

Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftlern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 28 (2023)

Heft: 1-2

Artikel: Industrielle Wärmespeicherung im Untergrund : das Forsthaus-Projekt von Energie Wasser Bern

Autor: Bruderhofer, Nadia / da Silva, David / el-Alfy, André

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1051715>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Industrielle Wärmespeicherung im Untergrund: Das Forsthaus-Projekt von Energie Wasser Bern

Nadia Bruderhofer¹, David da Silva¹, André el-Alfy², Peter Meier², Annika Sager¹, Urs Spring³, Charlotte Wilke¹

Chance Geospeicher - Einleitende Bemerkungen

Die Sicherung der zukünftigen Energieversorgung ist eine grosse Herausforderung. Nebst den wachsenden Bevölkerungszahlen und erhöhtem Energieverbrauch pro Kopf muss auch der Nachhaltigkeit Rechnung getragen werden. Um eine stabile Energieversorgung zu ermöglichen, ist es deshalb einerseits wichtig, dass Energie durch ein verändertes Verbraucherverhalten eingespart wird. Andererseits muss die Energieerzeugung mittels erneuerbarer Energieträger vorangetrieben und die Effizienz der bestehenden und neu geplanten Produktionsanlagen gesteigert werden. Um diese Effizienzsteigerung zu ermöglichen, spielt die saisonale Zwischenspeicherung von Energie eine zentrale Rolle, denn dadurch ist es möglich den Primärenergiebedarf zu reduzieren und damit Treibhausgasemissionen zu vermindern.

Mit dem Pilotprojekt Geospeicher Forsthaus nimmt sich Energie Wasser Bern dieser Herausforderung an.

1 Ausgangslage

In der Energiezentrale Forsthaus (EFZ) sind neben einer Kehrrechtverwertungsanlage (KVA) ein Holzheizkraftwerk (HHKW) und ein Gas- und Dampf-Kombikraftwerk (GuD) in Betrieb. Dabei übernimmt die KVA die Aufgabe des zuverlässigen Dauerlieferanten. Um die saisonal ändernde Nachfrage abdecken zu können, wird das HHKW betrieben. Das GuD wird ergänzend bei schnellen Veränderungen und Spitzenlasten eingesetzt. Aufgrund der jahreszeitlichen Temperaturschwankung variiert jedoch der (Fern-)Wärmebedarf über das Jahr hinweg. So wird in den warmen Sommermonaten die überschüssige Wärme nicht vollständig abgenommen. Diese ungenutzte Energie widerspricht dem Ziel der Effizienzsteigerung der Schweizer Energiestrategie. Mit einem Wärmespeicher könnte die überschüssige Wärme aus dem Sommer im Boden eingelagert, und im Winter, wenn die Wärmenachfrage die Produktion der KVA übersteigt, aus dem Speicher wieder zurück ins System gegeben werden. Dies steigert die Wirtschaftlichkeit der Energieproduktion und dank der Wärmeabgabe aus dem Speicher verringert sich die Nutzung fossiler Brennstoffe zur Wärmeabgabe. Ökologisch wie auch ökonomisch besitzt ein Wärmespeicher daher ein grosses Potenzial.

2 Modell und Kennwerte

Das Modell des Geospeichers beruht auf dem geologischen Aufbau und der hydrogeologischen Charakterisierung der Unteren Süsswassermolasse am Standort Forsthaus

¹ TBF+Partner AG

² Geo-Energie Suisse AG

³ Energie Wasser Bern

in Bern. Die durchlässigen Rinnengürtel-sandsteine der Unteren Süsswassermolasse werden von einem Bohrplatz aus mit mehreren Bohrungen erschlossen (Fig. 1). Im Sommer wird der Geospeicher mit Abwärme der Energiezentrale Forsthaus geladen (Ladezyklus). In einem geschlossenen Kreislauf wird dabei heisses Wasser über die zentral angelegte Hauptbohrung in die durchlässigen Rinnengürtel-Sandsteine der Unteren Süsswassermolasse hineingepumpt und über die Nebenbohrungen zurückgefördert. Die Wärmeausbreitung erfolgt relativ schnell entlang der durchlässigen Rinnengürtel-Sandsteine (Advektion), wogegen in den schwach durchlässigen Mergel und Tone die Wärmeausbreitung eher langsam erfolgt (Konduktion).

Im Winter wird der Geospeicher entladen (Entladezyklus). Dafür wird die Wasserflussrichtung gedreht. Aus der Hauptbohrung wird die zuvor eingelagerte Wärme in Form von heissem Wasser an die Oberfläche herausgepumpt. In der Energiezentrale wird die Wärme an einen Wärmetauscher abgegeben

und so zurückgewonnen. Das abgekühlte Wasser wird anschliessend über die Nebenbohrung(en) wieder in den Untergrund zurückgegeben.

Die Überwachung der Temperatur während des Lade- und Entladezyklus erfolgt durch mitgeführte Glasfaserkabel entlang der einzelnen Bohrungen.

Durch die unterschiedlich schnelle Ausbreitung der Wärme in den wasserführenden und trockenen Gesteinsschichten konzentriert sich die Wärme im Ladezyklus im Nahbereich der Bohrungen und entlang der lateralen Ausdehnung der Rinnengürtelsandsteine.

Insgesamt ergibt sich daraus eine Abfolge von Gesteinsschichten, in denen sich die Wärme unterschiedlich schnell und weit vom Zentrum des Geospeichers (Hauptbohrung) nach aussen ausbreitet. Der Geospeicher ist deshalb kein gleichförmiger Zylinder, sondern besitzt eine unregelmässige fingerförmige Gestalt (Fig. 2).

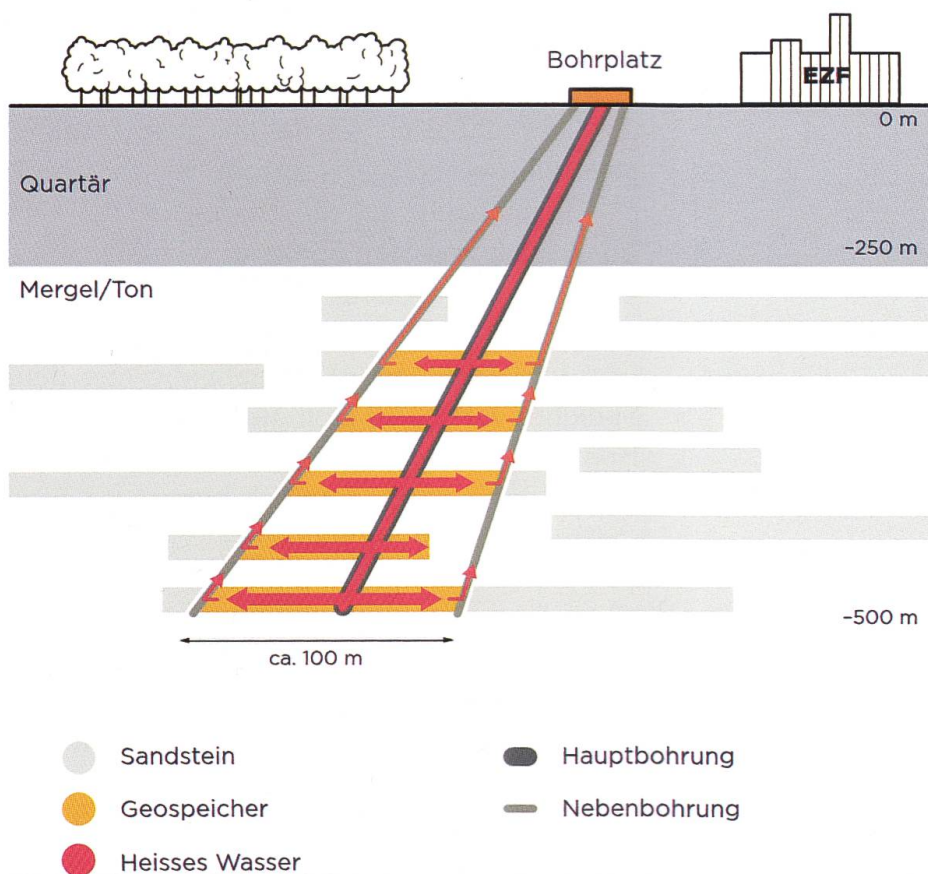


Fig. 1: Schematische Darstellung des Geospeichermodelles für die Untere Süsswassermolasse. Eingezeichnet sind die Hauptbohrung und zwei Nebenbohrungen. Je nach Durchlässigkeit der Sandsteinlagen sind weitere Nebenbohrungen notwendig. Die Pfeile geben die Flussrichtung an [1].

3 Speicherpotenzial

Das im Folgenden dargestellte Potenzial des Geospeichers wurde mit Hilfe von gekoppelten hydraulisch-thermischen Modellierungen ermittelt.

Als Basis für diese Modellierungen dienten geologische und hydraulische Daten, welche die NAGRA im Rahmen ihrer Untersuchungen in Burgdorf (Schweiz) erhoben hat. Die thermischen Eigenschaften der Unteren Süßwassermolasse wurden aus Leu et al. (2006) [3] entnommen.

Da der lokale Aufbau der Unteren Süßwassermolasse am Standort Forsthaus nicht bekannt ist, wurden insgesamt sechs durchlässige Rinnengürtelsandsteinlagen mit einer gesamten Mächtigkeit von 29 m und in einem Intervall von 70 m angenommen.

Ergebnisse

Mit dem oben beschriebenen Modell des Geospeichers wurden verschiedene Szenarien gerechnet. Variiert wurden die Ausgangsleistung

des Geospeichers, d. h. wie viel Abwärme für die Einspeicherung zur Verfügung steht und die Dauer des Ladezykluses pro Jahr.

Hinsichtlich der Ausgangsleistung wurden zwei Modellvarianten berechnet: einmal eine thermische Leistung der Abwärme von 7 MWth und einmal von 10 MWth. Für beide Varianten wurden folgende Ladezyklen pro Jahr gerechnet: 500, 1.000, 2.000 und 3.000 Stunden.

Zusammengefasst zeigen die Berechnungen des Geospeichermodells folgende Ergebnisse:

- Die im Sommer zur Verfügung stehende Abwärme lässt sich effizient speichern und nutzen
- Nach 5 Betriebsjahren erreicht der Geospeicher einen Wirkungsgrad von 40% - 60%
- Ausgehend von einer Ausgangsleistung der Abwärme von 10 MWth, sind folgende mittlere jährliche Wärmeförderungen und damit verbundene CO₂-Einsparungen im Vergleich mit der Verbrennung von Heizöl für die unterschiedlichen Ladezeiten möglich (Tab. 2).

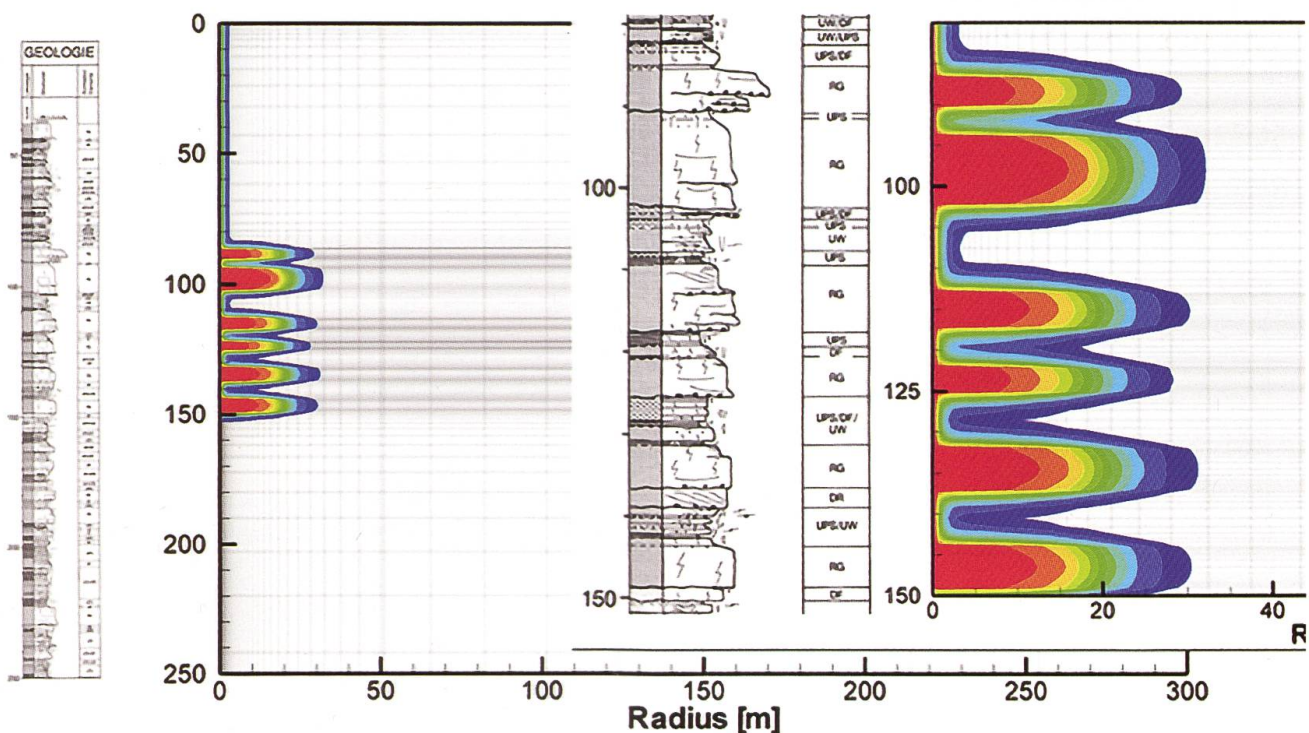


Fig. 2: Modellaufbau des Geospeichers mit sechs Sandsteinlagen. Die farbigen Kontourflächen zeigen exemplarisch die Temperaturverteilung für einen gegebenen Zeitpunkt [1].

Variante	Load [h]	Wärme [GWh/a]	CO ₂ [t/a]
V1	500	14,8	4.715
V2	1.000	16,6	5.289
V3	2.000	19,5	6.221
V4	3.000	21,8	6.936

Tab. 1: Potenzial des Geospeichers in Abhängigkeit der Ladezykluslänge.

4 Geologie

4.1 Regionale Geologie

Die Region Bern liegt geologisch betrachtet im Schweizer Molassebecken, welches sich im Zuge der Alpenentstehung absenkte und grösstenteils durch Abtragungsschutt aus dem sich bildenden Gebirge aufgefüllt wurde (die sogenannten Molassesedimente).

Im Gebiet Bern besteht diese Molasse aus Sedimenten der Unteren Süsswassermolasse (USM), welche eine Mächtigkeit von ca. 1.550 m erreichen. Die Oberfläche der Molasse bildet die Felsoberfläche. Diese wird meist von Lockergesteinsablagerungen des Quartärs überdeckt (siehe auch Arbeitsgemeinschaft Geothermie Espace Bern, 2010).

Insgesamt fallen im Raum Bern die einzelnen Sedimentschichten nur schwach nach Süden ein.

4.2 Lokale Geologie

Quartär

Am Standort Forsthaus besteht der Untergrund aus einem in den Molassefels eingetieften Glazialtrog, welcher mit quartären Lockergesteinen gefüllt ist. Die Felsreliefkarte in Figur 3 zeigt die Geometrie des Troges und die Mächtigkeit der quartären Füllung. Am Standort wird der Molassefels auf einer Kote von 300 m ü. M. (= ca. 250 m Tiefe ab Oberkante) erwartet.

Untere Süsswassermolasse (USM)

Die USM umfasst feinkörnige Ablagerungen bestehend aus Mergel, Siltsteinen und Tonsteinen. Im Raum Bern weist die Untere Süsswassermolasse eine grosse Mächtigkeit auf, so dass der Geospeicher im oberen Bereich der Unteren Süsswassermolasse zu liegen kommt (Fig. 4).

Im Rahmen des Pilotprojekts Geospeicher Forsthaus sind aus hydrogeologischer Sicht

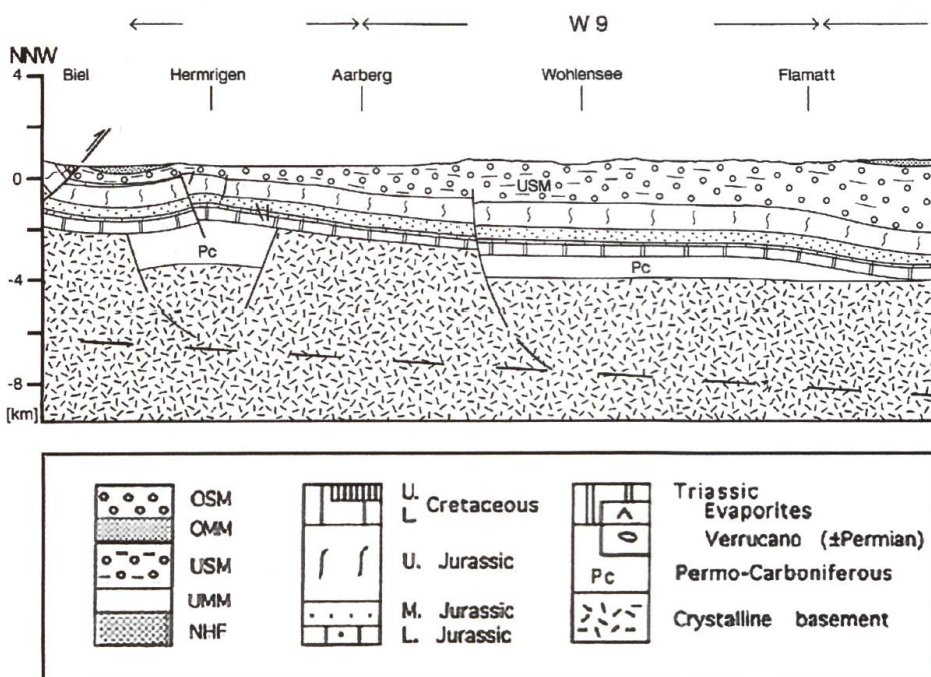


Fig. 3: Geologischer NW-SE Schnitt westlich von Bern [2].

zwei Einheiten relevant:

- Quartär mit oberflächennahem Aquifer (Grundwasserleiter)
- Untere Süsswassermolasse als Aquitard (Grundwassergeringleiter) mit einzelnen wasserführenden Schichten

In der nachfolgenden Tabelle werden die Kennwerte des geplanten Geospeichers beim Forsthaus in Bern aufgezeigt:

Anzahl Bohrungen	maximal 6
Bohrtiefe	500 m (TVD)
Speichergestein	Sandsteinschichten der Unteren Süsswassermolasse (USM)
Tiefenlage	ca. 240 bis 500 m
Radius	ca. 50 – 80 m
Zirkulationsraten	25 – max. 60 L/s
Temperaturen	Ladezyklus ca. 90°C Entladezyklus ca. 60°C

Tab. 2: Kennwerte des Geospeichers

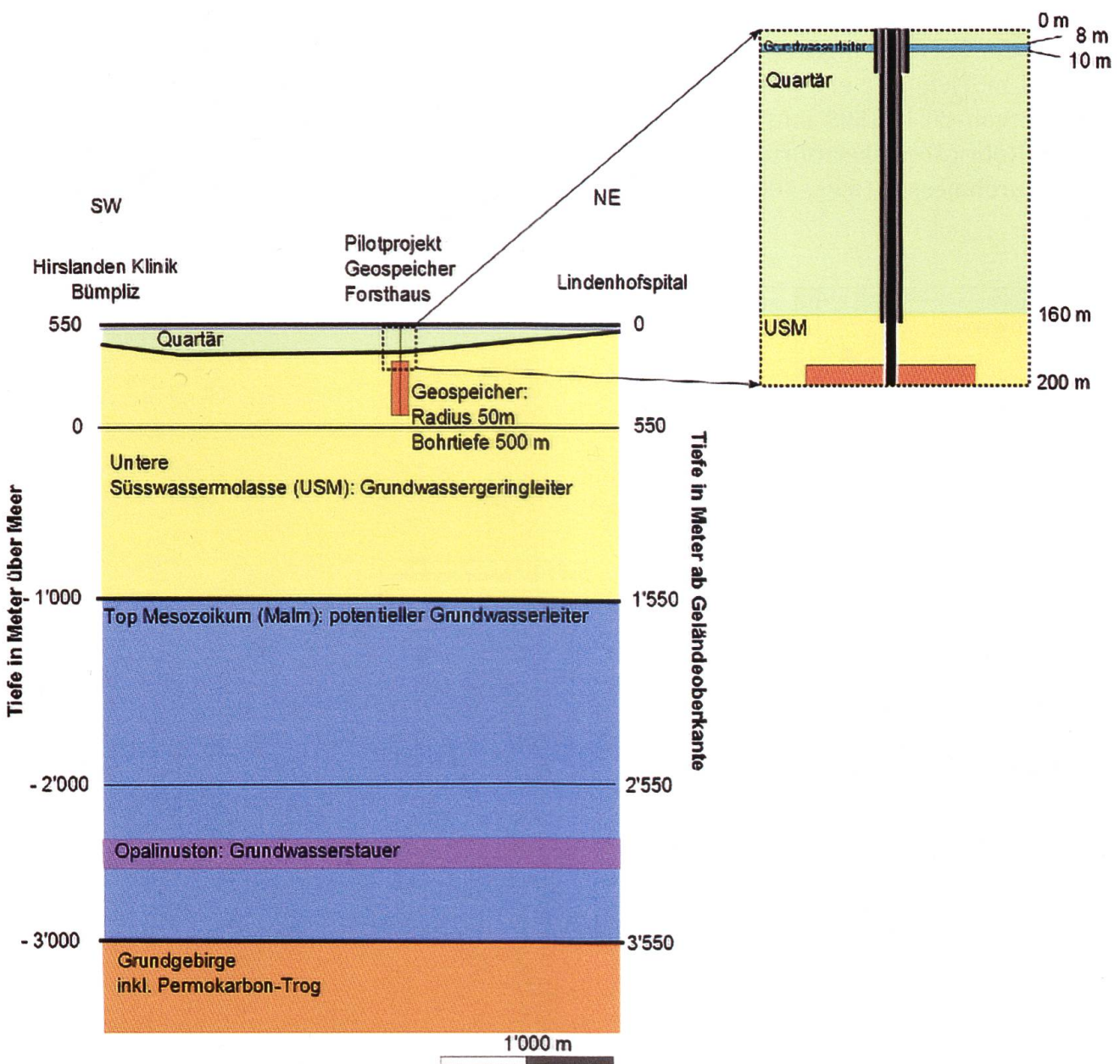


Fig. 4: Geologischer Querschnitt durch die oberen gut 3.500 m des Untergrundes (SW – NE) und Lage des geplanten Geospeichers im oberen Bereich der Unteren Süsswassermolasse [1].

5 Bohrtechnische Eckdaten

Die Bohrungen für das Geospeicherprojekt im Forsthaus sehen eine Stabilisierung der Bohrlochwände durch Futterrohre (Casings) vor, sowie eine Abdichtung zwischen Formation und Bohrloch durch deren Zementation.

Die eingebauten Rohre weisen einen teleskopartigen Aufbau auf. Wie in Figur 5 ersichtlich, weist das erste Futterrohr (Standrohr) den grössten Durchmesser auf (22 in / 558,8 mm). Es wird bis in rund 20 m Tiefe eingebaut. Dieses Rohr schützt den Grundwasserleiter, welcher sich auf 8-10 m befindet, vor allfälligen Einwirkungen. Daraufhin erfolgt die Fortführung der Bohrung bis in ca. 250 m Tiefe mit einem Bohrungsdurchmesser von 20 in (508 mm), um dann das zweite Rohr (die Ankerrohrtour) einzubauen (Rohrdurchmesser 16 in / 406,4 mm). Die An-

kerrohrtour reicht damit in den Molassefels hinein und sichert die Bohrung von den darüber liegenden, quartären Lockergesteinen.

Die erste Sektion des Wellheads (Bohrlochabschluss) wird auf der Ankerrohrtour installiert.

Der dritte Bohrabschnitt erfolgt dann bis zur gewünschten Zieltiefe von 500 m TVD (550 m MD) und erschliesst die untere Süsswassermolasse als zukünftigen Geospeicher.

Die gesamte Sektion wird kernend im orientierten Seilkernverfahren durchbohrt. Das heisst, es wird mit einer ringförmigen Bohrkronen gebohrt, damit der Kern des Gesteins intakt bleibt und die Art, Lage und Neigung der verschiedenen Gesteinsschichten untersucht werden können. Der Kern im Innenrohr

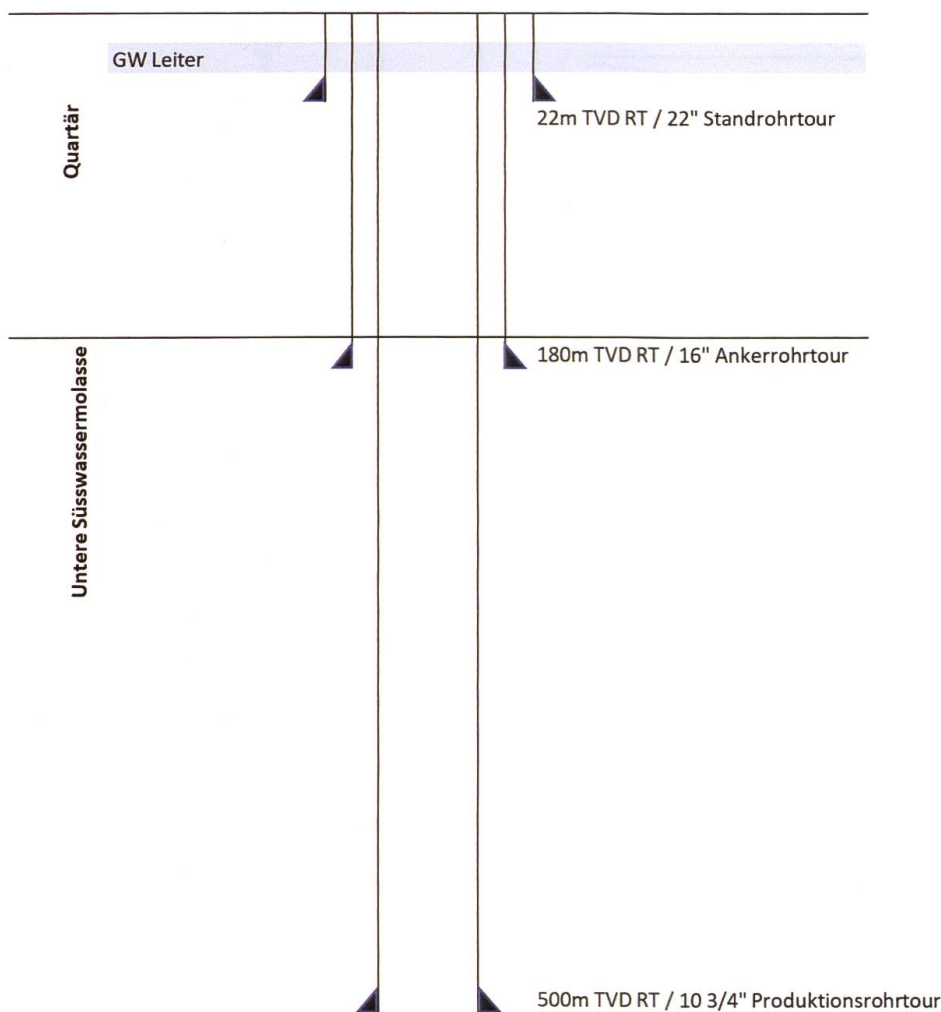


Fig. 5: Darstellung der Absetzteufen der Futterrohre [1]

wird mit einem Seil nach oben gezogen, so dass das Gestänge nicht aus- und wieder eingebaut werden muss.

Zur Bestimmung der Transmissivität, welche entscheidend für den späteren Betrieb des Geospeichers ist, werden hydraulische Tests durchgeführt.

Dafür werden die Kernarbeiten unterbrochen und es wird ein Packer installiert, der den Sandsteinbereich vom Rest der Bohrung isoliert. Dann wird dieser Bereich mithilfe einer ins Bohrloch abgehängten Pumpe angefördert. Die dadurch gewonnenen hydrogeologischen Daten und die Wasserprobe ermöglichen ein besseres Verständnis des Speicherbereiches und ermöglichen somit eine detaillierte Planung für die finale Anzahl der notwendigen Bohrungen und den Speicherbetrieb.

Nach dem Erreichen der Endteufe mit dem Kernsystem wird die Bohrung auf 14¾ in (374,65 mm) aufgeweitet und die Produktionsrohrtour (10¾ in / 273,05 mm) installiert und zementiert.

Um einen Zugang zu den identifizierten Sandsteinen zu bekommen, wird die Produktionsrohrtour an genau diesen Stellen nachträglich perforiert.

6 Stand der Arbeiten und Ausblick

Das Projekt startete im Jahr 2015 mit Machbarkeitsstudien. Anschliessend folgten Detailplanungen und Ausschreibungen. Die Baubewilligung wurde im Jahr 2018 erwirkt.

Mit dem Erfüllen aller Auflagen und dem Erhalt der Baufreigabe starteten im August 2020 die Arbeiten zur Erstellung des Bohrkellers und Bohrplatzes. Die Zusammenarbeit mit dem Bohrkontraktor Marriott begann im Mai 2022. Nach einer kurzen Mobilisierungsphase konnte die erste Bohrung am 22. Oktober 2022

gestartet werden. Die Bohrung wurde aufgrund von geologischen Herausforderungen auf 250 m beendet. Ein Grund für die geologischen Herausforderungen war das verfrühte Setzen der Casings der zweiten Sektion. Die vermeintliche USM wurde in einer Tiefe von ca. 200 m angetroffen. Hierbei handelte es sich jedoch mutmasslich um Überreste eines Paläo-Felssturzes. Die USM wurde erst in einer Tiefe von ca. 250 m angetroffen.

Mit der zweiten Bohrung wurde am 01. Februar 2023 begonnen. Gegenüber der ersten Bohrung konnte die Performance stark gesteigert und die Casinge in der richtigen Tiefe gesetzt werden. Das zweite Bohrloch konnte erfolgreich am 13. März 2023 abgeschlossen werden. Mit der dritten Bohrung wurde nach einer kurzen Umbauphase am 22. März 2023 gestartet.

Der Bohrkampagne A schliesst sich eine intensive Testphase an, in welcher der Geospeicher mehreren Zirkulationstests unterzogen wird. Diese erfolgen mit unterschiedlichen Raten und Temperaturen und werden die Betriebsparameter des Geospeichers festlegen.

Die gewonnenen geologischen Erkenntnisse aus den ersten drei Bohrungen und die Ergebnisse der angeschlossenen Testphase werden den Bedarf an weiteren Bohrungen und deren genauer Position im Untergrund aufzeigen. Diese würden dann in der Bohrkampagne B hinzugebohrt. Die Bohrkampagne B kann weitere drei Bohrungen beinhalten.

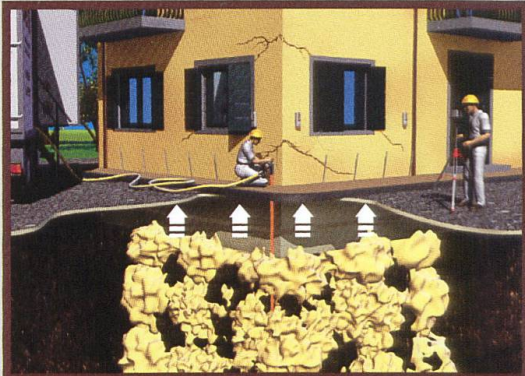
In einer abschliessenden letzten Phase würde dann der Geospeicher an die Energiezentrale Forsthaus angeschlossen. Bei planmässigem Ablauf sollte der Geospeicher bereits 2025 in den Betrieb eingebunden werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] Geo-Energie Suisse AG. 2017: Technischer Bericht & Untersuchung von Umweltauswirkungen – Pilotprojekt Geospeicher Forsthaus (Bern).
- [2] Pfiffner, O.A., Lehner, P., Heitzmann, P., Müller, St. & Steck, A. 1997: Results of NRP 20. Deep Structure of the Swiss Alps. Birkhäuser.
- [3] Leu, W., Mégel, T. & Schärli, U. 2006: Schlussbericht – Geothermische Eigenschaften der Schweizer Molasse (Tiefenbereich 0 - 500 m). Datenbank für Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Gesteinsdichte und Porosität, Im Auftrag des Bundesamtes für Energie.

URETEK Verfahren

Mit dem minimal-invasiven URETEK Injektionsverfahren stabilisieren wir schnell und dauerhaft Bauwerke jeglicher Art und können Gebäude in Schiefelage wieder zurück in die ursprüngliche Position bringen.



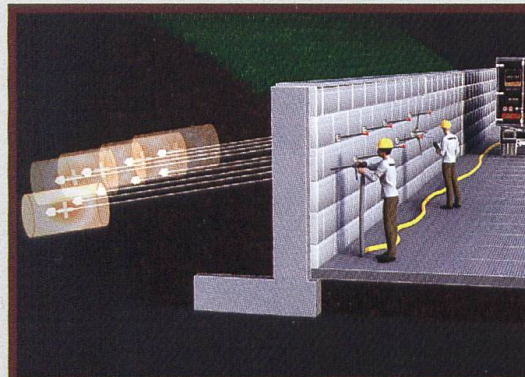
URETEK Deep Injections®



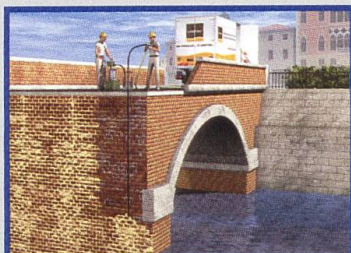
URETEK Deep Injections ULTRA®



URETEK Floor Lift®



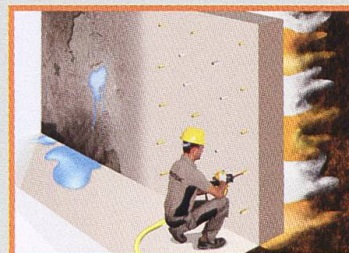
MicroAnchors by URETEK®



URETEK Walls Restoring®



URETEK Cavity Filling®



Water Barrier by URETEK®



URETEK Schweiz AG

6052 Hergiswil

Tel. 041 676 00 80

www.uretek.ch - uretek@uretek.ch

