

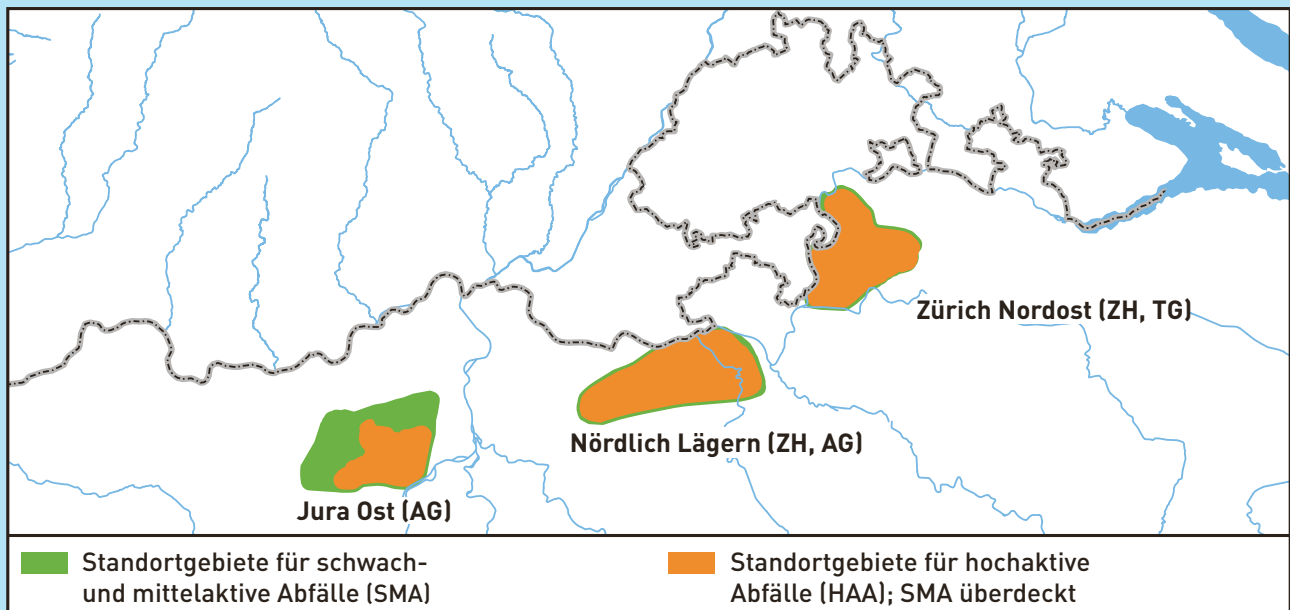
tief- bohrungen

für
erdwissenschaftliche
untersuchungen



nagra ● aus verantwortung

Zu diesem Heft



Die Nagra plant in den drei möglichen Standortregionen Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost eine Serie von Sondierbohrungen (genauer: Tiefbohrungen). Die ersten Bohrungen sollen Anfang 2019 starten.

In diesem Heft werden der Zweck der Bohrungen und deren Ablauf erläutert. Zudem werden verschiedene erdwissenschaftliche Untersuchungsmethoden vorgestellt. Weiter wird gezeigt, wo die Ergebnisse in den sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete einfließen, den die Nagra in der dritten und letzten Etappe der Standortwahl für geologische Tiefenlager durchführt.

Eine Auswahl der im Text vorkommenden Fachbegriffe sind im Glossar ab Seite 24 erläutert.

Tiefbohrungen für erdwissenschaftliche Untersuchungen

Die Nagra veröffentlicht in loser Folge Themenhefte zur nuklearen Entsorgung
September 2018

Titelbild: Julia Buschbeck – wissenschaftliche Illustration

Etappenweise zum Ziel	4 – 5
Die Tiefenlager-Standortsuche in der Schweiz ist im Sachplan geologische Tiefenlager des Bundes geregelt. In drei Etappen sollen Lagerstandorte für schwach- und mittelaktive Abfälle sowie für hochaktive Abfälle gewählt werden. Am Ende jeder Etappe entscheidet der Bundesrat über das weitere Vorgehen.	
Untersuchungen für den sicherheitstechnischen Vergleich	6 – 7
Für den Vergleich der Standortgebiete muss die Nagra, gestützt auf erdwissenschaftliche Untersuchungen, wichtige Fragen zum geologischen Untergrund beantworten.	
Was wird mit einer Tiefbohrung untersucht?	8 – 15
Im Fokus der Untersuchungen stehen das Wirtgestein Opalinuston und die direkt darüber- und darunterliegenden Rahmengesteine. Eigenschaften wie Mächtigkeit, Tiefenlage, Zusammensetzung und Durchlässigkeit werden bestimmt.	
Die einzelnen Phasen einer Bohrung im Überblick	16 – 17
Eine Tiefbohrung der Nagra ist ein komplexes Projekt, das in mehrere Phasen unterteilt ist.	
Wie wird eine Tiefbohrung abgeteuft?	18 – 23
Ist der Bohrplatz gebaut und das Bohrgerät fertig eingerichtet, beginnt die Bohrung.	
Glossar	24 – 25
Wo sind Tiefbohrungen beantragt?	26 – 27

Etappenweise zum Ziel

Die Tiefenlager-Standortsuche in der Schweiz ist im Sachplan geologische Tiefenlager des Bundes geregelt.

Das Bundesamt für Energie (BFE) leitet das Sachplanverfahren. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) kontrolliert als Aufsichtsbehörde die Standortabklärungen der Nagra. Die

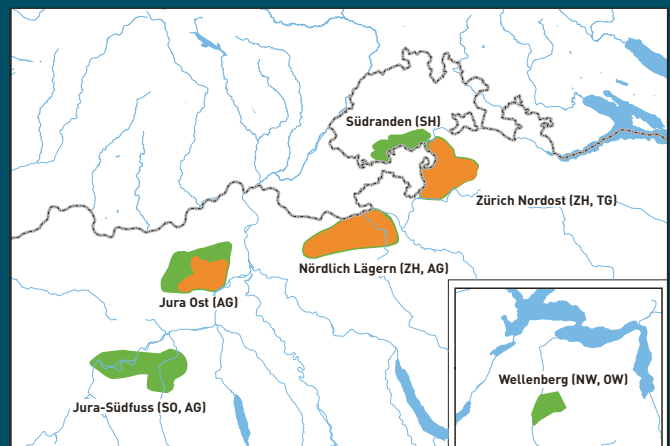
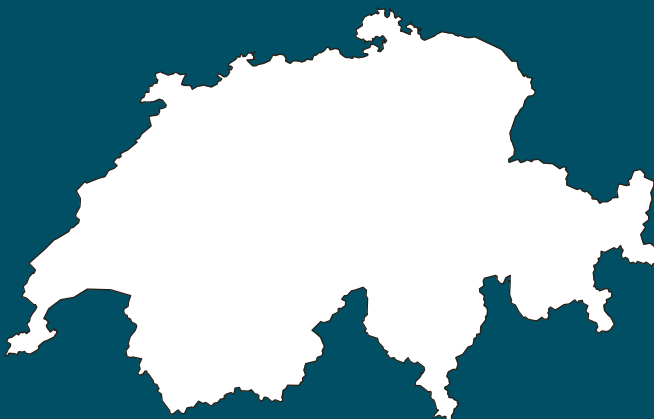
Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) unterstützt das ENSI. Die Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) berät den Bundesrat, das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) sowie das ENSI. Zusätzlich eingebunden sind: Kantone, Gemeinden der Standortregionen, Nachbarstaaten und Bevölkerung.

In **der ersten Etappe** des Sachplans legte die Nagra – ausgehend von der ganzen Schweiz – geeignete geologische Grossräume und potenzielle Wirtgesteine fest. **2008** schlug sie folgende Standortgebiete vor: für ein HAA- und ein SMA-Lager Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost; zusätzlich für ein SMA-Lager Jura-Südfuss, Südranden und Wellenberg. Nach breiter Anhörung zu den Ergebnissen von Etappe 1 entschied der Bundesrat Ende November **2011**, alle sechs beziehungsweise drei mögliche Standortgebiete in das weitere Verfahren aufzunehmen.

In **der zweiten Etappe** schlug die Nagra nach einem sicherheitstechnischen Vergleich zwei dieser Standortgebiete, Jura Ost und Zürich Nordost, für weiterführende erdwissenschaftliche Untersuchungen für Etappe 3 vor. Kantone und ENSI empfahlen **2016**, auch das Standortgebiet Nördlich Lägern in Etappe 3 weiter zu untersuchen. Der Bundesratsentscheid zu Etappe 2 wird Ende **2018** erwartet.

Ausgangspunkt: Weisse Karte Schweiz / Auswahlkriterien: Sicherheit und technische

Bundesratsentscheid zu Etappe 1



In **der dritten und letzten Etappe** der Standortwahl für geologische Tiefenlager werden die verbleibenden drei Gebiete vertieft untersucht. Diese Untersuchungen sind nötig, um die Standortgebiete ausführlich sicherheitstechnisch zu vergleichen.

Das Untersuchungsprogramm umfasst unter anderem die bereits durchgeführten seismischen Untersuchungen sowie Quartäruntersuchungen und Tiefbohrungen. Die Bohrungen sollen das geologische Gesamtbild der Standortregionen vervollständigen.

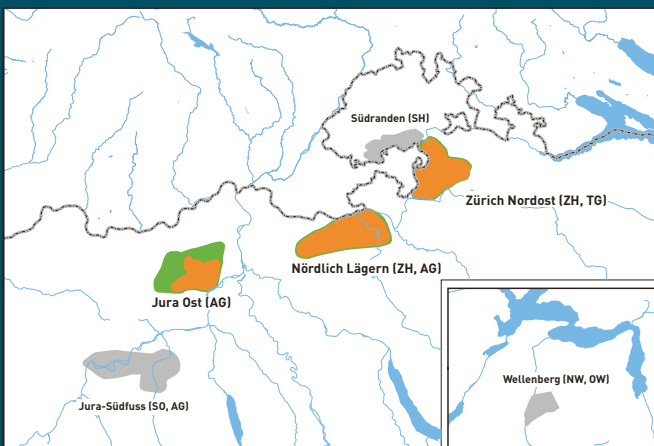
Im Fokus der erdwissenschaftlichen Untersuchungen in den Tiefbohrungen stehen unter anderem Tiefenlage, Mächtigkeit, Durchlässigkeit und Zusammensetzung des Wirtgesteins Opalinuston, in dem das Tiefenlager angeordnet werden soll. Von speziellem Interesse sind auch die Eigenschaften der Rahmengesteine unter- und oberhalb des Opalinustons.

Mit den zusätzlichen Erkenntnissen aus den Tiefbohrungen kann die Nagra eine Auswahl der Standortgebiete für die Vorbereitung der Rahmenbewilligungsgesuche* (vgl. Glossar) treffen und die Gesuche voraussichtlich **2024** einreichen. Nach einer umfassenden Prüfung durch das ENSI entscheidet der Bundesrat (**ca. 2029**) und danach das Parlament über die Rahmenbewilligungsgesuche. Der Beschluss des Parlaments untersteht dem fakultativen Referendum.

*SMA-, HAA-Lager oder Kombilager

Machbarkeit

Nagra-Vorschläge und sicherheitstechnisches Gutachten des ENSI zu Etappe 2



Rahmenbewilligungsgesuche für ein SMA- und ein HAA-Lager respektive ein Kombilager



Untersuchungen für den Vergleich

Für den Vergleich der Standortgebiete muss die Nagra, gestützt auf erdwissenschaftliche Untersuchungen, wichtige Fragen zum geologischen Untergrund beantworten, wie zum Beispiel:

Wie viel Platz hat es für ein Tiefenlager?

Seismische Messungen ermöglichen einen genauen Einblick in den geologischen Untergrund. Zum Beispiel lässt sich mit 3D-Seismik die Lagerung der Gesteinsschichten über ein grosses Gebiet bestimmen. Dadurch wird überprüft, wie viel Platz für ein geplantes geologisches Tiefenlager vorhanden ist und ob das Platzangebot zum Beispiel durch Störungen eingeschränkt ist.

Wie mächtig sind das Wirtgestein und die Rahmengesteine?

Mit einer Tiefbohrung wird die geologische Barriere beziehungsweise der sogenannte «einschlusswirksame Gebirgsbereich» an einem Standort untersucht. Dieser umfasst das Wirtgestein Opalinuston und die direkt darunter- und darüberliegenden wasserundurchlässigen Gesteinsschichten (Rahmen-

gesteine), welche die radioaktiven Stoffe, die sogenannten Radionuklide (vgl. Glossar), zurückhalten. Tiefbohrungen erlauben präzise Aussagen über die Mächtigkeit der durchbohrten Schichten.

Wie sind die Gesteine aufgebaut?

Mit Tiefbohrungen lassen sich auch Proben der durchbohrten Gesteine nehmen. Durch die Analyse der Proben und mittels verschiedener Messungen im Bohrloch können zum Beispiel die Wasserdurchlässigkeit und der chemische Aufbau der Gesteine bestimmt werden.

Wie tief soll das Lager liegen?

Seismik und Tiefbohrungen in den Standortgebieten allein genügen nicht. Um die Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers zu beurteilen, braucht es unter anderem auch Quartäruntersuchungen, welche die jüngste Erdgeschichte und damit die Erosion beispielsweise von Gletschern in den Standortgebieten untersuchen. Dadurch lässt sich die Tiefe abschätzen, in der ein Tiefenlager zukünftig vor Erosion ausreichend geschützt ist.



Table

Verschiedene Untersuchungen liefern Informationen, um die Standortgebiete sicherheitstechnisch zu vergleichen.

Abbildung 1

Von links oben nach rechts unten: Experimente in Felslaboren, Quartärbohrungen, Feldstudien und seismische Messungen (Fotos: © Comet Photoshopping, Dieter Enz; Nagra; Ernst Müller; Beat Müller)

sicherheitstechnischen

Der Sachplan gibt vier Kriteriengruppen mit total 13 Kriterien vor, anhand derer die Standortgebiete sicherheitstechnisch verglichen werden.

Kriterien		Untersuchungen					
		Tiefbohrungen	3D-seismische Messungen	Quartäruntersuchungen	Experimente in Felslaboren	Laborexperimente, Naturaloga	
Eigenschaften des Wirtgesteins (bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs)	Räumliche Ausdehnung	●	●	●			
	Hydraulische Barrierenwirkung	●			●	●	
	Geochemische Bedingungen	●			●	●	
	Freisetzungspfade (vgl. Glossar)	●	●		●		
Langzeitstabilität	Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften	●	●	●			
	Erosion	●		●		●	
	Lagerbedingte Einflüsse (vgl. Glossar)	●			●	●	
	Nutzungskonflikte (vgl. Glossar)	●	●				
Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	Charakterisierbarkeit der Gesteine	●			●		
	Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse	●	●				
	Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen			●			
Bautechnische Eignung	Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen	●			●	●	
	Untertägige Erschließung und Wasserhaltung (vgl. Glossar)	●	●				

● Schlüsselinformation

● Wichtige Zusatzinformation

● Unterstützende Information

Was wird mit einer Tiefb



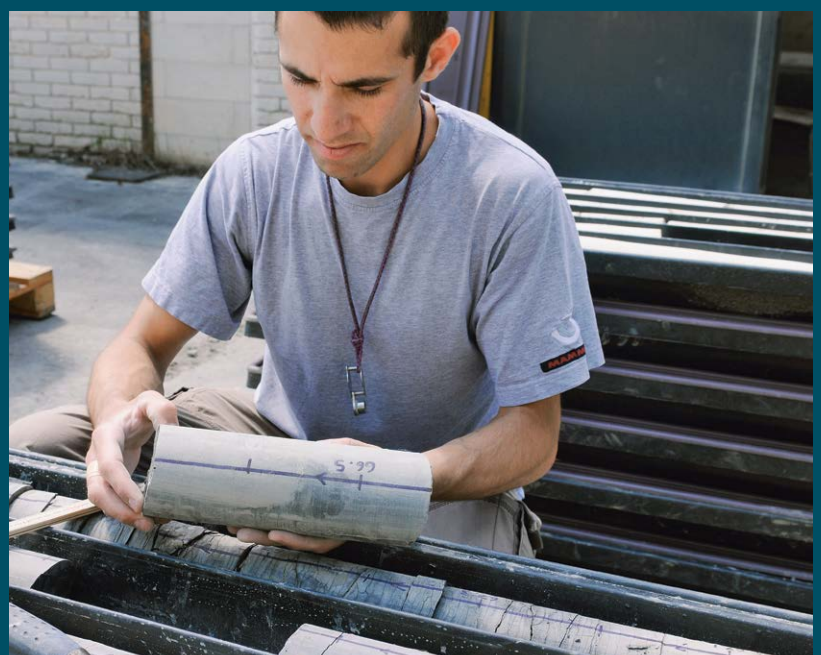
Im Zentrum der Untersuchungen stehen das Wirtgestein Opalinuston und die direkt darüber- und darunterliegenden Rahmengesteine. Eigenschaften wie Mächtigkeit, Tiefenlage, Zusammensetzung und Durchlässigkeit werden bestimmt.

Wie mächtig sind die Gesteine und wie tief liegen sie?

Ein Geologe bearbeitet und untersucht die bei der Tiefbohrung gewonnenen Bohrkern (vgl. Abb. 2) und die Gesteinsstücke, das Bohrklein (vgl. Seite 18). Er führt Protokoll über die Bohrung und erstellt ein möglichst lückenloses Bohrprofil.

Das Bestimmen der Gesteine erfolgt direkt auf dem Bohrplatz. Dadurch wird zum Beispiel laufend festgestellt, wie mächtig die einzelnen durchbohrten Gesteinsschichten sind und wie tief sie liegen.

Vom Wirtgestein Opalinuston, in dem das Tiefenlager gebaut werden soll, müssen Mächtigkeit und Tiefenlage genau bestimmt werden. Die Dicke des Opalinustons beträgt nach heutigem Wissensstand



Bohrung untersucht?

in allen drei möglichen Standortgebieten rund 100 Meter. Die Tiefenlage ist wichtig, um zukünftig Schutz vor Erosion zu gewährleisten.

Wie setzen sich die Gesteinsschichten zusammen?

Während der Bohrphase wird mit Messungen im Bohrloch und im Labor die Zusammensetzung der Gesteine bestimmt wie etwa Art des Gesteins, Anteil der verschiedenen Mineralien, Tongehalt etc.

Natürliche Gammastrahlung: Hinweis auf Wasserdurchlässigkeit und Tongehalt

Die Messung der natürlichen Gammastrahlung im Gestein ist eine wichtige Untersuchung im Bohrloch (vgl. Abb. 3). Jedes Gestein enthält natürliche radioaktive Isotope (vgl. Glossar), die beim Zerfall sogenannte Gammastrahlung aussenden. Ändert sich die Gesteinsart, zum Beispiel von Kalkstein zu Tonstein, ändert sich auch die natürliche Radioaktivität. So können die Übergänge zwischen den verschiedenen Gesteinsarten bestimmt werden. Die Messung lässt Rückschlüsse auf den Tonge-

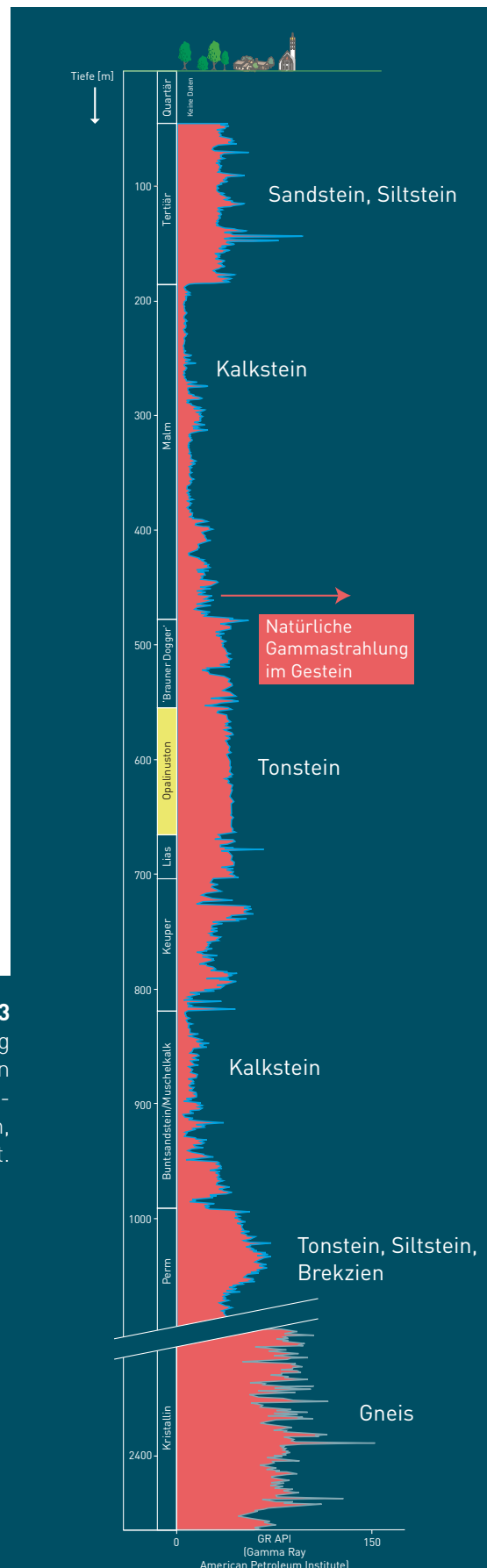
Abbildung 3

Mit der Messung der natürlichen Gammastrahlung bestimmt man in Bohrlöchern Übergänge zwischen verschiedenen Gesteinsarten. Beispiel ist hier die Tiefbohrung Weiach (Zürcher Unterland). Der Opalinuston, das Wirtgestein für ein Tiefenlager, ist gelb markiert.

Abbildung 2

Seite 8 links: Bohrkern werden gesäubert und dann fotografiert. Der abgebildete Bohrkern stammt aus der Tiefbohrung Benken aus einer Tiefe von zirka 945 Meter (Foto: Nagra).

Seite 8 rechts: Ein Geologe vermisst und dokumentiert die erhaltenen Bohrkern (Foto: © Comet Photoshopping, Dieter Enz).



halt der Gesteine zu, weil Tonminerale Kalium enthalten. Kalium besitzt einen hohen Anteil an radioaktiven Isotopen. Der Tongehalt eines Gesteins bestimmt, wie wasserundurchlässig ein Gestein ist. Tonminerale sind zudem wichtig für die Rückhaltung der Radionuklide aus den radioaktiven Abfällen.

Dünnschliffe: Das Gestein im Mikroskop

Aus den Bohrkernen werden Proben gesägt, die später zur Herstellung von Dünnschliffen verwendet werden. Diese sind etwa dreissig Mikrometer dünn, was dem halben Durchmesser eines menschlichen Haares entspricht. Mit speziellen Mikroskopen werden dann die Dünnschliffe genauer untersucht. So lassen sich unter anderem die Verteilung der unterschiedlichen Mineralien im Gestein und deren Ausrichtung bestimmen. Dies lässt Rückschlüsse auf den Gesteinstyp, mithilfe von Fossilien auf das Alter und weiter auch auf mögliche Wanderungswege von Radionukliden zu.

Wie durchlässig oder undurchlässig sind die Gesteine?

Die Wasserdurchlässigkeit des Wirtgesteins sollte möglichst gering sein. Das ist eine der wichtigsten Eigenschaften des Opalinstons und der Rahmengesteine. Dies verhindert, dass Radionuklide durch Wasser transportiert werden. Die Durchlässigkeit wird unter anderem mit sogenannten «Packer-tests» bestimmt.

Packer (vgl. Abb. 4) sind für die Untersuchungen in einem Bohrloch ein essenzielles Werkzeug. Mit ihnen lassen sich ausgewählte Abschnitte (sog. Testintervalle; vgl. Abb. 5 rechts) in einem Bohrloch abtrennen. Leitungen stellen einen Zugang zum abgetrennten Testintervall sicher, beispielsweise für Messsonden.



Abbildung 4

Der dunkle Teil des Packers zwischen den blauen Metallteilen besteht aus Gummi und dient dazu, das Bohrloch zu verschliessen (Foto: Nagra).

Abbildung 5

Seite 11 rechts: Schematischer Aufbau eines Doppelpackersystems. Im abgetrennten Testintervall können die Wasserdurchlässigkeit des Gesteins bestimmt oder in durchlässigen Gesteinen Wasserproben genommen werden.

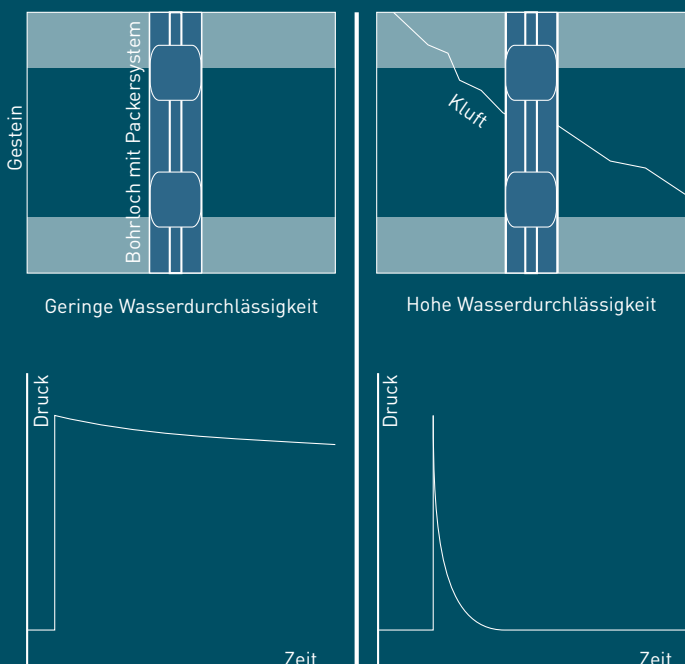
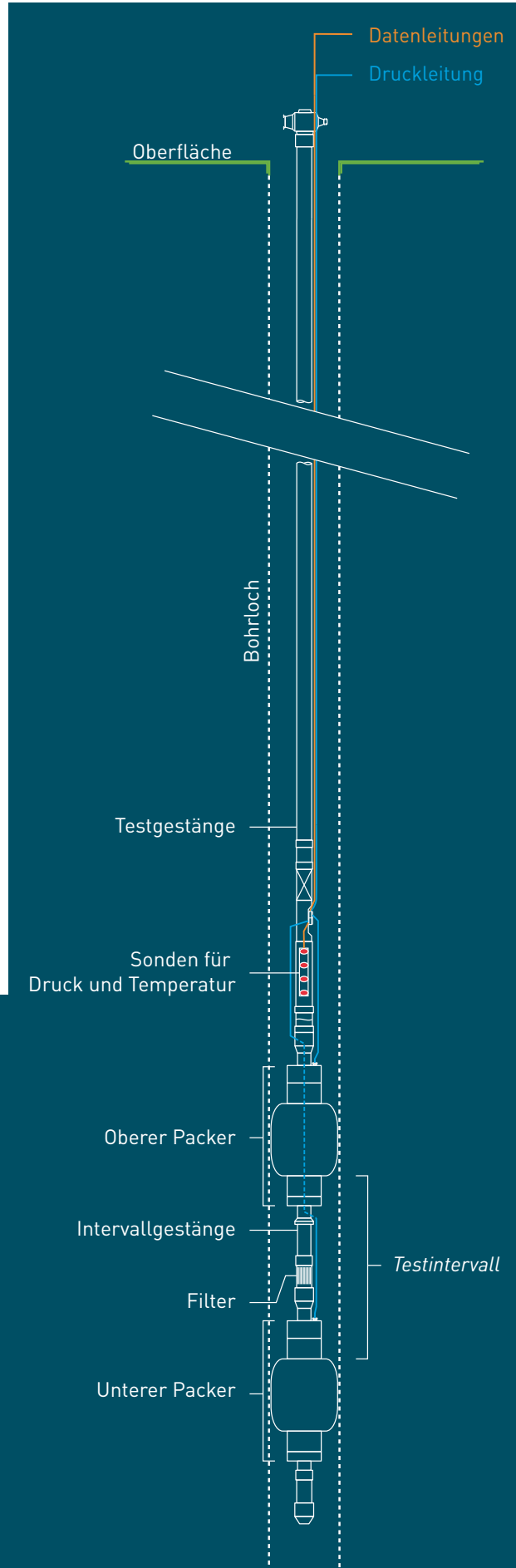
Seite 11 links: Prinzip einer Messung zur Durchlässigkeit zweier unterschiedlicher Gesteine

Durchlässigkeit: Wie gut sich das Wasser durch das Gestein bewegen kann

Um die Wasserdurchlässigkeit zu bestimmen, wird innerhalb des Testintervalls der Druck erhöht. Besitzt das Gestein eine geringe Wasserdurchlässigkeit, bleibt der Druck im Testintervall konstant oder nimmt nur langsam ab. Im Gegensatz dazu fällt der Druck schnell ab, wenn das Gestein eine hohe Durchlässigkeit besitzt (vgl. Abb. unten).

Hydrochemie: Wasserproben chemisch analysieren

In durchlässigen Gesteinen können von den auftretenden Grundwässern gezielt Proben genommen werden. Diese Wasserproben werden hydrochemisch untersucht. Das heisst, es werden die gelösten Stoffe und Gase analysiert. Unter anderem können dadurch das Alter und die Verweildauer der Wasser bestimmt werden.



In undurchlässigen Gesteinen, wie zum Beispiel dem Opalinuston, ist es aufwändig, eine Wasserprobe zu gewinnen. Das in Poren enthaltene Wasser muss man mit aufwändigen Verfahren aus dem Gestein extrahieren, damit es untersucht werden kann (vgl. Abb. 6). Die Inhaltsstoffe geben einen wichtigen Hinweis auf das Alter der Porenwässer. Die Untersuchung der Porenwässer liefert Informationen, wie gelöste Stoffe mittels Diffusion durch das Gestein wandern können. Dies dient als Grundlage, um die Rückhalteeigenschaften besser abschätzen zu können.

Alter von Porenwässern gibt Hinweise zur Langzeitsicherheit

Als Beispiel kann der Opalinuston dienen. Das rund 173 Millionen Jahre alte Gestein enthält noch immer 10 bis 20 Gramm gelöstes Salz pro Liter Porenwasser. Dieses Salz stammt noch aus dem ursprünglichen Meer, in dem der Opalinuston abgelagert wurde. Das Meerwasser, das seit vielen Millionen Jahren im Gestein erhalten blieb, ist ein Beispiel dafür, wie gut der Opalinuston Stoffe über Jahrtausende einschließen kann.

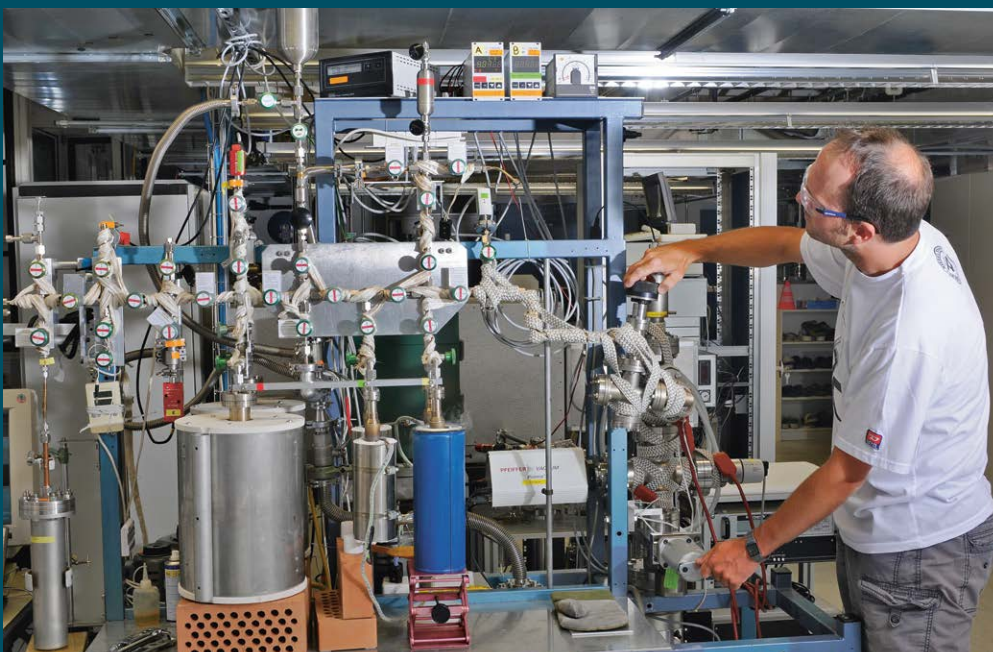


Abbildung 6

Porenwasser muss teilweise aufwändig aus den Gesteinen gewonnen werden, damit es dann auf seine Bestandteile untersucht werden kann (Foto: © Comet Photo-shopping, Dieter Enz).

Seismik und Bohrungen: Wie Daten sich ergänzen

Mit der 3D-Seismik wird die Geometrie im Untergrund, das heisst die Grenzen der Gesteinsschichten, abgebildet (Abb. unten links). Die Eigenschaften der Gesteine werden so aber nicht umfassend bestimmt. Für die direkte Untersuchung der Eigenschaften sind Bohrungen nötig (Abb. unten rechts). Beide Untersuchungen zusammen ergeben ein zuverlässiges Bild des geologischen Untergrunds.

Die im Bohrloch angetroffenen Gesteine (Bohrprofil) werden untersucht und ihre physikalischen Eigenschaften bestimmt. Basierend darauf wird ein synthetisches Seismogramm berechnet. Im Bohrloch werden eine Bohrlochseismik durchgeführt und ein vertikales seismisches Profil erzeugt (VSP). Mit den Ergebnissen aus diesen Untersuchungen können die Ergebnisse der 3D-Seismik kalibriert werden.

So ergibt sich ein vertieftes Verständnis bezüglich der Gesteinsschichten, sowie der räumlichen und tektonischen Verhältnisse.

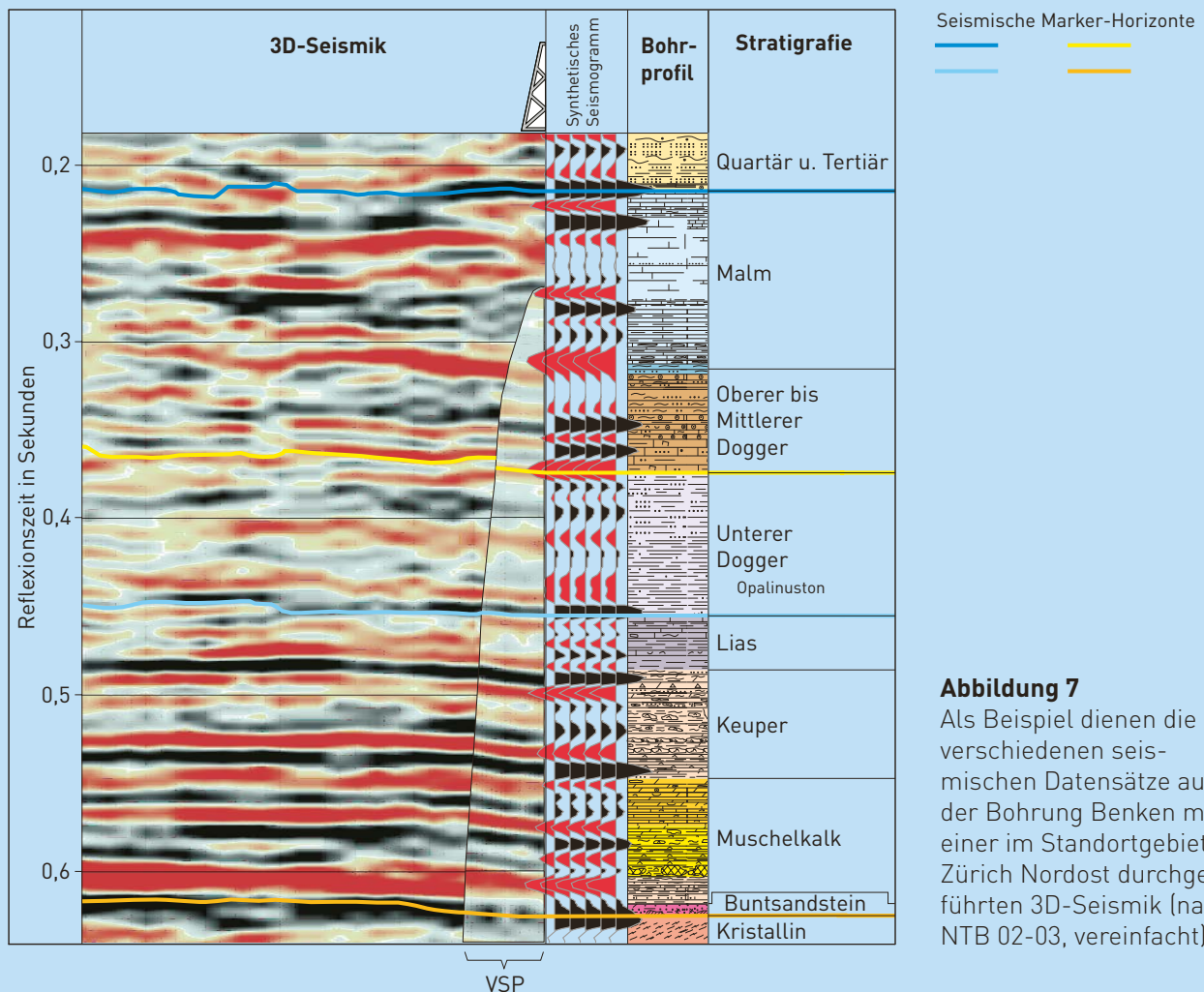


Abbildung 7
Als Beispiel dienen die verschiedenen seismischen Datensätze aus der Bohrung Benken mit einer im Standortgebiet Zürich Nordost durchgeführten 3D-Seismik (nach NTB 02-03, vereinfacht).

Weitere Messungen

Eine Vielzahl weiterer Messungen wird entweder direkt im Bohrloch, auf dem Bohrplatz oder später in einem externen Labor durchgeführt.

Dazu gehören unter anderem:

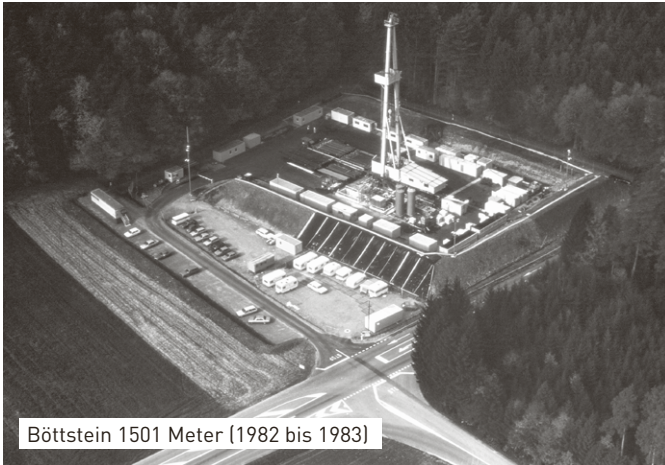
- Bestimmung von Dichte und Porosität der Gesteine im Bohrloch
- Vermessung des Bohrlochs und Bestimmung des Zustands von Verrohrung und Zementation (vgl. Seite 20 und 21)
- Messung der geomechanischen Eigenschaften von Gesteinsproben im Labor

Kein Fracking

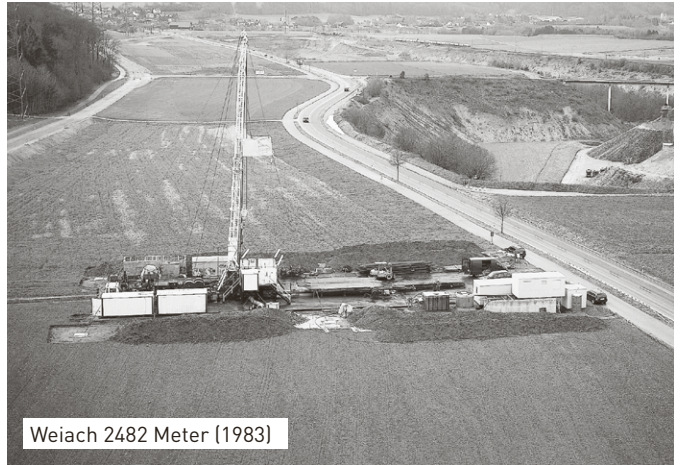
Im Rahmen der Bohr- und Testarbeiten sind keinerlei Stimulationsarbeiten geplant. Bei der Gewinnung von Erdöl und Erdgas sowie bei der Nutzbarmachung von geothermaler Energie ist das Ziel, die Durchlässigkeit des Gesteins durch sogenanntes Fracking zu erhöhen. Bei den Tests der Nagra ist das nicht der Fall. Mit Erdbeben durch die Bohrungen ist daher nicht zu rechnen.

Abbildung 8

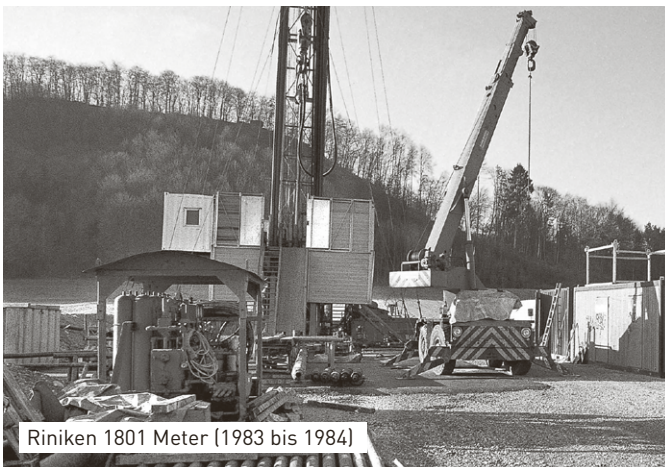
Weitreichende Erfahrung: Die Nagra hat bis anhin acht rund 1000 bis 2500 Meter tiefe Bohrungen in der Nordschweiz abgeteuft (Fotos alle: © Comet Photoshopping, Dieter Enz; ausser: zweite Reihe rechts: Nagra).



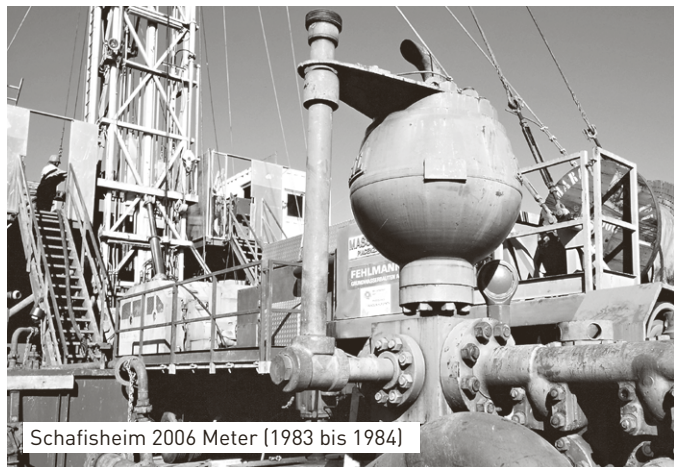
Böttstein 1501 Meter (1982 bis 1983)



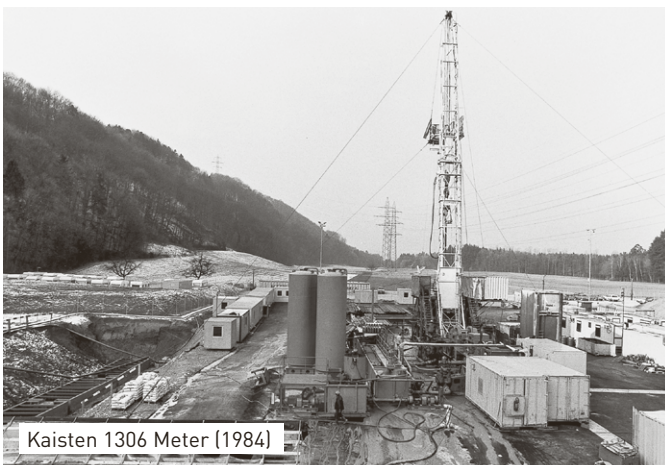
Weiach 2482 Meter (1983)



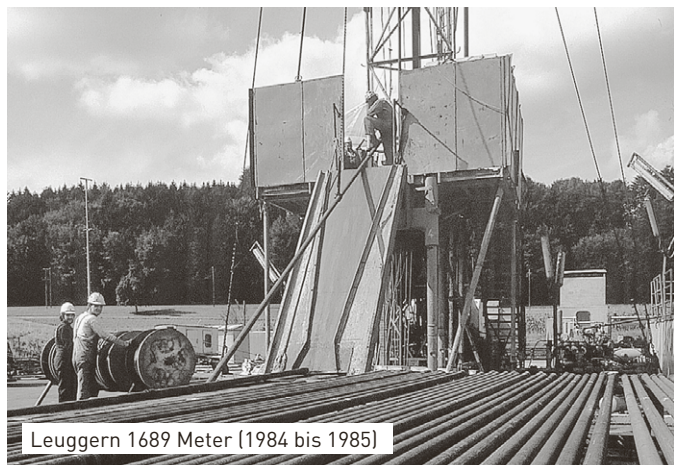
Riniken 1801 Meter (1983 bis 1984)



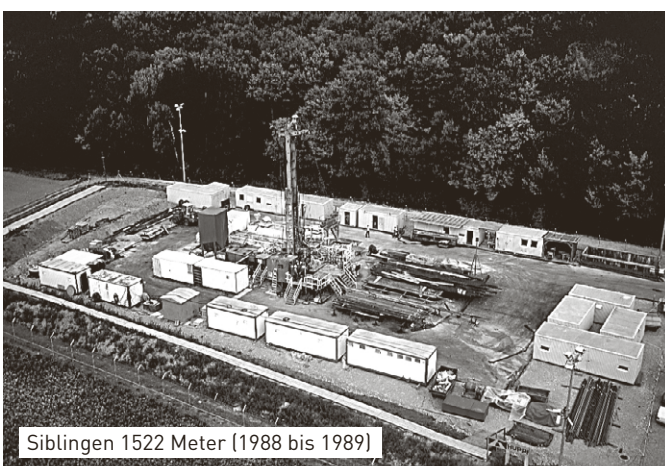
Schafisheim 2006 Meter (1983 bis 1984)



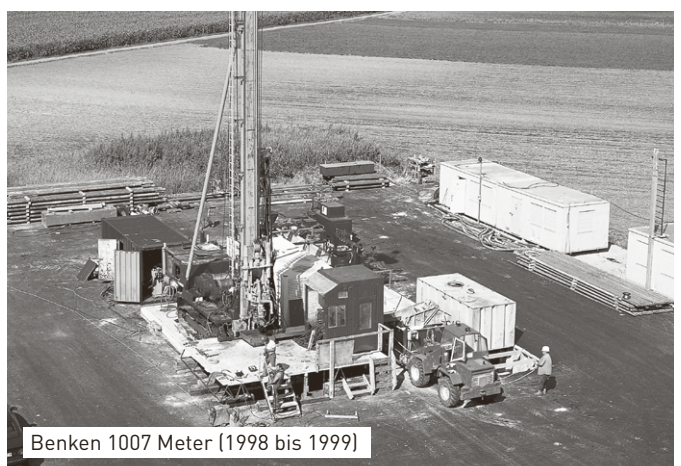
Kaisten 1306 Meter (1984)



Leuggern 1689 Meter (1984 bis 1985)



Siblingen 1522 Meter (1988 bis 1989)



Benken 1007 Meter (1998 bis 1999)

Die einzelnen Phasen ein

Eine Tiefbohrung der Nagra ist ein komplexes Projekt, das in mehrere Phasen unterteilt ist.

Untersuchungsziele bestimmen den Bohrplatz

Zuerst werden die Untersuchungsziele der Bohrungen festgelegt: So sollen die Barriere-Eigenschaften des Opalinustons oder die Bedingungen im Untergrund für den Bau eines Tiefenlagers im Bereich der Lagerperimeter bestimmt werden. Die Ziele bestimmen, in welchem Raum die Tiefbohrung liegen muss. Um dort einen geeigneten Bohrplatz zu bestimmen, wird eine Interessenabwägung vorgenommen. Berücksichtigt werden unter anderem Mindestabstände zu Wohngebäuden und die Erschliessung. Weiter spielen Umweltschutz und bautechnische Vorgaben eine Rolle. Ist ein geeigneter Bohrplatz gefunden, muss beim UVEK eine Bewilligung beantragt werden.

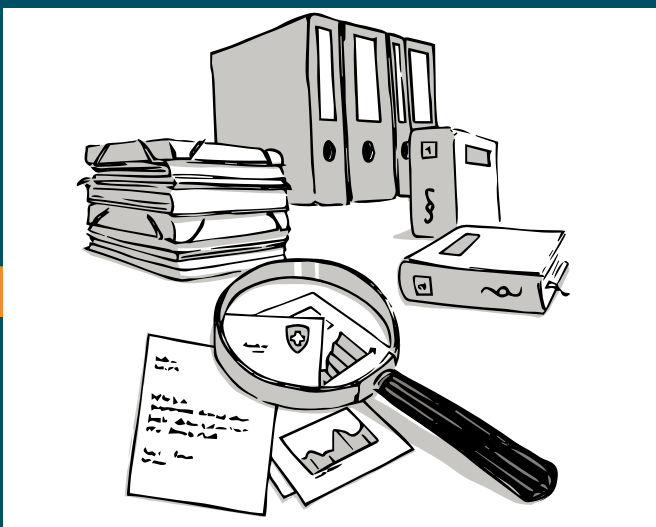
Standortsuche und Bewilligung benötigen etwa zweieinhalb Jahre.

Bau und Einrichten des Bohrplatzes

Ist eine Tiefbohrung bewilligt, kann der Bohrplatz gebaut werden. Der Arbeitsbereich wird befestigt und so versiegelt, dass eventuell austretende Flüssigkeiten Boden und Grundwasser nicht verschmutzen. Anfallendes Material wird teilweise am Rand des Bohrplatzes in Depots gelagert und später für die Rekultivierung verwendet. Dabei wird darauf geachtet, dass das «Aushubdepot», wo nötig, als Schallschutz eingesetzt werden kann.

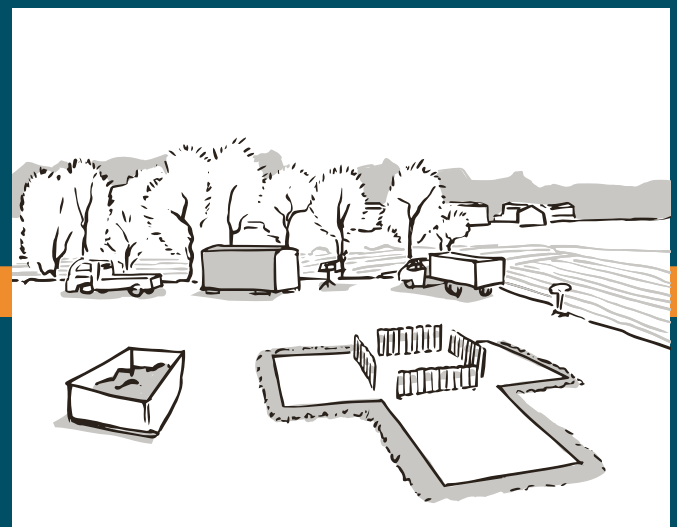
Im Zentrum des Platzes wird der sogenannte «Bohrkeller» gebaut, der Teil des Fundaments und aus Beton ist. Das Fundament muss das Gewicht des Bohrgeräts mit dem Bohrgestänge tragen können. Im übrigen befestigten Bereich baut die Bohrfirma zudem Maschinen und Container auf. Der Bohrturm wird über dem Bohrkeller errichtet.

Das Erstellen des Bohrplatzes beansprucht zirka drei Monate.



Projektphase 1 (Gesuchsphase)

Wahl eines geeigneten Bohrplatzes und Bewilligung durch das UVEK



Projektphase 2 (Bauphase)

Bau und Einrichten des Bohrplatzes

er Bohrung im Überblick

Bohrbetrieb

Während der Bohrung gibt es viele Arbeiten wie das Abteufen der Bohrung, das Ziehen und Bearbeiten der Kerne (vgl. Seite 18) sowie Messungen im Bohrloch.

Die Tiefbohrungen müssen, um das Bohrloch stabil zu halten, durchgehend betrieben werden. Die Arbeiten sind so ausgerichtet, dass die durch Lärm entstehenden Beeinträchtigungen in der unmittelbaren Nachbarschaft möglichst gering gehalten und die gesetzlichen Bestimmungen eingehalten werden. Bei der Ausleuchtung des Bohrplatzes wird darauf geachtet, die Lichtquellen gezielt einzusetzen, nur den Arbeitsbereich auszuleuchten sowie Streulicht zu vermeiden. Vor Ort kann sich die Bevölkerung in einem Infocontainer über den Stand der laufenden Arbeiten informieren.

Die Bohrphase dauert je Bohrung etwa ein Halb- bis ein Dreivierteljahr.

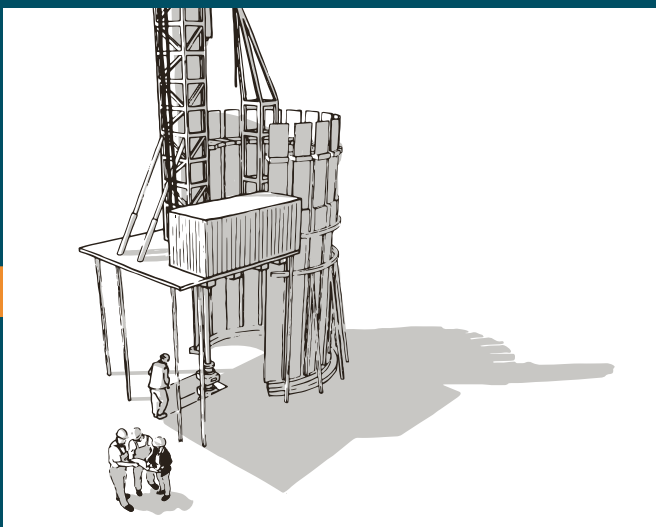
Nach der Bohrung

Nach der Bohrung gibt es zwei Möglichkeiten, wie man mit dem Bohrplatz verfährt:

Sind keine längerfristigen Beobachtungen im Bohrloch geplant, wird das Bohrloch verfüllt und das Gelände wird vollständig rekultiviert.

Andernfalls werden Beobachtungssysteme für die langfristige Überwachung von Temperatur und Wasserdruck des Grundwassers in der Bohrung installiert. Dabei bleiben eine Zufahrt und ein ebenerdiger Bohrkeller zurück. Wie lange dieser bestehen bleibt, hängt vom weiteren Verlauf der Standortwahl für geologische Tiefenlager ab. Nach einer rechtsgültigen Bau- und Betriebsbewilligung für die Lager wird die Langzeitbeobachtung nur noch an den gewählten Standorten weitergeführt.

Der Bohrkeller mit den Beobachtungssystemen kann fünfzig Jahre oder länger bestehen bleiben.



Projektphase 3 (Bohrphase)

Bohrbetrieb und Untersuchungen an den Gesteinsschichten



Projektphase 4 (Beobachtung und Rekultivierung)

Bei der Standortwahl wird entschieden, ob eine Langzeitbeobachtung durchgeführt wird.

Wie wird eine Tiefbohrung

Ist der Bohrplatz gebaut und das Bohrgerät fertig eingerichtet, beginnt die Bohrung.

Als Erstes wird ein sogenanntes Standrohr durch die Lockergesteine bis in den Fels gesetzt (vgl. Abb. 12, Seite 21). Das Standrohr schützt das Grundwasser vor der Bohrung. Gebohrt wird danach mit Bohrmeissel oder -krone. Diese sind unten an einem Bohrgestänge angeschraubt. Das Gestänge wird im Bohrturm in Drehung versetzt. Durch die Drehung des Gestänges und dessen Eigengewicht beginnt der Bohrmeissel das Gestein im Bohrloch zu zerkleinern. Mit zunehmender Bohrtiefe wird das Bohrgestänge Stück für Stück verlängert. Dazu wird die Bohrung jeweils kurz angehalten.

Bohren mit Krone oder Meissel

Die Nagra setzt zwei verbreitete Bohrverfahren ein: Bei Meisselbohrungen wird das Gestein unten im Bohrloch zerkleinert. Die Bohrspülung (vgl. nächsten Abschnitt) fördert Gesteinsstücke, das sogenannte Bohrklein, an die Erdoberfläche. Bei den aufwändigeren Kernbohrungen fräsen Bohrkronen nur das Gestein am Rand des Bohrlochs, in der Mitte bleibt das Gestein, ein Bohrkern, stehen (vgl. Abb. unten). Das anfallende Gesteinsmehl wird ebenfalls mit der Bohrspülung ausgespült. Dieses Verfahren wird bei den Gesteinsschichten angewandt, welche die Nagra genauer untersuchen möchte. Die so gewonnenen Bohrkern werden vor Ort oder später im Labor untersucht.

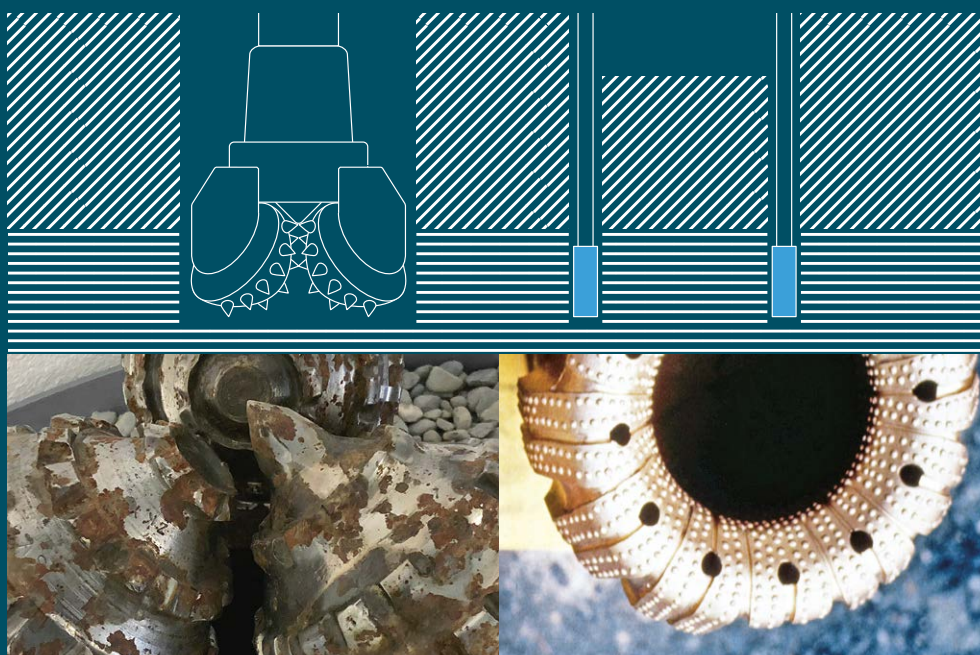


Abbildung 9

Links: Bohrmeissel

(Foto: Nagra)

Rechts: Bohrkrone

(Foto: © Comet Photo-
shopping, Dieter Enz)

ng abgeteuft?

Bohrspülung hat verschiedene Funktionen

Bei einer Tiefbohrung wird eine Bohrspülung eingesetzt. Diese wird im Bohrgestänge nach unten gepumpt und ausserhalb des Gestänges wieder nach oben geleitet. Die Bohrspülung dient unter anderem dazu, das Bohrklein nach oben zu transportieren. Weiter sorgt die Bohrspülung dafür, dass das Bohrloch stabil bleibt, und sie dient zum Kühlen und Schmieren der Bohrkronen. Die Bohrspülung besteht meistens aus Wasser und Bentonit (natürlichen Tonmineralen).

An der Oberfläche wird die Spülung in Spülbecken gereinigt und konditioniert. Danach wird die Bohrspülung erneut in die Bohrung gepumpt (vgl. Abb. unten).

Vorsorge bei einem Gasfund

Beim Durchbohren von Gesteinsschichten können unter Umständen Gase in die Bohrung eintreten. Geringe Gaskonzentrationen sind nicht kritisch, da sie sich beim Austritt an die Erdoberfläche sofort mit der Umgebungsluft vermischen. Sollten grössere Gas-mengen auftreten, kann die Bohrung mit einer Absperrvorrichtung, wie zum Beispiel einem «Blowout-Preventer», verschlossen werden. Danach wird das Gas kontrolliert abgeführt oder auch abgefackelt. Mit nutzbaren Gasvorkommen wird in den geplanten Bohrungen nicht gerechnet.

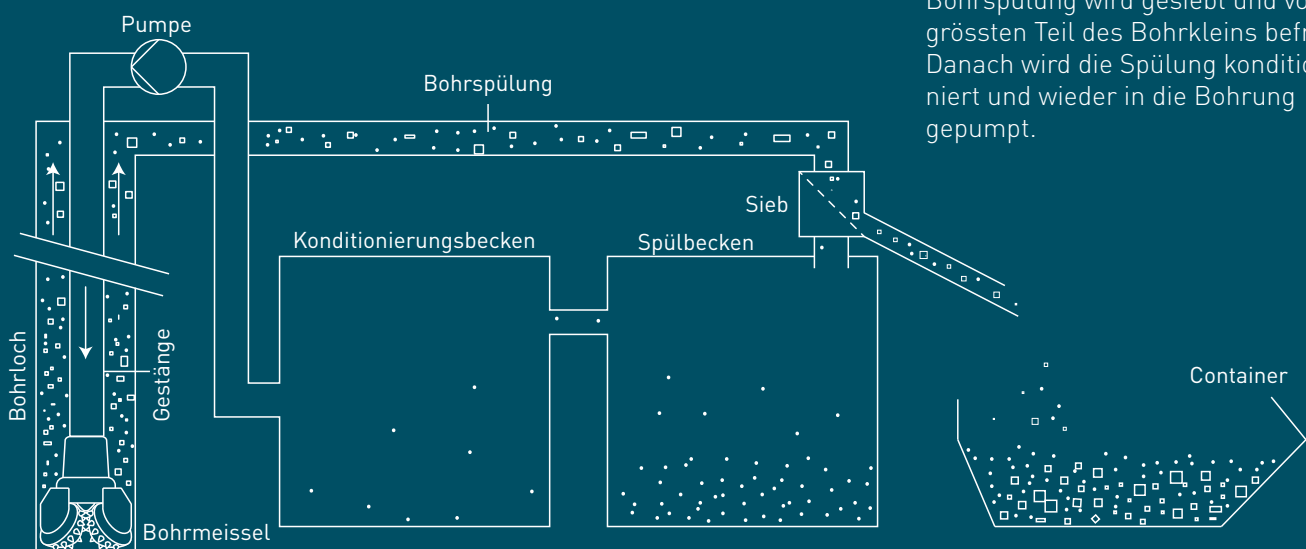


Abbildung 10

Schematischer Spülkreislauf: Die Bohrspülung wird gesiebt und vom grössten Teil des Bohrkleins befreit. Danach wird die Spülung konditioniert und wieder in die Bohrung gepumpt.

Wie kommt der Bohrkern an die Erdoberfläche?

Um einen Bohrkern zu erhalten, setzt die Nagra ein sogenanntes Seilkernbohrverfahren ein (vgl. Abb. unten).

Im Bohrgestänge befindet sich das Innenkernrohr. Im Laufe der Bohrung «wächst» der neue Bohrkern in dieses Rohr hinein. Ist der Kern lang genug, wird die Bohrung angehalten. Federn im Inneren des Kernrohrs halten den Bohrkern fest. Mit einem Seil und einem Fänger wird dann das Innenkernrohr «eingefangen» und nach oben gezogen. Der Bohrkern wird dadurch unten abgerissen. An der Oberfläche wird der Bohrkern entnommen und das Innenkernrohr wird im Gestänge wieder nach unten geführt. Die Bohrung wird dann so lange fortgesetzt, bis der Bohrkern wieder lang genug ist.

Bohrloch wird gesichert

Um das Bohrloch zu sichern, werden im Laufe der Bohrung verschiedene Verrohrungen gesetzt (vgl. Abb. rechts). Dabei wird ein langes Stahlrohr in die Bohrung geführt, das einen etwas kleineren Durchmesser als das Bohrloch oder eine bereits vorhandene Verrohrung hat. Danach wird der Raum zwischen Bohrlochwand und Rohr mit Zement verfüllt. Dies gewährleistet, dass das Bohrloch stabil bleibt.

Andere Tätigkeiten auf der Bohrstelle

Auf der Bohrstelle werden, neben dem eigentlichen Bohrbetrieb, täglich auch andere Arbeiten durchgeführt. Ein Geologe auf der Bohrstelle bestimmt laufend die durchbohrten Gesteine mithilfe von Bohrklein und Bohrkernen. Die Bohrkerne werden vermessen und die Gesteine detailliert beschrieben. Dem Bohrkern werden verschiedene Proben für Labore entnommen.

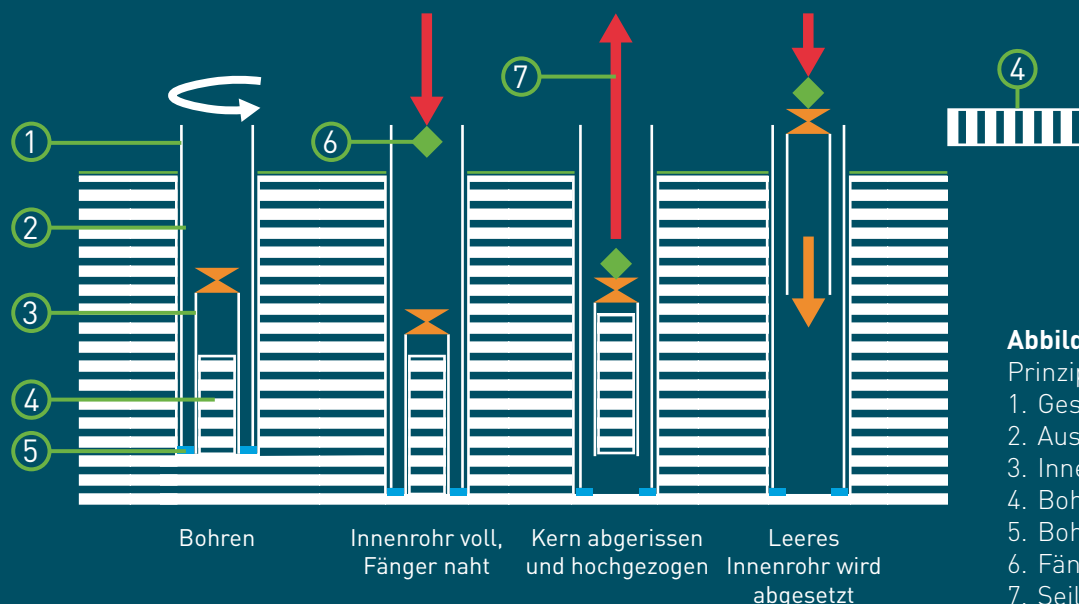


Abbildung 11

Prinzip einer Seilkernbohrung

1. Gestänge
2. Aussenkernrohr
3. Innenkernrohr
4. Bohrkern
5. Bohrkrone
6. Fänger
7. Seil

Zudem werden für sicherheitstechnische und wissenschaftliche Untersuchungen Daten zu Spülung, Gasvorkommen und Bohrtechnik kontinuierlich überwacht und aufgezeichnet.

Während der Bohrphase werden immer wieder Messungen im Bohrloch selbst durchgeführt. In den meisten Fällen geschieht dies, wenn die Bohrung stillsteht und das Bohrgestänge aus der Bohrung herausgezogen ist.

Grundwasserschutz

Bereits im Vorfeld wird eine mögliche Gefährdung des Grundwassers minimiert beziehungsweise ausgeschlossen. Der Bohrplatz wird versiegelt und individuell an die Gegebenheiten vor Ort angepasst. Im Bohrloch schützt das Standrohr (vgl. Abb. rechts) das Grundwasser. Die Zementation trennt die unterschiedlichen Grundwasserleiter (vgl. Glossar) wirkungsvoll.

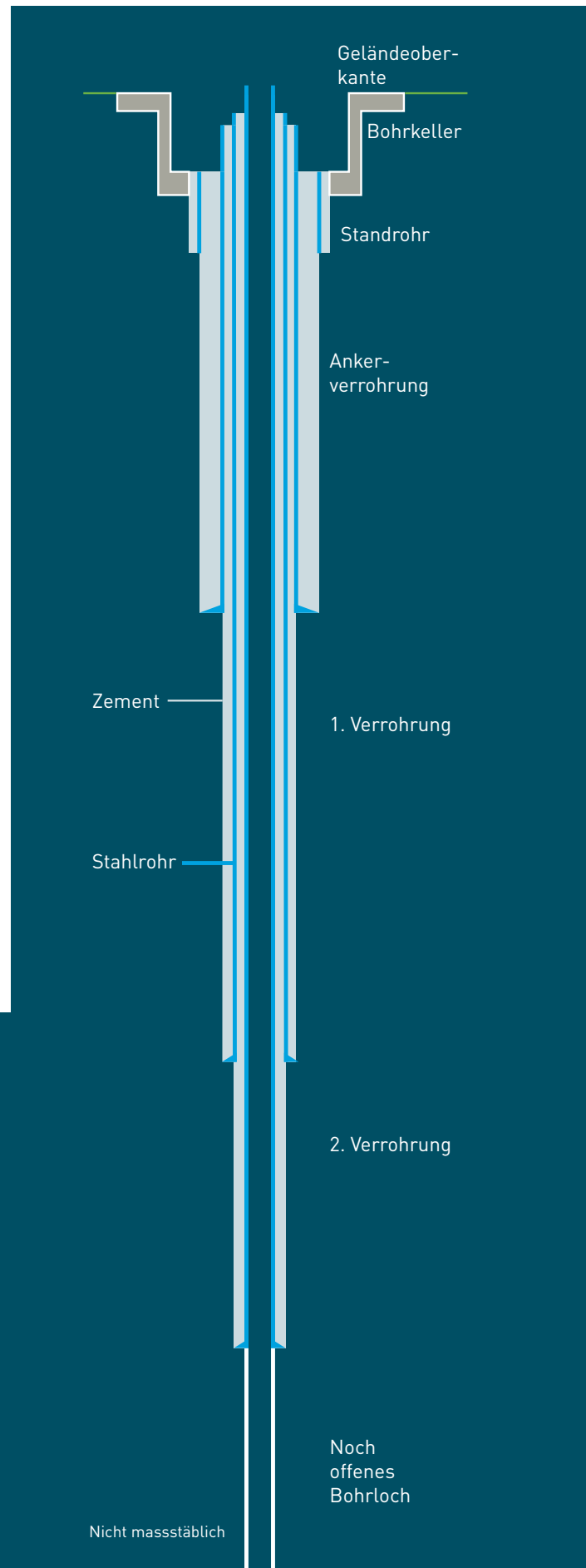


Abbildung 12
Schematischer Aufbau einer Bohrung mit eingebauter Verrohrung

Typischer Bohrplatz

Spülbecken

Zum Spülkreislauf gehören mehrere Spülbecken. Darin wird die Bohrspülung gereinigt und für den Einsatz konditioniert.

«Top Drive» (Kraftdrehkopf)

Leistungsfähiger elektrischer Antrieb für das Bohrgestänge

Spülpumpen

Pumpen für den Spülkreislauf

Infocontainer und Zugangskontrolle

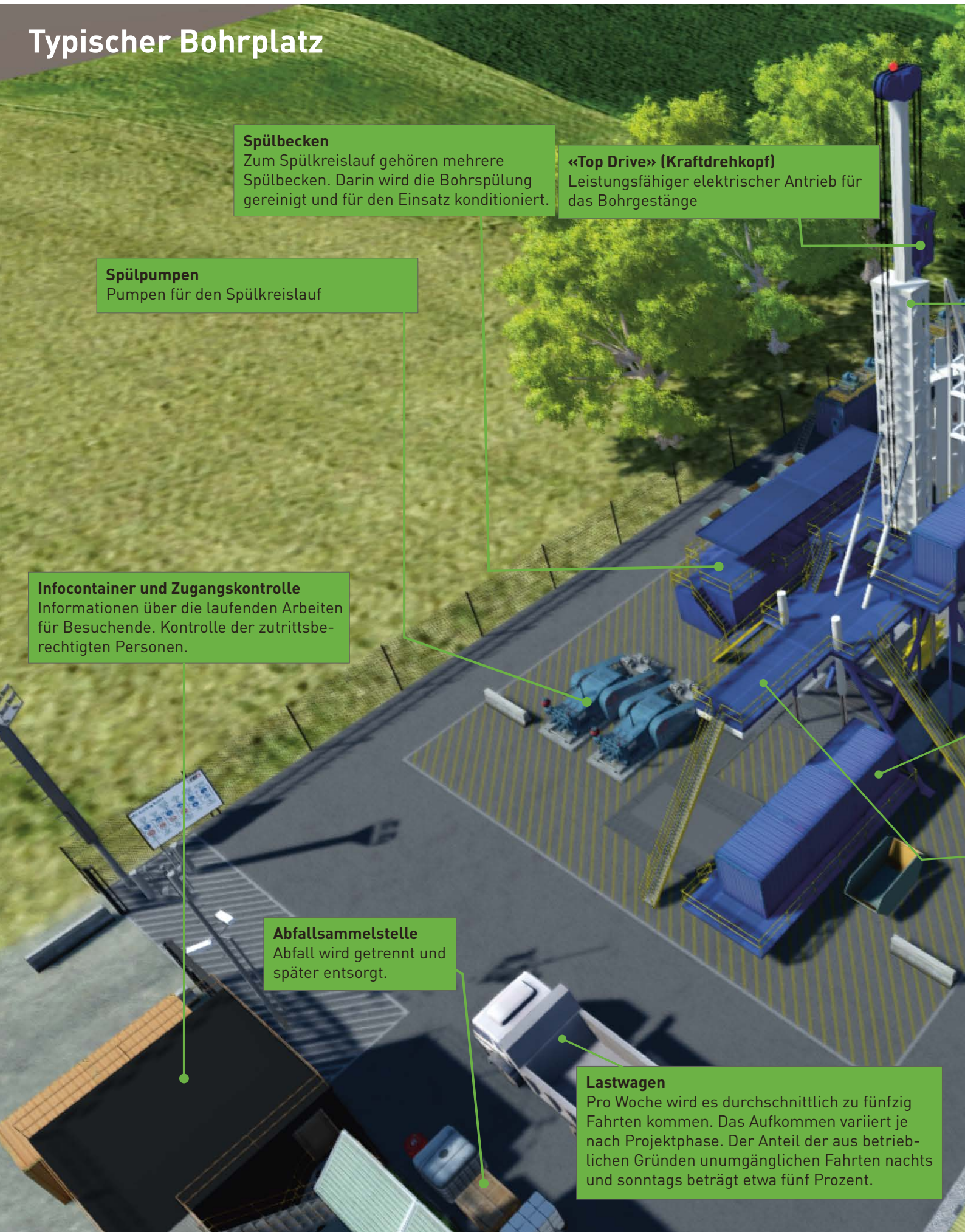
Informationen über die laufenden Arbeiten für Besuchende. Kontrolle der zutrittsberechtigten Personen.

Abfallsammelstelle

Abfall wird getrennt und später entsorgt.

Lastwagen

Pro Woche wird es durchschnittlich zu fünfzig Fahrten kommen. Das Aufkommen variiert je nach Projektphase. Der Anteil der aus betrieblichen Gründen unumgänglichen Fahrten nachts und sonntags beträgt etwa fünf Prozent.



Bohrturm

Das Herzstück der Bohrung: Der Bohrturm trägt das Gewicht des gesamten Bohrgestänges. Er hat eine Höhe von zirka 27 Metern.

Gestängerevolver

Ein Gestängerevolver ist ein senkrecht stehendes Gestängelager, das wie das Magazin eines Revolvers funktioniert.

Gestängelager

Vorrat an Bohrgestängen, die später für die Bohrung verwendet werden.

Stapelbecken

Vorrätige Stapelbecken für Wasser und Spülungen

«Doghouse» (Steuerung)

Von hier aus wird das Bohrgerät gesteuert.

Bei Bedarf werden **Schallschutzwände** aufgestellt.

Energieversorgung

Energie für das Bohrgerät

Container

In den Containern werden Büros eingerichtet. Darin werden Messinstrumente installiert und Material für Geologen und Arbeiter eingelagert.

Arbeitsplattform

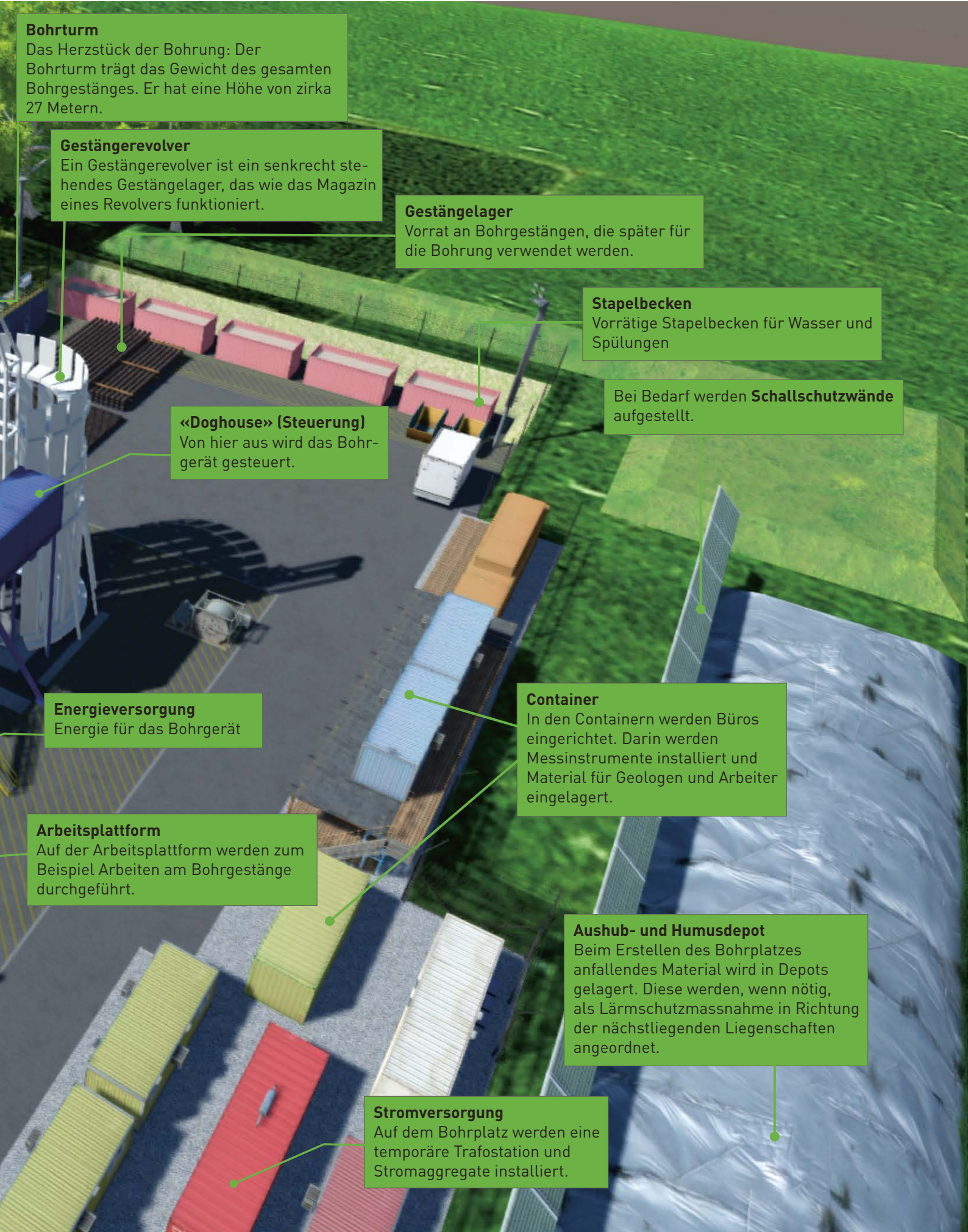
Auf der Arbeitsplattform werden zum Beispiel Arbeiten am Bohrgestänge durchgeführt.

Aushub- und Humusdepot

Beim Erstellen des Bohrplatzes anfallendes Material wird in Depots gelagert. Diese werden, wenn nötig, als Lärmschutzmassnahme in Richtung der nächstliegenden Liegenschaften angeordnet.

Stromversorgung

Auf dem Bohrplatz werden eine temporäre Trafostation und Stromaggregate installiert.



Glossar

Freisetzungspfade

Dies sind unter anderem verbundene Porenräume, Klüfte oder Störungszonen, die den Transport von Radionukliden durch das Wirt- beziehungsweise die Rahmengesteine bis in die Biosphäre ermöglichen können.

GR API

Diese Einheit kommt bei der Messung der natürlichen Radioaktivität in Gesteinen zur Anwendung. Dadurch können die Übergänge zwischen verschiedenen Gesteinsarten bestimmt werden.

Grundwasserleiter und -stauer

Ein Grundwasserleiter ist ein Gesteinskörper mit Hohlräumen (Poren, Klüften), der zur Leitung von Grundwasser geeignet ist. Im Gegensatz dazu leiten sogenannte Grundwasserstauer Grundwasser erheblich schlechter.

Hydrogeologie

Die Hydrogeologie ist eine Erdwissenschaft, die das Wasser im Untergrund erforscht.

Isotop

Als Isotope bezeichnet man Atome des gleichen chemischen Elements, die aber eine unterschiedliche Neutronenzahl im Kern haben.

Was ist ein Rahmenbewilligungsgesuch?

Geologische Tiefenlager benötigen eine Rahmenbewilligung des Bundesrats. Zum Erlangen der Rahmenbewilligung reicht die Nagra Rahmenbewilligungsgesuche ein. Diese beschreiben stufengerecht die Anlagen in ihren Grundzügen an den vorgeschlagenen Standorten. Mit der Rahmenbewilligung werden der Standort, die Grösse und die ungefähre Lage der wichtigsten Bauten festgelegt. Detaillierte Beschreibungen von Anlage, Prozessen und Technologien werden später im Rahmen des Baubewilligungs- respektive des Betriebsbewilligungsgesuchs benötigt.

Lagerbedingte Einflüsse

Durch ein Tiefenlager bedingte Einflüsse auf das Wirtgestein (z.B. Wärmeentwicklung, chemische Wechselwirkungen).

Lagertyp

Es wird zwischen Tiefenlagern für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und solchen für hochaktive Abfälle (HAA) unterschieden. Als dritte Möglichkeit gibt es das Kombilager, in dem beide Abfallarten eingelagert werden können.

Lagerperimeter

Der Lagerperimeter umfasst denjenigen Wirtgesteinsbereich im Untergrund eines geologischen Standortgebiets, der unter Sicherheitsaspekten am besten für die Aufnahme eines geologischen Tiefenlagers geeignet ist.

Geologische Langzeitentwicklung

Dies bezeichnet die langfristige Entwicklung der Erdoberfläche zum Beispiel durch Erosion.

Langzeitsicherheit

Die Standortwahl und die Auslegung eines Tiefenlagers sorgen für die Langzeitsicherheit, so dass eine Gefährdung auch über sehr lange Zeiträume ausgeschlossen werden kann.

Naturalologa

Im Gegensatz zu Laborexperimenten kann man an Naturalologa Abläufe beobachten, die sich teilweise über viele Millionen Jahre erstreckt haben.

Nutzungskonflikte

Das Kernenergiegesetz verlangt den Schutz eines geologischen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle vor Eingriffen, was Einschränkungen für andere Nutzungen mit sich bringen kann. Ein geologisches Tiefenlager darf aber vorhersehbare zukünftige Nutzungen von Bodenschätzen nicht unnötig einschränken.

Quartär

Das Quartär ist ein Zeitabschnitt in der Geologie, der vor zirka 2,5 Millionen Jahren begann.

Radionuklid

Instabiler Atomkern, der unter Aussendung von ionisierender Strahlung zerfällt. Es gibt natürlich vorkommende und künstlich erzeugte Radionuklide.

Seismik

Mit seismischen Messmethoden wird der geologische Untergrund mithilfe künstlich angeregter Schwingungen räumlich abgebildet.

Sondiergesuch

Gesuch um Bewilligung einer Tiefbohrung. Dokumentiert darin sind unter anderem die Interessenabwägung bei der konkreten Standortwahl und der voraussichtliche Aufbau des Bohrplatzes.

Tiefenlage

Die Tiefenlage eines geologischen Tiefenlagers sorgt für eine räumliche Trennung der Abfälle vom Lebensraum des Menschen. Die Lagerebene muss genug tief sein, damit Erosionsprozesse das Lager

nicht unzulässig beeinträchtigen, darf aber wegen der bautechnischen Machbarkeit nicht zu tief liegen.

Tiefenlager

Das geologische Tiefenlager ist eine Anlage in stabilen und undurchlässigen Gesteinsschichten, in der die radioaktiven Abfälle sicher entsorgt werden können.

Wasserhaltung

Kontrolle von untertäglich angetroffenem Wasser.

Wirtgestein, Rahmengesteine, einschlusswirksamer Gebirgsbereich

Das Wirtgestein nimmt die Lagerkammern des geologischen Tiefenlagers auf und trägt massgeblich zur Radionuklidrückhaltung bei. Ober- und unterhalb des Wirtgesteins können gering durchlässige Rahmengesteine liegen. Wirt- und Rahmengesteine werden als «einschlusswirksamer Gebirgsbereich» bezeichnet.

Zum Weiterlesen

Nagra (2016): Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3 – Nördlich Lägern; NAB 16-28

Nagra (2014): Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3; NAB 14-83

Nagra (2002): Projekt Opalinuston – Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse – Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive Abfälle sowie langlebige mittelaktive Abfälle; NTB 02-03

Broschüren und Themenhefte

«Erosion – Geologische Langzeitentwicklung und Tiefenlager», Dezember 2017

«Bohrungen für Quartäruntersuchungen», Februar 2018

«Radioaktive Abfälle – Woher, wieviel, wohin?», März 2017

«Langzeitsicherheit – Die Hauptaufgabe der Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle», Oktober 2015

Sie können diese Dokumente unter www.nagra.ch im Bereich «Publikationen» herunterladen oder bestellen.

Wo sind Tiefbohrungen

Bis September 2018 wurden insgesamt 22 Sondiergesuche für Tiefbohrungen in drei Standortgebieten eingereicht. Zurzeit ist für Nördlich Lägern ein weiteres Gesuch vorgesehen. Voraussichtlich werden nicht alle Bohrungen durchgeführt. Bei den Untersuchungen werden laufend neue Erkenntnisse gewonnen. Aus diesem Grund reicht die Nagra mehr Gesuche ein, als später zur Ausführung kommen, um dann jeweils flexibel entscheiden zu können, welche weiteren Bohrungen für die Abklärungen am besten sind.

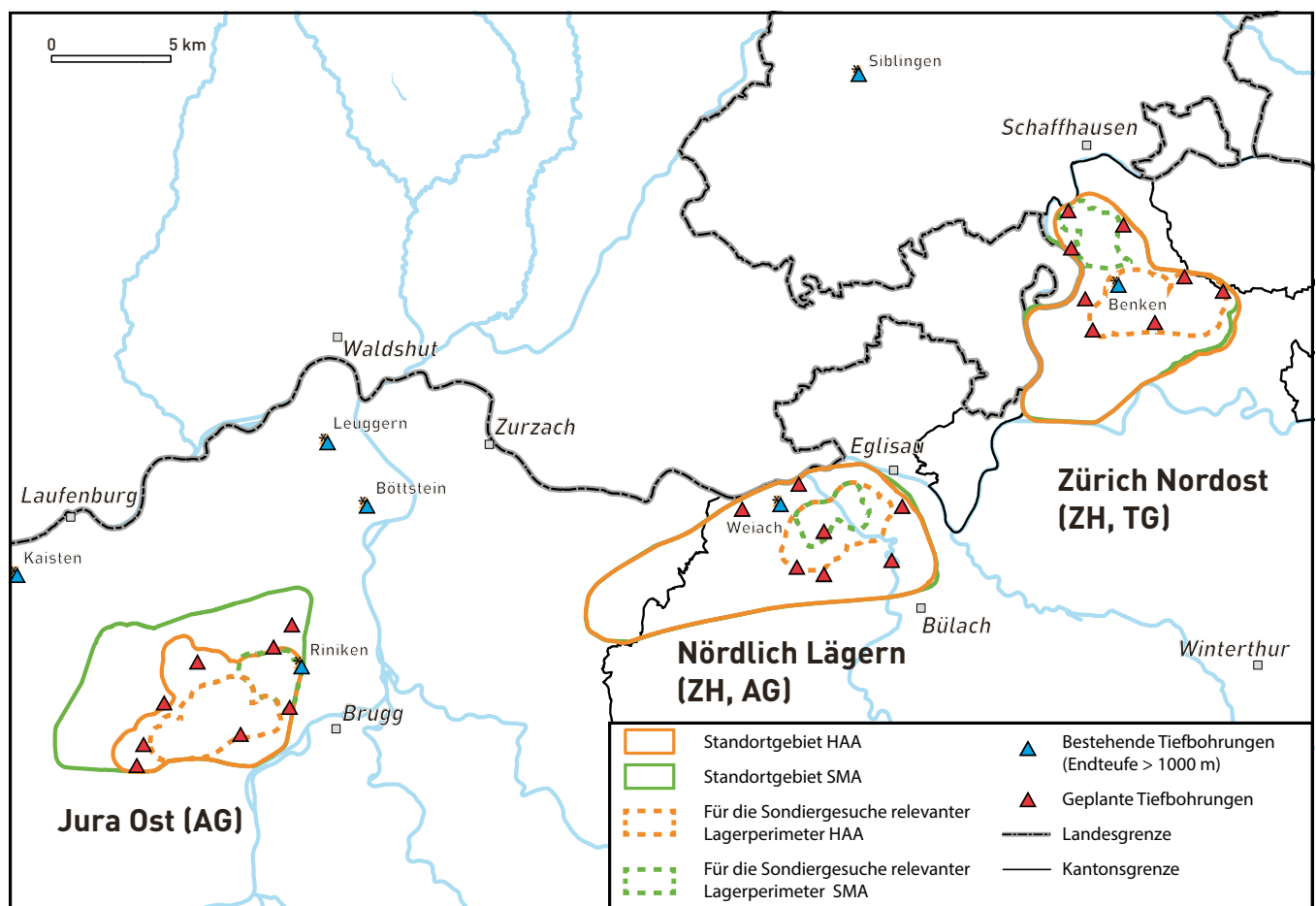


Abbildung 13

Die Bohrplätze werden um die Lagerperimeter angeordnet. Zwar möchte man das Wirtgestein Opalinuston so genau wie möglich charakterisieren, aber direkt in die Perimeter abgeteufte Bohrungen würden dieses beeinträchtigen.

beantragt?

Faktenblätter – Tiefbohrungen

«Beschreibung Bohrplatz und Ziel der Sondierbohrungen»

Jura Ost

Nördlich Lägern

Zürich Nordost

Alle Faktenblätter können auch unter www.nagra.ch → Publikationen/Downloads → Broschüren heruntergeladen werden.

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
Postfach 280
5430 Wettingen
Schweiz

Tel. 056 437 11 11
Fax 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch
www.nagra-blog.ch

nagra ● **aus verantwortung**