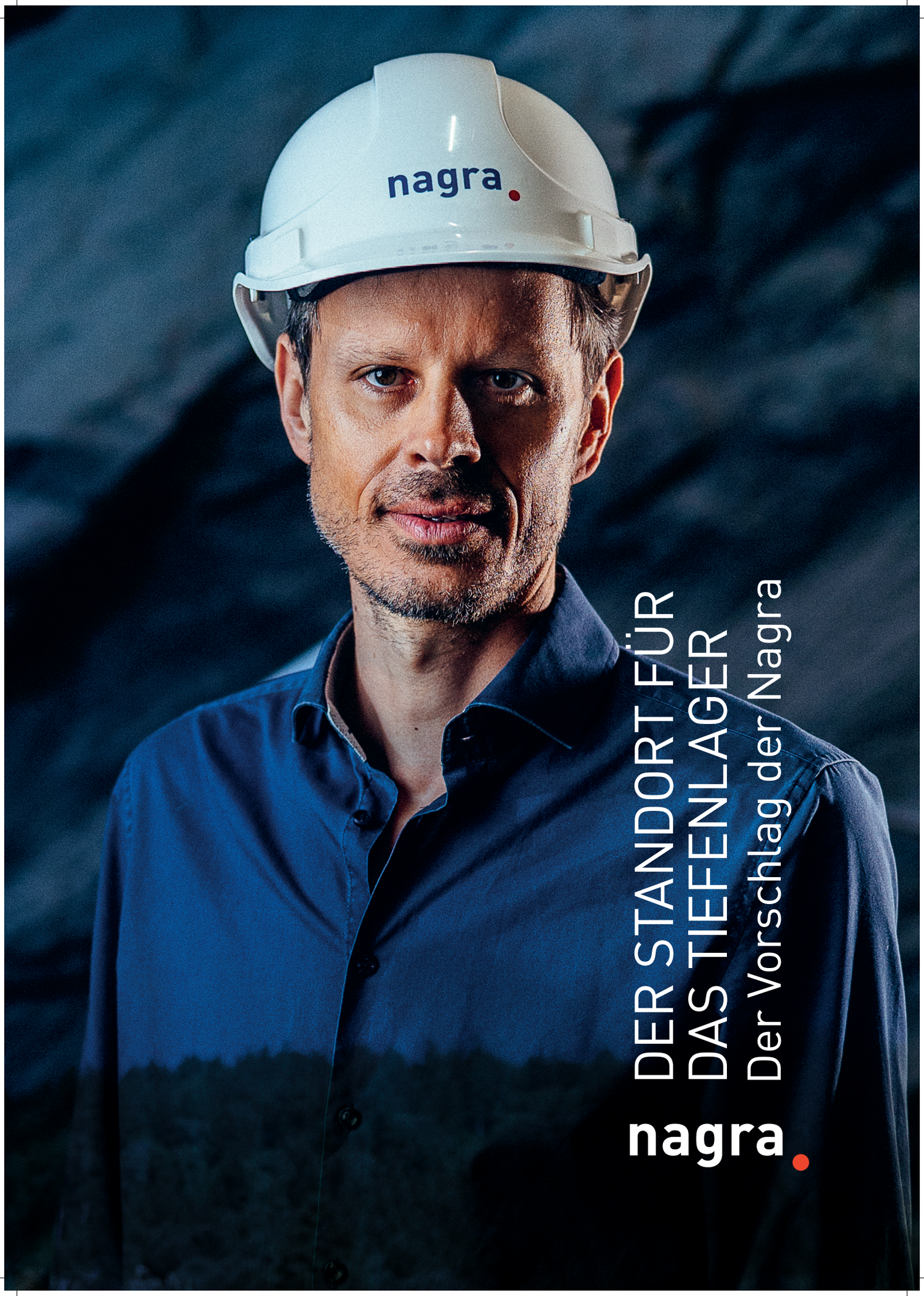



# DER STANDORT FÜR DAS TIEFENLAGER

Der Vorschlag der Nagra

nagra.

20220823_ASR Bericht_D.indd 1 24.08.22 18:58

Mit dem vorliegenden Bericht informiert die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) über den Standortvorschlag für das geologische Tiefenlager in der Schweiz mit den dazugehörenden Bauten an der Oberfläche. In den nächsten rund zwei Jahren erarbeitet die Nagra die Rahmenbewilligungsgesuche und Fachdokumentationen, unter anderem einen detaillierten Bericht zur Standortwahl, und reicht diese voraussichtlich 2024 beim Bund ein. Die Behörden prüfen den Standortvorschlag der Nagra gestützt auf die eingereichten Unterlagen.

Die bei der Standortsuche involvierten Akteure haben sich darauf geeinigt, dass die Nagra ihren Vorschlag möglichst transparent und früh kommuniziert, nicht erst beim Einreichen des Gesuchs. Die Nagra wird mit den betroffenen Regionen und Kantonen zusammenarbeiten, um die Rahmenbewilligungsgesuche auszuarbeiten und die Anlagen an der Oberfläche zu planen. Der vorliegende Bericht richtet sich an die involvierten Kreise auf regionaler und kantonaler Ebene sowie an die interessierte Öffentlichkeit. Die technisch-wissenschaftliche Datenbasis der Darstellungen in diesem Bericht ist unter den eingefügten QR-Codes einsehbar.

20220823_ASR Bericht_D.indd 2 24.08.22 18:58

**ZUSAMMENFASSUNG**

Vorwort 2
Worum geht es? 4
Der Standortvorschlag der Nagra: Nördlich Lägern 6
Das geologische Tiefenlager in der Schweiz 8

**1 DIE AUFGABE 10**
Kommende Generationen schützen 13
Warum die Schweiz ein Tiefenlager braucht 15

**2 DIE LÖSUNG: DAS TIEFENLAGER 16**
So funktioniert das Schweizer Tiefenlager 18
Der Endlagerbehälter: Beispiel einer technischen Barriere 20
Der Opalinuston: Die wichtigste geologische Barriere 23

**3 DIE STANDORTSUCHE 24**
Das Standortwahlverfahren 26
Schrittweise zum sichersten Standort 28
Wieso die Nordschweiz? 30
Die Datengrundlage für den Entscheid 32
Gemeinsamkeiten und Unterschiede 34
Die Qualität der Barriere 38
Die Stabilität der Barriere 42
Die Flexibilität 46

**4 DER STANDORTVORSCHLAG 48**
Begründung Standortvorschlag der Nagra 50
Weshalb Nördlich Lägern? 52
Die Oberflächenanlage beim Haberstal 55
Visualisierung der Oberflächenanlage 56
Verpackungsanlagen beim Zwilag 58

**5 DER AUSBLICK 60**
So geht es weiter 62

# SICHERHEIT FÜR KOMMENDE GENERATIONEN

## Liebe Leserinnen und Leser

Mit unserem Standortvorschlag ist beim Jahrhundertprojekt Tiefenlager ein wichtiger Meilenstein erreicht. In Nördlich Lägern schliesst das Gestein im Untergrund den radioaktiven Abfall langfristig  am besten ein, deshalb ist dies der sicherste Standort für ein geologisches Tiefenlager. Hier bauen wir das Tiefenlager, wenn die Bewilligung vorliegt. Die dazugehörenden Verpackungsanlagen sollen beim Zwischenlager in Würenlingen zu stehen kommen.

Wir sind stolz auf die Arbeit, die wir in den letzten Jahren und Jahrzehnten geleistet haben. Aus wissenschaftlicher Sicht sind die Grundlagen gelegt: Die Schweiz hat ein sicheres Konzept, ein ideales Gestein, und nun schlagen wir den besten Standort vor.

Ob unsere Arbeit und unser Standortvorschlag überzeugen, beurteilen der Bundesrat, das Parlament und, im Fall eines Referendums, die Schweizer Bevölkerung. Die Nagra macht also Vorschläge, die Politik und die Gesellschaft entscheiden. Wir wissen um die Verantwortung, die wir bei dieser anspruchsvollen nationalen Aufgabe mit viel Respekt übernehmen.

Bei allem Stolz auf das Erreichte sind wir uns gleichzeitig im Klaren: Das Tiefenlager wird in einer Region gebaut, in der Menschen leben und arbeiten. Auch wenn gerade der Schutz von Mensch und Umwelt das Ziel des Tiefenlagers ist, wünscht sich niemand eines in der Nachbarschaft. Mit unserem Vorschlag sind die Standortgemeinden sowie die Kantone Zürich und Aargau direkt betroffen. Daraus ergeben sich in den Regionen Fragen und Vorbehalte, vielleicht auch Ärger und Ängste – dessen sind wir uns bewusst.

Bis zum Bau vergeht noch viel Zeit. Diese wollen wir nutzen, um das Projekt gemeinsam mit den Regionen und den Kantonen weiterzuentwickeln. Auf viele Fragen werden wir nur miteinander gute Antworten finden. Für uns sind deshalb der Dialog und die Zusammenarbeit mit den betroffenen Menschen künftig noch wichtiger als bisher.

Wir möchten das Problem des radioaktiven Abfalls jetzt lösen, anstatt es kommenden Generationen aufzubürden – und wir möchten es gemeinsam mit Ihnen lösen. Auf diese Zusammenarbeit freuen wir uns.

Beste Grüsse

Matthias Braun

*«Wir möchten das Problem des radioaktiven Abfalls jetzt lösen, anstatt es kommenden Generationen aufzubürden – und wir möchten es gemeinsam mit Ihnen lösen.»*

**MATTHIAS BRAUN, CEO DER NAGRA**

# WORUM GEHT ES?

## 1 DIE AUFGABE

Es ist eine nationale Aufgabe: die langfristig sichere Entsorgung des radioaktiven Abfalls der Schweiz. Dieser stammt zu einem Grossteil aus den Kernkraftwerken, aber auch aus Medizin, Industrie und Forschung. Heute lagern die meisten Abfälle im Zwischenlager in Würenlingen. Seit Jahrzehnten arbeitet die Nagra an einer langfristig sicheren Lösung.

## 2 DIE LÖSUNG

ExpertInnen weltweit sind sich einig: Ein geologisches Tiefenlager ist langfristig die sicherste Variante für die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Deshalb wurde diese Lösung in der Schweiz im Gesetz verankert. Ein Tiefenlager besteht aus Stollen und Kavernen tief im Untergrund. Technische Barrieren wie Behälter aus Stahl und geologische Barrieren wie das Gestein schliessen die Abfälle langfristig ein. Die wichtigste Barriere ist das dichte Gestein, in dem das Tiefenlager gebaut wird: das Wirtgestein. In der Schweiz eignet sich der sogenannte Opalinuston dafür am besten.

## 3 DIE STANDORTSUCHE

Der Bund leitet seit 2008 die Standortsuche. Ausgehend von der gesamten Schweiz wurden in mehreren Etappen weniger geeignete Gebiete und Gesteine ausgeschlossen. 2018 hat der Bundesrat festgelegt, dass die Nagra drei Gebiete vertieft untersuchen soll: Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost. Die Nagra hat diesen Auftrag ausgeführt und kann deshalb heute den Standort für ein Tiefenlager vorschlagen.

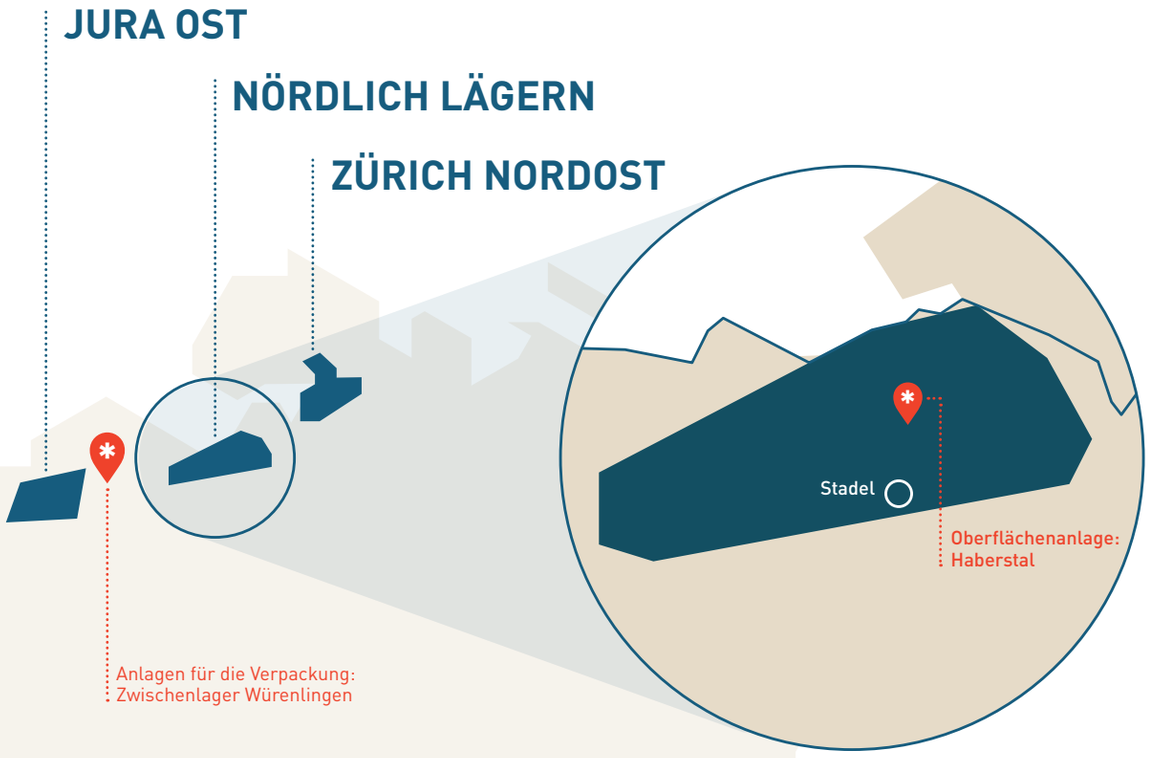
## 4 DER STANDORTVORSCHLAG

Nördlich Lägern ist der Standort mit den grössten Sicherheitsreserven und eignet sich aus Sicht der Nagra am besten für ein Tiefenlager für sämtliche radioaktiven Abfälle der Schweiz. In Nördlich Lägern schliesst das Gestein die Abfälle am besten ein – heute und in Zukunft. Zudem ist der geeignete Bereich für das Lager am grössten. Die gesetzlichen Grenzwerte können nicht nur eingehalten, sondern um ein Vielfaches unterschritten werden.

Auf Empfehlung der Region und nach Stellungnahme des Kantons Zürich hat die Nagra den Standort für die Oberflächenanlage bestimmt: das Gebiet Haberstal in der Gemeinde Stadel. Die Anlagen für die Verpackung der Abfälle sollen beim Zwischenlager in der Gemeinde Würenlingen gebaut werden.

## 5 DER AUSBLICK

Die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen sind geschaffen, die Nagra erarbeitet nun die Rahmenbewilligungsgesuche und reicht diese in rund zwei Jahren beim Bund ein. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat und andere ExpertInnen werden die Gesuche prüfen. Danach entscheiden der Bundesrat, das Parlament und, im Fall eines Referendums, die Schweizer Bevölkerung. Die Entsorgung der radioaktiven Abfälle wird von den Verursachern bezahlt, die Finanzierung ist durch die Stilllegungs- und Entsorgungsfonds gesichert. Heute ist ein wichtiger Meilenstein erreicht: Nach einer langen Forschungs- und Entwicklungsphase und der Standortsuche beginnt die Phase der Bewilligung und der Umsetzung. Die Nagra ist überzeugt: Ein solches Jahrhundertprojekt braucht einen Beitrag aller Beteiligten – Gesellschaft, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik.




# NÖRDLICH LÄGERN: DER BESTE STANDORT MIT DEN GRÖSSTEN SICHERHEITSRESERVEN

# DER STANDORTVORSCHLAG DER NAGRA: NÖRDLICH LÄGERN

Die Untersuchungen der Nagra zeigen: Die Qualität, die Stabilität und die Flexibilität sind in Nördlich Lägern am grössten. Deshalb eignet sich dieser Standort am besten.

Alle drei Standortgebiete erfüllen die Voraussetzungen für den Bau eines Tiefenlagers, das Gebiet Nördlich Lägern eignet sich aber am besten. Die Nagra hat die drei Gebiete basierend auf den Vorgaben der Behörden untersucht. Dabei hat sie drei relevante Unterschiede identifiziert, die bei der Standortwahl entscheidend sind:

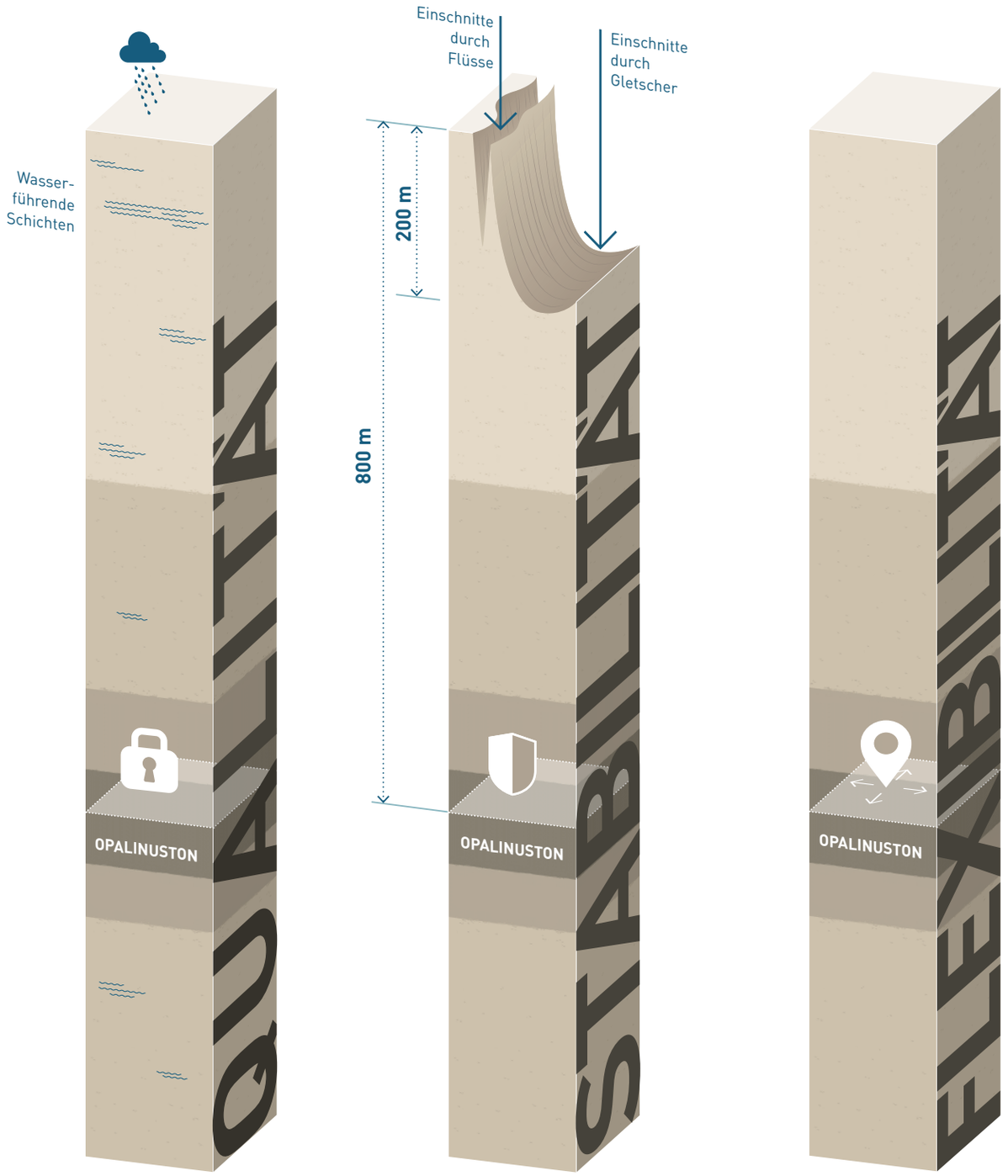
**Die Qualität der geologischen Barriere:** Eine grosse Distanz vom Opalinuston zur nächsten wasserführenden Schicht trägt zu einem Einschluss der Abfälle bei. Und wenn das Wasser in den Poren des Opalinustons sehr alt ist – es also lange im Gestein verweilte –, ist dies ein Hinweis auf eine hohe Einschlusswirksamkeit respektive eine gute Qualität der Barriere. In Nördlich Lägern ist die Distanz zur nächsten wasserführenden Schicht am grössten und das Porenwasser am ältesten.

**Die Stabilität der geologischen Barriere:** Der Opalinuston muss die Abfälle nicht nur heute, sondern auch in ferner Zukunft sicher einschliessen. Natürliche Einflüsse wie Erosion durch Gletscher und Flüsse können Landschaft und Untergrund verändern. In Nördlich Lägern ist das Tiefenlager am besten davor geschützt, unter anderem wegen der grossen Tiefenlage. Die Langzeitstabilität ist hier am grössten.

**Die Flexibilität:** Weil es in Nördlich Lägern im Untergrund den grössten zusammenhängenden Bereich ohne grössere Störungen im Gestein gibt, ist die Flexibilität für den Bau des Lagers am grössten. Aus Sicht der Nagra hat das Standortgebiet Nördlich Lägern insgesamt die meisten Sicherheitsreserven und eignet sich daher am besten für ein Tiefenlager.

Ein Tiefenlager besteht nicht nur aus Anlagen im Untergrund. Auch an der Oberfläche braucht es Infrastruktur für Bau und Betrieb des Lagers. Parallel zu den Abklärungen im Untergrund wurde mit den betroffenen Regionen und Kantonen erarbeitet, wo diese Oberflächeninfrastruktur dereinst stehen soll.

Für die Standortregion Nördlich Lägern wurde ein Areal in der Gemeinde Stadel beim Haberstal bestimmt. Dieser Standort für die Oberflächenanlage schneidet aus Sicht der Region und des Kantons Zürich, verglichen mit weiteren evaluierten Arealen, am besten ab. Von dort aus wird das Lager im Untergrund gebaut, betrieben und überwacht. Eine Umladeanlage für Aushub- und Baumaterial im Gebiet Hardrüttenen in der Gemeinde Weiach schliesst die Anlage ans bestehende Eisenbahnnetz an. Die Anlagen für die Verpackung der Abfälle werden beim Zwischenlager in der Gemeinde Würenlingen geplant. Dort lassen sich mit der bestehenden Infrastruktur am meisten Synergien realisieren, zum Beispiel bei der Verpackungsanlage für hochaktive Abfälle. Diese braucht beim Zwischenlager weniger Platz als bei der Oberflächenanlage in Stadel. Zudem muss weniger Wald gerodet und weniger Erde bewegt werden. Die Anlage lässt sich gut in den bestehenden Industriekomplex des Zwischenlagers eingliedern.

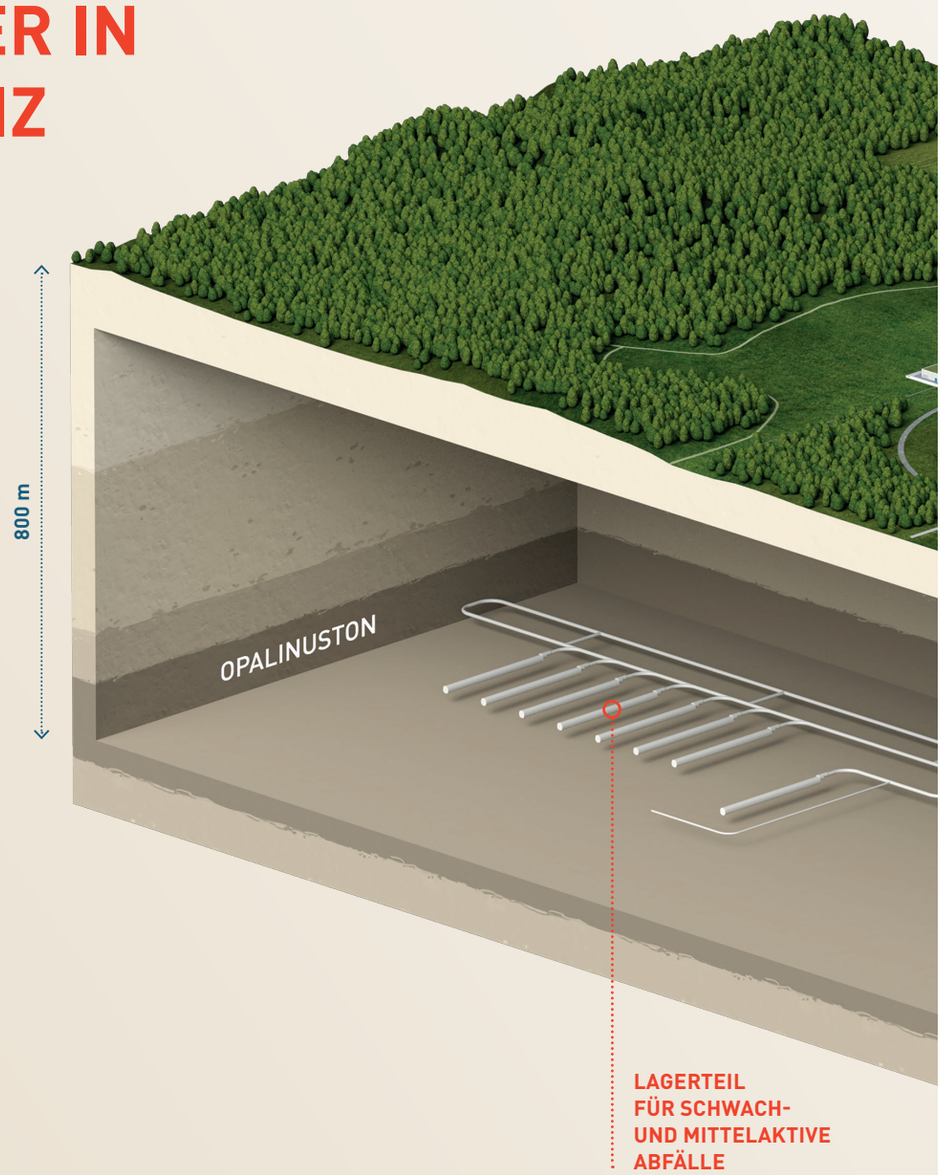



**IN NÖRDLICH LÄGERN SCHLIESST DIE GEOLOGISCHE BARRIERE DIE ABFÄLLE AM BESTEN EIN.**

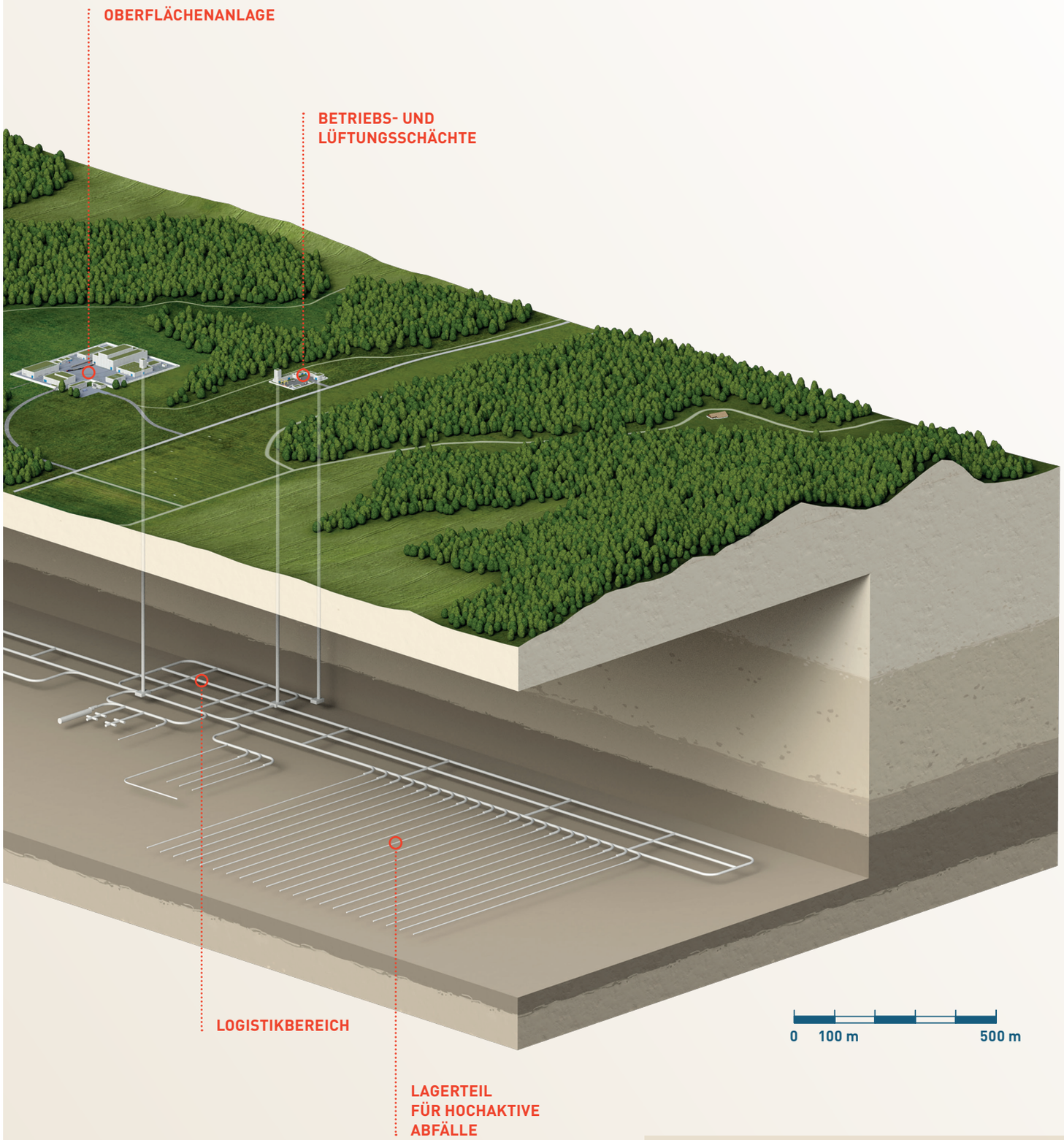
**IN NÖRDLICH LÄGERN IST DIE LANGZEITSTABILITÄT DER GEOLOGISCHEN BARRIERE AM GRÖSSTEN.**

**IN NÖRDLICH LÄGERN IST DER GEEIGNETE BEREICH UND DAMIT DIE FLEXIBILITÄT BEI DER ANORDNUNG DES LAGERS AM GRÖSSTEN.**

# DAS GEOLOGISCHE TIEFENLAGER IN DER SCHWEIZ




Die radioaktiven Abfälle werden tief im Untergrund in einer dichten Gesteinsschicht gelagert. An der Oberfläche gibt es Anlagen für Bau und Betrieb. Schächte verbinden die Oberflächenanlagen und das Lager in der Tiefe.




**WEITERE INFORMATIONEN**

- Das geologische Tiefenlager / BFE
- Das geologische Tiefenlager / ENSI
- Das Kombilager
- Standortunabhängiger Vergleich eines Kombilagers mit zwei Einzellagern hinsichtlich Bau- und Betriebsabläufen sowie Umwelt (NAB 19-15)

20220823_ASR Bericht_D.indd 9 24.08.22 18:58

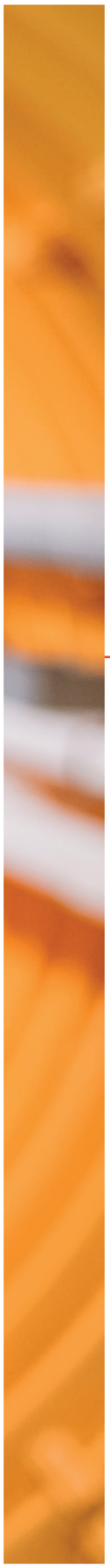
# 1 DIE AUFGABE

«Der radioaktive Abfall ist da, wir müssen ihn sicher entsorgen. Und zwar so, dass sich künftige Generationen nicht mehr darum kümmern müssen.»

**PHILIPP SENN, BEREICHSLEITER KOMMUNIKATION & PUBLIC AFFAIRS**

*Zuvor als Ingenieurgeologe tätig, setzt sich Philipp Senn bei der Nagra als Vermittler zwischen Wissenschaft und Gesellschaft ein.*

*Seit 50 Jahren forscht die Nagra an einer sicheren Lösung – hier im Felslabor Grimsel.*



# KOMMENDE GENERATIONEN SCHÜTZEN

Tief im Untergrund soll der radioaktive Abfall der Schweiz sicher in einem Tiefenlager entsorgt werden – bis er nicht mehr gefährlich ist.

Der radioaktive Abfall der Schweiz stammt zu rund vier Fünfteln von den Kernkraftwerken, ein Fünftel fällt in der Medizin, der Industrie und der Forschung an. Angenommen, die Kernkraftwerke laufen sechzig Jahre lang, dann fallen insgesamt rund 82 000 Kubikmeter Abfall an, inklusive Verpackung. Das entspricht knapp zwei Dritteln des Volumens des historischen Teils der Zürcher Bahnhofshalle.

## ZWEI ABFALLKATEGORIEN

Man unterscheidet zwischen hochaktiven sowie schwach- und mittelaktiven Abfällen. Rund 10 Prozent sind hochaktiv: Dabei handelt es sich hauptsächlich um verbrauchte Brennelemente und verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung. Die restlichen rund 90 Prozent sind schwach- und mittelaktiv und stammen grösstenteils aus dem Betrieb und dem Rückbau der Kernkraftwerke und zu einem kleineren Teil aus verschiedenen Anwendungen in Medizin, Industrie und Forschung.

Diese radioaktiven Stoffe müssen so lange sicher eingeschlossen werden, bis die Radioaktivität so weit abgeklungen ist, dass sie nicht mehr gefährlich ist. Am Anfang geht dieser Prozess schneller: Nach 1000 Jahren sind noch gut 1,5 Prozent der Radioaktivität übrig. Mit der Zeit klingt sie immer langsamer ab. Hochaktiver Abfall strahlt nach 200 000 Jahren noch so wie das einst abgebaute Uranerz. Schwach- und mittelaktive Abfälle strahlen weniger lang: Nach rund 30 000 Jahren sind sie etwa noch so radioaktiv wie Granitgestein.

**WEITERE INFORMATIONEN**

- Typen radioaktiver Abfälle / Nagra
- Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung / BAG
- Wie lange strahlt radioaktiver Abfall?

© Connet Photoshopping GmbH, Peter Enz

*Im Felslabor Mont Terri führt die Nagra seit über 25 Jahren Experimente durch.*

# WARUM DIE SCHWEIZ EIN TIEFENLAGER BRAUCHT

ExpertInnen aus dem In- und Ausland haben über Jahrzehnte an einer Lösung geforscht, wie man radioaktiven Abfall für Hunderttausende von Jahren sicher einschliessen kann. Im Untergrund steht die Zeit praktisch still, darum ist heute das Tiefenlager als beste Lösung breiter Konsens. In der Schweiz ist das Tiefenlager im Gesetz verankert.

Es herrscht heute international breiter wissenschaftlicher Konsens darüber, dass hochaktiver Abfall langfristig nicht an der Oberfläche gelagert werden soll. Als beste Lösung gelten geologische Tiefenlager. Darin wird radioaktiver Abfall mehrere hundert Meter im Untergrund in geeigneten Gesteinsschichten gelagert. Weltweit befinden sich etliche Tiefenlager in Planung oder sind bereits im Bau. Auch die Schweiz hat sich für ein Tiefenlager entschieden und dies im Kernenergiegesetz verankert. Im Gegensatz zu anderen Ländern hat sie beschlossen, auch schwach- und mittelaktive Abfälle im Tiefenlager und nicht an der Erdoberfläche zu entsorgen. Um sicherzugehen, dass der radioaktive Abfall Mensch und Umwelt nicht schadet, wurde in der Schweiz der Betrachtungszeitraum für das Tiefenlager auf bis zu eine Million Jahre festgelegt.

## ENTSORGEN, WO DIE ZEIT ANDERS TICKT

Niemand kann vorhersagen, wie sich die Gesellschaft in der Zukunft entwickeln wird. Anders sieht es im Untergrund aus. Hier steht die Zeit praktisch still, an vielen Orten über viele Millionen Jahre hinweg. Deshalb können WissenschaftlerInnen zuverlässige Prognosen zu den Verhältnissen im Untergrund erstellen – bis weit in die Zukunft. Aus geologischer Sicht ist eine Einschlusszeit von einer Million Jahren ein überschaubarer Zeitraum. Nach dem Verschluss des Lagers ist dieses passiv sicher – das heisst, auch ohne menschliches Zutun. Das Tiefenlager wird mindestens bis zum Verschluss in etwa hundert Jahren überwacht. Bis zu diesem Zeitpunkt kann der Abfall bei Bedarf ohne grösseren Aufwand wieder zurück an die Oberfläche geholt werden.

**WEITERE INFORMATIONEN**

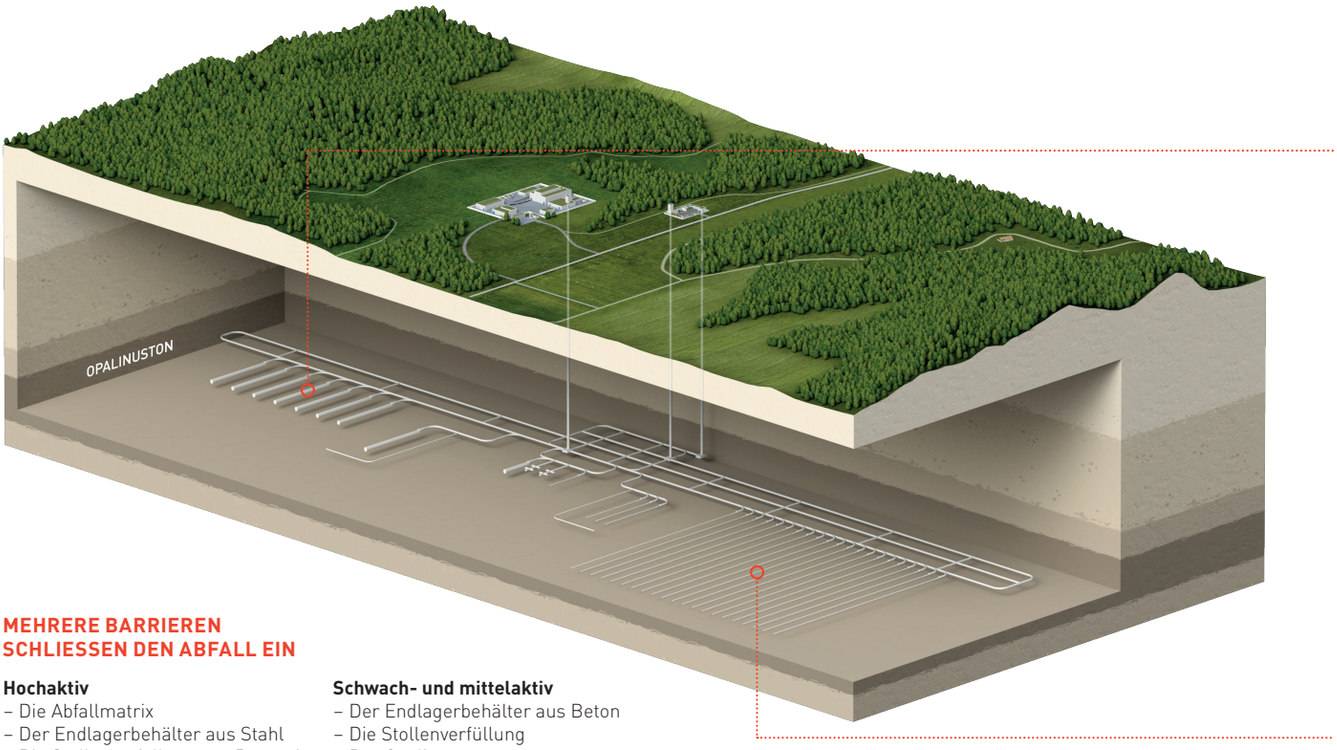
- Schweizer Kernenergiegesetz (KEG)
- Schlussbericht der Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA)

# DIE LÖSUNG: DAS TIEFENLAGER

«Unsere Lösung basiert auf dem optimalen Zusammenspiel von Technik und Wissenschaft – und auf einem Gestein, das den radioaktiven Abfall langfristig einschliesst.»

**SEVERIN WÄLCHLI, BEREICHSLEITER PROJEKTIERUNG UND BAU**

*Nach dem Maschinenbau-Studium und dem Doktorat in Verfahrenstechnik an der ETH Zürich arbeitete Severin Wälchli viele Jahre im Fachgebiet der Sicherheit von Untertagebauwerken. Heute leitet er bei der Nagra den Bereich Projektierung und Bau.*



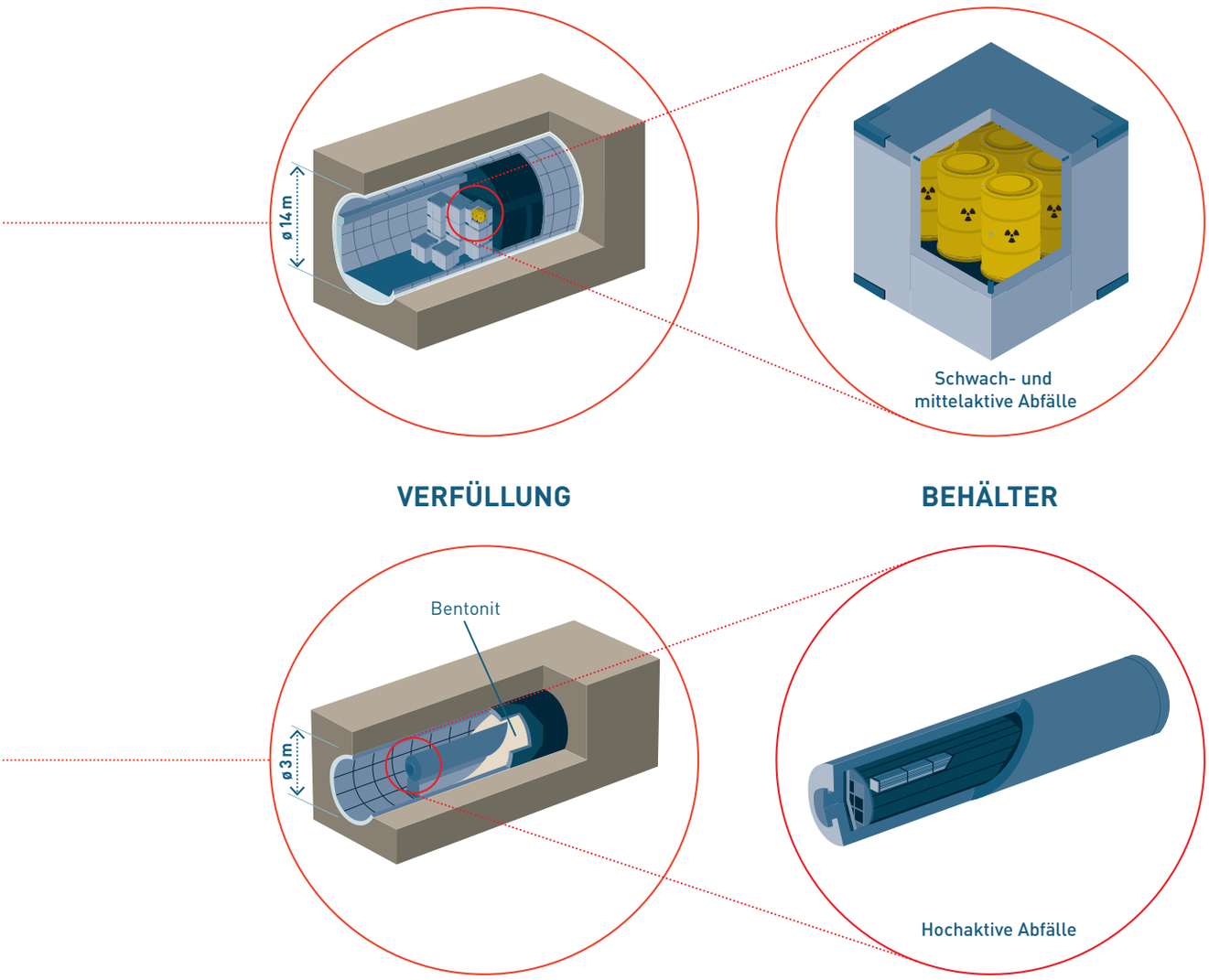

**MEHRERE BARRIEREN SCHLIESSEN DEN ABFALL EIN**

**Hochaktiv**
- Die Abfallmatrix
- Der Endlagerbehälter aus Stahl
- Die Stollenverfüllung aus Bentonit
- Der Opalinuston

**Schwach- und mittelaktiv**
- Der Endlagerbehälter aus Beton
- Die Stollenverfüllung
- Der Opalinuston

# SO FUNKTIONIERT DAS SCHWEIZER TIEFENLAGER

Das Tiefenlager verhindert, dass radioaktive Stoffe aus dem Abfall an die Oberfläche und somit in unseren Lebensraum gelangen. Möglich macht dies eine Abfolge von mehreren voneinander unabhängigen, gestaffelten Sicherheitsbarrieren. Die wichtigste geologische Barriere ist ein Tongestein mit dem Namen Opalinuston.




In der Nordschweiz gibt es in mehreren hundert Metern Tiefe die über hundert Meter dicke Opalinuston-Schicht. Diese hat Eigenschaften, die nützlich sind für den langfristigen Einschluss von radioaktivem Abfall: Der Opalinuston ist für Wasser weitestgehend undurchlässig, dichtet Risse von selbst wieder ab und bindet radioaktive Stoffe.

## TECHNISCHE UND GEOLOGISCHE BARRIEREN

Mehrere voneinander unabhängige, gestaffelte Sicherheitsbarrieren sorgen dafür, dass der radioaktive Abfall auch bei sehr unwahrscheinlichen Ereignissen im Tiefenlager verbleibt.

Die hochaktiven Stoffe von verbrauchten Brennelementen sind in Brennstoffpellets aus Uranoxid eingeschlossen, und jene aus der Wiederaufarbeitung sind in Glas eingebettet. Diese Abfallmatrix ist sehr schwer löslich und bildet die erste technische Barriere. Als zweite Barriere dient der dickwandige Endlagerbehälter aus Stahl, der die radioaktiven Abfälle einschliesst. Die dritte Barriere bildet die Stollenverfüllung. Nachdem die Abfallbehälter platziert sind, werden die Stollen wieder aufgefüllt. Dabei kommt ein Tongranulat – Bentonit – zum Einsatz. Bentonit hat ähnliche Eigenschaften wie Opalinuston: Er bindet radioaktive Stoffe und schliesst sie ein. Die vierte und langfristig wichtigste Barriere bilden der Opalinuston sowie weitere tonhaltige Gesteinsschichten ober- und unterhalb des Opalinustons, die sogenannten Rahmengesteine.

Auch beim schwach- und mittelaktiven Abfall kommen mehrere Barrieren zum Einsatz: Der verfestigte Abfall wird in Fässer verpackt und in Endlagerbehälter aus Beton eingegossen. Die Betonbehälter werden in Kavernen im Opalinuston gestapelt und die Zwischenräume verfüllt, die Kavernen werden versiegelt und verschlossen. Die wichtigste geologische Barriere bildet auch hier der Opalinuston.

**WEITERE INFORMATIONEN**

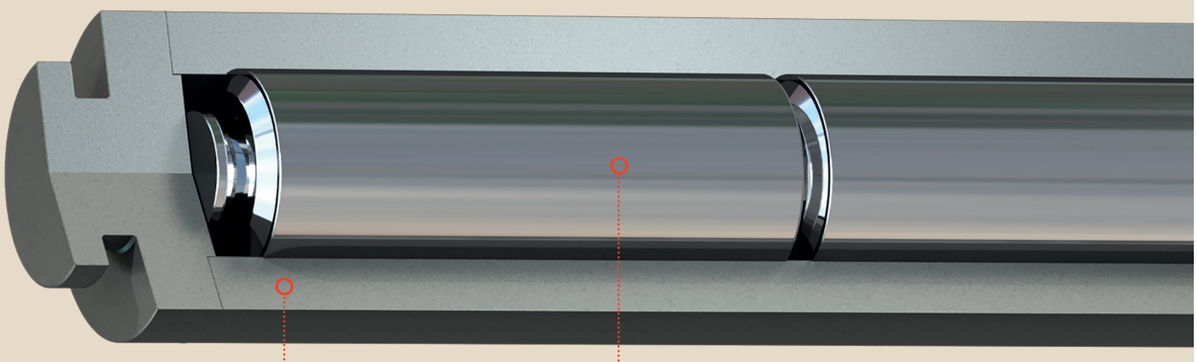
- Themenheft Entsorgung: Wieso ein Tiefenlager?
- Geologische Tiefenlager – Radioaktive Abfälle sicher entsorgen / ENSI
- Scientific and Technical Basis for the Geological Disposal of Radioactive Wastes / IAEA

# DER ENDLAGERBEHÄLTER: BEISPIEL EINER TECHNISCHEN BARRIERE

Eine wichtige Barriere für die hochaktiven Abfälle ist der dickwandige Endlagerbehälter. Er schliesst den Abfall mindestens 10 000 Jahre lang ein. In dieser Zeit klingt die Radioaktivität stark ab.

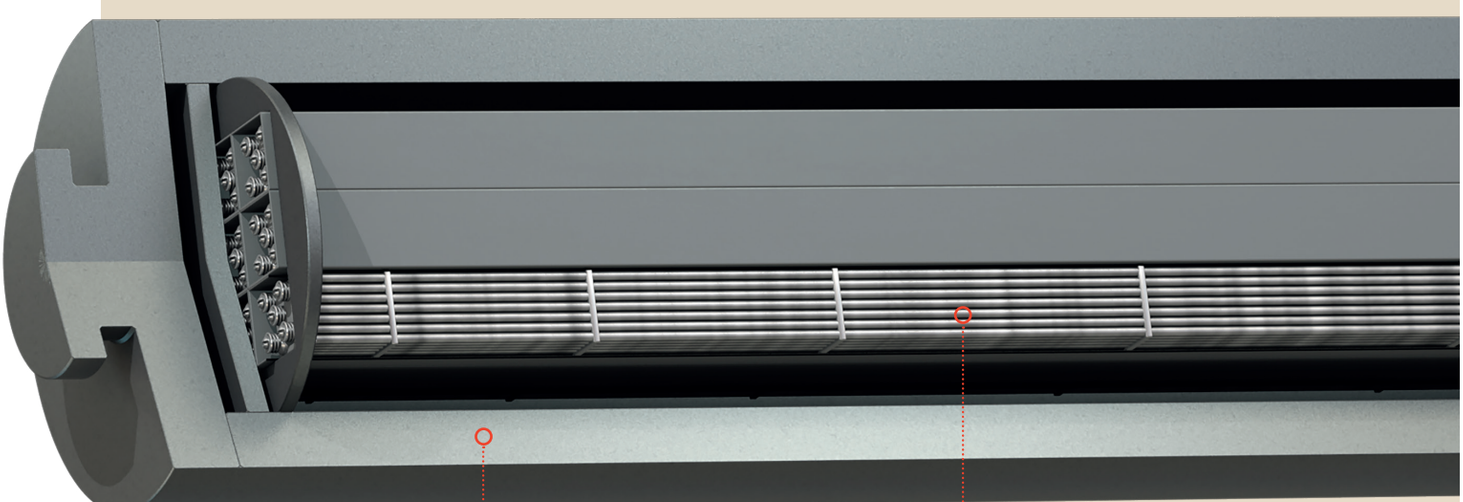
Im dickwandigen Endlagerbehälter aus Stahl stecken die abgebrannten hochaktiven Brennelemente oder verglaste Abfälle aus den Kernkraftwerken. Die Behörden verlangen, dass der Endlagerbehälter mindestens 1000 Jahre dicht bleibt. Ergebnisse aus Experimenten im Felslabor Mont Terri und Modellrechnungen zeigen, dass die Korrosion der Endlagerbehälter sehr langsam voranschreitet und die Behälter daher mindestens 10 000 Jahre dicht bleiben werden. Die Radioaktivität der Brennelemente nimmt über die Jahrtausende stetig ab: Nach 10 000 Jahren beträgt sie noch 0,5 Prozent des ursprünglichen Wertes. Wenn die Behälter undicht werden, halten die nachfolgenden Barrieren die radioaktiven Stoffe von der Umwelt fern.

Obwohl der heutige Endlagerbehälter mindestens zehnmal länger dicht bleibt als gesetzlich gefordert, forschen die WissenschaftlerInnen der Nagra daran, wie der Behälter noch langlebiger gemacht werden kann – zum Beispiel mit Kupferbeschichtungen. Der Entscheid über das definitive Design muss erst in rund zwanzig Jahren fallen. Bis zu diesem Zeitpunkt fliessen alle neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse und Technologien in einen optimalen Endlagerbehälter mit ein.



**ENDLAGERBEHÄLTER FÜR GLASKOKILLEN**

**GLASKOKILLEN**
In den Glaskokillen stecken verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung.



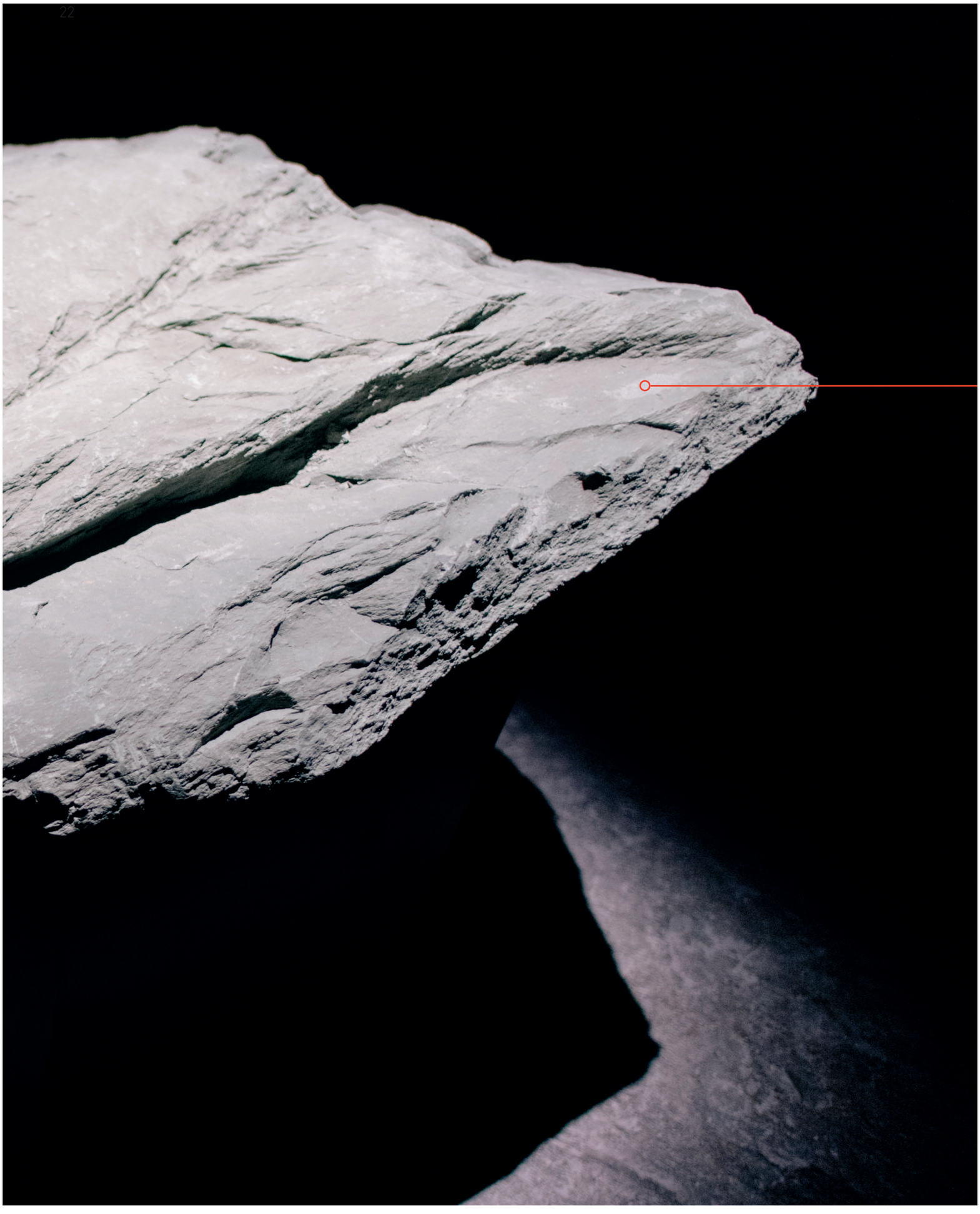
**ENDLAGERBEHÄLTER FÜR VERBRAUCHTE BRENNELEMENTE**

**BRENNELEMENTE**
Der Grossteil der hochaktiven Abfälle besteht aus verbrauchten Brennelementen.

**WEITERE INFORMATIONEN**

- Behältermaterial für radioaktive Abfälle / ENSI
- Development of Copper-Coated Canisters for the Disposal of SF and HLW in Switzerland (NTB 20-01)
- Canister Design Concepts for Disposal of Spent Fuel and High-Level Waste (NTB 12-06)

20220823_ASR Bericht_D.indd 21 24.08.22 18:58



# DER OPALINUSTON: DIE WICHTIGSTE GEOLOGISCHE BARRIERE

Der Opalinuston ist für Wasser weitestgehend undurchlässig, kann Risse von selbst wieder abdichten und ist in der Lage, radioaktive Stoffe zu binden. Deshalb ist dieses Tongestein die wichtigste geologische Barriere des Tiefenlagers.

Die ersten mindestens 10 000 Jahre hält der Endlagerbehälter die radioaktiven Stoffe der Brennelemente eingeschlossen. Wird er eines Tages undicht, hält die Stollenverfüllung aus Bentonit die allermeisten Stoffe zurück, bis sie nicht mehr radioaktiv sind. Der Opalinuston kommt erst nach Zehntausenden von Jahren zum Einsatz: zu einem Zeitpunkt, wo der grösste Teil der Radioaktivität bereits abgeklungen ist.

## DIE EIGENSCHAFTEN DES OPALINUSTONS

Dank drei entscheidenden Eigenschaften stellt der Opalinuston die wichtigste geologische Barriere des Tiefenlagers dar. Erstens ist er für Wasser weitestgehend undurchlässig. Fliessendes Tiefengrundwasser, das sich in den Gesteinsschichten ober- oder unterhalb des Opalinustons befindet, kann deshalb nicht mit dem radioaktiven Abfall in Kontakt kommen.

Falls sich zweitens beim Bau des Lagers oder im Lauf von Hunderttausenden Jahren durch Gesteinsverschiebungen Risse im Opalinuston bilden, würde dieser sie selbst wieder abdichten: Kommt der Opalinuston mit Wasser in Kontakt, quillt er auf und verschliesst solche Risse. Dies konnte in Laborexperimenten, im Felslabor Mont Terri und mit der Tiefbohrung Rheinau-1 wissenschaftlich nachgewiesen werden.

Drittens kann der Opalinuston die radioaktiven Stoffe langfristig binden, denn Tongesteine bestehen zum Teil aus Tonmineralien aus der Familie der Schichtsilikate. Schichtsilikate enthalten kleine Plättchen mit einer negativen elektrischen Ladung. Daher ziehen Tonmineralien positiv geladene Teilchen an. Die meisten radioaktiven Stoffe aus dem Abfall haben eine positive Ladung und bleiben daher sozusagen am Opalinuston kleben.

## WAS GENAU IST OPALINUSTON?

Opalinuston hat seinen Ursprung in der Jurazeit vor rund 175 Millionen Jahren. Damals war die Nordschweiz von einem weiten, flachen Meer bedeckt. Am Meeresboden lagerte sich feiner Tonschlamm ab. Durch stete Verfestigung entstand daraus der Opalinuston. Der Name geht auf den darin gefundenen Ammoniten Leioceras opalinum zurück.

**WEITERE INFORMATIONEN**

– Themenheft: Tongesteine und ihr Beitrag zur Lagerung der radioaktiven Abfälle

# 3

# DIE STANDORTSUCHE

«Die Geologie entscheidet: Gemäss diesem Grundsatz haben wir die Suche nach dem sichersten Standort vorangetrieben. Ist die Vergangenheit des Gesteins ‹langweilig›, ist das die beste Voraussetzung für ein sicheres geologisches Tiefenlager.»

**TIM VIETOR, BEREICHSLEITER SICHERHEIT UND GEOLOGIE**

*Als Geologe war Tim Vietor an diversen Forschungsinstituten tätig, unter anderem mit Aufenthalten in Afrika und Südamerika. Seine Schwerpunkte: Tektonik und Geophysik. Seit 2005 arbeitet er für die Nagra.*

# DAS STANDORTWAHLVERFAHREN

Die Suche nach dem sichersten Standort läuft gemäss «Sachplan geologische Tiefenlager». Der Bund führt das breit abgestützte Verfahren. Die Sicherheit von Mensch und Umwelt hat oberste Priorität.

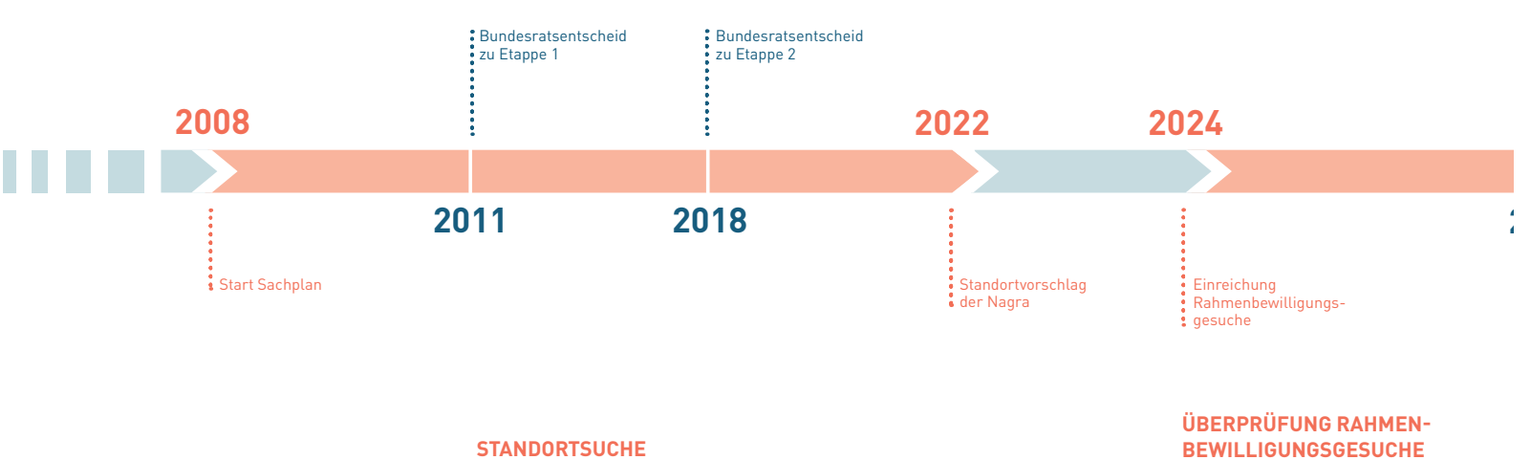
Nach mehreren Jahren Vorbereitung startete 2008 die Standortsuche für ein Tiefenlager unter der Federführung des Bundesamts für Energie.

Entscheidend für den langfristig erfolgreichen Einschluss der radioaktiven Abfälle sind die Verhältnisse im Untergrund. Deshalb wird das Tiefenlager an dem Ort in der Schweiz gebaut, wo diesbezüglich die besten Gegebenheiten herrschen. Beurteilt werden die Verhältnisse anhand von vorgegebenen Kriterien. Das Standortwahlverfahren legt den Schwerpunkt auf sicherheitstechnische Kriterien: Die Sicherheit von Mensch und Umwelt hat bei der Standortsuche oberste Priorität.

Die Sicherheit der Anlagen an der Oberfläche während des Betriebs hängt hauptsächlich von der Auslegung ab und nicht vom Standort. Deshalb werden bei der Frage, wo welche Anlagen an der Oberfläche gebaut werden, auch raumplanerische Aspekte und standortrelevante Anliegen mit den betroffenen Regionen und Kantonen diskutiert.

## WER HAT WELCHE AUFGABE?

Im Auftrag des Bundesrates leitet das Bundesamt für Energie das Sachplanverfahren und bezieht die möglichen Standortregionen ins Verfahren mit ein – im Rahmen der sogenannten regionalen Partizipation.



Mit der regionalen Partizipation begleiten Gemeinden, Kantone, die Bevölkerung und interessierte Organisationen in den möglichen Standortregionen sowie das benachbarte Deutschland die Standortwahl und bringen ihre Anliegen ein. Kern der regionalen Partizipation sind die Regionalkonferenzen: Sie vertreten die regionalen Interessen. Unter anderem nehmen sie Stellung zu den Standortvorschlägen der Nagra im Zusammenhang mit der Oberflächeninfrastruktur des Tiefenlagers.

Die Kantone unterstützen den Bund bei der Durchführung der Standortsuche und die Gemeinden bei der Partizipation.

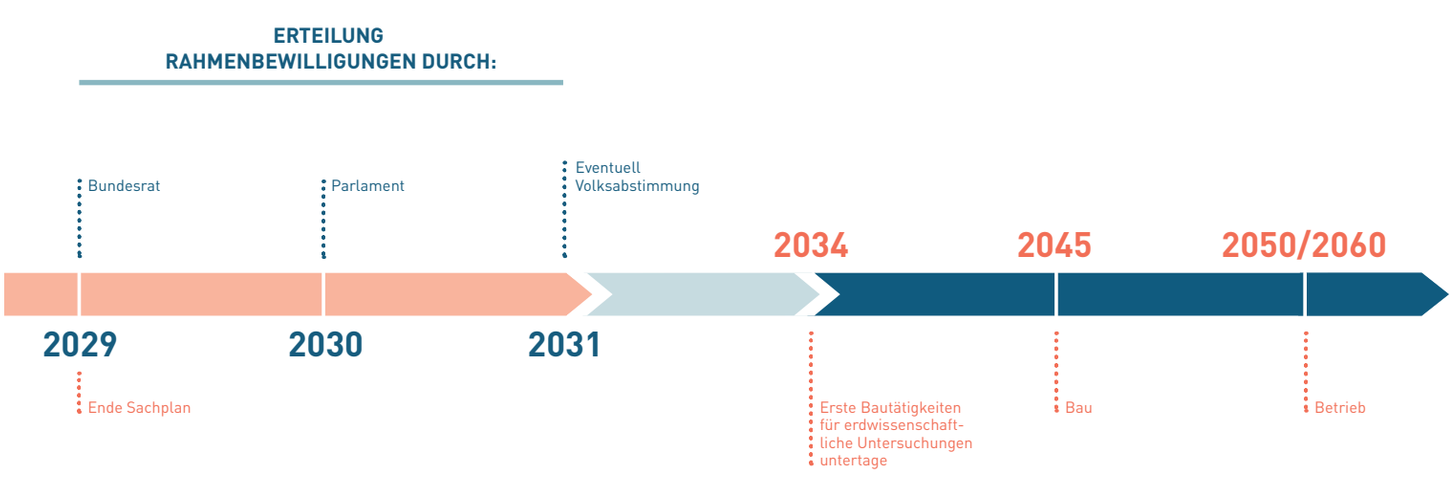
Die Nagra plant und realisiert das Tiefenlager. Nach jahrzehntelanger Forschung hat sie eine solide wissenschaftliche Grundlage geschaffen. Darauf basierend kann sie jetzt den am besten geeigneten Standort für das Tiefenlager vorschlagen und voraussichtlich 2024 die Rahmenbewilligungsgesuche beim Bund einreichen.

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat begleitet das Verfahren als Aufsichtsbehörde und macht sicherheitstechnische Vorgaben. Zudem prüft und beurteilt die Aufsichtsbehörde die Arbeit der Nagra, insbesondere die Rahmenbewilligungsgesuche.

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.

**WEITERE INFORMATIONEN**

– Sachplan geologische Tiefenlager / BFE
– Sachplanverfahren / Kanton Zürich
– Sachplanverfahren / Kanton Aargau
– Entsorgung der radioaktiven Abfälle / ENSI



# SCHRITTWEISE ZUM SICHERSTEN STANDORT

Die Nagra suchte in der ganzen Schweiz nach Gebieten, die sich für den Bau eines Tiefenlagers eignen. In drei Etappen wurde die Auswahl an Gebieten schrittweise eingegrenzt.

Die Standortsuche hat zum Ziel, den sichersten Standort für das Tiefenlager der Schweiz zu finden – unter Beteiligung einer Vielzahl von Akteuren. Dabei wird in drei Etappen vorgegangen. Am Ende jeder Etappe entscheidet der Bundesrat.

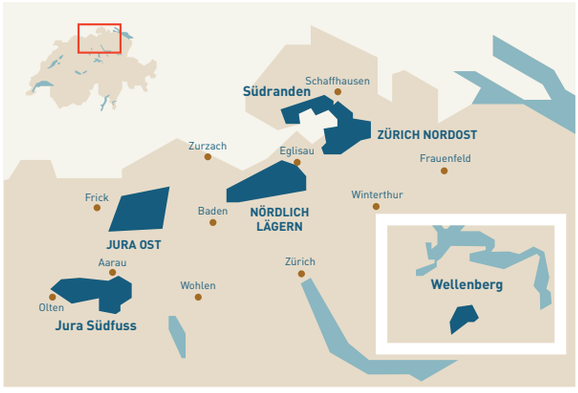
**Etappe 1: «Weisse» Karte Schweiz**
In der ersten Etappe der Standortsuche ging es darum, Gebiete festzulegen, die aufgrund der definierten Kriterien als Standorte für ein Tiefenlager infrage kommen. Ausgangspunkt war eine «weisse» Karte der Schweiz. Die Nagra betrachtete in der ganzen Schweiz geeignete Gebiete und Gesteinsschichten und identifizierte sechs mögliche Standortgebiete. Der Bundesrat erteilte am Schluss der ersten Etappe den Auftrag, diese sechs Gebiete weiter zu untersuchen.

**Etappe 2: Einengung der Gebiete**
Anhand der Vorgaben der Bundesbehörden wurden alle sechs Gebiete verglichen. In Zusammenarbeit mit den Standortregionen wurden zudem Standortareale für die Oberflächenanlage des Tiefenlagers definiert. Am Ende der Etappe legte der Bundesrat die Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost mit den dazugehörenden Arealen für die Oberflächenanlage fest – und den Opalinuston als Wirtgestein für das Tiefenlager.

**Etappe 3: Vertiefte Untersuchungen**
Die Standortgebiete wurden in der dritten Etappe vertieft untersucht. Basierend auf den Resultaten dieser Untersuchungen kann die Nagra nun ein Gebiet vorschlagen.

## START SACHPLAN

## ERGEBNIS ETAPPE 1




Start Sachplan **2008**

Bundesratsentscheid zu Etappe 1 **2011**

## DIE KRITERIEN BEI DER STANDORTSUCHE

Die Behörden gaben vier Kriteriengruppen mit insgesamt 13 Kriterien vor. Diese muss die Nagra für die Wahl des besten Tiefenlagerstandorts anwenden. Im Zentrum steht die Sicherheit. Andere Aspekte, etwa sozioökonomische Faktoren, dürfen nur eine Rolle spielen, wenn es zwischen den Gebieten keine geologischen Unterschiede gibt.

**Kriteriengruppe 1** – Eigenschaften des Wirtgesteins respektive des sogenannt einschlusswirksamen Gebirgsbereichs: Das Wirtgestein und die darüber- und darunterliegenden Schichten schliessen den radioaktiven Abfall ein. Es wird untersucht, wie dicht und wie mächtig das Gestein ist, wie es zusammengesetzt ist und ob es Störungszonen im Gestein gibt.

**Kriteriengruppe 2** – Langzeitstabilität: Es wird geprüft, ob die Eigenschaften des Gesteins und des Standorts stabil bleiben. Erosion durch Gletscher und Flüsse könnte den Schutz beeinträchtigen. Das Lager kann das Gestein beeinflussen, etwa weil die Abfälle Wärme abgeben oder wenn durch Korrosion Gas entsteht.

In die Kriteriengruppe 2 gehören auch allfällige Ressourcenkonflikte: Gibt es in einem Gebiet Vorkommen von Ressourcen wie Öl oder Gas «in besonderem Mass», könnte das die späteren Generationen motivieren, diese Ressourcen abzubauen – und damit den Einschluss der Abfälle zu gefährden.

**Kriteriengruppe 3** – Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen: Es geht um die Beurteilung, wie gut man die Gebiete untersuchen und die Daten erheben kann, und um die Frage, wie genau sich die langfristige Entwicklung mit diesen Daten prognostizieren lässt.

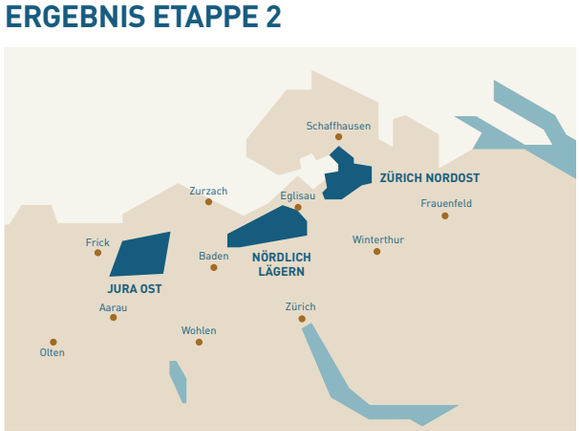
**Kriteriengruppe 4** – Bautechnische Eignung: Anhand dieser Kriterien wird beurteilt, wie gut sich der Untergrund für den Bau eines Tiefenlagers eignet.

Es geht beim Vergleich der Standorte also um die Qualität der geologischen Barriere, um deren langfristige Stabilität sowie um die Prognosequalität und die bautechnische Eignung des Untergrunds.

### WEITERE INFORMATIONEN

- Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 1 / BFE
- Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2 / BFE
- Ergebnisbericht Etappe 2 / BFE
- Kriterien bei der Standortwahl / ENSI

## ERGEBNIS ETAPPE 2




## STANDORTVORSCHLAG DER NAGRA

Bundesratsentscheid zu Etappe 2 **2018**

Standortvorschlag der Nagra **2022**

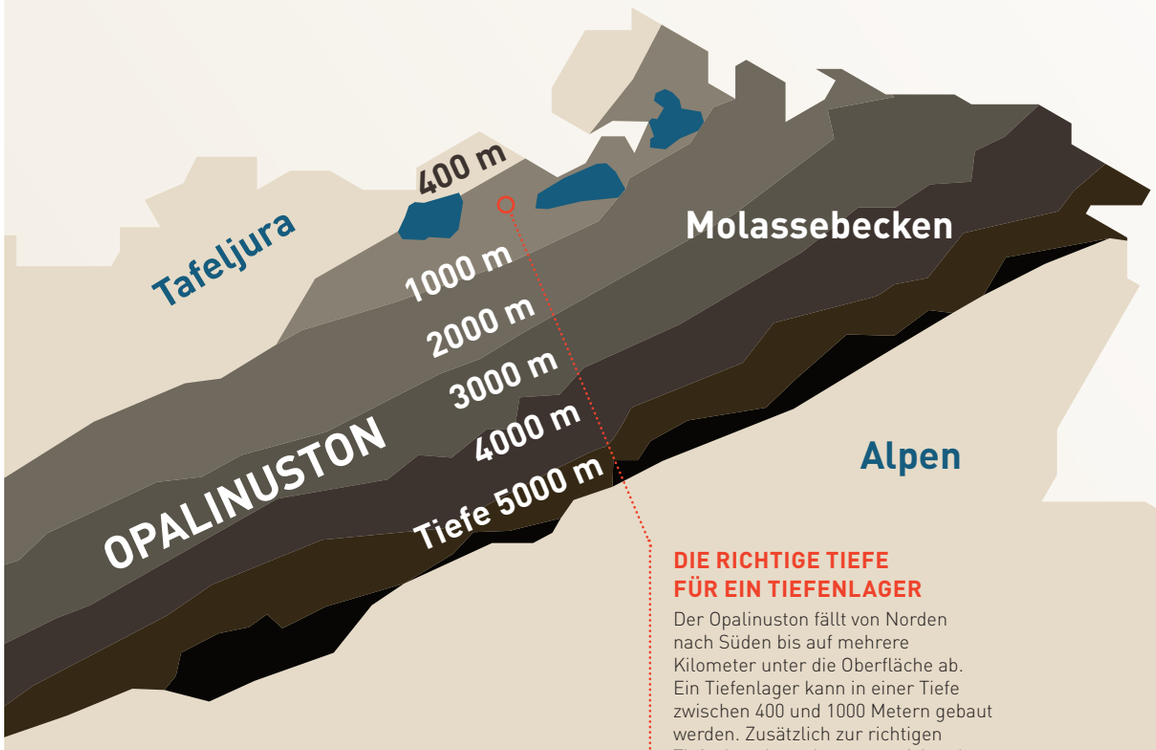
Einreichung Rahmenbewilligungsgesuche **2024**

# WIESO DIE NORDSCHWEIZ?

Alle drei Gebiete, die die Nagra unter die Lupe genommen hat, liegen im Norden der Schweiz. Warum eignet sich gerade dieser Bereich der Schweiz am besten? Weil dort der Opalinuston in der richtigen Tiefe, Qualität und Ausdehnung sowie verhältnismässig ungestört vorliegt.

Die Schweiz kann geologisch grob in drei Gebiete aufgeteilt werden: Alpen, Molassebecken und Jura. Beim Aufbau der Alpen verformte sich der Untergrund, Gesteinsschichten brachen und wurden übereinandergeschoben. Der Untergrund im Alpenraum ist so stark deformiert, dass er sich nicht für ein Tiefenlager eignet – zumindest nicht für ein Tiefenlager für hochaktive Abfälle. Auch der Faltenjura und der nördlich angrenzende Tafeljura der Nordwestschweiz sind mehrheitlich stark verformt und daher keine Option. Das zwischen Alpen und Faltenjura gelegene Molassebecken (Mittelland) hingegen weist deutlich weniger Deformierungen auf, insbesondere im zentralen und östlichen Teil. Hier kommt auch der Opalinuston vor. Er tritt im Faltenjura und ganz im Norden der Schweiz nahe an der Oberfläche auf und fällt Richtung Alpen bis auf mehrere Kilometer Tiefe ab.

Damit ein Tiefenlager gebaut werden kann, braucht es einerseits grössere Flächen, die wenig deformiert sind. Andererseits muss der Opalinuston in der richtigen Tiefe liegen: zwischen 400 und 1000 Metern. Diese zwei Bedingungen sind ausschliesslich im Molassebecken der Nordschweiz, an dessen Nordrand und im angrenzenden östlichen Tafeljura erfüllt. Hier liegen auch die drei Standortgebiete, die die Nagra in den letzten Jahren vertieft untersucht hat.

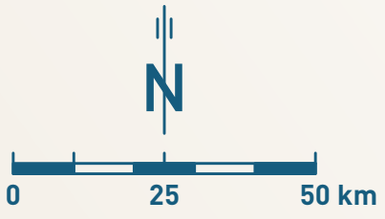



Alpen

Alpen

**DIE RICHTIGE TIEFE FÜR EIN TIEFENLAGER**

Der Opalinuston fällt von Norden nach Süden bis auf mehrere Kilometer unter die Oberfläche ab. Ein Tiefenlager kann in einer Tiefe zwischen 400 und 1000 Metern gebaut werden. Zusätzlich zur richtigen Tiefenlage braucht es ausreichend grosse Bereiche ohne Störungszonen.

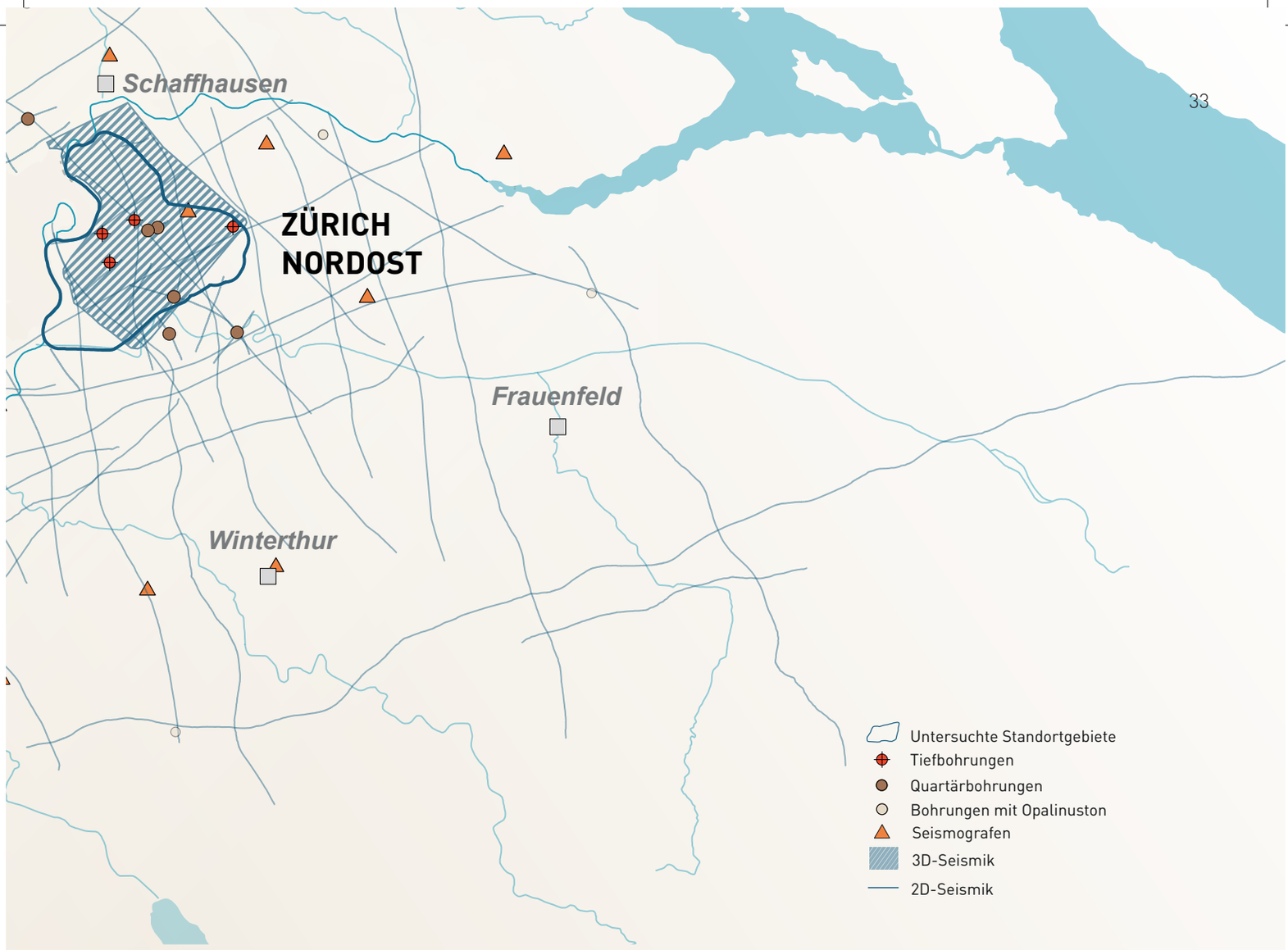


# DIE DATENGRUNDLAGE FÜR DEN ENTSCHEID

In den letzten Jahren wurden die drei Standortgebiete Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost umfassend untersucht. Heute sind die Datenlage und das Bild des Untergrunds so gut, dass die Nagra den sichersten Standort bestimmen kann.

**WEITERE INFORMATIONEN**

- Zusatzinformationen: Zunahme der Daten über die Jahre
- Themenheft Tiefbohrungen




In der dritten Etappe der Standortsuche hat die Nagra die drei möglichen Standortgebiete aufwendig untersucht. Die Untersuchungen kosteten rund 250 Millionen Schweizer Franken. Die Nagra hat seit 2019 neun Tiefbohrungen durchgeführt. Sie reichten im Durchschnitt gut 1000 Meter tief in den Untergrund. Über 10000 Meter Gestein wurden erbohrt und 6000 Meter Bohrkerne an die Erdoberfläche geholt. Labore in der Schweiz, in Japan, Australien und anderen Ländern analysierten mehr als 4000 Proben. So wurden etwa die Festigkeit und die Dichtigkeit des Gesteins untersucht. In allen Bohrlöchern wurden Tests durchgeführt und beispielsweise die Spannung des Gesteins gemessen.

## EIN BILD VOM UNTERGRUND

Neben den Tiefbohrungen wurden 11 weniger tiefe Bohrungen gemacht, sogenannte Quartärbohrungen. Dank ihnen versteht die Nagra heute genauer, wie Flüsse und Gletscher die Landschaft in der Vergangenheit geprägt haben. Dieses Verständnis der Vergangenheit erlaubt Aussagen über die künftige Entwicklung der Landschaft.

Bohrungen liefern immer nur ein punktuelles Bild des Untergrundes. Deshalb wurden zusätzlich umfangreiche seismische Messungen durchgeführt. Dabei werden an der Oberfläche Schallwellen erzeugt und das Echo gemessen, das von Schichtgrenzen aus der Tiefe zurückkommt. So entsteht ein dreidimensionales Bild vom Untergrund, vergleichbar mit einem Ultraschallbild. Insgesamt wurden rund 250 Quadratkilometer seismisch erkundet.

Die Kombination der seismischen Messungen mit den Erkenntnissen über die Gesteinseigenschaften aus den Tiefbohrungen führt zu einem umfassenden Verständnis der Geologie in den drei Standortgebieten.

Weitere Erkenntnisse stammen aus Experimenten im Felslabor Mont Terri sowie von Untersuchungen an Gesteinen an der Erdoberfläche. Daten von Tausenden sogenannten untiefen Bohrungen, oft solchen für Erdwärmesonden, wurden ebenfalls berücksichtigt. Auf dieser umfassenden Datenbasis stützt sich die Nagra für den Standortvorschlag ab. Teile der Untersuchungsergebnisse wurden bereits publiziert, und auch die restlichen Daten werden laufend auf der Website der Nagra und in wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht. In den Rahmenbewilligungsgesuchen, die die Nagra voraussichtlich 2024 einreicht, wird die Datengrundlage detailliert zusammengestellt.

# GEMEINSAMKEITEN UND UNTERSCHIEDE

Mit ausführlichen Untersuchungen hat die Nagra die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der drei Standortgebiete herausgearbeitet.

Die Entfernung zwischen den drei Gebieten beträgt rund 50 Kilometer von Jura Ost über Nördlich Lägern bis Zürich Nordost und ist damit ziemlich klein. Die Erdgeschichte ist in allen drei Gebieten sehr ähnlich. So überrascht es nicht, dass sich die Geologie in den drei Gebieten stark ähnelt und überall ein sicheres Tiefenlager gebaut werden kann.

In allen drei Gebieten ist der Opalinuston in der erforderlichen Dicke, Qualität und Tiefe vorhanden. Das bedeutet, dass alle drei Gebiete in der Kriteriengruppe 1 (Eigenschaften des Wirtgesteins respektive des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs) gut abschneiden.

In der Kriteriengruppe 2 (Langzeitstabilität) gibt es ebenfalls eine wichtige Gemeinsamkeit: Alle drei Gebiete sind geologisch langfristig sehr stabil. Überall ist das Tiefenlager vor Erosion durch Gletscher und Flüsse geschützt, und auch sogenannte lagerbedingte Einflüsse wie Wärme oder Gasdruck destabilisieren das Gestein kaum. In keinem der drei Gebiete gibt es Rohstoffe in besonderem Mass, deren Nutzung die Barriere beeinträchtigen würde. Ressourcenkonflikte spielen also keine entscheidende Rolle.

In der Kriteriengruppe 3 (Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen) sind die Gemeinsamkeiten ebenfalls wesentlich bedeutender als die Unterschiede. Die geologische Entwicklung lässt sich in allen drei Gebieten zuverlässig prognostizieren. Der Opalinuston ist überall sehr homogen.

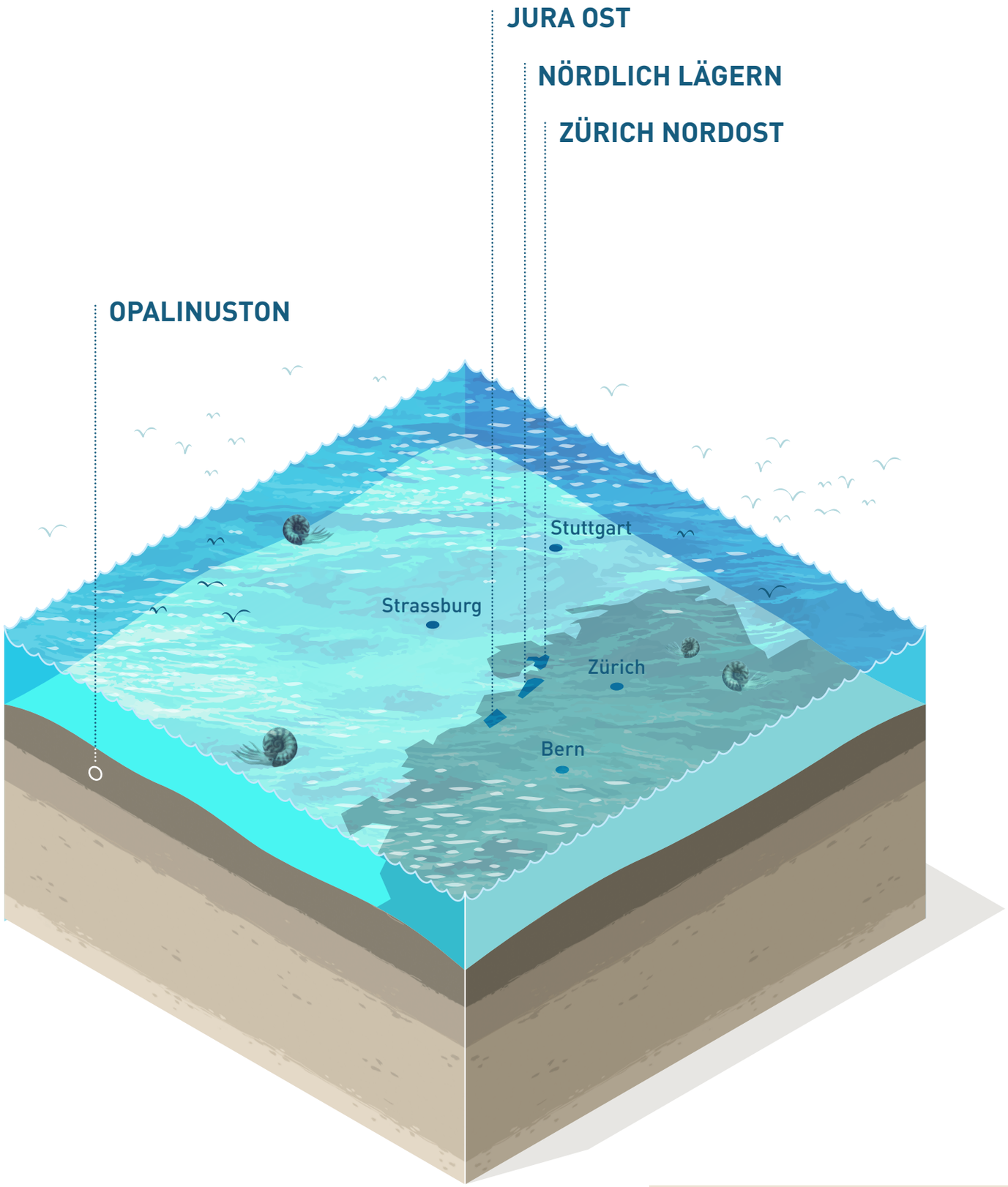
Zu der Kriteriengruppe 4 (Bautechnische Eignung) gewann die Nagra in der dritten Etappe der Standortsuche viele neue Daten und Erkenntnisse. In Etappe 2 des Sachplans hatte die Nagra noch argumentiert, Nördlich Lägern eigne sich bautechnisch weniger gut als die beiden anderen Regionen.

## NAGRA REVIDIERT EINSCHÄTZUNG

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat beanstandete damals, diese Einschätzung der Nagra sei nicht ausreichend mit Daten untermauert. Nördlich Lägern musste wie die beiden anderen Standortgebiete vertieft untersucht werden.

Aus heutiger Sicht war die Einschätzung der Nagra in Etappe 2 zu vorsichtig. Dank der heute vorliegenden, guten Datenlage konnte die Nagra die bautechnische Eignung neu beurteilen. Aufgrund der robusten Datenlage ist die Nagra überzeugt, dass in allen drei Gebieten ein Lager sicher gebaut und betrieben werden kann.

Dazu kommt, dass die Nagra sich mittlerweile für eine Ausbaumethode mit vorgefertigten Betonelementen – sogenannten Tübbingen – entschieden hat, die den Stollenbau in grösseren Tiefen vereinfacht.




## ABLAGERUNG VON OPALINUSTON

Vor rund 175 Millionen Jahren sah «Mitteleuropa» völlig anders aus. In einem flachen Meer entstand aus kleinstem abgetragenem Schutt vom Festland das Gestein Opalinuston. Der Opalinuston wurde sehr gleichförmig abgelagert.

## WEITERE INFORMATIONEN

- Informationen zur Geologie: Taschenbuch «Stein»
- Geologische Entwicklungsgeschichte der Nordschweiz

## NEBEN DEN GEMEINSAMKEITEN GIBT ES RELEVANTE UNTERSCHIEDE

In den Kriteriengruppen 1 bis 3 schneiden zwar alle Gebiete gut ab, dennoch hat die Nagra hier relevante Unterschiede gefunden. Nur in der Kriteriengruppe 4 (Bautechnische Eignung) gibt es aus Sicht der Nagra zwischen den Gebieten keine relevanten Unterschiede, die den Standortentscheid beeinflussen.

**Kriteriengruppe 1** – Die Eigenschaften des Wirtgesteins respektive des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs sind überall gut – aber es gibt Unterschiede. Die Resultate der Untersuchungen zeigen, wie gut die Einschlusseigenschaften des Gesteins sind. Wir fassen diese Unterschiede unter dem Begriff «Qualität» zusammen.

**Kriteriengruppe 2** – Das Gestein muss die Abfälle nicht nur heute, sondern auch in ferner Zukunft sicher einschliessen. Zwar sind alle drei Gebiete langfristig ausreichend stabil respektive das Wirtgestein geschützt – aber die Sicherheitsreserven sind nicht überall gleich gross. Den Unterschied macht vor allem die unterschiedliche Tiefenlage der Opalinuston-Schichten aus. Wir fassen diese Unterschiede unter dem Begriff «Stabilität» zusammen.

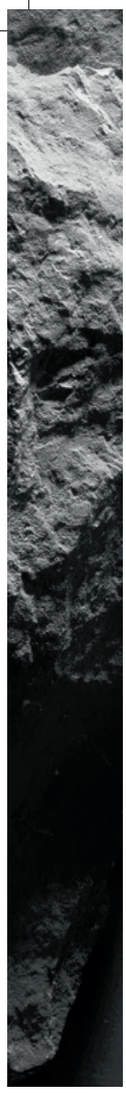
**Kriteriengruppe 3** – In allen drei Gebieten lassen sich zuverlässige Voraussagen machen – die Datengrundlage dazu ist sehr robust. Und doch: Abweichungen können nie ganz ausgeschlossen werden. Deshalb ist ein möglichst grosser, ruhig gelagerter Bereich von Vorteil. Eine grössere ungestörte Fläche bedeutet mehr Flexibilität bei der Anordnung des Lagers. Wir fassen diese Unterschiede unter dem Begriff «Flexibilität» zusammen.

*Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der drei Standortgebiete wurden hauptsächlich mit Tiefbohrungen und Seismik untersucht.*

© Cornet Photoshopping GmbH, Dieter Enz

# DIE QUALITÄT DER BARRIERE

Der Opalinuston und die angrenzenden, ebenfalls dichten Gesteinsschichten verhindern, dass radioaktive Stoffe in wasserführende Schichten und über diese an die Oberfläche gelangen.
Die Qualität dieser geologischen Barriere ist in allen drei Standortgebieten sehr hoch, es gibt jedoch Unterschiede.





Der Opalinuston bildet den zentralen Teil der geologischen Barriere respektive des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs. Er ist in allen drei Gebieten ähnlich ausgebildet. Die Sicherheitsanalysen zeigen, dass bereits der Opalinuston die radioaktiven Abfälle langfristig ausreichend gut einschliessen kann.

Ober- und unterhalb des Opalinustons liegen die sogenannten Rahmengesteine. Diese reichen bis zur nächsten darunter- und darüberliegenden wasserführenden Gesteinsschicht. Die Rahmengesteine sind in den drei Gebieten variabler aufgebaut als der Opalinuston. Sie sind aber ebenfalls sehr dicht und liefern einen zusätzlichen Beitrag zum Einschluss der radioaktiven Stoffe und damit zur Langzeitsicherheit.

Im Vergleich der Standortgebiete zeigen sich Unterschiede bei der Distanz zur nächsten wasserführenden Schicht. Gegen oben ist diese Distanz im Gebiet Jura Ost teilweise kleiner als in den anderen Regionen. In Nördlich Lägern ist die Distanz im Vergleich am grössten.

In Jura Ost und Zürich Nordost gibt es rund 60 Meter unter dem Opalinuston wasserführende Schichten. In Nördlich Lägern ist der Abstand zur nächsten wasserführenden Schicht unterhalb des Opalinustons zumindest in Teilen des Gebietes deutlich grösser als in Jura Ost und Zürich Nordost.

## URALTES PORENWASSER

Wie gut die Einschlusswirksamkeit der geologischen Barriere ist, lässt sich am Alter des Wassers in den Poren des Opalinustons ablesen.

Das in den wasserführenden Schichten enthaltene Grundwasser beeinflusst durch sehr langsame Austauschprozesse auch die Chemie des Porenwassers im Opalinuston. Die vergangenen Transportprozesse zwischen Grundwasser und Opalinuston haben im Porenwasser ihre Spuren hinterlassen, eine Art chemischen Fussabdruck. Aus diesem lässt sich ablesen, wie gross der Austausch zwischen Wasser an der Erdoberfläche und Porenwasser im Opalinuston war. Dies hängt von verschiedenen Faktoren ab: zum Beispiel von der Dicke und Dichtigkeit des Gesteins oder davon, ob und wie stark das Wasser in den begrenzenden wasserführenden Schichten fliesst und mit der Oberfläche im Austausch ist.

Der Anteil an «altem» Porenwasser ist in Nördlich Lägern am höchsten. Dies zeigt, dass in der Vergangenheit die Barrierewirkung sehr effektiv und der Transport zwischen Opalinuston und den nächsten wasserführenden Schichten, respektive dem Wasser an der Oberfläche, sehr langsam war. Dieses System wird auch im Hinblick auf die künftige Entwicklung im Vergleich zu den anderen Standortgebieten als am günstigsten eingestuft. Kurz: Die Qualität der geologischen Barriere ist in Nördlich Lägern am höchsten, hier schliesst das Gestein radioaktiven Abfall am besten ein.

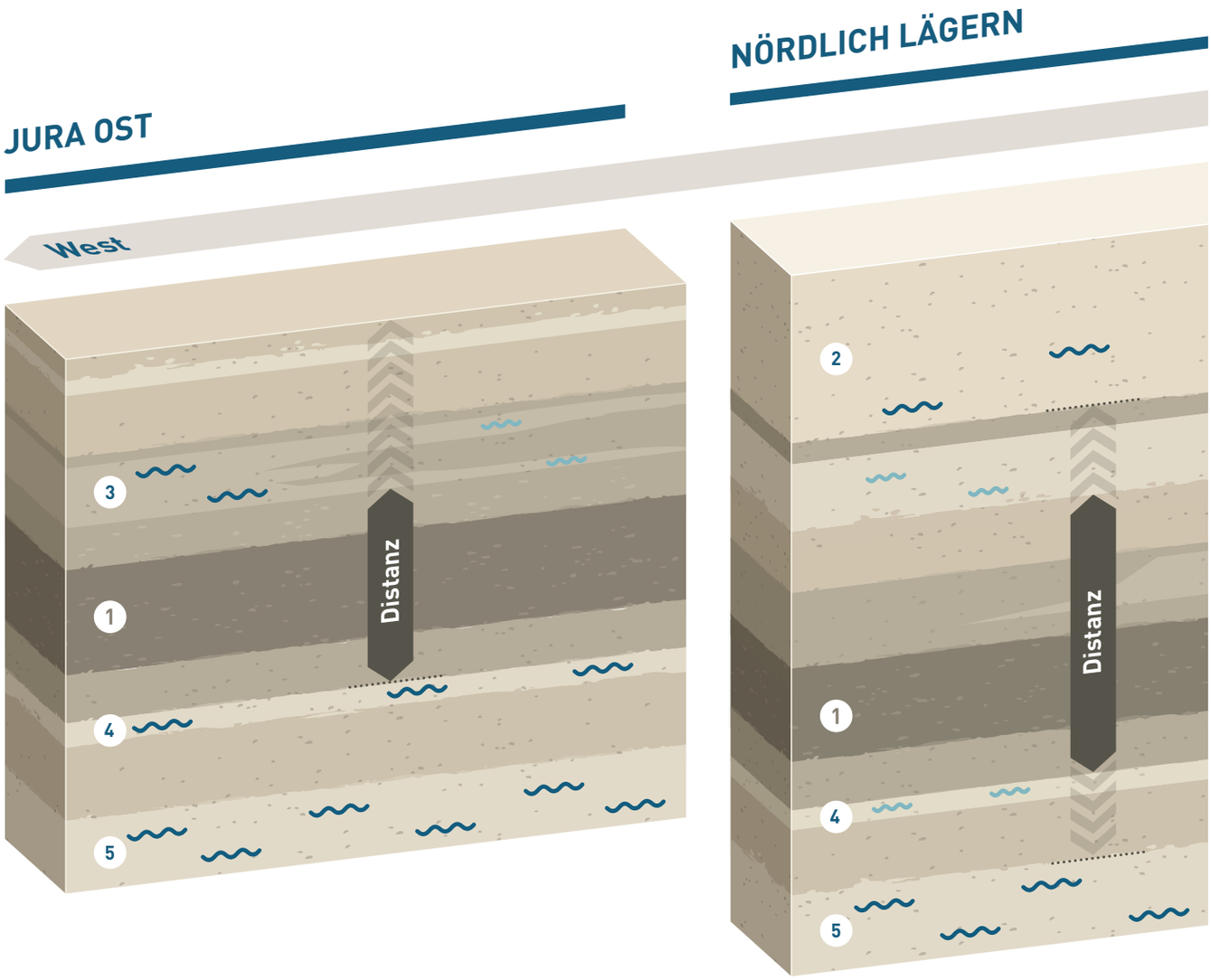
**WEITERE INFORMATIONEN**

- Zusatzinformationen: Qualität der Barriere
- Hydrochemie und Isotopenhydrogeologie von Tiefengrundwässern in der Nordschweiz und im angrenzenden Süddeutschland (NAB 13-63)

20220823_ASR Bericht_D.indd 39 24.08.22 18:58

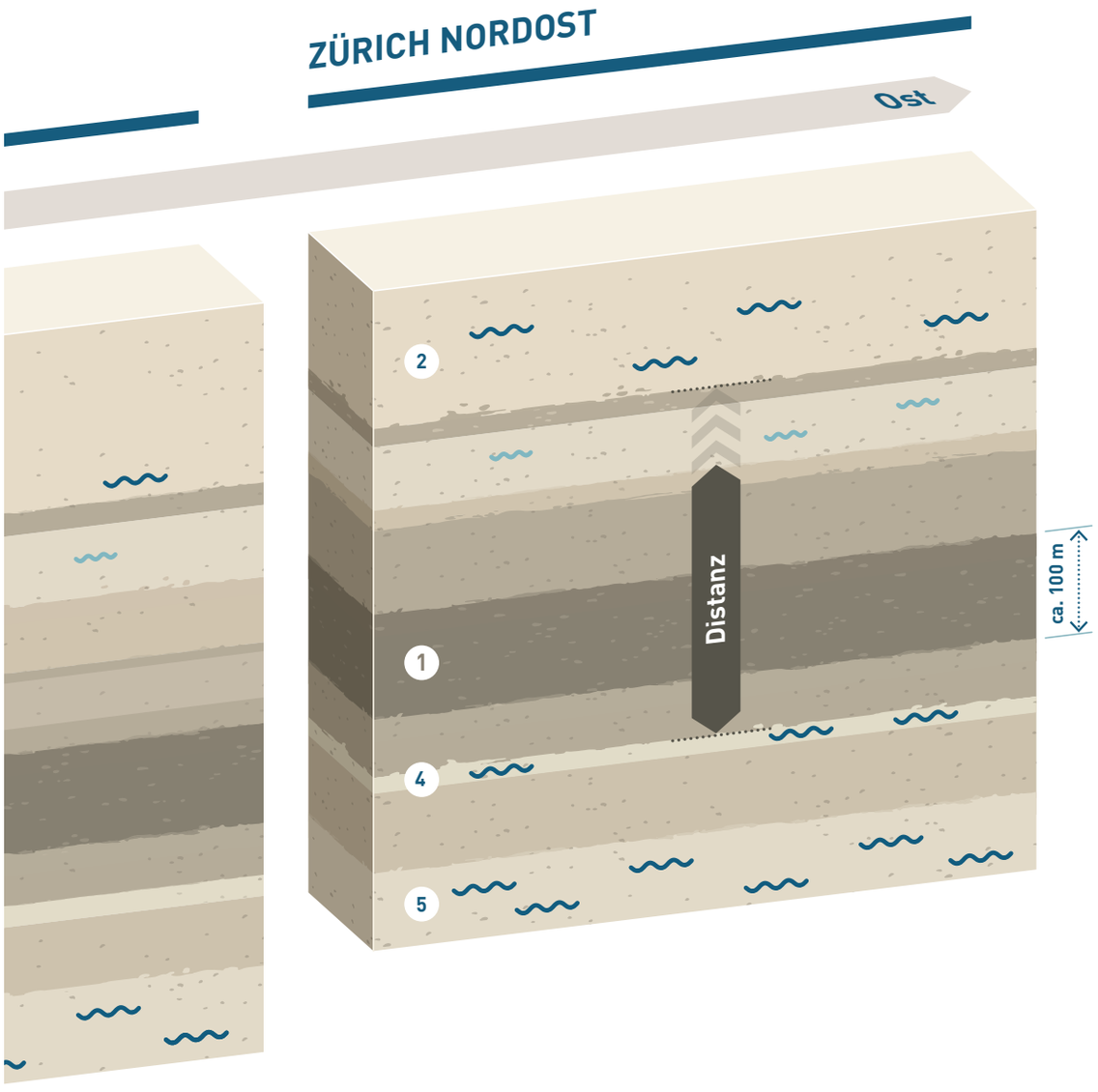
## DISTANZ ZWISCHEN OPALINUSTON UND DER NÄCHSTEN WASSERFÜHRENDEN SCHICHT

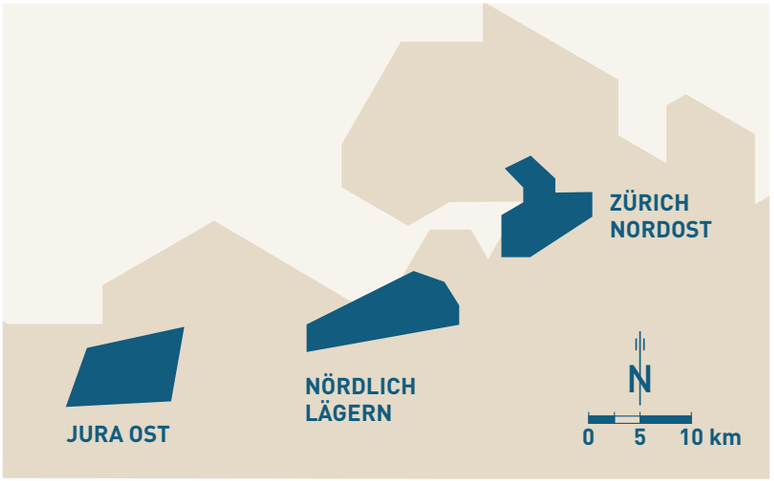
Blaue Symbole zeigen wasserführende Schichten. Die Distanz vom Opalinuston zu diesen Schichten beeinflusst die Einschlusswirksamkeit. In Nördlich Lägern ist diese Distanz am grössten.




1 Opalinuston
2 Malm
3 Hauptrogenstein
4 Keuper
5 Muschelkalk

Distanz zur nächsten wasserführenden Schicht
Hinweise für erhöhte Distanz zur nächsten wasserführenden Schicht
Regionale grundwasserführende Schicht
Lokale grundwasserführende Schicht


ZÜRICH NORDOST
Ost
2
1
4
5
Distanz
ca. 100 m


ZÜRICH
NORDOST
NÖRDLICH
LÄGERN
JURA OST
N
0
5
10 km

# DIE STABILITÄT DER BARRIERE

Die geologische Barriere ist in allen drei Gebieten langfristig stabil: Im Untergrund bleibt das Tiefenlager vor Erosion durch Gletscher und Flüsse geschützt. Es gibt aber Unterschiede bei der Grösse der Sicherheitsreserven.

Es ist entscheidend, dass die geologische Barriere langfristig stabil und das Tiefenlager über eine sehr lange Zeit geschützt bleibt – insbesondere vor Erosion durch Flüsse und Gletscher. Die Gesteinsschicht zwischen dem Lager und der Erdoberfläche muss auch in Hunderttausenden von Jahren eine Mindestdicke haben, damit die Eigenschaften des Opalinustons, etwa die Fähigkeit zur Selbstabdichtung, erhalten bleiben. Daher muss die Nagra zuverlässige Aussagen über künftige Erosionsprozesse machen können. Diese bauen zu einem Grossteil auf dem Verständnis der Landschaftsentwicklung in den letzten zwei Millionen Jahren auf. Auf vielen Hügeln der Nordschweiz finden sich noch ältere Flussablagerungen (Schotter), die ein bis zwei Millionen Jahre alt sind. Damals flossen der Rhein und die Aare auf diesem Niveau. Seither haben sich diese Gewässer um 200 bis 300 Meter eingetieft.

Auch die Gletscher haben deutliche Spuren hinterlassen. An der Oberfläche sind dies zum Beispiel Moränen und tiefe Tröge wie der Zürichsee. Diese Tröge wurden nach dem Rückzug der Gletscher vielerorts wieder mit Sedimenten aufgefüllt. Die Tiefe dieser Tröge hängt unter anderem von der Ausdehnung der Gletscher, von der Dauer der Eiszeit und von der Härte des Gesteins ab, in das sie eingeschnitten sind.

**WEITERE INFORMATIONEN**

– Zusatzinformationen: Erosion
– Themenheft Erosion

*Die Erdoberfläche wird sich verändern.*
*Der Untergrund bleibt stabil.*

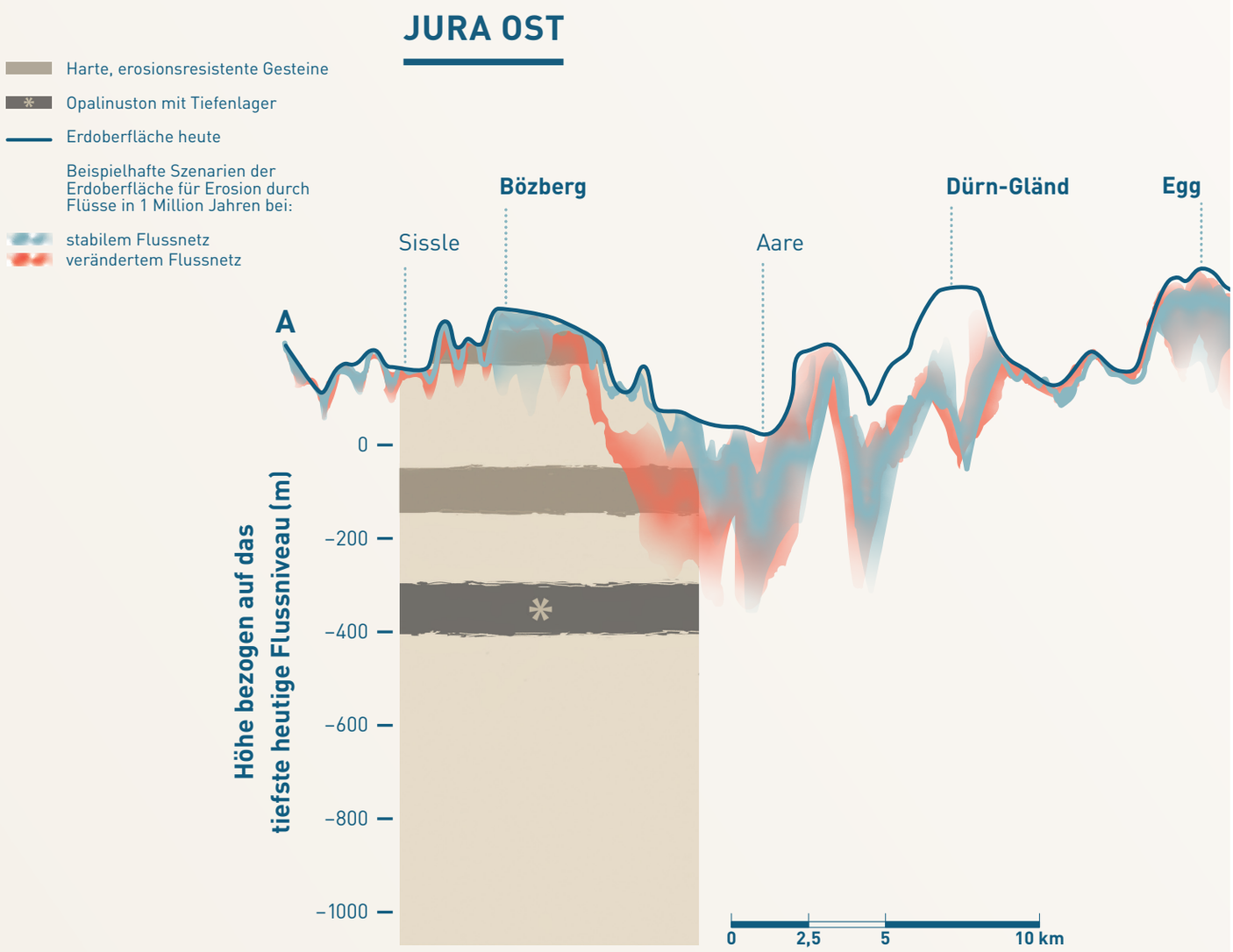
## EROSION DURCH FLÜSSE UND GLETSCHER

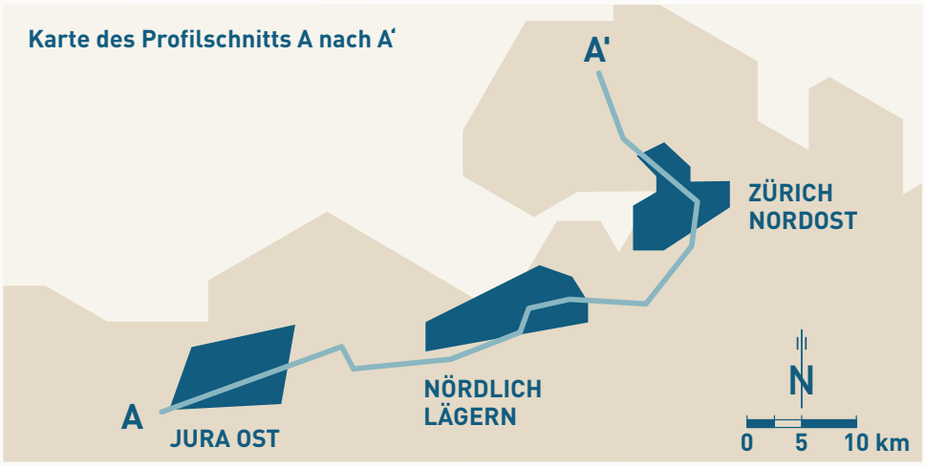
In allen drei Standortgebieten wäre ein Tiefenlager vor Gletschern oder Flüssen geschützt. Alle drei Gebiete haben langfristig stabile geologische Barrieren. Die Sicherheitsreserven sind in den drei Gebieten aber unterschiedlich gross.

In Jura Ost liegt der Opalinuston am wenigsten tief, und mehr als ein Drittel des Gesteins über dem Lager macht der Bözberg aus, der deutlich höher als die umgebenden Flüsse liegt. Die Flüsse könnten hier – allerdings nur in einem unwahrscheinlichen Szenario mit einem veränderten Flussnetz – die Gesteinsüberdeckung so abtragen, dass die Langzeitstabilität der geologischen Barriere verringert würde. Das Gebiet Zürich Nordost und vor allem das Gebiet Nördlich Lägern werden diesbezüglich als deutlich besser eingeschätzt.

Nördlich Lägern und Zürich Nordost waren in der Vergangenheit stärker von der Vergletscherung während den Eiszeiten betroffen als Jura Ost. Die meisten von Gletschern erodierten Tröge gibt es in Zürich Nordost.

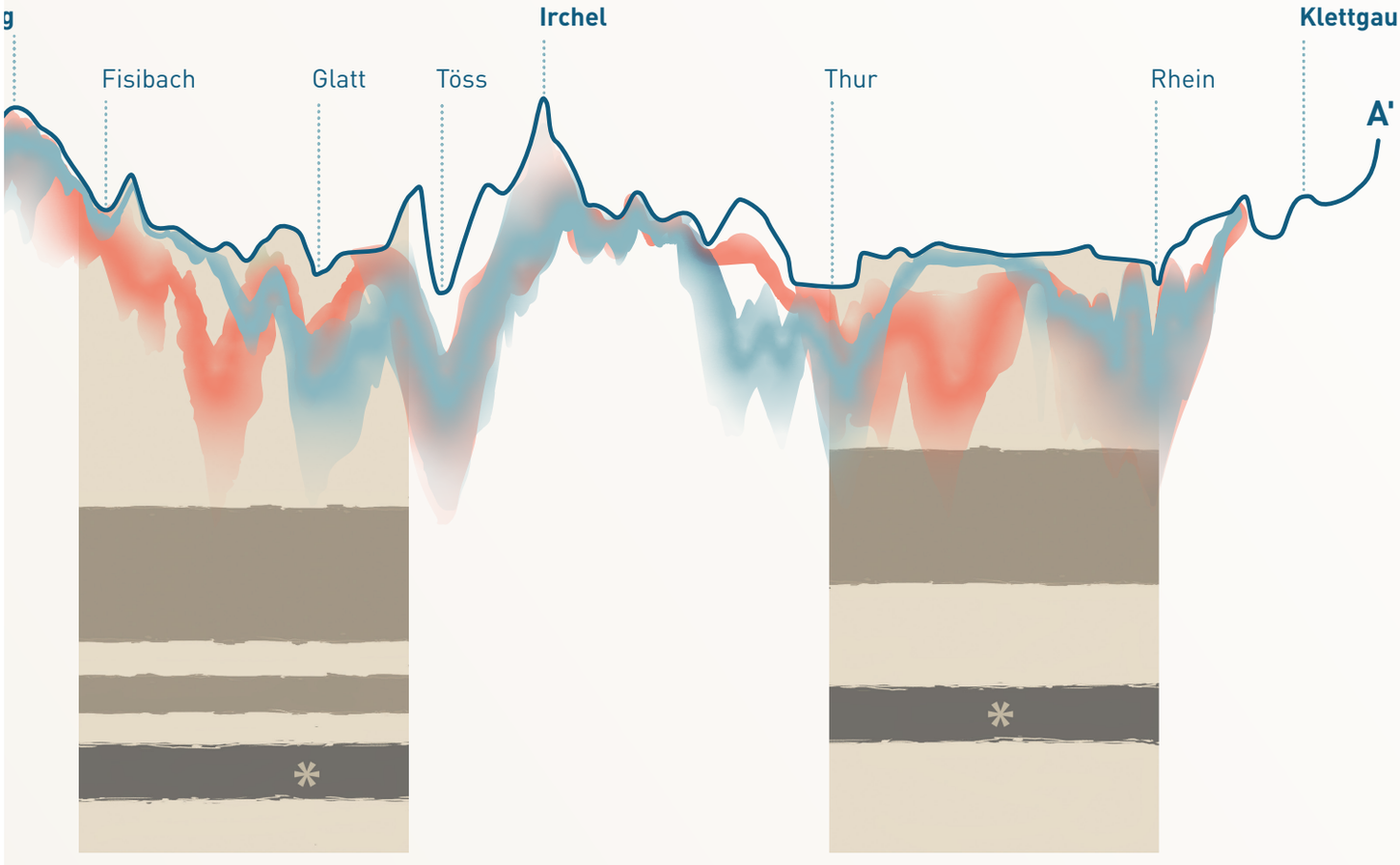
In Nördlich Lägern liegt der Opalinuston tiefer und ist durch harte Gesteinsschichten noch besser geschützt als in Zürich Nordost. Damit hat Nördlich Lägern eine zusätzliche Sicherheitsreserve vor künftiger Erosion und ist langfristig am stabilsten.






## NÖRDLICH LÄGERN

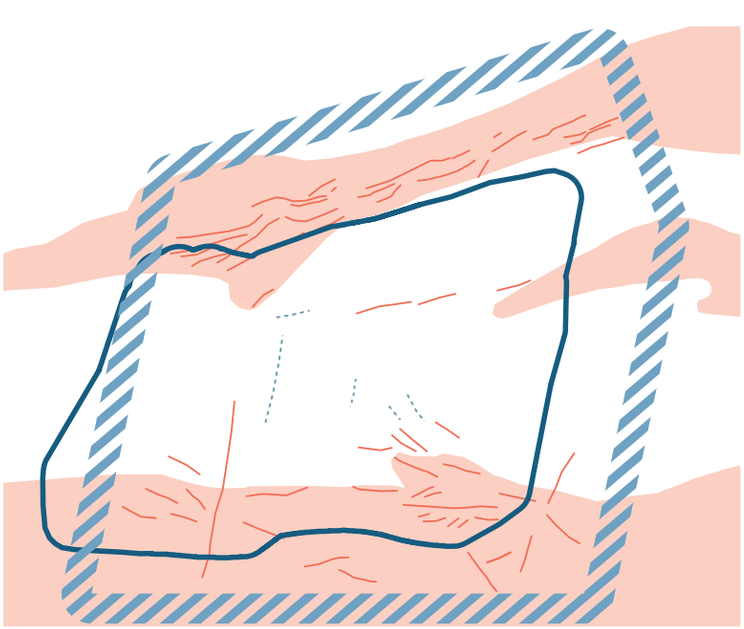
## ZÜRICH NORDOST



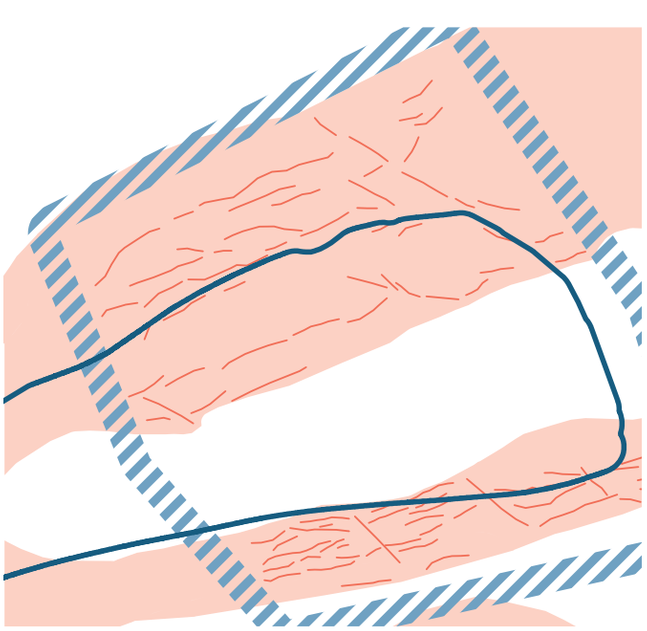
# DIE FLEXIBILITÄT

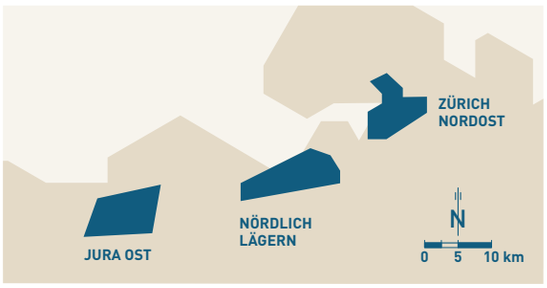
Wo sich Gesteinsschichten gegeneinander bewegen, bilden sich im Untergrund Störungen. Sie gelten als geologische Schwachstellen. Von Vorteil sind grosse, zusammenhängende Bereiche ohne Störungen: Hier kann das Lager flexibel angeordnet werden.

## JURA OST



## NÖRDLICH LÄGERN






In der geologischen Vergangenheit haben Spannungen in der Erdkruste – zum Beispiel durch die Alpenfaltung – zu Verschiebungen im Untergrund geführt. Diese Verschiebungen können mithilfe von seismischen Messungen kartiert werden. Die Nagra unterscheidet dabei zwischen Störungen und Deformationszonen. Störungen sind Brüche im Gestein, wo sich zwei oder mehr Blöcke erkennbar gegeneinander verschoben haben. Ausgedehnte Bereiche mit grossen Störungen werden zu regionalen tektonischen Elementen zusammengefasst. Deformationszonen sind leichte Verformungen im Gestein ohne grössere, kartierbare Brüche.

Regionale tektonische Elemente haben in der Vergangenheit einen grossen Teil der Verschiebungen aufgenommen, denn sie stellen Schwächezonen dar. Ihnen weicht die Nagra bei der Platzierung des Tiefenlagers aus.

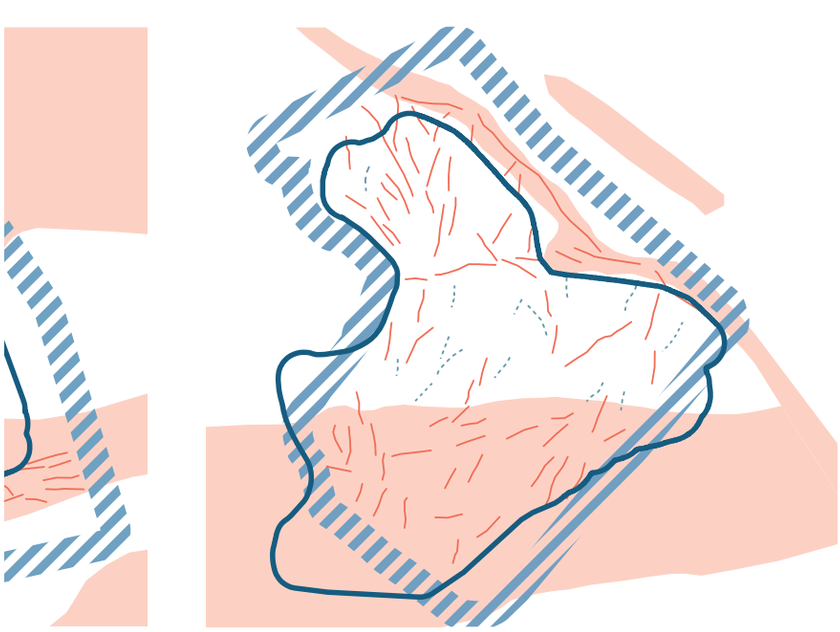
Auch einzelnen, lokalen Störungen kann die Nagra in allen drei Standortgebieten ausweichen, sie schränken aber die Flexibilität bei der Anordnung des Lagers in unterschiedlicher Art und Weise ein. Obwohl Deformationszonen aufgrund des Selbstabdichtungsvermögens des Wirtgesteins für die Sicherheit wenig Bedeutung haben, sind Standortgebiete mit weniger Deformationszonen im Vorteil: Hier sind die verbleibenden Ungewissheiten kleiner.

In allen drei Standortgebieten gibt es zwischen den Störungen genug Platz für ein geologisches Tiefenlager. Nördlich Lägern weist zwischen den regionalen tektonischen Elementen einen grossen, sehr ruhig gelagerten Bereich auf. Das bedeutet, dass hier die entsprechenden Ungewissheiten klein sind und es daher bei der Lageranordnung eine grosse Flexibilität gibt.

**WEITERE INFORMATIONEN**

– Zusatzinformationen: Flexibilität

## ZÜRICH NORDOST



# DER STANDORT-VORSCHLAG

«Ich bin froh, dass die geologischen Argumente eindeutig für ein Gebiet sprechen, und bin überzeugt, dass wir den besten Standort gefunden haben.»

**MAURUS ALIG, GESAMTPROJEKTLEITER ETAPPE 3**

*Schon als Geologiestudent arbeitete Maurus Alig im Felslabor Mont Terri. Später sanierte er Altlasten in Argentinien und arbeitete unter anderem beim Rückbau der Sondermülldeponie Kölliken mit. 2016 stiess er zur Nagra.*

# BEGRÜNDUNG STANDORT-VORSCHLAG DER NAGRA

Vierzehn Jahre nach Beginn des Standortwahlverfahrens steht für die Nagra fest, welches das sicherste Standortgebiet ist: In Nördlich Lägern schliesst die Geologie den radioaktiven Abfall langfristig am besten ein. Die Qualität und die Stabilität des Gesteins sowie die Flexibilität für die Anordnung des Lagers sind hier am grössten.

Der Bundesrat hat 2018 der Nagra den Auftrag erteilt, die drei am besten geeigneten Gebiete (Jura Ost, Nördlich Lägern, Zürich Nordost) vertieft zu untersuchen. Das hat die Nagra unter Anwendung der Kriterien und Vorgaben der Behörden gemacht.

Die Datengrundlage ist robust, das Resultat eindeutig. Aus Sicht der Nagra ist heute klar, dass sich das Standortgebiet Nördlich Lägern am besten für ein Tiefenlager eignet. Die detaillierte Begründung und die vollständige Datengrundlage wird die Nagra mit dem Rahmenbewilligungsgesuch einreichen.

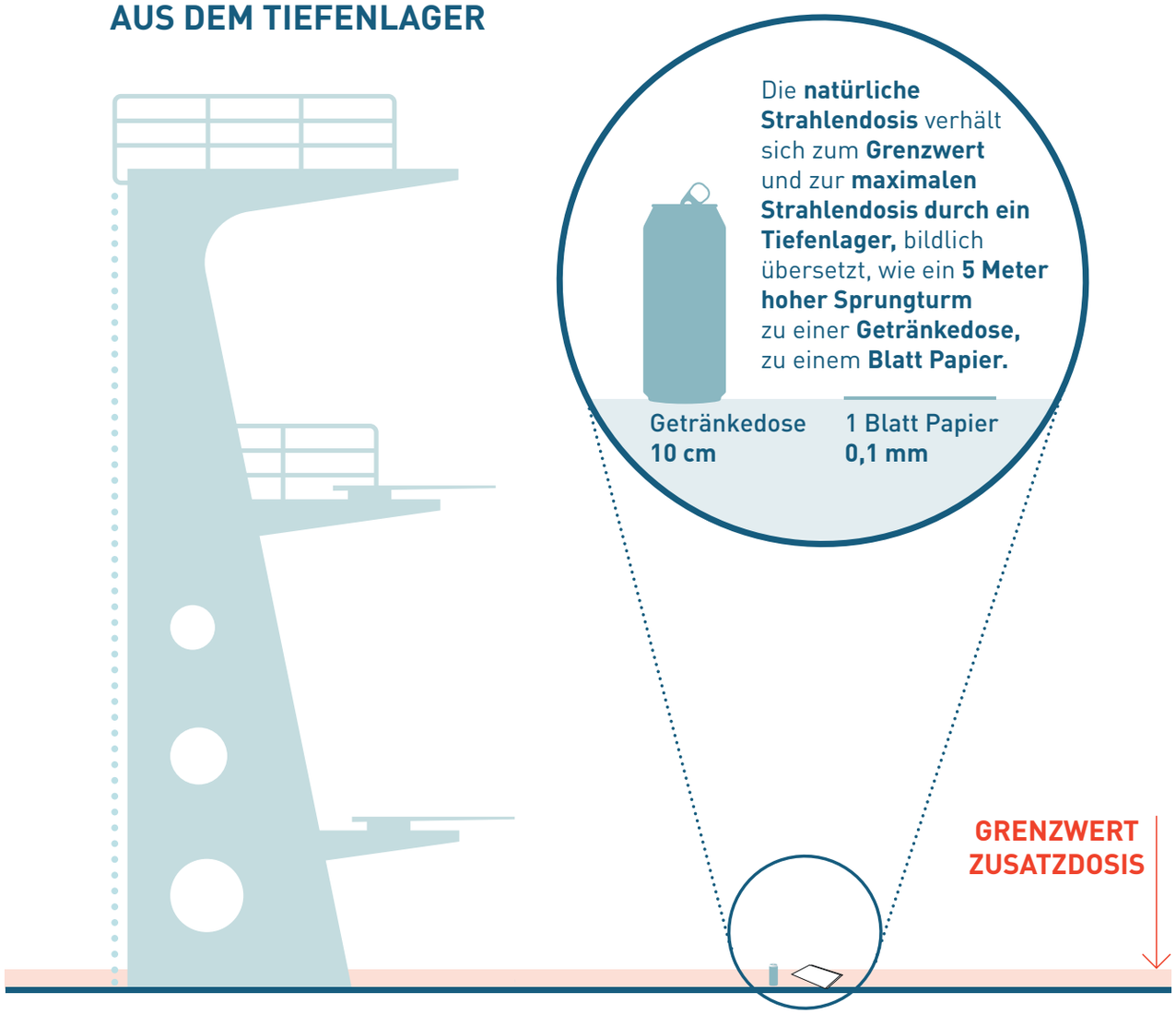
**WEITERE INFORMATIONEN**

– Richtlinie ENSI-G03
– Themenheft Langzeitsicherheit

Mit dem Standortwahlverfahren wurden die geologisch am besten geeigneten Gebiete der Schweiz identifiziert. Es hat sich herausgestellt, dass sich alle drei Gebiete für ein Tiefenlager eignen, weil die geologische Situation und die Gesteinseigenschaften überall gut sind. Mit Sicherheitsanalysen wurde berechnet, wie sich die radioaktiven Stoffe in den drei Gebieten ausbreiten würden. Das Resultat: Überall würde der Grenzwert von 0,1 Millisievert pro Jahr um den Faktor Tausend unterschritten. Dies ist ein Bruchteil der Strahlendosis, der wir aus natürlichen Quellen ausgesetzt sind.

In den Standortgebieten gibt es geologische Unterschiede. Entscheidend sind die Qualität und Stabilität der geologischen Barriere sowie die Flexibilität bei der Anordnung des Lagers. Die Unterschiede in diesen Aspekten sprechen für Nördlich Lägern. Beispielsweise sind die Voraussagen bezüglich Erosion in Nördlich Lägern auch dann am besten, wenn sehr unwahrscheinliche Szenarien mit veränderten Flussläufen betrachtet werden. In Nördlich Lägern sind die Sicherheitsreserven am grössten.

# NATÜRLICHE STRAHLENDOSIS UND ZUSATZDOSIS AUS DEM TIEFENLAGER




Sprungturm 5 m:
**5 mSv/Jahr**
natürliche Strahlendosis

Getränkedose 10 cm:
**0,1 mSv/Jahr**
Grenzwert

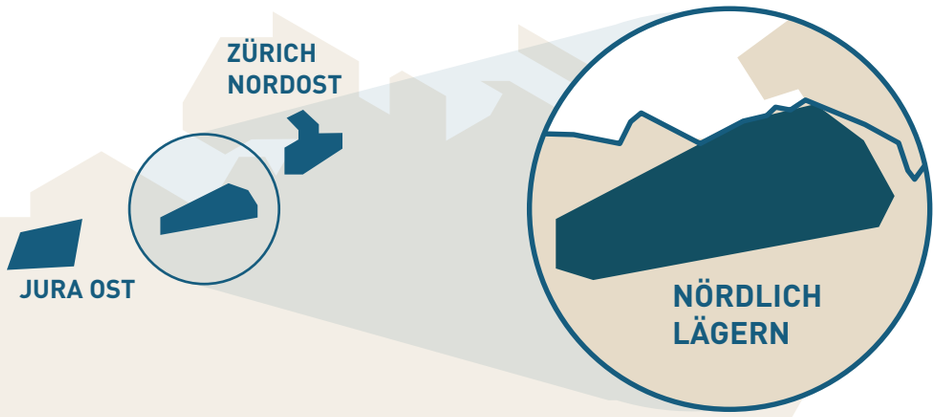
Blatt Papier 0,1 mm:
**0,0001 mSv/Jahr**
maximale erwartete Zusatzdosis

## DURCHSCHNITTLICHE STRAHLENDOSIS UND DAS TIEFENLAGER

Eine Person nimmt in der Schweiz pro Jahr eine durchschnittliche natürliche Strahlendosis von rund 5 Millisievert auf. Der grösste Teil davon stammt vom Radon in Wohnräumen, von kosmischer Strahlung sowie aus der Nahrung. Laut Gesetz darf das Tiefenlager bei einer Person, die direkt darüber lebt, zu einer zusätzlichen Strahlendosis von maximal 0,1 Millisievert pro Jahr führen. Laut Berechnungen der Nagra steigt der Wert aber maximal um 0,0001 Millisievert.

# WESHALB NÖRDLICH LÄGERN?

| KRITERIENGRUPPE | ALLE DREI STANDORTGEBIETE |
|---|---|
| **EIGENSCHAFTEN DES WIRTGESTEINS RESPEKTIVE DES EINSCHLUSSWIRKSAMEN GEBIRGSBEREICHS**<br>**QUALITÄT** | Die homogene Zusammensetzung und die Dicke (Mächtigkeit) der tonreichen Gesteine erfüllen in allen drei Gebieten die Anforderungen sehr gut. Die Durchlässigkeit ist im gesamten Bereich sehr gering. Durch den konsistent hohen Gehalt an Tonmineralien sind die Voraussetzungen für die Selbstabdichtung überall gegeben, die geochemischen Bedingungen sind in allen drei Gebieten vergleichbar. Durch die Mineralogie der tonreichen Gesteine ist das Rückhaltevermögen in allen Standortgebieten hoch. Die Barrierewirkung des Opalinustons ist in allen drei Gebieten sehr gut. Zusätzlich tragen die Rahmengesteine zum Einschluss und somit zur Langzeitsicherheit bei. |
| **LANGZEITSTABILITÄT**<br>**STABILITÄT** | Alle drei Gebiete sind langfristig geologisch stabil. Selbst im sehr unwahrscheinlichen Szenario von künftigen starken tektonischen Kräften würde sich der Opalinuston duktil (plastisch) verformen, anstatt Risse zu bilden. Entstehen dennoch kleine Risse, dichten sich diese schnell selbst wieder ab. Jedes der drei Standortgebiete bietet einen hohen Schutz vor natürlichen Erosionsprozessen, sowohl in Bezug auf Gletscher- wie auch auf Gewässererosion. In keinem der drei Standortgebiete gibt es Rohstoffe in besonderem Mass, die einen Einfluss auf die Standortwahl haben. |
| **ZUVERLÄSSIGKEIT DER GEOLOGISCHEN AUSSAGEN**<br>**FLEXIBILITÄT** | Die geologischen Verhältnisse lassen sich mit den vorhandenen Daten und der guten Datenqualität im gesamten Bereich der Standortgebiete zuverlässig darstellen und prognostizieren. In der Nordschweiz liegt der Opalinuston in einer äusserst einheitlichen und gleichmässigen Form vor, heterogener aufgebaut sind die Rahmengesteine. Es besteht in allen Gebieten ein vollständiges Bild des geologischen Untergrunds. |
| **BAUTECHNISCHE EIGNUNG** | In allen drei Standortgebieten liegen bautechnisch beherrschbare Verhältnisse vor. Neue Messungen zur Gesteinsfestigkeit zeigen, dass zwischen den Gebieten keine relevanten Unterschiede bestehen, die sich auf den Bau, den Betrieb, die Überwachung oder den Verschluss des Tiefenlagers auswirken. |



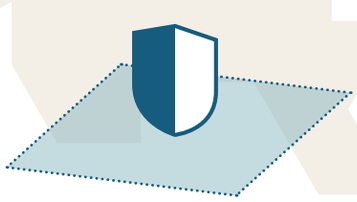

## DIE VORTEILE VON NÖRDLICH LÄGERN

### In Nördlich Lägern schliesst die geologische Barriere die Abfälle am besten ein.

Das gefundene Porenwasser ist im Opalinuston und in den umgebenden tonreichen Gesteinen im Gebiet Nördlich Lägern am ältesten. Dies ist ein Indikator für die beste Einschlusswirksamkeit. Faktoren, die zur Einschlusswirksamkeit beitragen können, sind beispielsweise die Dichtigkeit des Gesteins, ein grosser Abstand zu wasserführenden Schichten, die Fliesseigenschaften und -verhältnisse dieser wasserführenden Schichten und ihre Anbindung an die Oberfläche.

### In Nördlich Lägern ist die Langzeitstabilität der geologischen Barriere am grössten.

Der Schutz der Barriere vor künftiger Erosion ist aufgrund der grössten Tiefenlage und durch über dem Wirtgestein liegende erosionsresistente Gesteine in diesem Gebiet am besten.



### In Nördlich Lägern ist der geeignete Bereich und damit die Flexibilität bei der Anordnung des Lagers am grössten.

Im Gebiet Nördlich Lägern gibt es den grössten zusammenhängenden Bereich ohne Hinweise auf Störungen. In diesem Gebiet ist die Flexibilität für die Anordnung des Lagers deshalb am grössten.

*Die Zusammenarbeit und der Austausch mit den betroffenen Menschen sind für die Nagra zentral – wie hier bei einer Bohrplatzführung.*

# DIE OBERFLÄCHENANLAGE BEIM HABERSTAL

Die Oberflächenanlage zum Tiefenlager soll im Gebiet Haberstal in der Gemeinde Stadel gebaut werden. Diesen Standort hat die Nagra in Zusammenarbeit mit der Region und dem Kanton Zürich gewählt.

Vom Areal der Oberflächenanlage aus wird das Tiefenlager gebaut, betrieben, überwacht und am Schluss verschlossen. Hier befinden sich die Anlagen und Zugänge: zum Beispiel für Bau und Betrieb und die Zufuhr von Frischluft. Hier werden die Abfälle angeliefert und zur Einlagerung bereitgestellt. Administrations- und Werkgebäude vervollständigen das Areal. Die Anlagen und Gebäude werden in Etappen errichtet. Die meisten werden nach wenigen Jahrzehnten zurückgebaut, wenn sie nicht mehr benötigt werden.

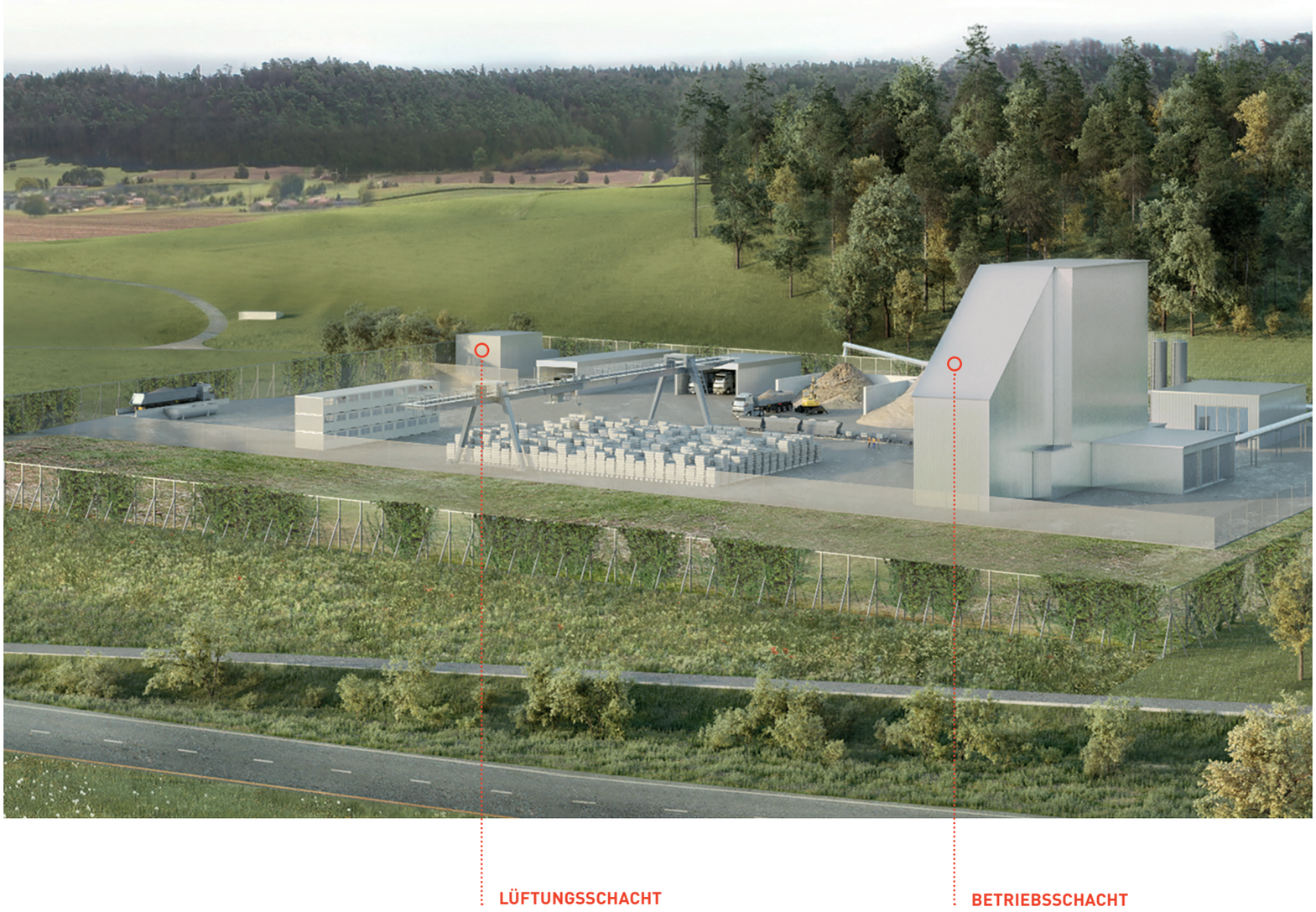
Bei der Platzierung des Lagers im Untergrund entscheidet die Geologie über die Sicherheit. Deshalb wird der Standort nach sicherheitstechnischen Kriterien des Sachplans gewählt. Der Standort der Oberflächenanlage wurde zusammen mit der Region festgelegt: Hier hängt die Sicherheit hauptsächlich von der Auslegung der Anlagen und nicht von der Geologie oder der Lage des Areals ab.

Der Bund leitet den Partizipationsprozess, bei dem die Regionen und Kantone ihre Interessen einbringen können. Die Region Nördlich Lägern und der Kanton Zürich diskutierten ab 2012 diverse Standorte für die Oberflächenanlage. Kanton und Region sprachen sich für das Areal beim Haberstal aus. Diese Empfehlung übernimmt die Nagra und plant die Oberflächenanlage – ohne Verpackungsanlagen – beim Haberstal.

**WEITERE INFORMATIONEN**

- Vorläufige Planungsstudie (NAB 22-05)
- Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager (NAB 19-08)
- Module eines geologischen Tiefenlagers (NAB 22-35)
- Regionale Partizipation – ein Überblick
- Regionalkonferenz Nördlich Lägern

# VISUALISIERUNG DER OBERFLÄCHENANLAGE



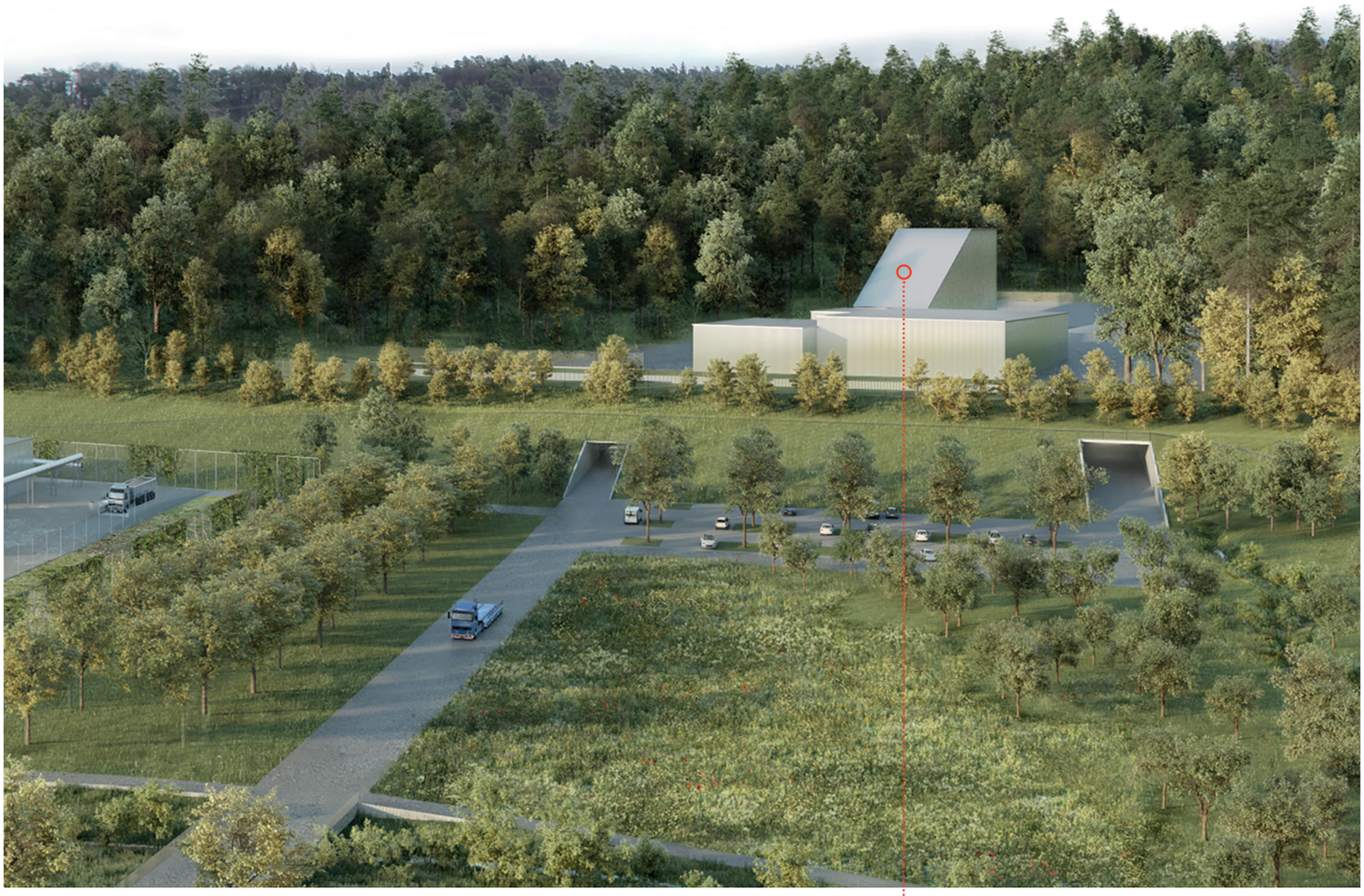

## ERSTE ARBEITEN AB 2034

Zuerst werden ab circa 2034 an der Oberfläche die nötige Infrastruktur für die Erschliessung und jene für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertage gebaut. Parallel werden zwei Schächte bis hinab zum Wirtgestein erstellt. Anschliessend wird unter anderem der Opalinuston auf Lagerebene noch einmal genau untersucht.

## BAU UND EINLAGERUNG (2045–2075)

Die Anlagen werden zum Tiefenlager erweitert: Es wird ein dritter Schacht für die Einlagerung der radioaktiven Abfälle gebaut, und der Lagerteil für die schwach- und mittelaktiven Abfälle wird ausgebrochen. In dieser Bauphase werden bei der Oberflächenanlage Flächen für Baustelleninstallationen, Lagerflächen für Geräte und Baumaterial sowie Deponien für Aushubmaterial benötigt. Der Einlagerungsbetrieb für schwach- und mittelaktive Abfälle beginnt 2050.

20220823_ASR Bericht_D.indd 56 24.08.22 18:58



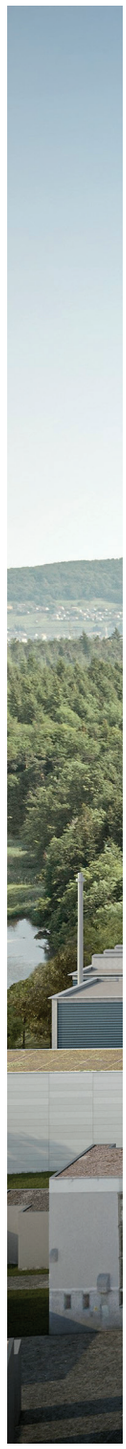

Ab 2055 wird der Lagerteil für die hochaktiven Abfälle erstellt mit Einlagerungsbeginn ab 2060. Mit Abschluss der Einlagerung werden die Lagerstollen und -kavernen jeweils mit einem ersten Siegel verschlossen.

## BEOBACHTUNGSPHASE AB 2065 UND VERSCHLUSS ETWA 2125

Für die längerfristige Beobachtung wird das Lager eine Zeit lang weiter direkt zugänglich gehalten. Gemäss heutiger Planung soll es in Etappen verschlossen werden. Die Zugänge zu den Lagerkammern werden verfüllt und versiegelt. Falls sich künftige Generationen für den Verschluss des Tiefenlagers entscheiden, wird es nach aktueller Planung etwa 2125 verschlossen, und danach werden auch die letzten Oberflächenanlagen zurückgebaut.

# VERPACKUNGSANLAGEN BEIM ZWILAG

Die Verpackungsanlagen werden beim Zwischenlager in Würenlingen gebaut. Dafür sprechen vor allem Synergien mit bereits bestehenden Anlagen und Umweltaspekte.



Um radioaktive Abfälle in einem Tiefenlager einlagern zu können, müssen sie in Endlagerbehälter verpackt werden. Dazu sind Verpackungsanlagen für alle Abfallkategorien inklusive der verbrauchten Brennelemente nötig. Diese Anlagen können entweder bei der Oberflächenanlage in Stadel oder beim Zwischenlager Zwilag in Würenlingen platziert werden.

Die Platzierung beim Zwilag bringt verschiedene Vorteile – hier können Synergien mit der bestehenden Infrastruktur genutzt werden. Die Anlagen können als Ergänzung des bestehenden, nuklearen Industrieareals erstellt werden. Auch die unmittelbare Nachbarschaft zum Bundeszwischenlager ist vorteilhaft. Der gesamte radioaktive Abfall der Schweiz lagert bis zur Einlagerung in einem Umkreis von 1,5 Kilometern rund um das Zwilag, wo er für die Tiefenlagerung verpackt werden soll. Der Standort beim Zwilag ist aber auch aus umwelt- und raumplanerischer Sicht sinnvoll: Die Oberflächenanlagen können kompakter gebaut werden und brauchen insgesamt weniger Ressourcen.

**WEITERE INFORMATIONEN**

- Website Zwilag
- Begründung Standortwahl Verpackungsanlagen (NAB 22-27)
- Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers. Standortspezifische Vorschläge (NAB 19-08)
- Verpackungsanlage hochaktiver Abfälle: Vor- und Nachteile verschiedener Standortvarianten (NAB 20-14)
- Regionalkonferenz Jura Ost

Beim Zwilag werden durch die räumliche Nähe zu weiteren Nuklearanlagen (Zwischenlager Beznau, Paul Scherrer Institut, Bundeszwischenlager) Kompetenzen und Ressourcen zur Handhabung von nuklearem Material gebündelt.

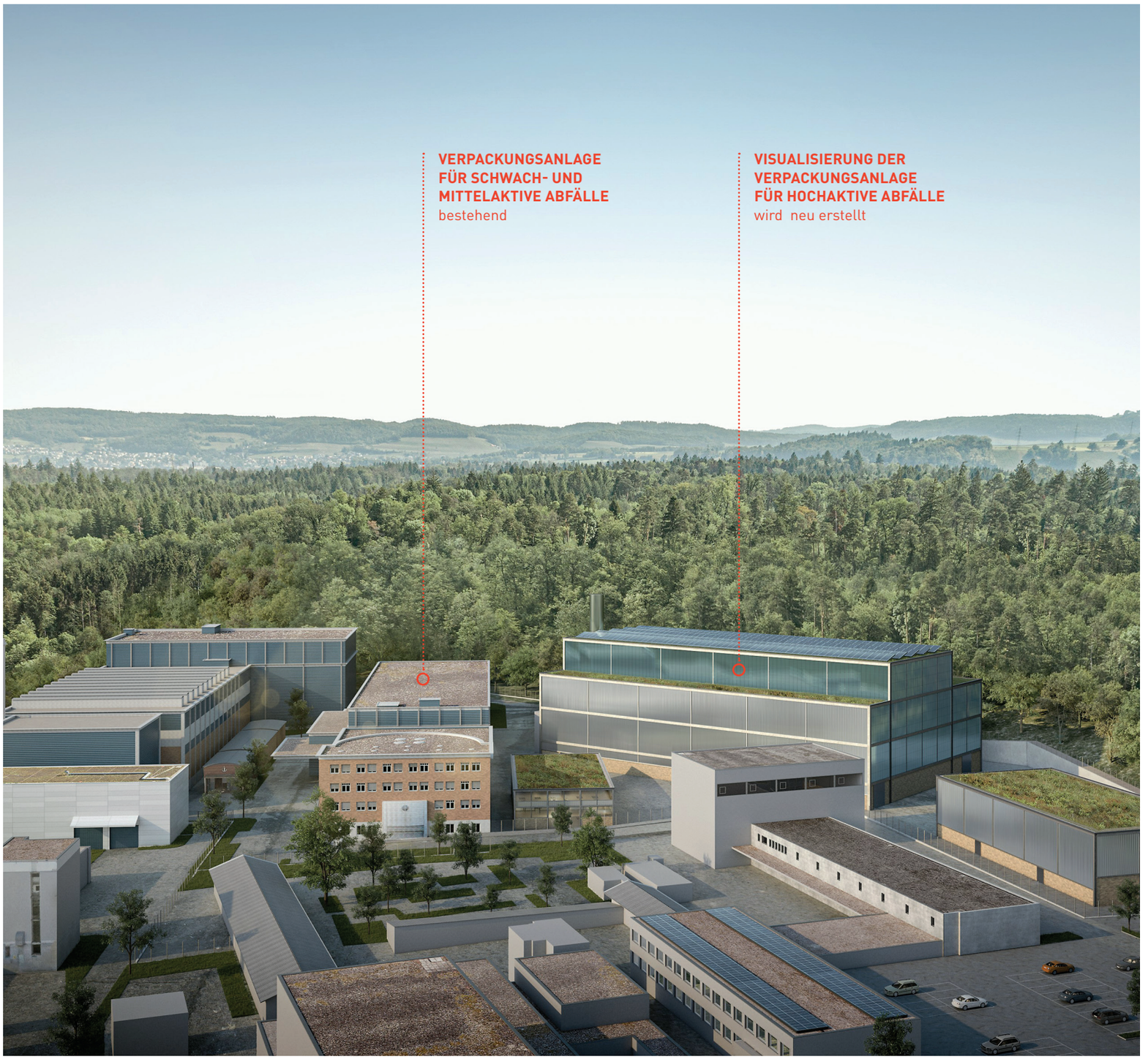
## SYNERGIEN NUTZEN

Es gibt vor Ort mehr Personal, das Erfahrung hat im Umgang mit radioaktivem Abfall – zum Beispiel existiert im Zwilag bereits eine heisse Zelle für die Umverpackung. Im Betrieb der Gesamtanlage entsteht durch die räumliche Nähe der Nuklearanlagen eine grössere Flexibilität im Betriebsablauf, zum Beispiel bei Bereitstellungsräumen. Beim Zwilag müssen zudem nicht alle Gebäude neu erstellt werden, ein Teil der Infrastruktur ist bereits vorhanden. Für die Verpackung der schwach- und mittelaktiven Abfälle etwa muss lediglich die Kapazität der bestehenden Anlage erhöht werden. Dank der Nähe zum Zwilag kann die Verpackungsanlage von hochaktiven Abfällen kleiner ausgelegt werden.

Der Standort ist schon heute das Kompetenzzentrum für die Konditionierung und Verpackung von radioaktiven Abfällen. Durch die Platzierung der Verpackungsanlagen beim Zwilag können die Synergien für sicherheitsrelevante Betriebsabläufe genutzt werden.

## LOKALE EINGLIEDERUNG UND UMWELT

Beim Zwilag existiert bereits eine Bebauung mit industriellem Charakter, in die sich die Verpackungsanlagen einfügen, ohne das Landschaftsbild wesentlich zu verändern. Für die Oberflächeninfrastruktur wird beim Zwilag weniger Fläche beansprucht, als




wenn die Verpackungsanlagen beim Haberstal gebaut würden. Der Eingriff in die Landschaft ist kleiner und es braucht weniger Waldrodungen.

## EINORDNUNG DER NOTWENDIGEN ABFALLTRANSPORTE

Unabhängig vom Standort der Anlagen für die Verpackung müssen alle radioaktiven Abfälle aus dem Grossraum Zwilag zum Tiefenlager transportiert werden.

Die Endlagerbehälter, insbesondere jene für hochaktive Abfälle, fassen deutlich weniger Abfall als die heutigen Lagerbehälter. Durch die Platzierung der Verpackungsanlagen beim Zwilag erhöht sich die Zahl der Abfalltransporte daher um etwa 50 Prozent.

Solche Transporte sind allerdings Routine und gehen in der Schweiz und in Europa seit Jahrzehnten reibungslos vonstatten. Die Mehrzahl von ihnen wird im regulären Strassenverkehr mit Lastwagen und Schwerlastwagen durchgeführt, ein kleiner Teil in Sondertransporten, gesichert mit Polizeibegleitung. Durchschnittlich gibt es während 15 Jahren alle ein bis zwei Wochen einen solchen Transport.

# DER AUSBLICK

5

«Die Nagra forscht seit 1972. Darauf beruht unser Standortvorschlag. Wobei ‹ruhen› hier nicht wirklich passt: Wir forschen weiter, lernen ständig dazu und werden ein State-of-the-Art-Tiefenlager bauen.»

**IRINA GAUS, GESAMTPROJEKTLEITERIN FORSCHUNG & ENTWICKLUNG**

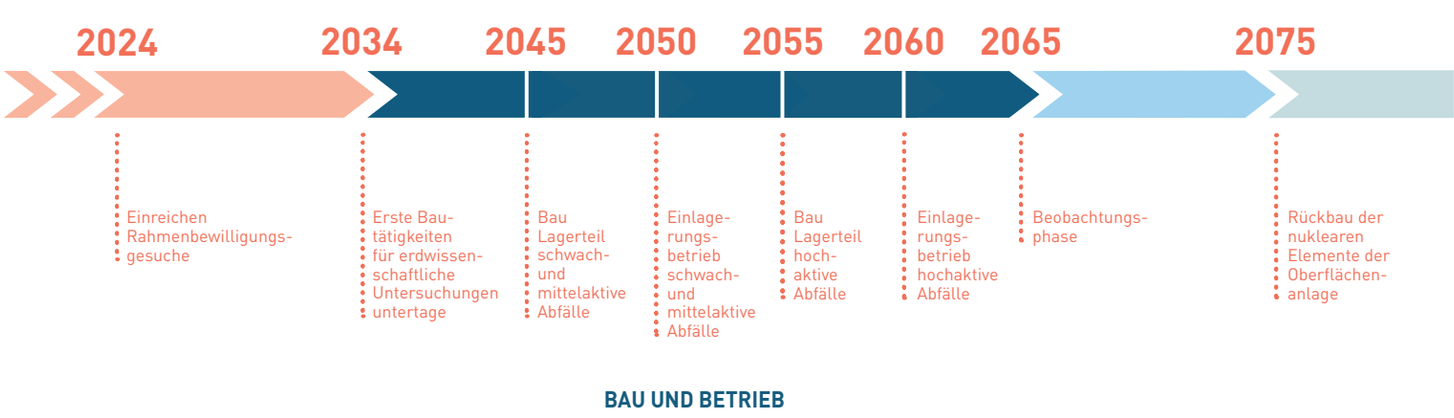
*Die Hydrogeologin war lange an europäischen Forschungsprojekten im Untergrund beteiligt. Diese Erfahrung setzt Irina Gaus seit 2007 für ihre Arbeit bei der Nagra ein.*

# SO GEHT ES WEITER

Die Nagra forscht weiter – bis zum Verschluss des Tiefenlagers. Die Behörden werden das Projekt weiterhin überwachen, und auch die Gesellschaft wird Verantwortung übernehmen müssen. Erste Bauarbeiten vor Ort starten in gut zehn Jahren.

In den nächsten zwei Jahren erarbeitet die Nagra die Rahmenbewilligungsgesuche und Fachdokumentationen für das Tiefenlager in Nördlich Lägern und die Verpackungsanlagen beim Zwilag in Würenlingen. Nach der Einreichung werden die Gesuche von den Behörden geprüft. Den Entscheid über die Bewilligungen treffen der Bundesrat und das Parlament sowie, im Fall eines fakultativen Referendums, das Schweizer Stimmvolk. Bis die ersten Bauarbeiten für die erdwissenschaftlichen Untersuchungen beginnen, dauert es noch mindestens zehn Jahre. Später braucht es weitere Bewilligungen, etwa für Bau und Betrieb des Lagers und zuletzt für dessen Verschluss. Die Behörden werden das Projekt also weiterhin überwachen und prüfen.

Die Bauaktivität bis zum Verschluss des Lagers in gut hundert Jahren wird unterschiedlich hoch sein. Eine erste intensive Phase wird ab ungefähr 2034 beim Bau der Schächte erreicht, bis zum Verschluss



des Lagers folgen Phasen mit mehr und mit weniger Bauarbeiten.

Die Behörden verpflichten die Nagra, bis zum Verschluss des Lagers weiter zu forschen und den technologischen Fortschritt zu berücksichtigen. Zwar sind die ExpertInnen der Nagra überzeugt, dass sie bereits heute ein sicheres Tiefenlager bauen könnten. Gleichzeitig ist klar, dass das Lager stetig optimiert werden kann: Die Technologie entwickelt sich ständig weiter, und dieser Fortschritt soll dem Tiefenlager zugutekommen. Beispielsweise bleibt der Endlagerbehälter für die hochaktiven Abfälle mindestens 10 000 Jahre dicht – und damit zehnmal so lange wie gesetzlich gefordert. Dennoch forschen SpezialistInnen der Nagra daran, wie sich dieser Behälter weiter optimieren lässt. Auch die Fortschritte in der Robotik und Automatisierung werden die Art und Weise beeinflussen, wie die Abfälle eingelagert und bei Bedarf zurückgeholt werden.

Die Nagra forscht dabei in enger Zusammenarbeit mit Hochschulen und ausländischen Entsorgungsorganisationen und profitiert insbesondere auch von Ländern, deren Tiefenlagerprojekte schon weiter fortgeschritten sind als in der Schweiz. Die Zusammenarbeit über Grenzen hinweg ist essenziell, damit das Tiefenlager für den radioaktiven Abfall der Schweiz ein Erfolg wird. Dazu braucht es nicht nur einen grenzüberschreitenden Austausch zwischen verschiedenen WissenschaftlerInnen, sondern auch zwischen Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Mit einer guten Zusammenarbeit kann die Entsorgungsaufgabe so gelöst werden, dass künftige Generationen sich nicht mehr darum kümmern müssen.

**WEITERE INFORMATIONEN**

- Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen (NTB 21-01)
- The Nagra Research, Development and Demonstration (RD&D) Plan for the Disposal of Radioactive Waste in Switzerland (NTB 21-02)
- RD&D Vision Document Nagra
- Forschung im Felslabor Grimsel (FLG)
- Forschung im Felslabor Mont Terri (FMT)
- Forschungsplattform für europäische Entsorgungsbeauftragte (IGD-TP)
- Europäisches Forschungsprogramm (EURAD)
- The First Underground Warren for Disposing of Spent Nuclear Fuel / The Economist

BEOBACHTUNGSPHASE UND VERSCHLUSS

## IMPRESSUM

**Herausgeberin:**
Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle
Hardstrasse 73
5430 Wettingen

**Redaktion:** Nagra

**Korrektorat:** Inés Flück, sprach-art

**Druck:** bm Druck AG

**Auflage:** 4 500 Exemplare

**Erscheinungsdatum:** September 2022

**Bezug:** Nagra (info@nagra.ch)

Der Bericht ist auch in Französisch und
in Englisch erhältlich.
Verbindlich ist die deutsche Version.

Alle abgebildeten Personen sind Mitarbeitende
und Auftragnehmende der Nagra.

**Weitere Informationen:** nagra.ch

20220823_ASR Bericht_D.indd 64 24.08.22 18:58

**Nagra | Nationale Genossenschaft**
**für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen
T. 056 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch