

**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:** Einblicke in die Tiefbohrkampagne der Nagra

**Autor:** Hinterholzer-Reisegger, Patricia / Neidhardt, Jürg / Casanova, Flavio

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1051712>

### **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:** 02.02.2025

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

# Einblicke in die Tiefbohrkampagne der Nagra

Patricia Hinterholzer-Reisegger<sup>1</sup>, Jürg Neidhardt<sup>1</sup>, Flavio Casanova<sup>2</sup>, Herwig R. Müller<sup>1</sup>, Tim Vietor<sup>1</sup>

## 1 Einleitung

Die Suche nach dem sichersten Standort eines Tiefenlagers für die radioaktiven Abfälle der Schweiz startete nach mehreren Jahren Vorbereitung 2008 und läuft gemäss dem Sachplan geologische Tiefenlager (BFE 2011) unter der Federführung des Bundesamts für Energie (BFE).

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) plant und baut ein geologisches Tiefenlager für den radioaktiven Abfall der Schweiz. Durch intensive Forschung und die umfangreiche Erkundung möglicher Standortgebiete hat die Nagra eine solide Grundlage für die sichere Tiefenlagerung geschaffen. Darauf aufbauend konnte sie im Herbst 2022 den am besten geeigneten Standort vorschlagen und wird voraussichtlich 2024 die Rahmenbewilligungsgesuch beim Bund einreichen.

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) begleitet das Verfahren als Aufsichtsbehörde und macht sicherheitstechnische Vorgaben. Zudem prüft und beurteilt die Aufsichtsbehörde die Arbeit der Nagra, insbesondere die Rahmenbewilligungsgesuch. Der Bundesrat wird nach heutiger Planung 2029 über die Rahmenbewilligungsgesuche der Nagra befinden und seinen Beschluss dem Parlament zur Genehmigung vorlegen. Der Parlamentsentscheid untersteht dem fakultativen Referendum. Wird das Referendum ergriffen, haben die

Schweizer StimmbürgerInnen das letzte Wort – circa im Jahr 2031 (Nagra 2022a).

## 2 Standortsuche

Bei der Standortsuche für ein sicheres geologisches Tiefenlager in der Schweiz wurde in drei Etappen vorgegangen (vgl. Fig. 1):

### **Etappe 1: «Weisse» Karte Schweiz**

Entsprechend einem «white map approach» betrachtete die Nagra in der ganzen Schweiz möglicherweise geeignete Gebiete und Gesteinsschichten und identifizierte gemäss den Vorgaben des Verfahrens sechs mögliche Standortgebiete (Nagra 2008). Der Bundesrat erteilte 2011 den Auftrag, diese sechs Gebiete weiter zu untersuchen.

### **Etappe 2: Einengung der Gebiete**

Anhand der Vorgaben der Bundesbehörden wurden die verbliebenen sechs Gebiete bewertet und verglichen. In Zusammenarbeit mit den Standortregionen wurden zudem Standortareale für die Oberflächenanlage des Tiefenlagers definiert (Nagra 2014). Obwohl die Nagra nur 2 Gebiete vorgeschlagen hatte, legte der Bundesrat 2018 die Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) für die Untersuchung in der dritten Etappe fest. Die Expertengremien waren der vorgeschlagenen Rückstellung von NL nicht gefolgt. Dem Antrag der Nagra, ausschliesslich den Opalinuston als Wirtgestein für ein geologisches Tiefenlager in der Schweiz weiter zu prüfen, wurde zugestimmt.

<sup>1</sup> Nagra, Wettingen, Schweiz, patricia.hinterholzer@nagra.ch

<sup>2</sup> F. Casanova GmbH, Arisdorf, Schweiz

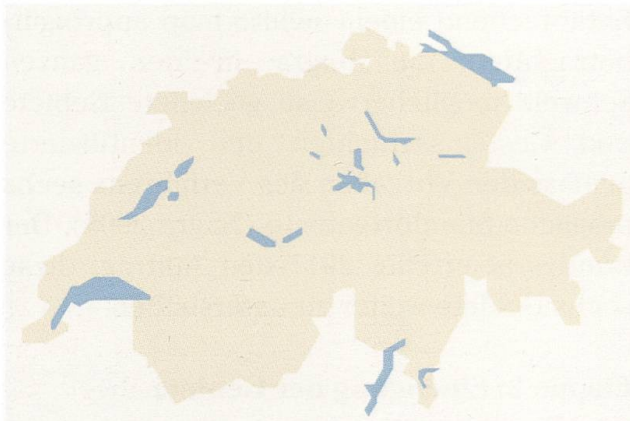
### Etappe 3: Vertiefte Untersuchungen

In der dritten Etappe der Standortsuche hat die Nagra die drei möglichen Standortgebiete vertieft untersucht. Dazu hat sie nach 3D-seismischen Untersuchungen seit 2019 auch insgesamt neun Tiefbohrungen durchgeführt. Die Tiefbohrungen reichten im Durchschnitt etwa 1'000 m tief in den geologischen Untergrund. Über 10'700 m Gestein wurden erbohrt und über 6'000 m Bohrkerne gewonnen. Labore in der Schweiz, in Japan, Australien und anderen Ländern analysierten ca. 4'600 Proben. So wurden unter anderem die Festigkeit und die Durchlässigkeit der Gesteinsformationen sowie die chemische Zusammensetzung der eingeschlosse-

nen Wässer untersucht. In allen Bohrungen wurden umfangreiche Bohrlochmessungen durchgeführt.

Genauere Informationen zum detaillierten Untersuchungsprogramm finden sich in den Berichten zu den einzelnen Tiefbohrungen (vgl. z.B. Nagra 2022b). Basierend auf den Untersuchungsergebnissen hat die Nagra im September 2022 das Gebiet Nördlich Lägern für ein geologisches Tiefenlager für schwach-, mittel- und hochaktive Abfälle vorgeschlagen (Nagra 2022a).

#### START SACHPLAN



#### ERGEBNIS ETAPPE 1



#### ERGEBNIS ETAPPE 2



#### STANDORTVORSCHLAG DER NAGRA



■ Standortgebiete

Fig. 1: Standortsuche in drei Etappen gemäss Sachplan geologische Tiefenlager (aus Nagra 2022a).

Oben links: Etappe 1 gesamte Schweiz; oben rechts: Etappe 2 mit sechs Standortgebieten (Jura Südfluss, Jura Ost, Nördlich Lägern, Zürich Nordost, Südranden, Wellenberg); unten links: Etappe 3 mit den drei verbliebenen Standortgebieten; unten rechts: Standortvorschlag der Nagra (Nördlich Lägern).

### 3 Ablauf einer Tiefbohrung

#### 3.1 Untersuchungsziele bestimmen die Bohrplatzstandorte

Zuerst wurden die Untersuchungsziele der Bohrungen festgelegt. Diese gaben vor, in welchen Gebieten Tiefbohrungen zu platzieren waren (vgl. z.B. Nagra 2016a). Um in diesen Gebieten geeignete Bohrplätze zu finden, wurde eine ausführliche raumplanerische Interessenabwägung mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) vorgenommen. Berücksichtigt wurden entsprechend der gesetzlichen Vorgaben unter anderem Schutzgebiete und Mindestabstände zu Wohngebäuden. Weiter spielten bautechnische Vorgaben sowie die generelle Erschliessung eine Rolle.

War ein geeigneter Bohrplatz gefunden, musste beim Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eine Bewilligung durch Einreichen eines Sondiergesuchs beantragt werden (vgl. z.B. Nagra 2016b).

Standortsuche, Permitting, Begutachtung und Bewilligung der Sondiergesuche für Tiefbohrungen nahmen etwa zwei bis drei Jahre in Anspruch. Parallel dazu wurden die nötigen Kontraktoren beschafft und beauftragt. Schweizer Unternehmen spielten eine Schlüsselrolle bei den geologischen Arbeiten und verschiedenen Bohrlochuntersuchungen. Internationale Unternehmen aus der Kohlenwasserstoffindustrie oder der Geothermie wurden z.B. für die Bohrtechnik und geophysikalische Messungen beigezogen. Aufbauend auf diesem Know-how und durch seine gezielte Anpassung an die Anforderungen der Standortuntersuchungen konnten die Bohrungen in einem engen zeitlichen Rahmen umgesetzt werden.

#### 3.2 Bohrplatzbau

Mit dem Erhalt der UVEK-Bewilligung wurden die einzuhaltenden Auflagen (u.a. Umwelt-

schutz, Bodenschutz, Grundwasserschutz, Seismizität, Emissionen, Erschliessung und Verkehr, Entsorgung etc.) verfügt. Die Einhaltung dieser Dispositive musste mit der Erstellung von detaillierten Konzepten belegt werden. Ausserdem mussten als weitere Vorbereitungsmaßnahmen Baugrunduntersuchungen und geotechnische Abklärungen vor Ort durchgeführt werden. Waren alle Anforderungen erfüllt, konnte mit dem Bohrplatzbau begonnen werden. Der Arbeitsbereich wurde befestigt und so gestaltet, dass eventuell austretende Flüssigkeiten Boden und Grundwasser nicht verschmutzten. Beim Aushub anfallendes Material wurde am Rand des Bohrplatzes in Depots gelagert und später für die Rekultivierung wiederverwendet.

Die Fläche der Bohrplätze wurde so gering wie möglich gehalten. Durchschnittlich betrug die beanspruchte Fläche (inkl. Erschliessung und Depotfläche) rund 6'000 m<sup>2</sup> (davon ca. 2'400 m<sup>2</sup> asphaltiert). Figur 2 zeigt zum einen die Skizze des geplanten Bohrplatzes der Tiefbohrung Stadel-3 und zum anderen die Umsetzung und die vollständig eingerichtete Ausführung als Beispiel.

Das Erstellen eines Bohrplatzes beanspruchte in etwa drei bis fünf Monate, je nach Bodenbeschaffenheit und Witterungsverhältnissen.

#### 3.3 Bohrbetrieb

Der Bohrbetrieb einer Tiefbohrung konnte aus sicherheitstechnischen Überlegungen (u.a. Bohrlochsicherung) sowie im Hinblick auf eine zielgerichtete Untersuchung des Untergrunds nur in einem 24-Stunden-Betrieb gewährleistet werden. Für den unun-



Fig. 2: Links: Skizze der geplanten Bohrplatzauslegung der Tiefbohrung Stadel-3; rechts: Vollständig eingerichteter Bohrplatz. Die Tiefbohrung Stadel-3 befindet sich im Standortgebiet Nördlich Lägern und wurde mit einem Langzeitbeobachtungssystem ausgestattet. Foto: Nagra.

terbrochenen Bohrbetrieb (durchwegs 24 Stunden / 7 Tage pro Woche) mussten ebenfalls strenge Auflagen eingehalten werden. Vor allem Lärm, Licht, Verkehr und Entsorgung standen dabei im Fokus. Die Arbeiten wurden so ausgerichtet, dass die entstehenden Beeinträchtigungen der unmittelbaren Nachbarschaft sowie der Fauna und Flora möglichst geringgehalten und die gesetzlichen Bestimmungen befolgt wurden. Bei Bedarf wurden entsprechende Massnahmen ergriffen (wie z.B. die Errichtung von Lärmschutzwänden) und wenn nötig auch nachgebessert.

Für jede Tiefbohrung musste die Nagra vorab ein detailliertes Arbeitsprogramm (vgl. Nagra 2019) mit Bohr- und Untersuchungsprogramm beim ENSI zur Genehmigung einreichen. Zusätzlich zum Arbeitsprogramm waren weitere Konzepte betreffend Brandschutz, Bohrlochsicherung, Bohrspülung, Arbeitssicherheit, etc. erforderlich, bevor die Bohrarbeiten aufgenommen werden durften.

Für die Tiefbohrkampagne wurden zwei Bohrunternehmen beauftragt, um im Parallelbetrieb arbeiten zu können (vgl. Fig. 3). Eine der grössten Herausforderungen während des Bohrbetriebs war neben den hohen bohrtechnischen Ansprüchen und dem umfangreichen Untersuchungsprogramm die straffe Termin- und Ablaufplanung.

Die erste Bohrung der Tiefbohrkampagne wurde im April 2019 begonnen, die neunte und vorerst letzte Tiefbohrung der Nagra im April 2022 fertiggestellt. Die Bohrphase je Tiefbohrung dauerte etwa 6 bis 9 Monate; hiervon entfielen rund 60 Prozent auf das Untersuchungsprogramm (u.a. mit zahlreichen, teils sehr lange dauernden hydraulischen Packertests zur Bestimmung der Durchlässigkeiten in den Gesteinseinheiten). Eine detailliertere Zusammenstellung der Untersuchungen findet sich in Figur 7 sowie in Mueller et al. 2023. Detaillierte Berichte zu den neun Tiefbohrungen der Tiefbohrkampagne stehen auf der Homepage [www.nagra.ch](http://www.nagra.ch) zur Verfügung.

### 3.4 Nach der Bohrung

Nach dem Bohrbetrieb standen vor allem die Datenauswertung und Berichterstattung im Fokus.

In drei ausgewählten Bohrungen (eine Bohrung pro Standortgebiet) wurden Langzeitbeobachtungssysteme (LZB) installiert, welche der langfristigen Überwachung von Temperatur und Druck der einzelnen Formationswässer dienen. Für die Installation der LZB wurden die Tiefbohrungen an den gewünschten Abschnitten perforiert und mittels hydraulischer Packer voneinander getrennt. Die Bohrkeller wurden für die Installation der Messinstrumente und Leitungen entsprechend umfunktioniert. Im Anschluss konnten die Bohrplätze zurückgebaut und rekultiviert werden, so dass lediglich eine Zufahrt zum ebenerdigen Bohrkeller bestehen blieb.

Alle übrigen Tiefbohrungen wurden vollständig zurückgebaut und das Gelände rekultiviert.

Sie dient u.a. dazu, das Bohrklein zu lösen und kontinuierlich auszutragen, die Bohrwerkzeuge zu kühlen, unkontrollierte Fluid- und Gas-Zutritte zu unterdrücken und die Bohrlochwand zu stabilisieren.

Für die Tiefbohrkampagne kamen ausschliesslich umweltverträgliche, wasserbasierte Bohrspülungen zum Einsatz. In den tonreichen Wirt- und Rahmengesteinen musste die Bohrspülung zusätzlich eine geringe Salinität und einen geringen Feststoffanteil sowie eine erhöhte Dichte aufweisen. Mit dem Einsatz einer Kaliumsilikat-Bohrspülung konnten all diese Anforderungen erfüllt werden. Durch ihre stark inhibierende Wirkung war es möglich, das Bohrloch in der mehrere hundert Meter langen Zielsektion über mehrere Wochen offen zu halten. Die Gesteinsformationen blieben sowohl während der Bohrarbeiten als auch während der umfangreichen Bohrlochmessungen in der Regel sehr stabil.

## 4 Bohrtechnik

### 4.1 Bohrspülung

Die Bohrspülung hat eine Vielzahl von Funk-

Neben den Vorteilen bei der Bohrlochstabilität, brachte Kaliumsilikat auch einige Herausforderungen im direkten Umgang (u.a. hoher pH-Wert) und der Gestaltung des Untersuchungsprogramms (u.a. Wasserproben-

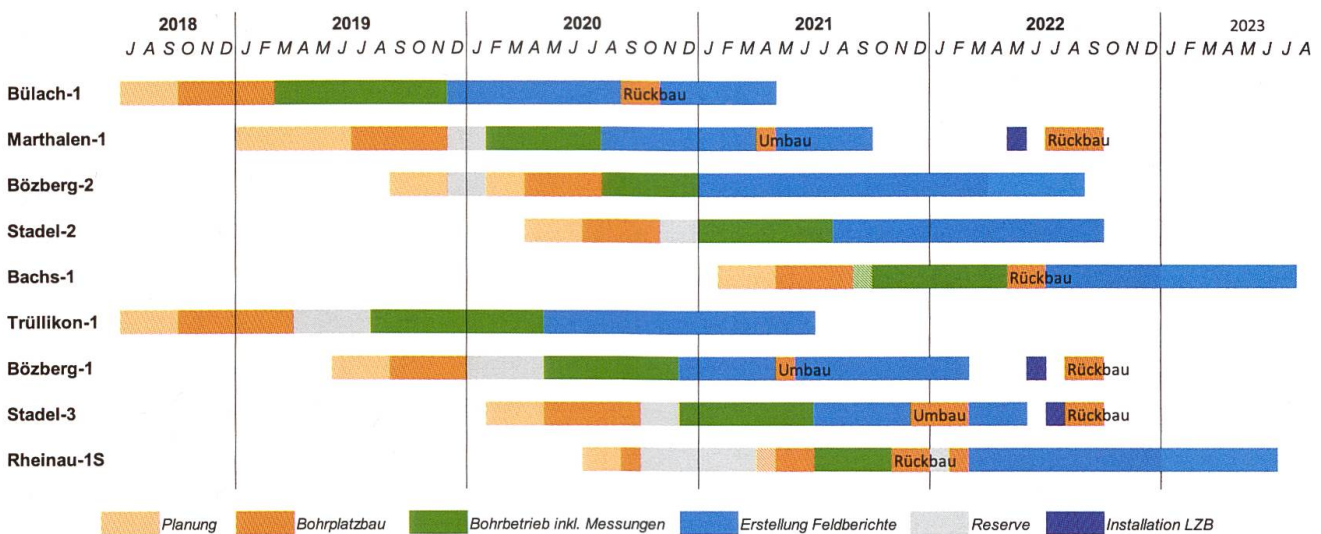


Fig. 3: Übersicht über den generellen Ablauf der Tiefbohrkampagne mit Zeitstrahl (x-Achse) und Bohrplatzbezeichnung (y-Achse). Stand: Dezember 2022.

entnahme) mit sich. Im Fokus stand nicht nur die bohrtechnische Machbarkeit, sondern hauptsächlich der maximale Gewinn eines hochwertigen Datensatzes zur Sicherstellung aller Untersuchungsziele.

Die schlussendlich erfolgreiche Verwendung der Kaliumsilikat-Spülung bei der Tiefbohrkampagne ist vor allem auf die gewählte Rezeptur und eine engmaschige Kontrolle der Spülungsparameter zurückzuführen. Es wurden sehr hohe Anforderungen an den Spülungsservice und das Aufbereitungsequipment gestellt, um eine optimale Feinabstimmung der einzelnen Komponenten sicherzustellen. Aufgrund dieser Vorleistung war es möglich, die Bohrspülung nach ihrem Einsatz in Silos zwischenzulagern und bei der folgenden Tiefbohrung wiederzuverwenden.

## 4.2 Seilkernbohrverfahren

Ein weiterer relevanter Faktor für den Erfolg der Tiefbohrkampagne war der Einsatz des Seilkernbohrverfahrens. Bei diesem Kernbohrverfahren dient das Bohrgestänge gleichzeitig als temporäre Verrohrung, d.h. der Bohrkern «wächst» mit der Drehbewegung des Bohrgestänges und zunehmender Tiefe durch die Kernbohrkrone in das Innenkernrohr hinein und wird nach Abbohren der gewünschten Länge (bei der Tiefbohrkampagne in der Regel alle 3 Meter) durch Ziehen des Innenkernrohrs am Seil geborgen. Das Bohrgestänge verbleibt während des Ziehvorgangs im Bohrloch. Dadurch entsteht ein relevanter Zeitgewinn zum herkömmlichen Ein- und Ausbau des Bohrgestänges. Vor allem für die Qualität der Gesteinsproben war Zeit ein entscheidender Faktor, da die Bohrkernkerne so wenig wie möglich der Bohrspülung ausgesetzt sein sollten. Ein weiterer Vorteil war die geringe mechanische Einwirkung auf die Bohrlochwand, da das Ein- und Ausbauen des Bohrgestänges zur Kerngewinnung entfiel. Ein- und Ausbau des Bohrgestänges waren hauptsächlich zum Austausch der Kern-

krone oder bei Verklemmen von Kernen im Innenkernrohr notwendig.

Um die Bohrkernkerne der Tiefbohrkampagne schnellstmöglich bearbeiten zu können, wurde das Innenkernrohr nach dem zutage treten auf dem Laufsteg abgelegt. Der Bohrkern, welcher zusätzlich durch ein Kunststoffrohr geschützt war, wurde aus dem Innenkernrohr auf eine Tragevorrichtung gezogen und auf den Kernbearbeitungstisch transportiert. Dort wurde das schützende Kunststoffrohr entfernt und der Bohrkern sofort gereinigt. Im Anschluss erfolgte eine erste Bohrkern-Dokumentation, ein hochauflösender Bohrkern-Scan (vgl. Fig. 5) und die Beprobung gemäss vorgegebenem Arbeitsprogramm. Von der Kernentnahme bis zur Beprobung vergingen meist weniger als 30 Minuten. Eine Verbildlichung der hier stark vereinfacht beschriebenen Arbeitsabläufe ist Figur 4 zu entnehmen.

Die verbliebenen Bohrkernkerne wurden in weiterer Folge ohne Zeitdruck bezüglich Lithostratigraphie und Strukturgeologie sowie anderer Aspekte detailliert untersucht und beprobt.

Die hohe Qualität der Bohrkernkerne konnte durch ein komplexes Zusammenspiel aus fein abgestimmten Bohrparametern (Gewicht auf Kernkrone, Spülrate, Drehzahl, etc.), optimaler Spülungsparameter und -aufbereitung sowie entsprechend abgestimmter Bohrkronenwahl erreicht werden.

## 4.3 Beispiel Tiefbohrung Stadel-2

Figur 6 zeigt die Übersicht einer Tiefbohrung der Nagra am Beispiel der Bohrung Stadel-2 im Standortgebiet Nördlich Lägern. Das Bohrlochbild mit zugehöriger Geologie zeigt die vier Sektionen der 1'288 m (measured depth, MD) tiefen Bohrung.

Sektion 1 wurde mit einem Durchmesser von



Fig. 4: Vor-Ort Arbeitsabläufe für Bohrkern im Rahmen der Tiefbohrkampagne. Jeweils von links nach rechts; oben: Entnahme Innenkernrohr – Entnahme Bohrkern mit schützendem Plastikrohr – Reinigung; unten: Erste Bohrkern-Dokumentation – Bohrkern-Scan (vgl. Fig. 5) – Beprobung. Fotos: © Comet Photoshopping GmbH, Dieter Enz.

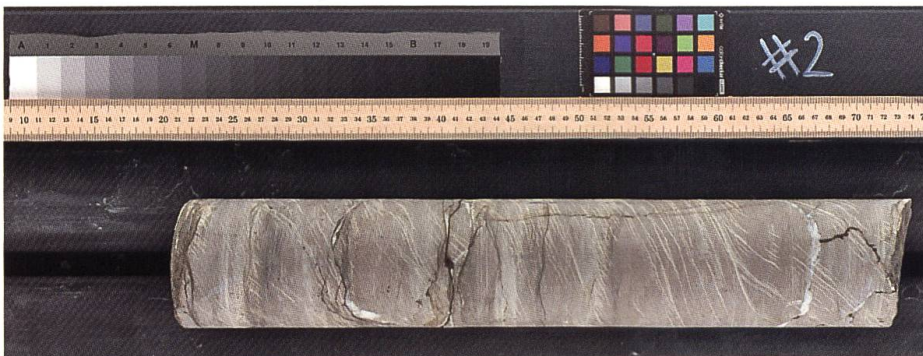


Fig. 5: Hochauflösender optischer Scan eines Bohrkerns der Tiefbohrkampagne. Foto: Nagra.

17 ½ Zoll (”), durch Quartär und Untere Süsswassermolasse bis ca. 50 m in den Malm, ausschliesslich destruktiv gebohrt und mit einer zementierten 13 ¾" Verrohrung ausgebaut.

Sektion 2 entspricht der Zielsektion mit den tonhaltigen Wirt- und Rahmengesteinen. Bis ca. 670 m MD wurde im Durchmesser von 6 ¾" mit dem Seilkernbohrverfahren gekernt. Es folgten Bohrlochmessungen wie Fluid-Logging und hydraulische Packertests samt Wasserprobenentnahmen im Malm, bevor die Bentonit-Spülung auf eine Kaliumsili-

kat-Spülung getauscht wurde. Anschliessend wurde bis ca. 930 m MD weiter gekernt. Danach folgten geophysikalische Bohrlochmessungen (wireline logging) sowie weitere hydraulische Packertests zur Untersuchung der Durchlässigkeiten und des «gas threshold pressures» über eine Dauer von mehr als 40 Tagen im mehr als 450 m offenen Bohrloch. Das Bohrloch wurde für die MHF-Messungen von 6 ¾" auf 8 ½" erweitert. Bevor die 9 5/8" Verrohrung zum Abschluss der Sektion eingebaut und zementiert wurde, wurde nochmals auf 12 ¼" aufgebohrt.



Sektion 3 wurde ebenfalls vollständig mit Kaliumsilikat-Spülung gekernt. Zum Untersuchungsprogramm zählten geophysikalische Bohrlochmessungen und hydraulische Packertests sowie MHF-Messungen. Als Verrohrung wurde ein 7 5/8" Liner-Hanger gewählt.

Sektion 4 wurde (wegen den natürlichen Salzen in der Zeglingen Formation) vorwiegend mit Natriumchlorid-Spülung bis in das Rotliegend auf 1'288 m MD gekernt. Geophysikalische Bohrlochmessungen, MHF-Messungen und abschliessende seismische Geschwindigkeitsmessungen (vertical seismic profiling, VSP) rundeten das Untersuchungsprogramm ab.

## 5 Fazit

Die Tiefbohrkampagne mit der Durchführung von insgesamt neun Tiefbohrungen leistete einen unverzichtbaren Beitrag zum Standortvorschlag der Nagra für ein geologisches Tiefenlager im September 2022. Die Tiefbohrkampagne war in Anforderungen, Umfang, Detailliertheit und Qualitäts- sowie Sicherheitsansprüchen einzigartig. Mit den gewonnenen Datensätzen konnte das Bild des geologischen Untergrunds in den drei Standortgebieten vervollständigt werden.

Um ein Vorhaben dieser Grössenordnung zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen, bedurfte es neben einer ausgezeichneten Projektleitung und einem fundierten technischen Fachwissen auch einer ausgewogenen Kommunikation zwischen allen Beteiligten und Betroffenen. Die frühzeitige und enge Zusammenarbeit mit den Stakeholdern wie z.B. Behörden, Fachstellen, Regionen, Gemeinden und Grundeigentümern schaffte die Grundlage für den Erfolg der Tiefbohrkampagne.

Von grosser Bedeutung war zudem das Verständnis der Bevölkerung und direkten Anwohner, da Bohrungen im 24-Stunden-Betrieb

Emissionen wie Lärm und Licht verursachen, auch wenn die strengen gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden. Von aufwändigen Lärmschutzmassnahmen, über Camouflage-Tarnung für den Landschaftsschutz, Amphibienausstiegshilfen, Fledermausschutz, lokal beengte Platzverhältnisse, bis hin zu mit Gemeinden und Anwohnern optimierten Anfahrtswegen, konnten alle behördlichen Auflagen erfüllt werden.

Aber nicht nur die Umwelt musste geschützt werden, sondern auch das eingesetzte Personal. Die gesamte Tiefbohrkampagne wurde unter Einhaltung von strengen Sicherheitsvorschriften nach internationalen Richtlinien durchgeführt. Auch während der COVID-19 Pandemie kam es durch konsequente Einhaltung der Hygienevorschriften zu keinen projektgefährdenden Ausfällen.

Die Bohr- und Untersuchungsprogramme der einzelnen Tiefbohrungen wurden über das gesamte Projekt hinweg immer wieder optimiert und auf die aktuellen Gegebenheiten im Bohrloch angepasst. Teilweise wurden binnen weniger Stunden Verbesserungen umgesetzt. Dank einer frühzeitigen Planung und strikten Umsetzung von Qualitätssicherungsmassnahmen wurden exzellente Daten gewonnen, welche nun bis zur Einreichung des Rahmenbewilligungsgesuchs im Detail aufbereitet, ausgewertet und interpretiert bzw. synthetisiert werden.

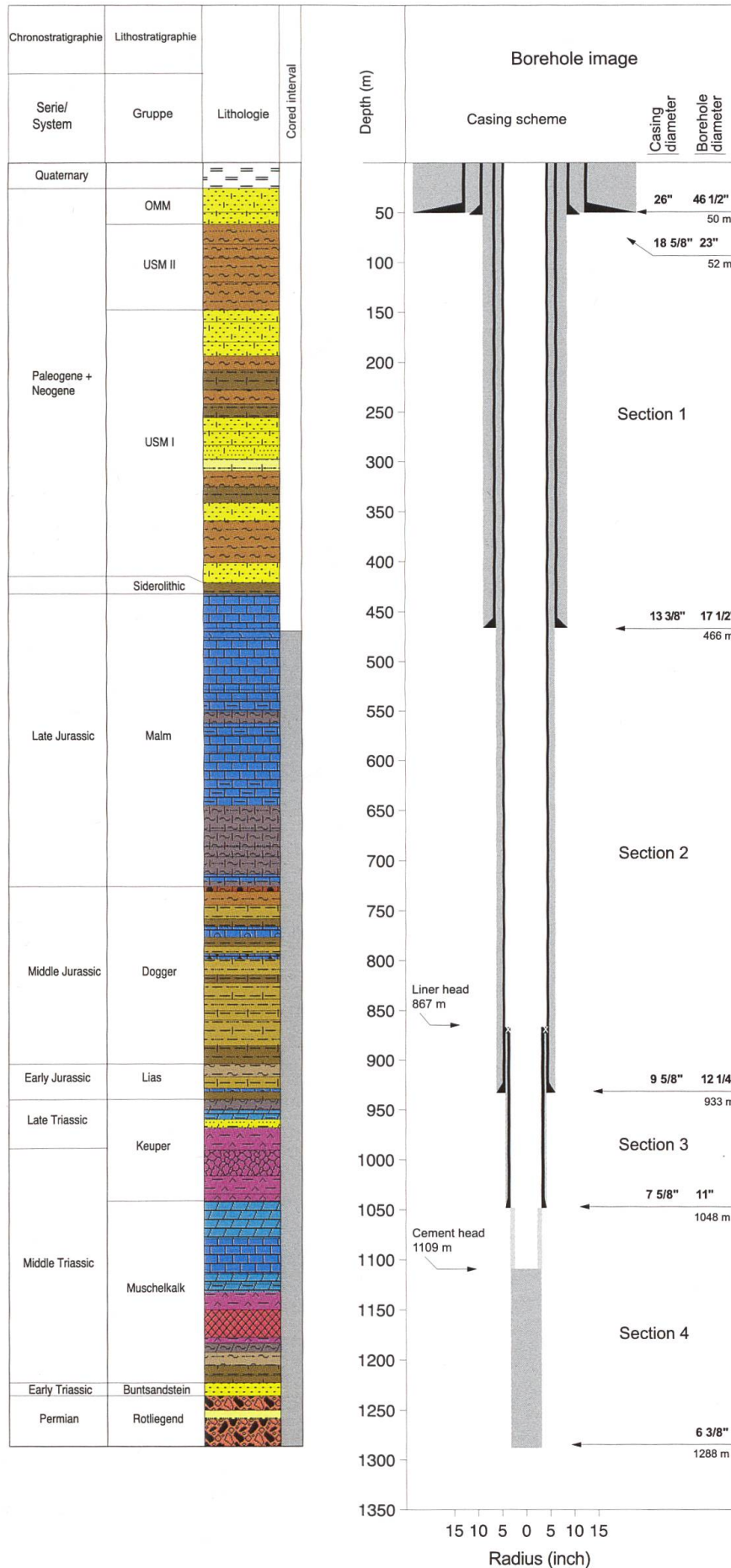


Fig. 6: Bohrlochbild der Tiefbohrung Stadel-2 im Standortgebiet Nördlich Lägern (aus Nagra 2022b); entspricht nicht dem Endausbauzustand.

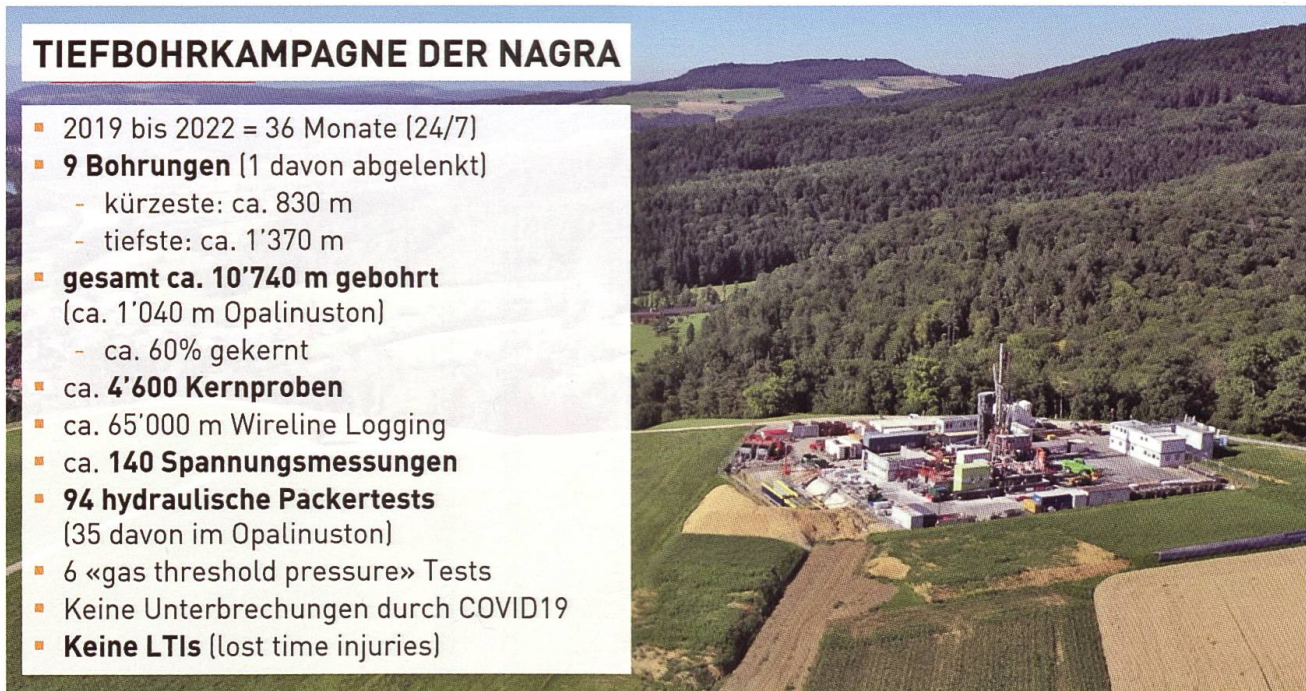


Fig. 7: Zusammenfassung der wichtigsten Fakten der Tiefbohrkampagne. Foto: Nagra.

## Dank

Ein grosser Dank gilt allen Projektbeteiligten für die sichere, qualitativ hochwertige sowie zeit- und kostengerechte Durchführung der Arbeiten, den Behörden und Gemeinden für die gute Zusammenarbeit sowie den Grundeigentümern und Anwohnern bzw. Regionen für das entgegengebrachte Interesse und Verständnis.

## Referenzen

- Bundesamt für Energie BFE, 2011: Sachplan Geologische Tiefenlager: Konzeptteil 2. April 2008 (Revision vom 30. November 2011). UVEK, Bern.
- Mueller et al. 2023: Status of the Site Investigation and Site Selection Process for a Deep Geological Repository in Switzerland. Nuclear Technology, Technical Paper, Wettingen.
- Nagra 2008: Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Geologische Grundlagen (Bericht zur Geologie). Nagra Technischer Bericht NTB 08-04, Wettingen.
- Nagra 2014: Textband: Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2: Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Nagra Technischer Bericht NTB 14-01, Wettingen.
- Nagra 2016a: Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3 - Nördlich Lägern. Nagra Arbeitsbericht NAB 16-28, Wettingen.

- Nagra 2016b: Gesuch um Erteilung einer Bewilligung für erdwissenschaftliche Untersuchungen im Standortgebiet Zürich Nordost (ZNO) – Sondierbohrung Laufen. Nagra Sondiergesuch NSG 16-10, Wettingen.
- Nagra 2019: Arbeitsprogramm für Tiefbohrungen: Generisches Untersuchungsprogramm. Nagra Arbeitsbericht. NAB 17-050 Rev.2, Wettingen.
- Nagra 2022a: Der Standort für das Tiefenlager – Der Vorschlag der Nagra. <https://nagra.ch/wp-content/uploads/2022/09/Bericht-zum-Standortvorschlag-2.pdf>
- Nagra 2022b: TBO Stadel-2-1: Data Report. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-02, Wettingen.

## Weiterführende Literatur

- Nagra 2018: Tiefbohrungen für erdwissenschaftliche Untersuchungen. Themenheft. [https://nagra.ch/wp-content/uploads/2018/09/d\\_th11\\_Tiefbohrungen-1.pdf](https://nagra.ch/wp-content/uploads/2018/09/d_th11_Tiefbohrungen-1.pdf)
- Nagra 2019: Tongesteine und ihr Beitrag zur Lagerung der radioaktiven Abfälle. Themenheft. [https://nagra.ch/wp-content/uploads/2022/07/d\\_th12\\_Tongestein\\_2019-1.pdf](https://nagra.ch/wp-content/uploads/2022/07/d_th12_Tongestein_2019-1.pdf)
- Nagra 2022: Datengrundlage für den Entscheid – Zusatzinformationen zum Standortvorschlag. [https://nagra.ch/wp-content/uploads/2022/09/20220909\\_ASR-Zusatzinformationen-Datengrundlage.pdf](https://nagra.ch/wp-content/uploads/2022/09/20220909_ASR-Zusatzinformationen-Datengrundlage.pdf)