

Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

ANDRA ◦ BASE ◦ BGE ◦ BGR ◦ CHEVRON ◦ CRIEPI ◦ DOE ◦ ENRESA ◦ ENSI ◦ ETH ◦ FANC ◦ GRS
HELMHOLTZ ◦ IRSN ◦ JAEA ◦ NAGRA ◦ NWMO ◦ NWS ◦ OBAYASHI ◦ SCK•CEN ◦ SHELL ◦ SWISSTOPO ◦ TOTALENERGIES

Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen VBSA

z.Hd. Herrn Dr. Robin Quartier
Wankdorffeldstrasse 102
3014 Bern

Mont Terri Consortium

Dr. David Jaeggi, Projektleiter MTP
Swisstopo
Route de la Gare 63
CH-2882 St-Ursanne
Tel: +4179 583 96 51

david.jaeggi@swisstopo.ch

St-Ursanne, 03. März 2023

Betreff: Finanzierungsantrag COOLPIE Experiment

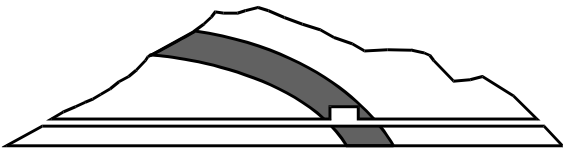
Sehr geehrter Herr Dr. Quartier

Wie am Dienstag, 28. Februar mit Ihnen besprochen, erhalten Sie anbei den leicht angepassten Finanzierungsantrag für das Projekt COOLPIE. Wir danken Ihnen, dass Sie uns die Möglichkeit gaben, das Projekt zu präsentieren.

Rahmenbedingungen

Zur Erreichung des Netto-Null Zieles bis 2050 müssen Punktquellen in der Industrie mit CO₂-Abscheidung ausgerüstet werden. Damit werden mehrere Millionen Tonnen jährlich abgeschieden. Diese beträchtliche CO₂-Menge wird anschliessend in sicheren geologischen Speichern gebunden werden müssen. Die dazu notwendige Speicherkapazität wird aktuell entwickelt, aber zurzeit ausschliesslich im Ausland.

Ob und inwiefern die Schweiz Zugang zu den ausländischen CO₂-Speichern haben wird, ist ungewiss. Wie der grenzüberschreitende Transport von Millionen von Tonnen CO₂ organisiert werden soll, ist bislang unklar. Wir sind deshalb überzeugt, dass das Potential für geologische Speicherung im Inland mit höchster Priorität untersucht werden muss. Dabei müssen nicht nur geeignete geologische Formationen lokalisiert (PFA-Analyse des Bundes) und die Reservoireigenschaften charakterisiert (Projekt Bohrung Trüllikon des Bundes) werden, sondern auch die Überwachung von CO₂-Reservoirien entwickelt und deren langfristige Sicherheit gewährleistet werden. Wir sind überzeugt, mit dem vorliegenden Projekt CO₂LPIE einen entscheidenden Beitrag für die zukünftige Tiefenlagerung von CO₂ im geologischen Untergrund in der Schweiz leisten zu können. Zudem sind wir der Auffassung, dass ein belastbares Monitoring-Konzept des abdichtenden Deckgesteins (Caprock) für die Langzeitsicherheit von Reservoirien unverzichtbar ist. Solche Überwachungssysteme werden auch für die Akzeptanz der geologischen Speicherung in der Schweiz sehr wichtig werden. Der Mont Terri bietet dazu mit seiner international stark vernetzten wissenschaftlichen community und seinem Besucherzentrum mit den jährlich bis zu 5'000 Besuchern eine unverzichtbare Plattform. Das Besucherzentrum soll in diesem Jahr mit dem bereits geplanten Umbau der Ausstellung stärker auf Themen, wie CCS, Geothermie und heatstorage ausgerichtet werden



Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

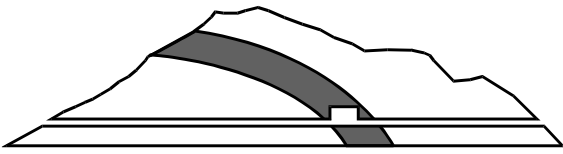
ANDRA ◦ BASE ◦ BGE ◦ BGR ◦ CHEVRON ◦ CRIEPI ◦ DOE ◦ ENRESA ◦ ENSI ◦ ETH ◦ FANC ◦ GRS
HELMHOLTZ ◦ IRSN ◦ JAEA ◦ NAGRA ◦ NWMO ◦ NWS ◦ OBAYASHI ◦ SCK•CEN ◦ SHELL ◦ SWISSTOPO ◦ TOTALENERGIES

und die schweizerische Industrie, bisher wenig präsent am Mont Terri, soll in die Ausstellung miteinbezogen werden.

Projektziele

Das CL-Experiment (CO₂LPIE - CO₂ Long-term Periodic Injection Experiment) zielt darauf ab, den Einfluss von CO₂-gesättigten Fluiden auf die Integrität geologischer Barrieren unter realistischen Bedingungen in-situ zu untersuchen. Diese realen Bedingungen berücksichtigen ausdrücklich die Anisotropie des Gesteins, die Heterogenität sowie isolierte und miteinander verbundene tektonische Brüche im Opalinuston. Das Hauptrisiko in CO₂-Lagerstätten ist die Leckage des Deckgesteins in einem frühen Stadium der CO₂-Injektion. Die Muschelkalk-Formation, die ein Hauptziel für die Speicherung von CO₂ im Untergrund in der Schweiz ist, wird von den Formationen des Gipskeupers (nur geringes Abdichtungsvermögen) und des darüber liegenden Opalinustons (hohes Abdichtungsvermögen) überlagert. Letzterer wurde im Felslabor Mont Terri in den vergangenen 27 Jahren im Rahmen der Forschung für die Endlagerung von radioaktivem Abfall intensiv untersucht und weist erstklassige Eigenschaften als Sicherheitsbarriere auf.

Am Mont Terri wird unter breiter internationaler Beteiligung seit 13 Jahren im Bereich CCS geforscht. Bisher wurden vor allem Experimente zur Abklärung der Integrität von Bohrungen und grossen tektonischen Brüchen unter Einfluss von mit CO₂ gesättigten Lösungen durchgeführt. Erstmals soll nun auch direkt das Verhalten der Matrix bezüglich Langzeitsicherheit eines CO₂-Reservoirs unter realistischen und genau kontrollierten in-situ Bedingungen auf einem Massstab von Meter bis Dekameter untersucht werden. Dazu wurde ein auf mehreren 15 m langen Bohrungen basierendes innovatives Experimentkonzept entwickelt, welches die berührungsfreie Charakterisierung und online Überwachung des Experimentierraumes mittels abbildenden 3D Verfahren erlaubt. Ein dafür notwendiges modulares Multisensorsystem wird momentan zusammen mit der schweizerischen Industrie entwickelt. Die Probenahme im Bereich der Injektion wird mit einem Gasmembransystem erfolgen, ebenfalls eine Neuentwicklung. Die Experimentdauer ist auf vier Jahre ausgelegt, mit anschliessender Langzeitüberwachung. Das CL Experiment wird begleitet von Laboruntersuchungen und Modellrechnungen.



Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

ANDRA ◦ BASE ◦ BGE ◦ BGR ◦ CHEVRON ◦ CRIEPI ◦ DOE ◦ ENRESA ◦ ENSI ◦ ETH ◦ FANC ◦ GRS
HELMHOLTZ ◦ IRSN ◦ JAEA ◦ NAGRA ◦ NWMO ◦ NWS ◦ OBAYASHI ◦ SCK•CEN ◦ SHELL ◦ SWISSTOPO ◦ TOTALENERGIES

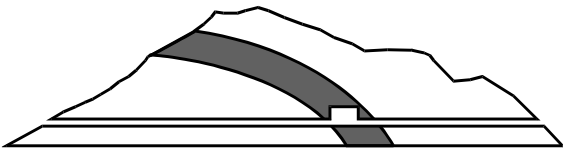
Projektpartner

Das Projekt profitiert von einem internationalen Netzwerk von Partnern, welche auf dem Gebiet der radioaktiven Tiefenlagerung und der CO₂-Tiefenlagerung führend sind, sowie wissenschaftlichen und technischen Erkenntnissen der vergangenen 27 Jahre Ton-Forschung am Mont Terri.

CL-Projektpartner am Mont Terri sind die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), swisstopo, ETH SED/eawag, University of Illinois, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) und die Rock Water Interaction Group der UNI Bern.



Wir sind überzeugt, dass die Durchführung dieses Experiments für zukünftige CCS-Projekte/Pilot in der Schweiz unverzichtbare Daten liefern wird. Zudem werden zusammen mit der Schweizer Industrie innovative Technologien zum Nachweis der Langzeitsicherheit von CO₂-Reservoiren entwickelt und getestet und so wichtiges Wissen geschaffen.



Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

ANDRA ◦ BASE ◦ BGE ◦ BGR ◦ CHEVRON ◦ CRIEPI ◦ DOE ◦ ENRESA ◦ ENSI ◦ ETH ◦ FANC ◦ GRS
HELMHOLTZ ◦ IRSN ◦ JAEA ◦ NAGRA ◦ NWMO ◦ NWS ◦ OBAYASHI ◦ SCK•CEN ◦ SHELL ◦ SWISSTOPO ◦ TOTALENERGIES

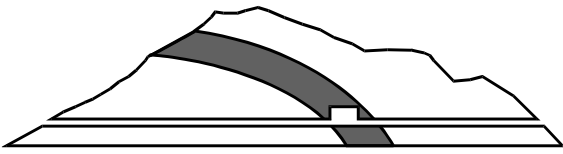
Projektkonzept

Beim CL-Experiment soll mit Hilfe eines in-situ Versuchsaufbaus im Felslabor Mont Terri der Opalinuston auf sein Verhalten gegenüber periodischen CO₂-Injektionen hin untersucht werden. Mit den periodischen Injektionen lassen sich Transportprozesse realistischer abbilden und die Mechanismen besser untersuchen.

In einem **1. Schritt** soll durch 4 bis zu 16 m lange Bohrungen der randliche Bereich des Untersuchungsperimeters erbohrt werden (B1–B4, Figur 1). Die Bohrungen sollen im Schnitt ein Quadrat mit einer Kantenlänge von 2 m bilden. Die Bohrkerne werden geologisch dokumentiert und Proben daraus mineralogisch charakterisiert und die Bohrungen anschliessend mittels geophysikalischen Messsonden befahren. Weitere am Felslabor Mont Terri entwickelte Abbildungsverfahren, wie Bohrlochintervall-Geschwindigkeitsmessungen (Interval Velocity Measurements, IVM) und elektrische Widerstandstomographie (Electrical Resistivity Tomography, ERT) werden vor den Einbauten ebenfalls durchgeführt werden. Danach werden die modularen Multisensorsysteme installiert, welche vorgängig in Zusammenarbeit mit der schweizerischen Industrie entwickelt werden. Diese Systeme sollen die spätere permanente und berührungsfreie tomographische Überwachung des Experimenterraumes übernehmen. Die Systeme bestehen aus Sensoren für Widerstandstomographie, Sensoren für aktive und passive Seismik, fiberoptischen Sensoren zur Messung von Verformung und der Temperatur und Porenwasserdrucksensoren.

Im **2. Schritt** werden die installierten Multisensorsysteme periodisch Tomographien (ERT, aktive und passive Seismik) erstellen. Zudem werden über eingebaute fiberoptische Kabel die Verformungen in Längsrichtung gemessen und am Ende jeder Bohrung wird ein Porenwasserdrucksignal erfasst. All diese Daten werden bereits vor der eigentlichen CO₂-Injektion erhoben und dienen dem Baseline-Monitoring (ursprüngliche Randbedingungen).

Erst im **3. Schritt** werden die Injektions- und die Extraktionsbohrung gebohrt (B5 und B6, Figur 1). Die Anordnung und genaue Tiefenlage dieser Bohrungen im vorgesehenen Experimentierraum erfolgt nach Massgabe der Messresultate aus den Schritten 1 und 2. Mit dem Messaufbau aus Schritt 1 lässt sich zudem der Einfluss der beiden Bohrungen auf Porenwasserdruck, Verformung, und physikalische Messgrössen im Untergrund live verfolgen. Beide Bohrungen werden unmittelbar nach Erstellung instrumentiert mit Injektionsintervall und je einem Prüfintervall oberhalb und unterhalb für die Injektionsbohrung und mehreren Messintervallen mit Gasmembranen für die Extraktionsbohrung. Die Gasmembranen dienen der Separierung des im Wasser gelösten CO₂ im Bohrloch, und dieses wird dann über eine Leitung dem online-Gasspektrometer zugeführt. Die Injektion wird erst nach einer gewissen Ausgleichsphase gestartet nach einem genau definierten Protokoll gemäss Drucklevel und Magnitude und Länge der geplanten Fluidinjektions-Oszillationen. Es werden Maximaldrucke von 3 MPa angestrebt und somit Drucke, welche klar unter dem Fracking-Druck des Opalinuston am Mont Terri liegen. Diese Differenzialdrucke sind für gross-skalige Prozesse im Caprock in einiger Entfernung von der Injektionsbohrung repräsentativ und somit

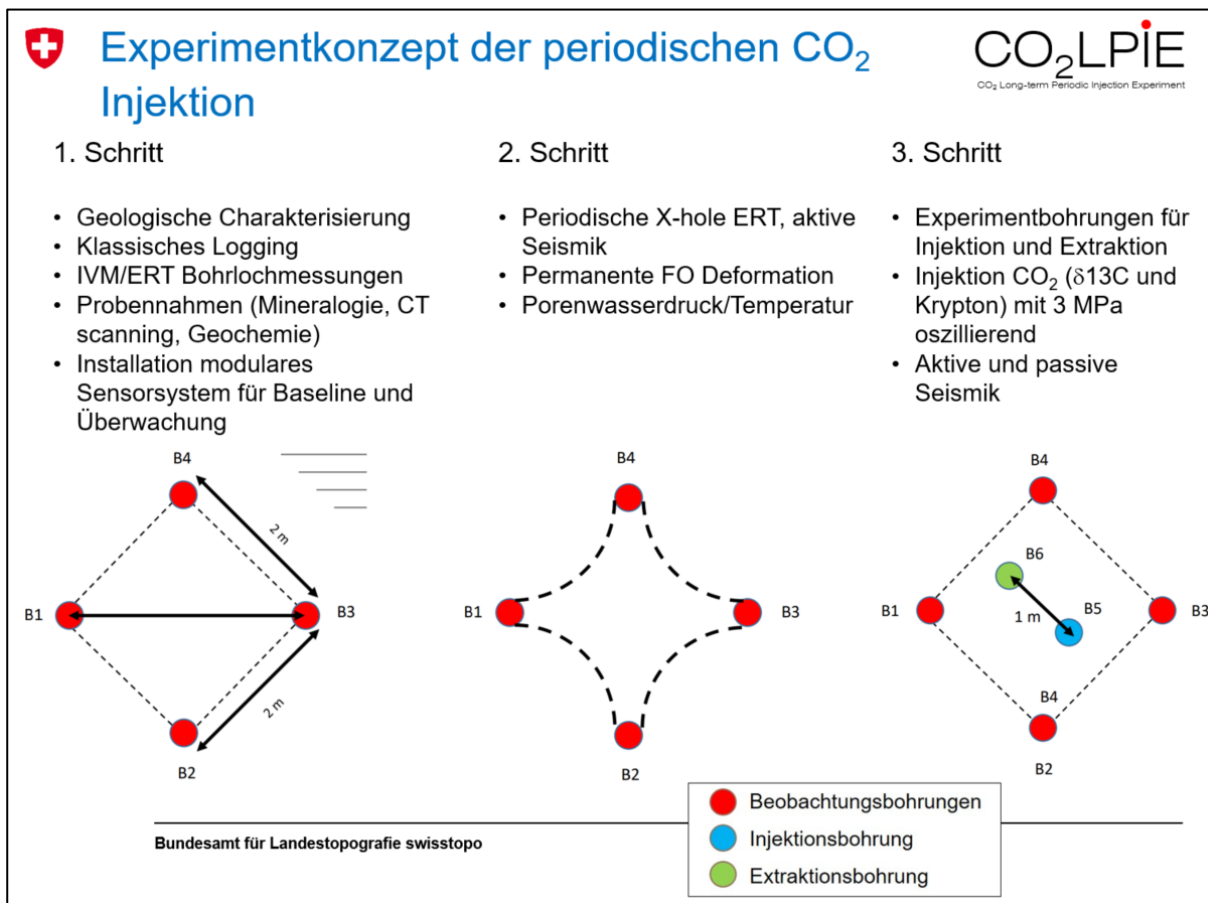


Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

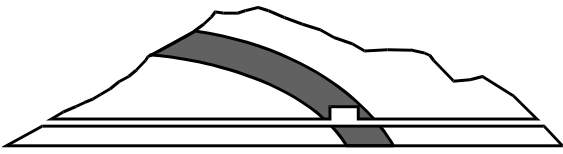
ANDRA ◦ BASE ◦ BGE ◦ BGR ◦ CHEVRON ◦ CRIEPI ◦ DOE ◦ ENRESA ◦ ENSI ◦ ETH ◦ FANC ◦ GRS
 HELMHOLTZ ◦ IRSN ◦ JAEA ◦ NAGRA ◦ NWMO ◦ NWS ◦ OBAYASHI ◦ SCK•CEN ◦ SHELL ◦ SWISSTOPO ◦ TOTALENERGIES

relevant. Das CO₂ lässt sich in voller Gasphase oder gelöst in Porenwasser injizieren. Die Migration von CO₂ gelöst in Porenwasser ist für das Langzeitverhalten in einem zukünftigen Reservoirkomplex entscheidend. CO₂ gelöst in Porenwasser ist chemisch viel reaktiver, als die reine Gasphase oder die superkritische Form und somit bezüglich Integrität des Caprock sicherheitsrelevant. Das CO₂ im Experiment wird vorgängig mit Krypton und Delta-C-13 markiert, um das injizierte CO₂ von mobilisiertem CO₂ unterscheiden zu können.



Figur 1: Experimentkonzept CL-Experiment.

Im Anschluss an die einjährige Vorbereitungs- und Installationsphase soll die Experimentphase (eigentliche CO₂-Injektion) drei Jahre dauern und die wichtigsten Resultate werden in einem Schlussbericht und zusätzlichen wissenschaftlichen Publikationen zusammengefasst. Es ist geplant, das Experiment danach noch bis ca. 10 Jahre weiter laufen zu lassen, um eventuell weitere interessante Erkenntnisse über das Langzeitverhalten des CO₂ im Opalinuston zu erhalten.



Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

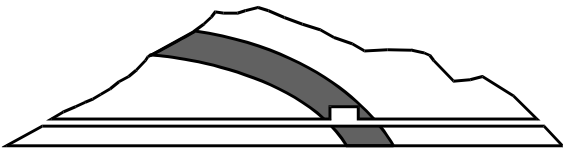
ANDRA ◦ BASE ◦ BGE ◦ BGR ◦ CHEVRON ◦ CRIEPI ◦ DOE ◦ ENRESA ◦ ENSI ◦ ETH ◦ FANC ◦ GRS
 HELMHOLTZ ◦ IRSN ◦ JAEA ◦ NAGRA ◦ NWMO ◦ NWS ◦ OBAYASHI ◦ SCK•CEN ◦ SHELL ◦ SWISSTOPO ◦ TOTALENERGIES

Zeitplanung

In Tabelle 1 ist eine grobe Zeitplanung für die wichtigsten Experimentschritte skizziert. Offizieller Projektbeginn wäre Q2 2023. Gewisse Vorbereitungsarbeiten, wie z.B. das Design des Multisensorsystems, laufen bereits jetzt. Die wichtigsten Meilensteine sind die Installation der 4 MMSS Ende dieses Jahr (M1), das Testen von Injektions- und Extraktionsbohrung (M2) und der Start der CO₂-Injekton (M3) in der ersten Hälfte 2024, die Beprobung und Analysierung von Gestein aus dem Injektionsbereich (M4) und der Abschluss des Projekts mit den Schlussergebnissen und dem Synthesebericht (M5). Die gesamte Projektdauer für den vorliegenden Finanzierungsantrag beträgt 4 Jahre. Das Langzeitmonitoring im Anschluss ist hier nicht aufgeführt und auch nicht Teil dieses Finanzierungsantrags.

Tabelle 1: Zeitplanung CL-Experiment über die 4 Jahre Projektdauer.

Steps of COOLPIE (CL) experiment	2023			2024				2025				2026				27
	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4
1. Elaboration of final experiment design	■	■	■													
2. Modeling	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3. Development of systems (MMSS)																
4. Drilling of boreholes			★ M1	■	■	■	■						★ M4			
5. Characterization of experimental volume																
6. Baseline monitoring				★ M2	■	■	■									
7. Testing								■	■	■	■	■	■	■	■	■
8. CO ₂ brine injection					★ M3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9. Lab analysis on core material																
10. Reporting, Publications																★ M5
M1: Installation of 4 MMSS M2: End of baseline monitoring and start of testing (hydraulic) M3: Start of CO ₂ injection test sequence M4: Rock sampling in experimental zone and lab analysis M5: End of project, synthesis reporting and start of long-term monitoring phase																



Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

ANDRA ◦ BASE ◦ BGE ◦ BGR ◦ CHEVRON ◦ CRIEPI ◦ DOE ◦ ENRESA ◦ ENSI ◦ ETH ◦ FANC ◦ GRS
HELMHOLTZ ◦ IRSN ◦ JAEA ◦ NAGRA ◦ NWMO ◦ NWS ◦ OBAYASHI ◦ SCK•CEN ◦ SHELL ◦ SWISSTOPO ◦ TOTALENERGIES

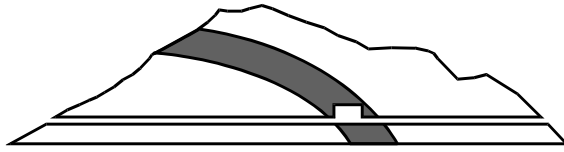
Kostenaufstellung

Anhang 1 sind die Kosten detailliert zusammengestellt. Die Gesamtkosten inkl. nicht verrechenbare Personalkosten belaufen sich auf 2.8 Mio CHF. Die gesamten benötigten cash-Kosten belaufen sich auf ca. 2.2 Mio CHF. Grosse Budgetposten sind die Entwicklung und Herstellung des Multisensorsystems, die Herstellung der Oberflächen- und Bohrlochinstrumente und die Instrumentierung der Injektions- und Extraktionsbohrung und die Bohrarbeiten selbst. Die Gesamtkosten beinhalten auch einen Teil in-kind Leistungen der beiden Mont Terri Konsortium Partner BGR und swisstopo. Für eine Teilfinanzierung ist beim BFE ein Antrag in Vorbereitung. Für die 2.2 Mio CHF cash-Kosten werden beim BFE 1.3 Mio CHF beantragt. 500'000 CHF werden von den Mont Terri Projekt Partnern BGR, ETH und swisstopo beigesteuert und 400'000 CHF sollen gemäss BFE aus der Industrie kommen. Cemsuisse hat uns bereits 100'000 CHF vertraglich zugesichert. Damit fehlen uns für die Projektdurchführung noch 300'000 CHF über die Laufzeit der nächsten 4 Jahre, welche wir gerne bei VBSA beantragen würden. Das finanzielle Engagement müsste nicht bereits im 2023 erfolgen und könnte sich somit über die Jahre 2024-2026 erstrecken.

Wir würden uns über ein finanzielles Engagement seitens VBSA sehr freuen.

Mit freundlichen Grüssen

David Jaeggi
swisstopo
Projektleiter Mont Terri Projekt



Mont Terri Project

Underground Rock Laboratory

ANDRA ◻ BASE ◻ BGE ◻ BGR ◻ CHEVRON ◻ CRIEPI ◻ DOE ◻ ENRESA ◻ ENSI ◻ ETH ◻ FANC ◻ GRS
 HELMHOLTZ ◻ IRSN ◻ JAEA ◻ NAGRA ◻ NWMO ◻ NWS ◻ OBAYASHI ◻ SCK-CEN ◻ SHELL ◻ SWISSSTOPO ◻ TOTALENERGIES

Anhang 1: Detailliertes Budget CL-Experiment über die 4 Jahre Projektdauer.

	2023			2024			2025				2026			2027	approx. Costs incl. VAT [CHF]	beneficiary or contractor
	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4		
Development of systems (MMSS)																
Drilling activity		4 bh		2bh									1bh			
Experiment activity																
Monitoring																
development and manufacturing of MMSS (FH), incl. Sensors and interrogator for FO	300'000															300'000
in-situ experiment, equipment, installation (solexperts)				750'000				50'000					50'000			900'000
testing solexperts																-
drilling		100'000		50'000									25'000			175'000
logging		12'000		8'000									5'000			25'000
infrastructure for Mont Terri rock laboratory, adjustments, such as cable channels, supply of electricity, gas, other services	10'000				10'000				10'000							40'000
drill core characterisation	-	16'000		8'000									10'000			28'000
geophysical characterisation (mini-seismics, ERT, NMR, ...)	-	16'000		8'000									4'000			28'000
geochemical characterisation				40'000				20'000				20'000				100'000
additional geophysical monitoring (mini-seismics, ERT, TM, ...)		10'000			10'000				10'000				10'000			40'000
chemical monitoring		4'000			4'000				4'000				4'000			16'000
THM modelling, hardware, software 2 stations	10'000															10'000
THM modelling, hardware, software 2 stations	10'000															10'000
THM modelling, hardware, software 2 stations	10'000															10'000
travel expenses to work in rock laboratory		3'000		2'000					2'000				2'000			9'000
transport of rock samples and equipment		3'500		2'000					2'000				2'000			9'500
sum	330'000	132'500	0	852'000	14'000	0	0	70'000	18'000	0	0	70'000	48'000	0	0	1'604'500
without personal costs, administrative indirect costs (5%)				1'380'225				88'200				92'400				1'684'725
personal costs (2 PhD candidates) + 1 Technician	125'000				125'000				125'000				125'000			500'000
travel expenses project meetings with partners, twice a year	2'000				2'000				2'000				2'000			8'000
realisation of 2 workshops with similar projects focusing of e.g. caprock activities				5'500								5'500				11'000
sum				132'500				127'000				132'500				519'000
Total expenses				1'512'725				215'200				224'900				2'203'725
	Year 1			Year 2			Year 3				Year 4				Total project	