und Fragestellungen erarbeitet und festgehalten (Abbildung 2).

	Thema	Fragestellungen
1	Integrität und Stabilität von Kavernen und Bohrungen	<ul style="list-style-type: none"> - Wie stabil sind die Kavernen aktuell und in Zukunft? - Wie dicht sind die Kavernen und Bohrungen?
2	Chlorid-Belastung im Muschelkalk-Aquifer	<ul style="list-style-type: none"> - Wie und wo gelangt Sole in den Muschelkalk-Aquifer? - Wie und wohin wird die Sole im Muschelkalk-Aquifer transportiert? - Welche Gefährdung für das Grundwasser resp. für die Grundwassernutzung im Abstrombereich besteht?
3	Vertikale und horizontale Geländedeformationen	<ul style="list-style-type: none"> - Was sind die Ursachen für die vertikalen und horizontalen Geländedeformationen? - Welchen Einfluss haben die Geländedeformationen auf die Integrität und Stabilität der Kavernen und Bohrungen?
4	Tagbrüche	<ul style="list-style-type: none"> - Wie hoch ist die Gefahr resp. das Risiko eines Tagbruches? - Was ist der Gefahrenperimeter?
5	Massnahmen zur Verwahrung und Nachsorge	<ul style="list-style-type: none"> - Welche Massnahmen müssen getroffen werden?
6	Kavernenverfüllung	<ul style="list-style-type: none"> - Technische Machbarkeit? - Umweltverträglichkeit? - Bewilligungsverfahren?

Abbildung 2: Im Rahmen des Workshops erarbeitete Themen und Fragestellungen, welche im Zentrum für den weiteren Projektverlauf stehen (aus [3]).

3.4 Anzuwendende Methodik zur Klärung der Aufgabenstellungen

Ebenfalls im Rahmen des Workshops Nachsorge Sulz – Definition Hauptfragen und Lösungsansätze ([3] und [4]) wurden die anzuwendenden Methoden und Untersuchungsprogramme mit den verschiedenen Akteuren diskutiert (Abbildung 3):

Thema	Untersuchungsprogramm
1 Integrität und Stabilität von Kavernen und Bohrungen	<ul style="list-style-type: none"> - Laufende Messkampagne - Sondierbohrung(en) - Felsmechanische Modellierungen (quasi-stationär und zukünftige Entwicklung) - Seismische Cross-hole Tomographie (Option, die laufend geprüft wird) - Mikroseismische Überwachung - Punktuelle geotechnische Überwachung (Option, die laufend geprüft wird)
2 Chlorid-Belastung im Muschelkalk-Aquifer	<ul style="list-style-type: none"> - Laufende Messkampagne - Gefährdungs- und Risikoanalyse inkl. Überwachungskonzept - Sondierbohrung(en), - GW-Monitoring - Stichtagsmessungen, permanentes GW-Monitoring im Sulz - Grundwasserprobeentnahme-Kampagnen - Konzeptuelles Grundwassermodell - Grundwassermodellierungen
3 Vertikale und horizontale Geländedeformationen	<ul style="list-style-type: none"> - Nivellement und Lagevermessung (Zeitreihe) - Geländemodell (Photogrammetrie) - Testfeld mit Inklinometer, Gleitdeformeter, Feuchtigkeitsmessungen
4 Tagbrüche	<ul style="list-style-type: none"> - Laufende Messkampagne - Gefährdungs- und Risikoanalyse inkl. Überwachungskonzept - Sondierbohrung(en) - Felsmechanische Modellierungen (quasi-stationär und zukünftige Entwicklung) - Seismische Cross-hole Tomographie (Option, die laufend geprüft wird) - Mikroseismische Überwachung - Punktuelle geotechnische Überwachung (Option, die laufend geprüft wird)
5 Massnahmen zur Verwahrung und Nachsorge	<ul style="list-style-type: none"> - Synthese und Analyse sämtlicher Erkenntnisse
6 Kavernenverfüllung	<ul style="list-style-type: none"> - Forschungs- und Entwicklungsprojekt ausgeführt an der EMPA im Auftrag der Schweizer Salinen AG

Abbildung 3: Anzuwendende Methoden und Untersuchungsprogramme zur Klärung der Fragestellungen (aus [3]).

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt im Auftrag der SSAG bzgl. der Machbarkeit von Kavernenverfüllungen mit Feststoffen läuft parallel zu den Phasen 1 und 2 und ist nicht Teil des Aufgabenbereichs der ARGE.

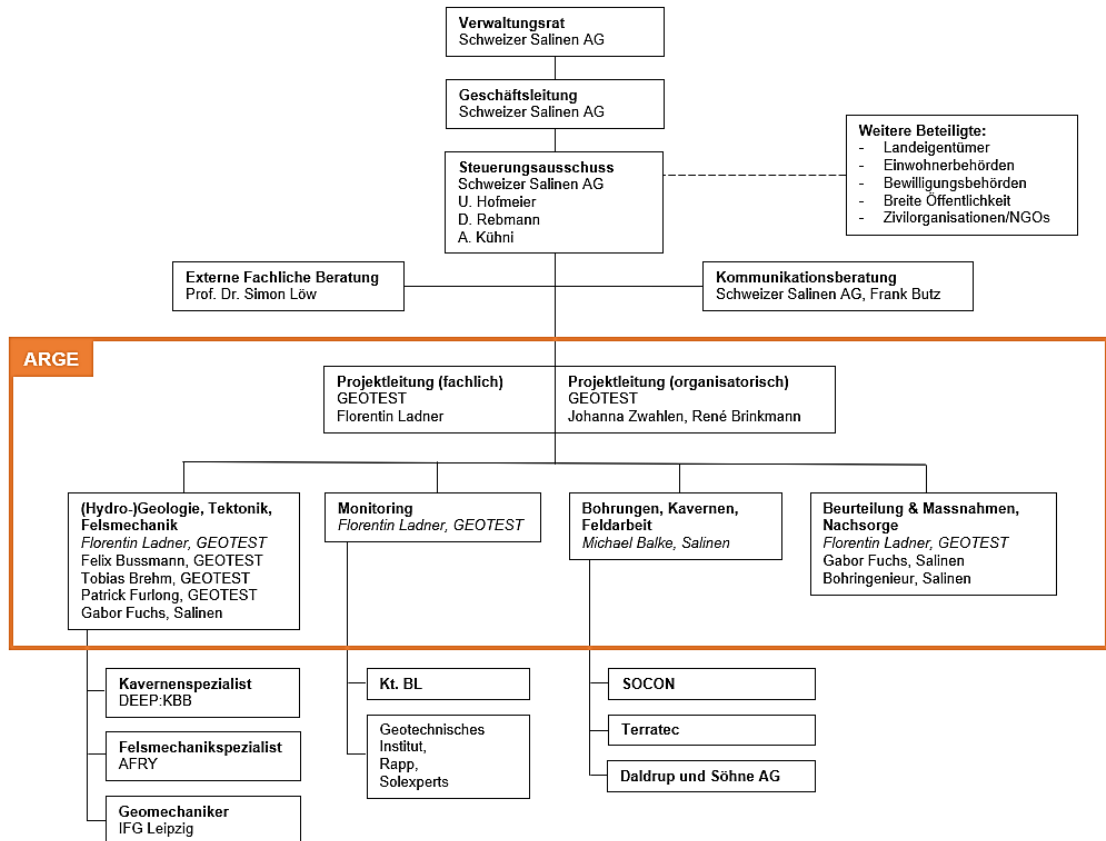
3.5 Umgang mit den Ergebnissen aus dem Workshop

Auf der Basis der Erkenntnisse aus dem durchgeführten Workshop Nachsorge Sulz – Definition Hauptfragen und Lösungsansätze (siehe [3] und [4]) wurden die Themen – Fragestellungen sowie die entsprechenden Methoden und Untersuchungsprogramme priorisiert und den Projektphasen zugeordnet.

Im Anhang ist die Zeit- und Arbeitsplanung visualisiert. Diese wird fortlaufend aufgrund von neuen Erkenntnissen und Entscheiden aktualisiert und entspricht somit einer rollenden Planung.

4. Phase 1: Erhebung Ist-Zustand

4.1 Organisation ARGE Phase 1



4.2 Ziele Phase 1

In der Phase 1 steht die Erhebung des Ist-Zustandes von Bohrungen und Kavernen in den Solfeldern Sulz und GZB im Fokus. Auf Basis einer Ist-/Soll-Analyse wird beurteilt, ob eine ordentliche Nachsorge eingeleitet werden kann oder ob die Nachsorge hinsichtlich Störfällen angepasst werden muss.

Zudem sollen durch externe Experten die betrieblichen Prozesse sowie das Auswerte- und Dokumentationsverfahren analysiert werden (nicht Teil des Aufgabebereichs der ARGE).

4.3 Ausgeführte Arbeiten

Die Ist-Zustandserhebung der Bohrungen und Kavernen in den Solfeldern Sulz und GZB erfolgte im Rahmen einer umfangreichen und aufwändigen Messkampagne (Oktober 2021 bis Juni 2022), welche die Aufwältigung¹ und bohrlochgeophysikalische Untersuchung der Zugangsbohrungen und die Hohlraumvermessung der Kavernen umfasste. Auf der Basis der erhobenen Messdaten wurde die Ist-Soll-Analyse für Zugangsbohrungen und Kavernen ausgeführt ([2]).

Ebenfalls im Rahmen der Phase 1 wurde eine vorläufige Gefährdungs- und Risikoanalyse erstellt ([6]). Zusätzlich wurden mit Unterstützung von weiteren Fachspezialisten erste gebirgsmechanische Modellrechnungen zur Stabilität der Kaverne S126 und detailliertere Untersuchungen zum Ist-Zustand von Kavernen im Solfeld Sulz vorgenommen ([7]).

Die seit längerer Zeit bestehende Überwachung der Oberflächendeformationen wurde weitergeführt und weiterentwickelt.

Des Weiteren hat die SSAG in der Phase 1 den soltechnischen Salzabbau sowie das Auswerte- und Dokumentationsverfahren in den Feldern Sulz und Grosszinggibrunn von 1980 bis heute durch externe Experten beurteilen lassen ([5]).

4.3.1 Integrität und Stabilität von Kavernen und Bohrungen

Im Rahmen der Ist-Zustandserhebung wurden die Bohrungen und die Kavernen in den Solfeldern Sulz und GZB messtechnisch erfasst (Abbildung 4). Die Resultate sind ausführlich im Technischen Bericht Phase 1 – Zustandserhebung dokumentiert ([2]).

¹ Unter Aufwältigen versteht man das Ausräumen und erneute Absichern eines alten, bereits aufgegebenen Grubenbaus bzw. die Aufrechterhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung einer Förderbohrung.

Tool		Zweck / Ziel
Optical Scanner (OPTV)	Terratec GmbH	360°-Abbild der Verrohrung (Luft und klares Fluid) → Ist-Zustand der Verrohrung
Full Wave Sonic (FWS)		Cement Bond Log (inkl. GR, T, eLF) → Zementqualität
Acoustic Borehole Imager (ABI)		360°-Abbild der Verrohrung (trübes Fluid) → Ist-Zustand der Verrohrung, Rohrwandstärke, Zementqualität
Borehole probe (BGGS)		Kalibermessung Verrohrung und Kavernenhals (inkl. GR) → Ist-Zustand der Verrohrung und Kavernenhals
Spinner Flowmeter (GFTC)		Fliessgeschwindigkeiten im Bohrloch (inkl. GR, T, eLF) → Laterale Zu- und Abflüsse, vertikale Fließströmungen
Borehole Video (optional)		→ Visuelle Überprüfung
Wireline Bailer (optional)	→ Entnahme von Fluidproben	
Hohlraumvermessung	Socon	Geometrie der Hohlraumkontouren (3D), Hohlraumvolumen → Aktuelle Hohlraumgeometrie

Abbildung 4: Im Rahmen der Messkampagne zur Anwendung gekommene Messverfahren.

Aufgrund der technisch anspruchsvollen und zeitintensiven Arbeiten standen nicht alle Bohrungen und Kavernen für die Ursachenanalyse zur Verfügung bzw. war bei einigen Bohrungen und Kavernen der Zugang für die Untersuchungen aus technischen Gründen nicht möglich. Deshalb wurde der Erkenntnisstand per Ende Juli 2022 eingefroren. Die bis dahin vorliegenden Daten (ca. 70 % aller Bohrungen und Kavernen im Sulz; ca. 50 % aller Bohrungen und Kavernen im GZB) wurden ausgewertet und analysiert. In Rücksprache mit externen Fachspezialisten (DEEP.KBB) hat die ARGE beschlossen, dass die vorliegende Datenmenge ausreichend ist, um eine repräsentative Auswertung und Analyse des Ist-Zustandes vorzunehmen.

Im zwischenzeitlich vorliegenden Technischen Bericht Phase 1 – Zustandserhebung ([2]) ist ersichtlich, welche Bohrungen untersucht werden konnten und welche nicht. Die Untersuchung der aktuell nicht zugänglichen Bohrungen findet in Phase 2 statt.

4.3.2 Gefährdungs- und Risikoanalyse

Als Konsequenz der ersten Resultate der Messkampagne im Solfeld Sulz führte die GEOTEST eine erste qualitative Gefährdungs- und Risikoanalyse für die Gefährdungsbilder (1) Tagbruch und (2) Chlorid-Belastung im Grundwasser durch ([6]). Für die beiden Gefährdungsbilder wurden jeweils zwei Szenarien beurteilt:

- Szenario 1: «Status quo»
- Szenario 2: «Tagbruchereignis im Solfeld Sulz»

Die Analysen basieren auf gebirgsmechanischen und hydrogeologischen Konzeptmodellen, die in der Gefährdungs- und Risikoanalyse dokumentiert sind. Da die Datenerhebung noch nicht abgeschlossen ist, stellt die vorliegende Gefährdungs- und Risikoanalyse ein vorläufiges Zwischenergebnis dar. Sie dient insbesondere der SSAG als Standortbestimmung für die weitere Konzeptionierung von Überwachungsmassnahmen. Am Ende der Phase 2 - nach Vorliegen weiterer Resultate und Erkenntnisse aus den zusätzlichen Untersuchungen (felsmechanischen Modellierungen, erweiterte Überwachungsmassnahmen) - wird die Gefährdungs- und Risikoanalyse überarbeitet.

4.3.3 Gebirgsmechanische Modellierungen

Als Konsequenz aus den Resultaten der Messkampagne hat die SSAG die AFRY beauftragt, die Stabilität der teilverbrochenen Kaverne S126 mit Hilfe von gebirgsmechanischen Modellrechnungen zu untersuchen ([7]).

Als geologische Grundlage für die Modellrechnungen dient das bestehende regionalgeologische 3D-Modell «Schweizerhalle» der SSAG ([8]). Dieses Modell wurde von der AUG mit den bereits vorhandenen geologischen Modellen verglichen und geprüft ([9]). Der Modellvergleich kam zum Schluss, dass zur Erarbeitung einer geologischen Modellgrundlage für die weiterführenden Überwachungs- und Nachsorgearbeiten eine Überarbeitung des Schweizerhalle-Modells (SSAG) unter Berücksichtigung des Pratteln-Modells (AUG) sowie neuer Grundlagedaten (z.B. Seismik und Bohrungen) empfohlen wird ([9]). Da eine solche Zusammenführung zweier bestehender Modelle einige Zeit in Anspruch nimmt, wird bis auf weiteres das Schweizerhalle-Modell (SSAG) als geeignete geologische Grundlage betrachtet.

Als gebirgsmechanische Grundlage für die Modellrechnungen dient eine Zusammenstellung felsmechanischer Gesteins- und Gebirgseigenschaften, welche die SSAG über die Jahre in diversen Sondier- und Produktionsbohrungen erhoben hat ([7]).

Im Rahmen der Phase 1 konnte eine rechnerische Stabilitätsbeurteilung der teilverbrochenen Kaverne S126 durchgeführt werden. Die Berechnungen weisen darauf hin, dass der Teilverbruch in S126 im Bereich der Dolomitzone zum Stillstand gekommen ist ([7]).

Ausgehend von der gebirgsmechanischen Modellierung für S126 wird nun zusammen mit AFRY geprüft, wie die Modellrechnungen auf andere Kavernen übertragen werden können. Das Ziel ist es am Schluss der Phase 2 eine quantitative Beurteilung der aktuellen sowie langfristigen Kavernenstabilität zu erhalten. Diese Erkenntnisse bilden dann eine wichtige Grundlage für die Konkretisierung des generellen Überwachungs- und Nachsorgekonzeptes für die Solfelder Sulz und GZB ([1]).

4.4 Konzepte für erweiterte Überwachungsmassnahmen

Die bestehenden Überwachungselemente der SSAG werden fortgeführt und weiterentwickelt:

- Konzept Grundwasserüberwachung [10]
- Konzept mikroseismisches Monitoring [11]
- Konzept Überwachung Oberflächendeformationen [12]

Da das detaillierte Vorgehen der entsprechenden Überwachungsmassnahmen teilweise noch in Entwicklung steht, werden die in den Konzepten vorgeschlagenen Arbeitsschritte sowie die Journale periodisch aktualisiert. Bei der Aktualisierung werden jeweils der Stand der Arbeiten, die Erkenntnisse aus der Datenerhebung und -auswertung, Resultate von Besprechungen mit Behörden sowie Entscheidungen der SSAG berücksichtigt.

4.4.1 Ursachenanalyse und Lösungsansätze

Bei der Ursachenanalyse stehen geologische, bohrtechnische und laugungstechnische Faktoren im Fokus. Diese Analysen werden von GEOTEST, DEEP.KBB sowie weiteren externen Fachspezialisten ausgeführt und im Technischen Bericht Phase 1 – Zustandserhebung ([2]) sowie in einer Analyse des soltechnischen Salzabbaus und der Auswerte- und Dokumentationsverfahren in den Feldern Sulz und GZB von 1980 bis heute [5] dokumentiert. Ebenfalls dokumentiert sind erste Lösungsansätze zur Behebung der Störfälle.

4.5 Zeit- und Arbeitsplanung

Die Zeit- und Arbeitsplanung zeigt die ausgeführten Arbeiten (Arbeitspakete) sowie den Ablauf der geplanten Arbeiten per Stand Januar 2023 auf. Die Planung wird fortlaufend aufgrund von neuen Erkenntnissen und Entscheiden aktualisiert und konkretisiert.

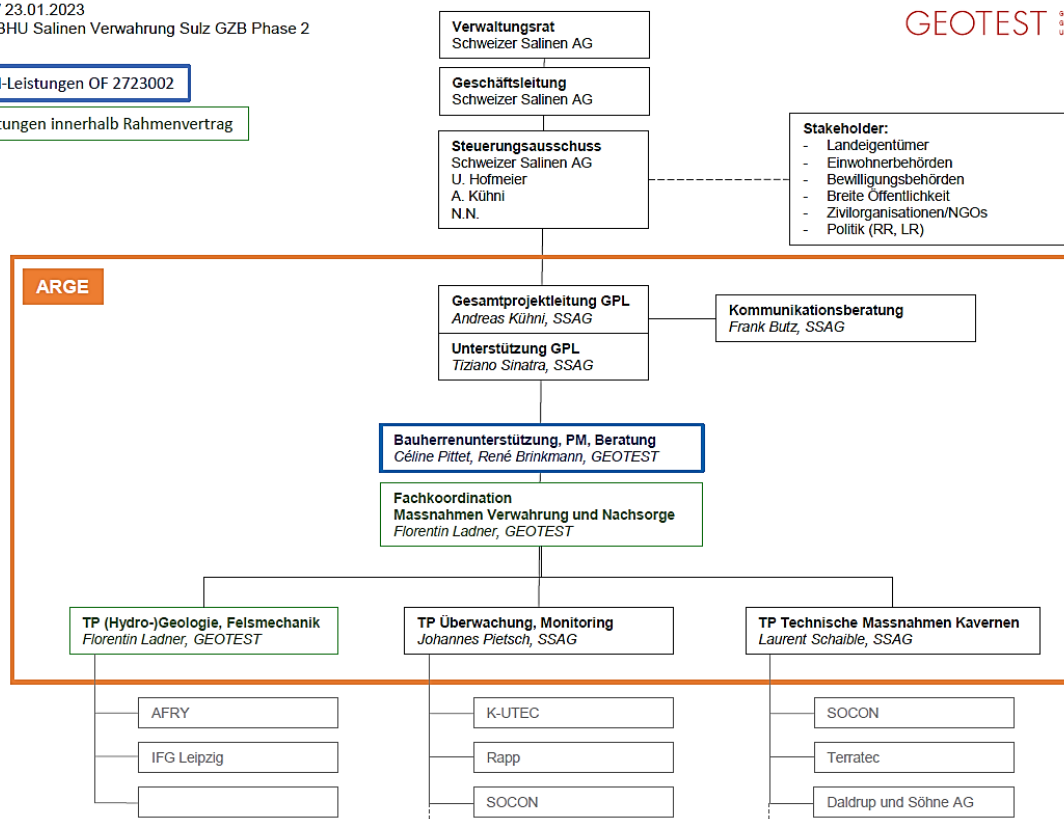
5. Phase 2: Zusätzliche Untersuchungen, Massnahmenkatalog und Machbarkeit

5.1 Organisation Phase 2

2723002 / 23.01.2023
 Muttenz, BHU Salinen Verwahrung Sulz GZB Phase 2

BHU-PM-Leistungen OF 2723002

Fachleistungen innerhalb Rahmenvertrag



5.2 Ziele Phase 2

In der Phase 2 liegt der Fokus auf folgenden Punkten:

Zusätzlichen Untersuchungen

Umsetzung erweiterte Überwachungsmassnahmen
Prüfung von Sofort-Massnahmen
Erstellung eines Massnahmenkataloges (gestützt auf Analyse der Störfälle, mit Handlungsoptionen und langfristigen Massnahmen) pro Kaverne bzw. Kavernenkategorie
Nachweis der Machbarkeit und Wirksamkeit der Massnahmen
Vorprojekt «Nachsorge» mit Voranfrage bei AUE BL zur Klärung der Bewilligungsfähigkeit
Bauprojekt «Nachsorge» mit Bewilligungsdossier
Überarbeitung resp. Aktualisierung der vorläufigen Gefährdungs- und Risikoanalyse ([6]).

Die Dauer der Phase 2 und der darin enthaltenen aufwendigen Abklärungen ist zurzeit schwer abzuschätzen. Im Idealfall liegen jedoch am Ende der Phase 2 alle Grundlagen vor, um die Dauer der Nachsorgephase sowie die Bedingungen für die Entlassung aus der Nachsorgepflicht für alle Kavernen definieren zu können.

5.2.1 Zusätzliche Untersuchungen

Die Ist-Zustandserhebung der noch nicht messtechnisch erfassten Bohrungen und Kavernen in den Solfelder Sulz und GZB wird in Phase 2 abgeschlossen.

Im Bereich der teilverbrochenen Kaverne S126 wird eine seismische Crosshole-Tomographie durchgeführt zwecks besserer Charakterisierung der gebirgsmechanischen Eigenschaften.

Für die Solfelder Sulz und GZB wird eine Nachberechnung (retrospektiv) sowie eine Prognose (prospektiv) der Oberflächendeformationen erstellt, welche anhand der vorhandenen, langjährigen Deformationsmessungen kalibriert wird.

Die gebirgsmechanischen Modellierungen zur Beurteilung der Kavernenstabilität werden auf andere Kavernen erweitert. Im Fokus stehen die Kavernen im Solfeld Sulz, welche aus gebirgsmechanischer Sicht Abweichungen zum Soll-Zustand aufweisen.

Bei Bedarf und in Abhängigkeit der Ergebnisse aus den genannten zusätzlichen Untersuchungen resp. der Resultate aus den Überwachungsmassnahmen können nach Absprache mit dem Kanton zusätzliche Sondierbohrungen mit spezifischen Untersuchungsprogrammen ausgeführt werden.

5.2.2 Umsetzung der erweiterten Überwachungsmassnahmen

Die in der Phase 1 erarbeiteten Konzepte zur Überwachung des Grundwassers ([10]), der Oberflächendeformationen ([12]) und der Mikroseismizität ([11]) werden sukzessive und gestützt auf die neusten Erkenntnisse in Zusammenarbeit mit dem AUE BL weiterentwickelt und umgesetzt (Abbildung 5).

5.2.3 Massnahmenkatalog und Machbarkeit

Auf der Basis des Technischen Berichtes zur Zustandserhebung ([2]) wird für jede Zugangsbohrung und Kaverne eine Prüfung hinsichtlich folgender Punkte vorgenommen:

Sind Sofort-Massnahmen (Abbildung 5) sinnvoll resp. wirksam und technisch machbar?

(Mit Sofort-Massnahmen wird beabsichtigt, eine weitere Verschlechterung der Situation bezgl. Grundwasser oder Oberflächendeformationen kurzfristig und temporär zu bremsen oder zu stoppen).

Welche langfristigen Massnahmen (Abbildung 5) und Handlungsoptionen zur Verfüllung von Bohrungen und Stilllegung von Kavernen können in den Solfeldern Sulz und GZB zur Anwendung kommen, damit eine ordentliche Nachsorge eingeleitet werden kann?

(Derzeit stehen zwei Vorgehensweisen im Fokus. Die Vorgehensweise 1, bei der die Verfüllung von Bohrungen (mit Zement) und Stilllegung von Kavernen (mit Sole) gemäss Stand der Technik umgesetzt werden soll ([13]), wird von der ARGE geprüft und bearbeitet.

Die Vorgehensweise 2, bei der Kavernen und Zugangsbohrung mit geeigneten Feststoffen verfüllt werden sollen, wird von der SSAG ausserhalb der ARGE geprüft und bearbeitet.)

Mit welchen Kosten und mit welchem Zeitbedarf sind einerseits Sofort-Massnahmen und andererseits langfristige Massnahmen verbunden? Ist die Kostenwirksamkeit gegeben?

Sofort-Massnahmen:

- Packer / Verschlussstopfen
- Schutzrohre / Reparatürelemente

Langfristige Massnahmen:

- Verfüllung und Stilllegung gemäss Stand der Technik
- Feststoffverfüllung

Überwachungsmassnahmen:

- Oberflächendeformationen
- Mikroseismizität
- Grundwasser

Abbildung 5: Massnahmenplan für die Phase 2 ([2]).

5.2.4 Vorprojekt und Bauprojekt

Auf der Basis dieser Prüfung wird die ARGE ein «Vorprojekt Nachsorge» ausarbeiten und dem AUE BL als Voranfrage zwecks Klärung der Bewilligungsfähigkeit vorlegen. Bei positiver Rückmeldung durch das AUE BL wird das «Bauprojekt Nachsorge» mit Bewilligungsdossier inklusive dem lokationsspezifischen Nachsorgekonzept ausgearbeitet.

6. Phase 3: Nachsorge

6.1 Organisation Phase 3

Die Organisation der Phase 3 wird am Ende der Phase 2 definiert.

6.2 Ziele der Phase 3

Aus heutiger Sicht stellt die Umsetzung der langfristigen Massnahmen zur Einleitung der ordentlichen Nachsorge in Phase 3 im Zentrum. Inwiefern weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der Nachsorge und Anpassungen der Überwachungsmassnahmen notwendig sein werden, lässt sich auf dem aktuellen Projektstand nicht weiter ausführen.

7. Zeit- und Arbeitsplanung

Die Zeit- und Arbeitsplanung liegt im Anhang bei. Der Zeitbedarf für die Phase 2 ist im Moment noch sehr schwierig abzuschätzen, da der Aufwand gewisser zusätzlichen Untersuchungen noch nicht definitiv abgeschätzt werden kann.

8. Referenzen

- [1] GEOTEST AG (2021): Generelles Überwachungs- und Nachsorgekonzept für die Solfelder der Schweizer Salinen AG im Kanton Basel-Landschaft.
- [2] GEOTEST AG (09.12.2022): Technischer Bericht Phase 1 – Zustandserhebung durch GEOTEST mit Beiträgen von AFRY und DEEP.KBB (9. Dezember 2022).
- [3] GEOTEST AG (2022): Workshop Nachsorge Sulz – Definition Hauptfragen und Lösungsansätze. Präsentation vom 8. April 2022.
- [4] GEOTEST AG (2022): Protokoll «Workshop Nachsorge Sulz – Definition.
- [5] Dr. A. Reitze / Dr. F.H. Wilke (2022): Beurteilung des Soltechnischen Salzabbaus sowie der Auswerte- und Dokumentationsverfahren in den Feldern Sulz und Grosszinggibrunn von 1980 bis heute.
- [6] GEOTEST AG (18.08.2022): Solfeld Sulz: Gefährdungs- und Risikoanalyse Oberflächendeformationen und Grundwasserversalzung (Vorläufige Beurteilung).
- [7] AFRY (16.01.2023): Aktennotiz Gebirgsmechanische Modellierungen.
- [8] Geoexplorers (2017): Abschlussbericht 3D Modell Schweizerhalle.
- [9] Angewandte und Umweltgeologie (2022): Vergleich 3D geologische Modelle (Gebiet Sulz) und Standortwahl neue Grundwasser-Messstellen. BGA-BL-191, Juni 2022
- [10] GEOTEST AG (2023): Überwachungsmassnahmen Solfelder Sulz und Grosszinggibrunn, Konzept Grundwasserüberwachung, Stand Januar 2023
- [11] GEOTEST AG (2023): Überwachungsmassnahmen Solfelder Sulz und Grosszinggibrunn, Konzept mikroseismisches Monitoring, Stand Januar 2023
- [12] GEOTEST AG (2023): Überwachungsmassnahmen Solfelder Sulz und Grosszinggibrunn, Konzept Überwachung Oberflächendeformationen, Stand Januar 2023
- [13] Crotagino, F., Kepplinger, J. (2006): Cavern Well Abandonment Techniques – Guidelines Manual. KBB Underground Technologies / SMRI, Hannover.

Zeit- und Arbeitsplanung		Legende:												Phase 1												Phase 2												Phase 3																	
		2021				2022				2023				2024				2021				2022				2023				2024																									
Stand 30.01.2023 (fortlaufende Planung / Anpassungen)		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Phase 1: Erhebung Ist-Zustand																																																							
Integrität der Bohrungen und Kavernen																																																							
Messkampagne Sulz und GZB	laufend	[Green bar from 2021-10 to 2023-12]																																																					
Konzept Umgang nicht zugängliche Bohrungen Sulz / GZB	i.B.	[Green bar from 2022-10 to 2023-12]																																																					
Chloridbelastung Muschelkalk-Aquifer und Tagbrüche																																																							
Qualitative Gefährdungs- und Risikoanalyse, vorläufige Beurteilung, Bericht	erledigt	[Green bar from 2022-06 to 2022-12]																																																					
Felsmechanische Modellierungen																																																							
Aktuelle Stabilitätsbeurteilung der teilverbrochenen Kaverne S126	erledigt	[Green bar from 2022-06 to 2022-12]																																																					
Geologisches 3D-Modell																																																							
Modellvergleich	erledigt	[Green bar from 2022-07 to 2022-07]																																																					
Bestehende Überwachung																																																							
Geländedeformationen (Nivellement- und Lagevermessung, Photogrammetrie, punktuelle geotechnische Messungen)	laufend	[Green bar from 2021-07 to 2023-12]																																																					
Hohlraumvermessung S126 (Teilverbruch)	laufend	[Green bar from 2022-01 to 2023-12]																																																					
Konzepte erweiterte Überwachungsmaßnahmen																																																							
Oberflächendeformationen (neu: Remote Sensing, Entwicklung Prozessverständnis)	erledigt	[Green bar from 2022-06 to 2022-12]																																																					
Grundwasser-Überwachung (lokal und regional), inkl. Konzept Messnetz	erledigt	[Green bar from 2022-06 to 2022-12]																																																					
Mikroseismisches Monitoring (lokal)	erledigt	[Green bar from 2022-06 to 2022-12]																																																					
Berichterstattung																																																							
Technischer Bericht Phase 1 - Zustandserhebung Sulz & GZB, Massnahmenvorschläge (Beurteilung Solotechnischer Salzabbau, Reitze / Wilke, nicht Inhalt der ARGE)	erledigt	[Green bar from 2022-06 to 2022-12]																																																					
Phase 2: Zusätzliche Untersuchungen, Störfallanalyse und Massnahmenkatalog																																																							
Zusätzliche Untersuchungen																																																							
Umsetzung Konzept Umgang nicht zugängliche Bohrungen Sulz / GZB		[Yellow bar from 2023-01 to 2023-04]																																																					
Crosshole-Tomographie (gebirgsmechanische Eigenschaften)		[Yellow bar from 2023-01 to 2023-04]																																																					
Gebirgsmechanische Modellierung / Stabilitätsbeurteilung weiterer Kavernen, -cluster		[Yellow bar from 2023-01 to 2023-12]																																																					
Allenfalls weitere erforderliche Sondierbohrungen für Überwachungsmaßnahmen		[Yellow bar from 2023-08 to 2023-12]																																																					
Umsetzung erweiterte Überwachungsmaßnahmen																																																							
Oberflächendeformationen (Instrumentalisierung, alle Methoden)	Konzept	[Yellow bar from 2023-01 to 2024-12]																																																					
Grundwasser Aufbau Messnetz (Bewilligungen, Bohrungen, Instrumentalisierung)	Konzept	[Yellow bar from 2023-01 to 2024-12]																																																					
Grundwasser-Überwachung (Probennahme, Testphase, Auswertung)	Konzept	[Yellow bar from 2023-01 to 2024-12]																																																					
Mikroseismische Überwachung (Instrumentalisierung, Testphase, Monitoring)	Konzept	[Yellow bar from 2023-01 to 2024-12]																																																					
Analyse Störfälle, Massnahmenkatalog und Machbarkeit																																																							
Sofort-Massnahmen Prüfen, Vorgehen, Entscheide		[Yellow bar from 2023-01 to 2023-04]																																																					
(Abklärung Machbarkeit der Kavernenverfüllung mit Feststoff, nicht Inhalt der ARGE)	i.B.	[Dashed yellow bar from 2021-07 to 2023-12]																																																					
Handlungsoptionen langfristige Massnahmen, Machbarkeit und Kostenwirksamkeit	Bericht	[Yellow bar from 2023-01 to 2023-12]																																																					
Vorprojekt "Nachsorge"	Bericht	[Yellow bar from 2023-01 to 2023-12]																																																					
Aktualisierung Gefährdungs- und Risikoanalyse, Bericht	Bericht	[Yellow bar from 2023-01 to 2023-12]																																																					
Stellungnahme Schweizer Salinen AG		[Yellow bar from 2023-01 to 2023-01]																																																					
Stellungnahme Kanton BL		[Yellow bar from 2023-01 to 2023-01]																																																					
Konkretisierung Überwachungs- und Nachsorgekonzept / Langzeitnachweis	Bericht	[Yellow bar from 2023-01 to 2023-01]																																																					
Bauprojekt "Nachsorge"	Bericht	[Yellow bar from 2023-01 to 2023-01]																																																					
Phase 3: Nachsorge																																																							
Weiterführung aller Überwachungsmaßnahmen und Berichterstattung		[Orange bar from 2023-01 to 2024-12]																																																					
Umsetzung langfristige Massnahmen		[Orange bar from 2023-01 to 2024-12]																																																					