

GeoLaB – Das geowissenschaftliche Zukunftsprojekt für Deutschland

Abstract (gelber Kasten)

Geothermische Energie kann bei der Dekarbonisierung des deutschen Energiesystems eine wichtige Rolle einnehmen. Um das große Potenzial der Geothermie im kristallinen Grundgebirge wirtschaftlich nutzbar zu machen, werden Ertüchtigungsmaßnahmen im Reservoir eingesetzt. Eine Voraussetzung für die öffentliche Akzeptanz solcher EGS („Enhanced Geothermal Systems“) ist jedoch die Minimierung der möglichen induzierten Seismizität. Ihre Kontrolle kann nur auf Basis des Verständnisses für die Prozesse und Wechselwirkungen des Fluids mit dem Reservoir erfolgen.

Mit dem generischen Untertagelabor GeoLaB („**G**eothermal **L**aboratory in the **C**rystalline **B**asement“) sollen grundlegende Fragen der Reservoirtechnologie und Bohrlochsicherheit von EGS erforscht werden. Die geplanten Experimente werden wesentlich unser Verständnis der maßgeblichen Prozesse im geklüfteten Kristallingestein unter erhöhten Fließraten verbessern.

Der Einsatz und die Entwicklung modernster Beobachtungs- und Auswertemethoden führen zu Erkenntnissen, die für eine sichere und ökologisch nachhaltige Nutzung der Geothermie und des unterirdischen Raumes von großer Bedeutung sind. Als interdisziplinäre und internationale Forschungsplattform wird GeoLaB in Kooperation mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Universitäten sowie industriellen Partnern und Fachbehörden Synergien erzeugen und technisch-wissenschaftliche Innovationen hervorbringen.

Einführung

Um die globale Erwärmung auf 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, ist unsere Gesellschaft mit der dringenden Notwendigkeit konfrontiert, den Übergang zu einem weltweit nachhaltigen Energiesystem zu vollziehen (IPCC, 2018). Geothermische Energie steht unabhängig von Jahres- und Tageszeiten zur Verfügung und eignet sich daher im Unterschied zu vielen anderen erneuerbaren Energien dazu, Grundlastanlagen zu betreiben. Geothermie gilt als erneuerbar, da aufgrund der Temperaturverhältnisse und der Transportprozesse Wärme in das Reservoir im Untergrund nachfließt. Sie kann bei der Dekarbonisierung des Energiesystems in Deutschland eine wichtige Rolle spielen.

In Mitteleuropa liegt das größte geothermische Potenzial im kristallinen Grundgebirge mit wichtigen Hotspots in Gebieten, die unter tektonischen Spannungen stehen. Hierzu zählt der Oberrheingraben als Riftzone mit hydrothermalen Fluidströmungen und außergewöhnlichen Temperaturanomalien im tiefen Untergrund (Kohl et al., 2005). Zur Nutzung des geothermischen Potentials im Kristallin wurde die EGS-Technologie („Enhanced Geothermal Systems“) entwickelt (Genter et al., 2010). EGS nutzen den tiefen geklüfteten Untergrund als natürlichen Wärmetauscher. Mit mindestens zwei Bohrungen wird ein Thermalwasserkreislauf geschaffen, der geothermische Energie zu Tage befördert und nutzbar macht (Schill et al., 2017). Da für einen wirtschaftlichen Betrieb jedoch relativ große Fließraten (>10 L/s) notwendig sind, muss die natürliche Permeabilität des Gesteins im Kristallin – im Gegensatz zu hydrothermalen Systemen – durch hydraulische oder chemische Stimulationsmaßnahmen (Reservoir-Engineering) zur Steigerung der Fließraten erhöht werden.

Eine große Herausforderung von EGS stellt die Kontrolle und die Minimierung der dabei erzeugten induzierten Seismizität dar, sowohl in der Phase des Reservoir-Engineering und des Kraftwerkbetriebs als auch im Hinblick auf die Erhöhung der öffentlichen Akzeptanz. Unerlässlich ist dafür ein profundes Prozessverständnis der multiphysikalischen Prozesse im Reservoir, wie die komplexen Interaktionen des Fluids mit dem Reservoir bei hohen Fließraten. Hierfür sind neue

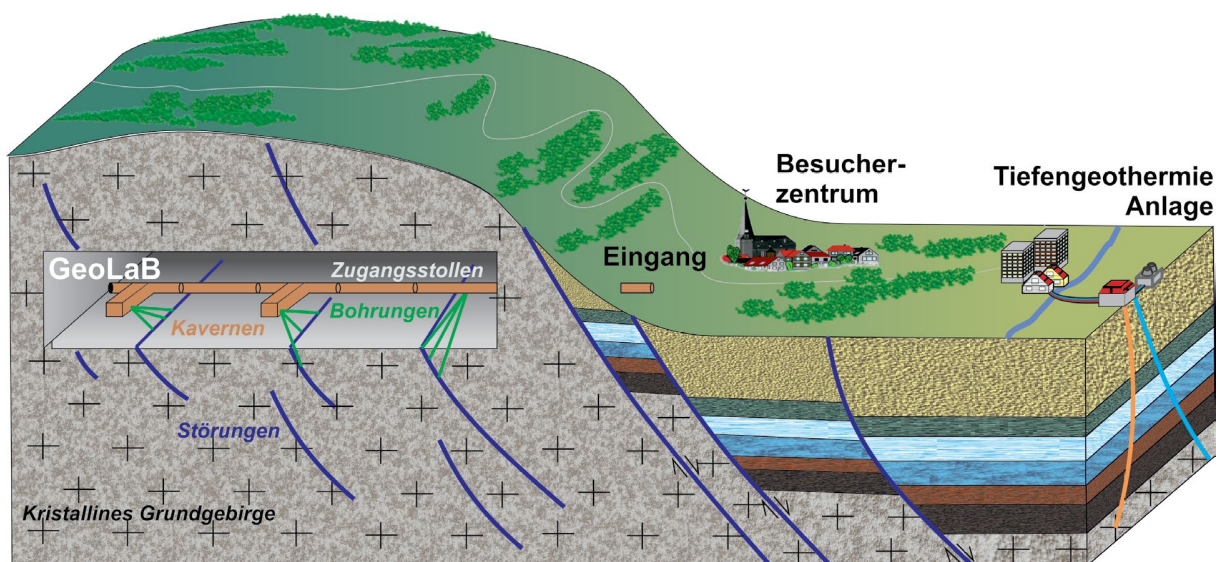
wissenschaftlich fundierte Strategien und Technologien dringend erforderlich, um das geothermische Potenzial wirtschaftlich und gleichzeitig umweltverträglich ausschöpfen zu können.

Geothermielabor im Bergwerk

Mit dem Untertagelabor GeoLaB („**G**eothermal **L**aboratory in the **C**rystalline **B**asement“) sollen die zentralen Herausforderungen der Reservoirbewirtschaftung von EGS wissenschaftlich untersucht und überwunden werden. Die spezifischen Ziele von GeoLaB sind 1) effizientes und sicheres Management von geklüfteten Reservoiren, 2) modernste multidisziplinäre und prozessübergreifende Forschung mit Visualisierungskonzepten, 3) Entwicklung neuer umweltfreundlicher Strategien für unterirdische Anlagen und 4) transparente Interaktion mit der Öffentlichkeit und Entscheidungsträgern.

GeoLaB ist als generisches Untertagelabor im kristallinen Grundgebirge des Schwarzwald-Odenwald-Komplexes konzipiert (Abbildung 1). Hier sind die kristallinen Reservoirgesteine des Oberrheingrabens exponiert und der Wissenschaft leichter zugänglich. Das Zielgestein ist gleichzeitig repräsentativ für das weltweit größte Reservoirgestein, das Kristallin, und lässt einen Transfer auf andere Regionen zu. In einer Erkundungsphase des Projektes wird zunächst die Eignung des zukünftigen Laborstandortes über einen Katalog vorher definierter Kriterien festgestellt und durch eine Forschungsbohrung bestätigt. Anschließend werden über einen etwa 1 km langen Zugangsstollen einzelne Kavernen erschlossen, in denen kontrollierte Hochfluss-Experimente in ca. 400 m Tiefe vorgenommen werden.

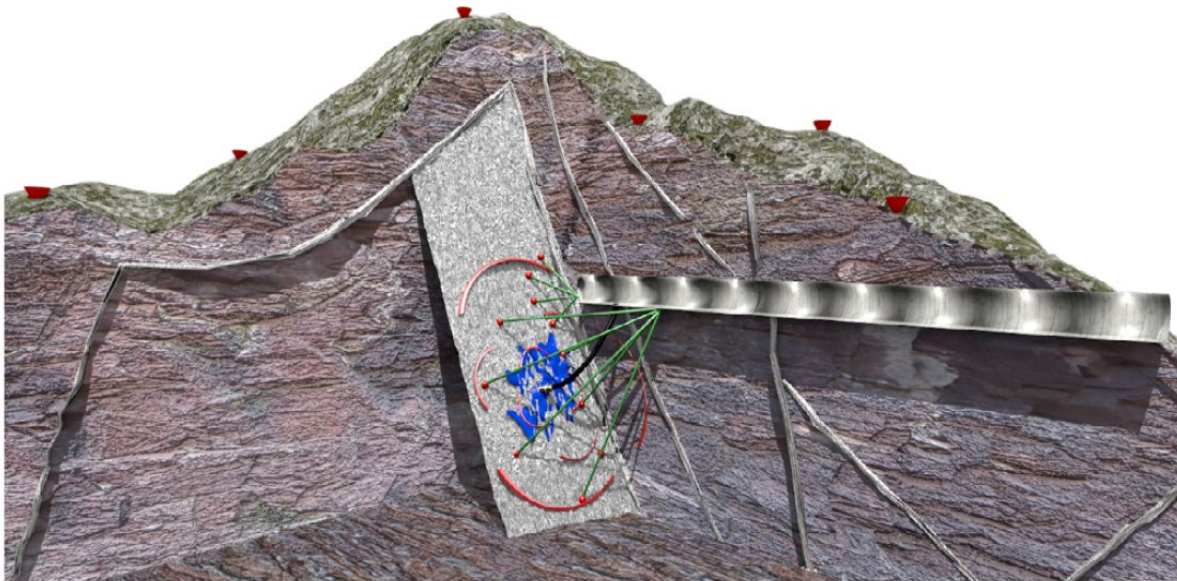
Die geplanten Experimente erlauben erstmalig detaillierte *in situ* Beobachtungen und werden wesentlich zu unserem grundlegenden Verständnis der Prozesse beitragen, die mit den Betriebsbedingungen in Reservoir-Strukturen verbunden sind. GeoLaB birgt ein hohes Innovationspotenzial in der Schaffung von Umweltstandards und Sicherheitsforschung sowie der Erarbeitung eines Kommunikationsstandards für Geothermie. Der Einsatz und die Entwicklung modernster Beobachtungs- und Auswertemethoden führen zu Erkenntnissen, die für eine sichere und ökologisch nachhaltige Nutzung der Geothermie und des unterirdischen Raumes von großer Bedeutung sind.



1 Schemazeichnung des Untertagelabors GeoLaB

Kontrollierte Hochfluss-Experimente

Experimente in Bezug auf Fluid- bzw. Stofftransport in Untertagelaboren adressieren in der Regel Fragestellung der Barriereigenschaften von Wirtsgesteinen, oft im Zusammenhang mit nuklearer Endlagerforschung, zu deren Zweck weltweit ca. 30 generische und standortspezifische Untertagelabore eingerichtet worden sind (NEA, 2013). In Experimenten auf Klüften kommen hier typischerweise Entnahme-Fließraten von < 1 L/min zum Einsatz (z.B. Hoehn et al., 1998). Mit kontrollierten Hochfluss-Experimenten („Controlled high flowrate experiments“, CHFЕ) zielt GeoLaB auf die entgegengesetzte Fragestellung ab, nämlich eine möglichst gute Durchlässigkeit des Gesteins. Eine hohe Kluftdichte sowie ein weitläufiges Kluftnetzwerk sollen CHFЕ mit Fließraten > 10 L/s möglich machen. GeoLaB ermöglicht somit das Verständnis der Interaktion von Fluidinjektion bzw. -zirkulation mit geomechanischen Prozessen bei hohen Fließraten. Aufgrund der zu erwartenden Kopplung von hydraulischen und mechanischen Prozessen erfolgt eine Kontrolle der CHFЕ durch verschiedene Monitoringverfahren, numerische Modellierungen und innovativen Visualisierungsmethoden (Abbildung 2).



2 Versuchsaufbau für CHFЕ mit Versuchsstollen, Injektions-, und Beobachtungsbohrungen sowie umfassendem Monitoring

THMC-Prozesse und Simulation

Geothermische Reservoirs sind ein dynamisches System hoher Komplexität. Bisherige starke Vereinfachungen und lineare Ansätze beschreiben das System nur unzureichend. Zum Verständnis und zur Vorhersage werden deshalb zunehmend umfangreichere numerische Modelle entwickelt, die diese THMC-Prozesse (THMC - thermisch, hydraulisch, mechanische und chemische) abbilden und transient simulieren. Die notwendigen Parameter hierfür unterliegen allerdings mangels Datenbasis großen Unsicherheiten. Die Experimente in GeoLaB werden durch Messungen in fächerförmigen Bohrungen kontinuierlich überwacht. Damit wird ein weltweit einzigartiger 4D-Benchmark-Datensatz thermischer, hydraulischer, chemischer und mechanischer und zusätzlich mikrobiologischer Parameter geschaffen. Mit den geplanten Experimenten sind bei hohen Fließraten erstmalig experimentelle Bestimmungen und der Nachweis in 3D von Hydrodynamik (z.B. Navier-Stokes Gesetze) und Hydromechanik (z.B. Triggerung und Ausbreitung von Mikroseismizität) im geklüfteten kristallinen Grundgebirge möglich. So können auch erstmalig dynamische und gekoppelte Prozesse

wie z.B. Variabilität des Spannungsfeldes in Raum und Zeit und THMC--Prozesse experimentell erfasst werden.

Virtuelles GeoLaB

Neue Machine-Learning-Methoden werden notwendig, um die erwartete Datenmenge und Prozess-Komplexität zu bewältigen. Der extrem hohe rechnerische Aufwand für realitätsnahe Simulationen erfordert, dass künstliche Intelligenz und High-Performance-Computing für die Simulationsplattform zwingend erforderlich sind. Darüber hinaus werden neue Methoden der wissenschaftlichen Visualisierung (Virtual Reality) notwendig. Vor diesem Hintergrund wird ein "Virtuelles GeoLaB"-Konzept für die visuelle Analytik und als visuelles Daten-Repository von GeoLaB eingeführt werden. Als einen Ausgangspunkt dient hierbei das Visualisierungszentrum VISLab (Bilke et al., 2014). Der digitale Zwilling von GeoLaB wird die Entwicklung der Forschungsinfrastruktur schon während der Bauphase begleiten und unterstützt in der Betriebsphase die wissenschaftlichen Studien einschließlich Planung, Analyse und Dokumentation. In der Kommunikation mit Stakeholdern, insbesondere Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit, wird das Virtuelle GeoLaB ebenfalls eine wichtige Rolle einnehmen.

Ausbildung und Lehre

GeoLaB als Forschungs- und Innovationplattform bietet ideale Bedingungen für die Lehre und Ausbildung der nächsten Generation an Wissenschaftlern, Geotechnologie-Experten und Entscheidungsträgern. Deshalb soll ein Ausbildungszentrum Zugang für Studenten und den Nachwuchs aus den verschiedensten Industriezweigen mit geotechnologischen Fragestellungen zum innovativen GeoLaB-Umfeld bieten und es ermöglichen, Kontakte zu führenden Wissenschaftlern und Industrieunternehmen zu knüpfen. Interdisziplinarität wird durch die Themenvielfalt von GeoLaB ein natürlicher Baustein der Lehre. Die Sensibilisierung der Studenten und Industriemitarbeitern für gesellschaftliche Fragen, der aktive Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaftlern, Projektträgern, Industrie und relevanten Interessengruppen kann zudem einen aktiven Dialog anregen und eine gemeinsame Kommunikationsebene schaffen. GeoLaB bietet damit Möglichkeiten hochqualifizierter Nachwuchskräften mit breitem Horizont.

Ausblick

GeoLaB hat das Potenzial, grundlegend unser Verständnis der komplexen Reservoirprozesse zu verändern. GeoLaB bietet internationalen Forschergruppen und der Industrie einen einzigartigen Raum für experimentelle Geothermieforschung und technologische Entwicklungen. Es dient als integrierte Plattform für Lehre, Entwicklung und Kommunikation. Es birgt ein hohes Innovationspotenzial in der Schaffung von Umweltstandards und Sicherheitsforschung sowie der Erarbeitung eines Kommunikationsstandards für Geothermie. Der Einsatz und die Entwicklung modernster Beobachtungs- und Auswertemethoden führen zu Erkenntnissen, die für eine sichere und ökologisch nachhaltige Nutzung der Geothermie und des unterirdischen Raumes von großer Bedeutung sind.

GeoLaB bietet eine internationale und interdisziplinäre Forschungsplattform und ermöglicht Forschung über die Geothermie hinaus. Zu den Anknüpfungspunkten zählen

- Umweltsystemanalyse

- Materialwissenschaften, z.B. Korrosionsresistente Materialien
- Digitalisierung
 - Methoden der numerischen Modellierung
 - Künstliche Intelligenz und Virtual Reality
 - Industrie 4.0
- Geotechnologien, Maschinenbau und Ingenieurwesen, z.B.:
 - Bohrtechniken und Bohrlochsicherheit
 - Autonomes Fahren unter Tage
 - Sensortechnik
 - Intelligenten Pumpensystemen
 - Künstliche Intelligenz in der Explorationstechnologie
 - Risikomanagement

Die letzte große Forschungsinfrastruktur der Geowissenschaften in Deutschland, KTB (Kontinentales Tiefbohrprogramm), hat in ökonomischen Analysen gezeigt, dass ein geowissenschaftliches Leuchtturmprojekt einen Innovationsschub und einen langfristigen wirtschaftlichen Effekt erzeugen kann. GeoLaB hat das Potenzial, eine ähnliche Wirkung zu erzielen.

Referenzen:

Bilke, Lars; Fischer, Thomas; Helbig, Carolin; Krawczyk, Charlotte; Nagel, Thomas; Naumov, Dmitri et al. (2014): TESSIN VISLab—laboratory for scientific visualization. In: *Environ Earth Sci* 72 (10), S. 3881–3899. DOI: 10.1007/s12665-014-3785-5.

Genter, Albert; Evans, Keith; Cuenot, Nicolas; Fritsch, Daniel; Sanjuan, Bernard (2010): Contribution of the exploration of deep crystalline fractured reservoir of Soultz to the knowledge of enhanced geothermal systems (EGS). In: *Comptes Rendus Geoscience* 342 (7-8), S. 502–516. DOI: 10.1016/j.crte.2010.01.006.

Hoehn, E.; Eikenberg, J.; Fierz, T.; Drost, W.; Reichlmayr, E. (1998): The Grimsel Migration Experiment: field injection–withdrawal experiments in fractured rock with sorbing tracers. In: *Journal of Contaminant Hydrology* 34 (1-2), S. 85–106. DOI: 10.1016/S0169-7722(98)00083-7.

IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)].

Kohl, T.; Signorelli, S.; Engelhardt, I.; Berthoud, N. Andenmatten; Sellami, S.; Rybach, L. (2005): Development of a regional geothermal resource atlas. In: *J. Geophys. Eng.* 2 (4), S. 372–385. DOI: 10.1088/1742-2132/2/4/S11.

NEA, OECD (Ed.) (2013): Underground Research Laboratories (URL). Nuclear Energy Agency Organisation For Economic Co-Operation And Development (Nea No. 78122). Available online at <http://www.oecd-nea.org/>.

Schill, E.; Genter, A.; Cuenot, N.; Kohl, T. (2017): Hydraulic performance history at the Soultz EGS reservoirs from stimulation and long-term circulation tests. DOI: 10.5445/IR/1000071274.

Autoren:

Dr. Katharina Schätzler, Dr. Judith Bremer, beide Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe; Prof. Michael Kühn, Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam; Prof. Olaf Kolditz, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig; Prof. Ingo Sass, Technische Universität Darmstadt; Prof. Eva Schill, Prof. Thomas Kohl, beide Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

GeoLaB - The geoscientific future project for Germany

Abstract (yellow box)

Geothermal energy can play an important role in the decarbonization of the German energy system. In order to make the great potential of geothermal energy in the crystalline basement economically viable, measures are taken to upgrade the reservoir. However, a prerequisite for the public acceptance of such EGS ("Enhanced Geothermal Systems") is the minimization of possible induced seismicity. Their control can only be based on an understanding of the processes and interactions of the fluid with the reservoir.

With the generic underground laboratory GeoLaB ("Geothermal Laboratory in the Crystalline Basement"), fundamental questions of reservoir technology and borehole safety of EGS are to be investigated. The planned experiments will significantly improve our understanding of the relevant processes in the fractured crystalline rock under increased flow rates.

The application and development of state-of-the-art observation and evaluation methods will lead to findings that are of great importance for a safe and ecologically sustainable use of geothermal energy and the underground. As an interdisciplinary and international research platform GeoLaB will generate synergies and technical-scientific innovations in cooperation with the German Research Foundation, universities as well as industrial partners and specialized authorities.

Introduction

To limit global warming to 2°C above pre-industrial levels, our society is confronted with the urgent need to make the transition to a globally sustainable energy system (IPCC, 2018). Geothermal energy is available regardless of season or time and, unlike many other renewable energies, is therefore suitable for base-load systems. Geothermal energy is regarded as renewable as heat flows back into the reservoir due to temperature conditions and transport processes. It can play an important role in the decarbonization of the energy system in Germany.

In Central Europe, the greatest geothermal potential lies in the crystalline basement with important hotspots in areas under tectonic tension. These include the Upper Rhine Graben as a rift zone with hydrothermal fluid flows and exceptional temperature anomalies in the deep underground (Kohl et al., 2005). The EGS technology ("Enhanced Geothermal Systems") was developed to exploit the geothermal potential in the crystalline (Genter et al., 2010). EGS use the deep fractured subsoil as a natural heat exchanger. With at least two boreholes, a thermal water cycle is created that brings geothermal energy to the surface and makes it usable (Schill et al., 2017). However, since relatively high flow rates (>10 L/s) are required for economic operation, the natural permeability of the rock in the crystalline - in contrast to hydrothermal systems - must be increased by hydraulic or chemical stimulation measures (reservoir engineering) to increase the flow rates.

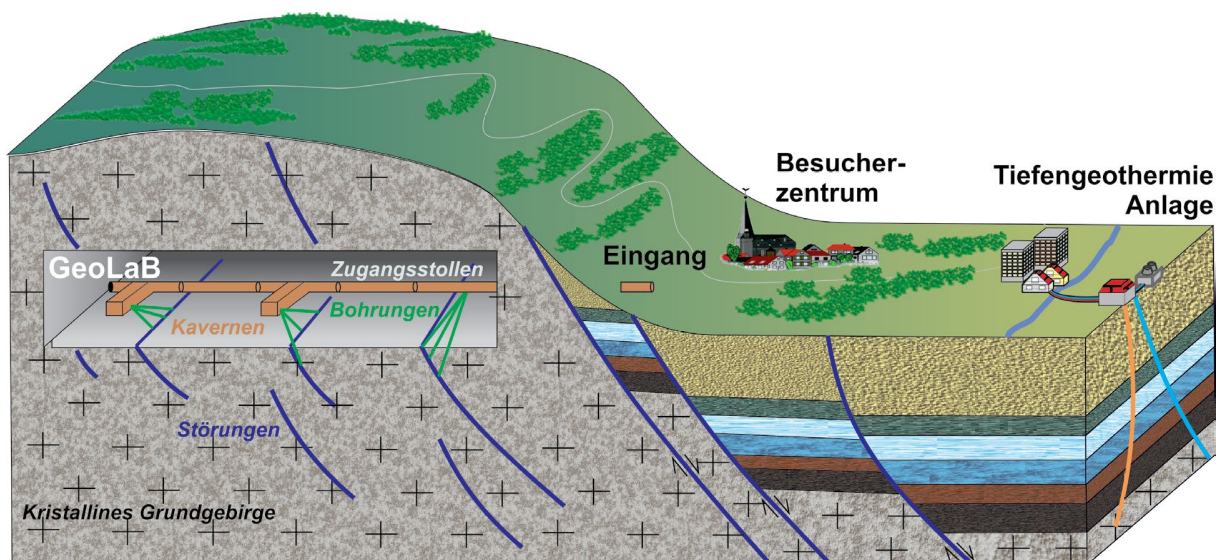
A major challenge for EGS is to control and minimize the induced seismicity generated in this process, both in the reservoir engineering and operation phase and with a view to increasing public acceptance. A profound understanding of the multiphysical processes in the reservoir, such as the complex interactions of the fluid with the reservoir at high flow rates, is indispensable for this. New scientifically based strategies and technologies are urgently needed to exploit the geothermal potential economically and at the same time in an environmentally compatible way.

Geothermal laboratory in the crystalline basement

The underground laboratory GeoLaB ("Geothermal Laboratory in the Crystalline Basement") scientifically addresses the central challenges of EGS reservoir management. The specific objectives of GeoLaB are 1) Efficient and safe management of fractured reservoirs, 2) Cutting-edge multi-disciplinary and multi-process research with visualization concepts, 3) Developing new benign environmental strategies for subsurface installations and 4) Transparent interaction with public, shareholders and decision makers.

GeoLaB is designed as a generic underground laboratory in the crystalline basement of the Black Forest-Odenwald Complex (figure 1). Here, the crystalline reservoir rocks of the Upper Rhine Graben are exposed and accessible to the scientific community. The target rock is at the same time representative of the world's largest reservoir rock, the crystalline basement, and allows a transfer to other regions. In an exploratory phase of the project, the suitability of the future laboratory location is first determined by means of a catalogue of previously defined criteria and confirmed by a research well. Subsequently, individual caverns will be developed via an approximately 1 km long access tunnel, in which controlled high-flow experiments will be conducted at a depth of approx. 400 m.

The planned experiments will allow detailed *in situ* observations for the first time and will contribute significantly to our fundamental understanding of the processes associated with operating conditions in reservoir structures. GeoLaB has a high innovation potential in the creation of environmental standards and safety research as well as in the development of a communication standard for geothermal energy. The use and development of state-of-the-art observation and evaluation methods lead to findings that are of great importance for the safe and ecologically sustainable use of geothermal energy and the underground space.

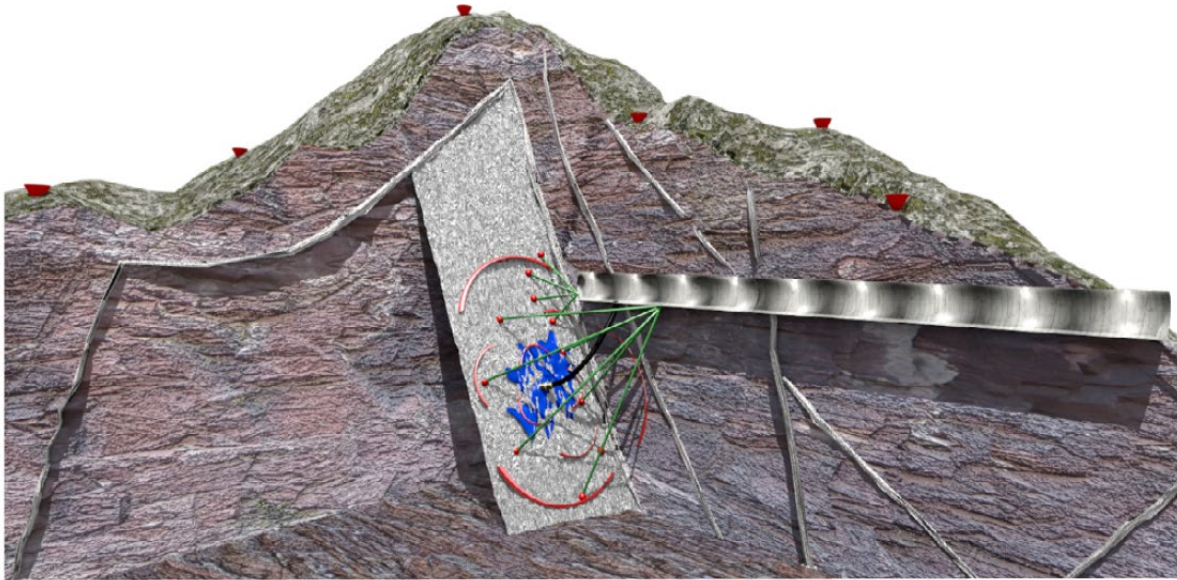


3 GeoLaB underground laboratory

Controlled high-flow rate experiments

Experiments related to fluid and mass transport in underground laboratories usually address questions of barrier properties of host rocks, often in connection with nuclear repository research, for which purpose about 30 generic and site-specific underground laboratories have been

established worldwide (NEA, 2013). In experiments on fractures, sampling flow rates of < 1 L/min are typically used here (e.g. Hoehn et al., 1998). With “controlled high flow rate experiments” (CHFE), GeoLaB aims at the opposite problem, namely the best possible permeability of the rock. A high fracture density and an extensive fracture network is supposed to make CHFE with flow rates > 10 L/s possible. Thus, it enables the understanding of the coupled processes of fluid injection or circulation with geomechanical processes at high flow rates. Due to the expected coupling of hydraulic and mechanical processes, the CHFE are controlled by advanced monitoring methods, comprehensive numerical modelling and innovative visualization techniques (figure 2).



4 Test set-up for CHFE with test gallery, injection and observation boreholes and comprehensive monitoring

THMC processes and simulation

Geothermal reservoirs are a dynamic system of high complexity. Previous strong simplifications and linear approaches describe the system only insufficiently. For understanding and prediction purposes, more and more comprehensive numerical models are therefore being developed, which map and transiently simulate these THMC processes (THMC - thermal, hydraulic, mechanical and chemical). However, the necessary parameters for this are subject to great uncertainties due to the lack of a database. The experiments in GeoLaB are continuously monitored by measurements in fan-shaped boreholes. This creates a worldwide unique 4D benchmark data set of thermal, hydraulic, chemical and mechanical and additionally microbiological parameters. With the planned experiments, experimental determinations and the verification in 3D of hydrodynamics (e.g. Navier-Stokes laws) and hydromechanics (e.g. triggering and propagation of microseismicity) in the fractured crystalline basement are possible for the first time at high flow rates. Thus, dynamic and coupled processes such as variability of the stress field in space and time and THMC-processes can be experimentally recorded for the first time.

Virtual GeoLaB

New machine-learning methods become necessary to cope with the expected amount of data and process complexity. The extremely high computational effort required for realistic simulations means that artificial intelligence and high-performance computing are essential for the simulation platform.

Furthermore, new methods of scientific visualization (Virtual Reality) are necessary. Against this background, a "Virtual GeoLaB" concept will be introduced for visual analytics and as a visual data repository of GeoLaB. The visualization center VISLab (Bilke et al., 2014) serves as a starting point for this. The digital twin of GeoLaB will accompany the development of the research infrastructure already during the construction phase and support scientific studies including planning, analysis and documentation during the operational phase. Virtual GeoLaB will also play an important role in the communication with stakeholders, especially decision makers and the public.

Training and teaching

GeoLaB as a research and innovation platform offers ideal conditions for teaching and training the next generation of scientists, geotechnology experts and decision makers. Therefore, a training center will provide access to the innovative GeoLaB environment for students and young professionals from various industries with geotechnological questions and enable them to establish contacts with leading scientists and industrial companies. Interdisciplinarity becomes a natural component of the teaching due to the variety of topics of GeoLaB. The sensitization of students and industry employees to social issues, the active exchange of experiences between scientists, project sponsors, industry and relevant interest groups can also stimulate an active dialogue and create a common level of communication. GeoLaB thus offers opportunities for highly qualified young professionals with a broad horizon.

Outlook

GeoLaB has the potential to fundamentally change our understanding of complex reservoir processes. GeoLaB offers international research groups and industry a unique space for experimental geothermal energy research and technological development. It serves as an integrated platform for teaching, development and communication. It holds a high innovation potential in the creation of environmental standards and safety research as well as the development of a communication standard for geothermal energy. The use and development of state-of-the-art observation and evaluation methods lead to findings that are of great importance for the safe and ecologically sustainable use of geothermal energy and the underground.

GeoLaB offers an international and interdisciplinary research platform and enables research beyond geothermal energy. Among the points of reference are

- Environmental System Analysis
- Materials science, e.g. corrosion resistant materials
- Digitization
 - o Methods of numerical modelling
 - o Artificial Intelligence and Virtual Reality
 - o Industry 4.0
- Geotechnologies, mechanical engineering and engineering, e.g.:
 - o Drilling techniques and borehole safety
 - o Autonomous driving in the underground
 - o Sensor technology
 - o Intelligent pump systems
 - o Artificial intelligence in exploration technology
 - o Risk management

The last major research infrastructure in geosciences in Germany, KTB (Continental Deep Drilling Program), has shown in economic analyses that a geoscientific lighthouse project can generate an innovation boost and a long-term economic effect. GeoLaB has the potential to achieve a similar effect.