

Hauptsponsoren • Main Sponsors



AFRY Schweiz AG, Zürich



Emch+Berger Gruppe, Bern



Amberg Engineering AG
VersuchsStollen Hagerbach AG



Frutiger AG, Thun



Avesco AG, Langenthal



Gähler und Partner AG,
Ennetbaden



B+S AG, Bern



Gasser Felstechnik AG,
Lungern



Basler & Hofmann AG, Zürich



Heitkamp Construction
Swiss GmbH, Dierikon



Bellini Personal AG, Zürich



Herrenknecht AG,
Schwanau (DE)



Belloli SA, Grono
Rowa Tunnelling Logistics AG,
Wangen SZ



Holcim (Schweiz) AG, Zürich



csc costruzioni sa, Lugano



IM Maggia Engineering AG,
Locarno
IUB Engineering AG, Bern

Sponsoren • Sponsors



Implenia Schweiz AG, Opfikon



PORR SUISSE AG, Altdorf



Lombardi AG,
Bellinzona-Giubiasco,
Rotkreuz, Fribourg



Renzo Tarchini
Cantieri & Contratti SA,
Lugano



Marti Technik AG, Moosseedorf



Robert Aebi AG, Regensdorf



Marti Tunnel AG, Moosseedorf



SABAG Biel/Bienne Stahlcenter



Master Builders Solutions
Schweiz AG, Holderbank



Sika Schweiz AG, Zürich



Pini Group SA, Grono



WSP Ingénieurs Conseils SA,
Lausanne

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel
ACO AG, Netstal
Bekaert (Schweiz) AG, Baden
CSD INGENIEURE AG, Freiburg
EBP Schweiz AG, Zürich
GIPO AG, Seedorf

Gruner SA, Renens
ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich
Infra Tunnel SA, Marin
JAUSLIN STEBLER AG, Muttenz
Liebherr-Baumaschinen AG, Reiden
Locher Ingenieure AG, Zürich

MAPEI SUISSE SA, Sorens
MARECHAL GmbH, Willstätt-Sand (DE)
Promat AG, Münchwilen
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau
Société Suisse des Explosifs (SSE), Brig
VMT GmbH, Bruchsal (DE)

Severin Wälchli, Dr. sc. techn. ETH, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle Nagra, Wettingen/CH

Jürgen Brommundt, Dr. Ing., Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle Nagra, Wettingen/CH

Das Schweizer Tiefenlager

Vom Rahmenbewilligungsgesuch zum Spatenstich

Für das Rahmenbewilligungsgesuch des Schweizer Tiefenlagers hat die Nagra ein exemplarisches Lagerlayout erarbeitet. Das Layout diente dem Standortentscheid und weist primär die technische Machbarkeit nach. Das Tiefenlager wird basierend auf den Festlegungen der Rahmenbewilligung in den folgenden Bewilligungsschritten nach Kernenergiegesetzgebung weiterentwickelt.

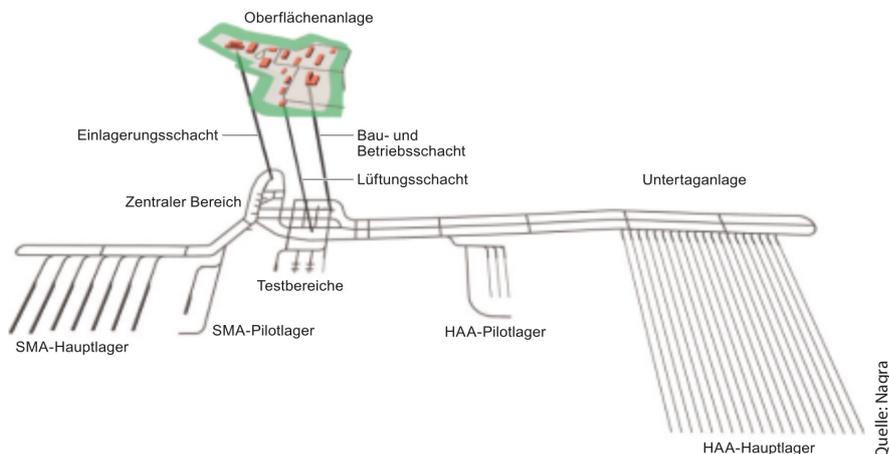
1. Einleitung

Die Nagra ist eine von den Abfallverursachern gegründete Genossenschaft mit dem Auftrag, die radioaktiven Abfälle der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager (gTL) sicher zu entsorgen. Sie reichte Ende 2024 das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für das geologische Tiefenlager ein. Im RBG vergleicht die Nagra die drei in der letzten Etappe des Sachplans geologische Tiefenlager verbleibenden Standortregionen Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost. Der Standortvergleich erfolgt anhand von verschiedenen, im Sachplan vorgegebenen Kriterien. Neben geologisch-sicherheitstechnischen Kriterien musste auch die bautechnische Eignung bewertet werden, zu deren Bewertung die Nagra exemplarische Lagerprojekte der Untertaganlagen geologischer Tiefenlager an den drei verbleibenden Standorten entwickelte. Im RBG beurteilt die Nagra den Standort Nördlich Lägern als sichersten Standort für ein gTL. In diesem Referat wird darum ausschliesslich auf das Lagerprojekt mit der Oberflächenanlage am Standort Haberstal (Gemeinde Stadel ZH, Nördlich Lägern) eingegangen.

2. Lagerlayout des Tiefenlagers

Im geologischen Tiefenlager sollen sämtliche zu entsorgenden Abfalltypen, d. h. schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und hochaktive Abfälle (HAA), an einem Standort entsorgt werden. Das Lagerprojekt lässt sich in die Oberflächenanlage (OFA) und die Untertaganlage (UTA) unterteilen, welche über Zugangsbauwerke miteinander verbunden werden. Die UTA besteht aus verschiedenen Standardbauwerken des Untertagbaus, d. h. Schächten, Tunneln, Stollen und Kavernen mit zugehörigen Verbindungen. Die radioaktiven Abfälle werden zum grossen Teil in den SMA-/ HAA-Hauptlagern und zum kleinen Teil in den sogenannten Pilotlagern eingelagert, die neben der Einlagerung vor allem der Beobachtung dienen (Bild 1).

Der Zugang nach untertag erfolgt für die exemplarische Umsetzung des Tiefenlagers mittels drei Zugangsbauwerken, dem Bau- und Betriebsschacht, dem Einlagerungsschacht und dem Lüftungsschacht. Der zentrale Bereich



1 Exemplarische Umsetzung der Gesamtanlage des geologischen Tiefenlagers mit Untertaganlage und Oberflächenanlage am Standort Haberstal

Phasen	2035	2050	2060	2130	Dauer [a]
Bau (1) & Betrieb (2) Zentraler Bereich und Testbereiche	1	2			5 & 15
Bau (3) & Einlagerungsbetrieb (4) Lager SMA		3	4		5 & 15
Bau (5) & Einlagerungsbetrieb (6) Lager HAA			5	6	5 & 15
Beobachtungsphase SMA / HAA (7)				7	50 / 50
Verschluss Hauptlager (8) / Gesamtlager (9)				8	6 / 2

2 Realisierungsplan für das geologische Tiefenlager

Quelle: Nagra

Quelle: Nagra

Le dépôt en couches profondes suisse

De la demande d'autorisation générale au premier coup de pioche

Nagra a déposé sa demande d'autorisation générale pour un dépôt en couches profondes fin 2024. À cette fin, la société a élaboré un agencement exemplaire du dépôt en couches profondes pour tous les types de déchets à éliminer. L'agencement a servi à déterminer l'emplacement et, notamment, à démontrer la faisabilité technique. L'installation complète sera développée sur la base des déterminations de l'autorisation générale dans les étapes d'autorisation suivantes, conformément à la législation sur l'énergie nucléaire.

Deposito in strati geologici profondi in Svizzera

Dalla domanda di autorizzazione di massima alla posa della prima pietra

A fine 2024 la Nagra ha presentato domanda di autorizzazione di massima riguardante un deposito in strati geologici profondi. A tale scopo è stato elaborato un progetto esemplare per un deposito in strati geologici profondi per tutte le tipologie di rifiuti da smaltire. Il progetto è servito per la scelta dell'ubicazione e dimostra in primo luogo la fattibilità tecnica. L'intero impianto sarà ulteriormente sviluppato in base a quanto stabilito nell'autorizzazione di massima nelle seguenti fasi di autorizzazione secondo la legislazione sull'energia nucleare.

The Swiss deep geological repository

From the general licence application to the first turn of the shovel

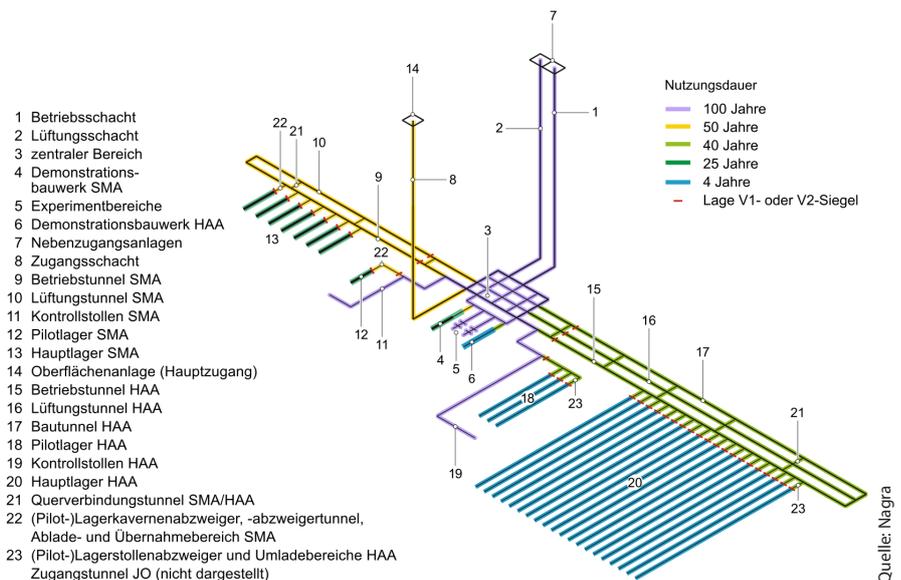
Nagra submitted the general licence application for a deep geological repository in late 2024. To this end, an exemplary layout was developed mapping a deep geological repository for all types of waste to be disposed of. The layout was used to decide on the location and primarily demonstrates the technical feasibility. Based on what is set out in the general licence, the whole facility will be developed further in subsequent licensing steps in accordance with nuclear energy legislation.

bietet die erforderliche Infrastruktur für den Bau, die Erschliessung und die Versorgung der UTA. Neben der versorgenden Funktion stellt der zentrale Bereich Platz für die Materialbewirtschaftung und Logistik bereit. Das HAA-Hauptlager und HAA-Pilotlager dienen dem Einlagern der HAA und bestehen aus Lagerstollen, welche als Blindstollen mit einem Gefälle der Neigung des Opalinustons folgend und parallel zueinander angeordnet sind. Das Pilotlager HAA dient der Einlagerung einer repräsentativen Abfallmenge. Es ist gleich wie das HAA-Hauptlager aufgebaut, besteht aber aus drei kürzeren Lagerstollen. Das SMA-Hauptlager und SMA-Pilotlager dienen dem Einlagern der SMA. Das SMA-Hauptlager besteht aus horizontalen Lagerkavernen, die parallel angeordnet sind. Das Pilotlager SMA ist gleich wie das SMA-Hauptlager aufgebaut, besteht aber aus einer kürzeren Lagerkaverne. Die Testbereiche bestehen aus Bauwerken zur Durchführung von gesetzlich vorgegebenen, vor der Einlagerung durchzuführenden Tests zur Demonstration der Funktionstüchtigkeit sicherheitsrelevanter Techniken und zur Bestätigung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins.

3. Realisierungsplan und Nutzungsdauern

Das Tiefenlager wird in verschiedenen Realisierungsphasen erstellt. Wesentliche vorgegebene Randbedingungen des Zeitplans sind die Betriebsaufnahme des SMA-Lagers 2050 und des HAA-Lagers 2060 (Bild 2). Vorgängig müssen die Zugangsbauwerke sowie die Testbereiche aufgeföhren werden.

Die Nutzungsdauer wird konservativ aus Beginn und Ende der Phasen berechnet (Bild 3). Eine Ausnahme hiervon bilden die Lagerstollen des Pilotlagers HAA und des Hauptlagers HAA, für welche die Nutzungsdauer genauer bekannt ist. Pro Jahr werden zwei Lagerstollen erstellt und parallel dazu



3 Darstellung der pro Bauwerk geforderten Nutzungsdauer für das geologische Tiefenlager

Quelle: Nagra

in zwei zuvor erstellte Lagerstollen sukzessive die Endlagerbehälter eingebracht. Daraus ergibt sich eine Nutzungsdauer von ungefähr drei Jahren pro Lagerstollen. Die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sind für die Nutzungsdauer der jeweiligen Bauwerke nachzuweisen.

4. Lagerauslegung

Die Bauwerke auf Lagerebene liegen vollständig mittig in einer ca. 100 m mächtigen Opalinustonsschicht. Opalinuston ist ein Tongestein, welches sich als Wirtgestein für ein gTL aus verschiedenen Gründen besonders eignet. Der Opalinuston hat eine besonders geringe hydraulische Leitfähigkeit, einen geringen Diffusionskoeffizienten für den Transport gelöster Radionuklide durch das Gestein und eine effiziente Selbstabdichtung bei mechanischer Deformation mit Bruchbildung. Entsprechend sind Anforderungen an die lagemässige und höhenmässige Anordnung der Bauwerke zu beachten.

4.1. Anforderungen an das Lagerlayout

Die Bauwerke des zentralen Bereichs (ZB) sollen möglichst nahe an den Schachtfussbereichen der Zugänge nach untertag liegen. Aus dem ZB werden sämtliche weiteren Bauwerke erstellt und erschlossen. Der Achsabstand zwischen benachbarten Tunneln auf Lagerebene soll aufgrund ihres Ausbruchquerschnitts mindestens 50 m betragen, um die gegenseitige Beeinflussung zu minimieren. Alle Bauwerke sollen möglichst mittig im Opalinuston platziert werden. Die mittige Lage der SMA-Lagerkavernen und HAA-Lagerstollen hat jedoch immer eine höhere Priorität als diejenige der übrigen Bauwerke. Dadurch ergeben sich in den Bereichen der Hauptlager die entsprechenden Höhenlagen für den HAA- und SMA-Betriebstunnel. Die HAA-Lagerstollen haben eine konstante Neigung.

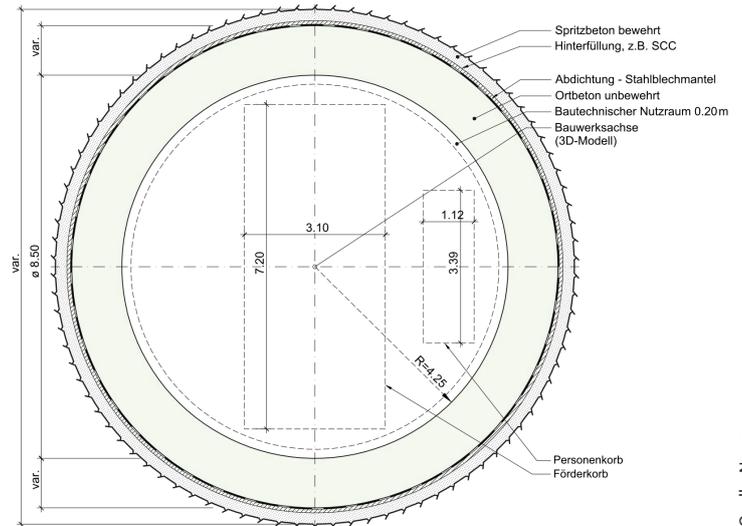
4.2. Schächte

Die Querschnittsgrößen der Schächte decken sowohl die erforderlichen Lichtraumprofile für den Betrieb des gTL wie auch die in der Planung für den Bau ermittelten Lichtraumprofile ab. Die Grösse der Normalprofile ermöglicht die Platzierung der Ver- und Entsorgungseinrichtungen für die Bau- und Betriebsaktivitäten. Weiter wird mit den Lichtraumprofilen sichergestellt, dass mobile Betriebsmittel wie Fahrzeuge oder Schachtförderanlagen in den Schächten und Bauwerken auf Lagerebene eingebaut und betrieben werden können.

4.2.1. Normalprofile

Der Einlagerungsschacht beinhaltet als massgebende Installation die Schachtförderanlage und eine Fähranlage für Personentransporte. Die Grösse des Normalprofils des Einlagerungsschachts (Bild 4) ist

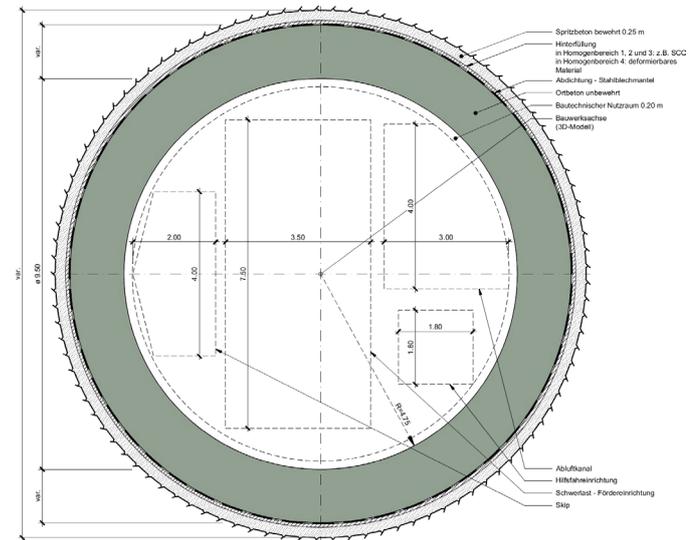
S20-BET-LRP1A



Quelle: Nagra

4 Normalprofil Einlagerungsschacht

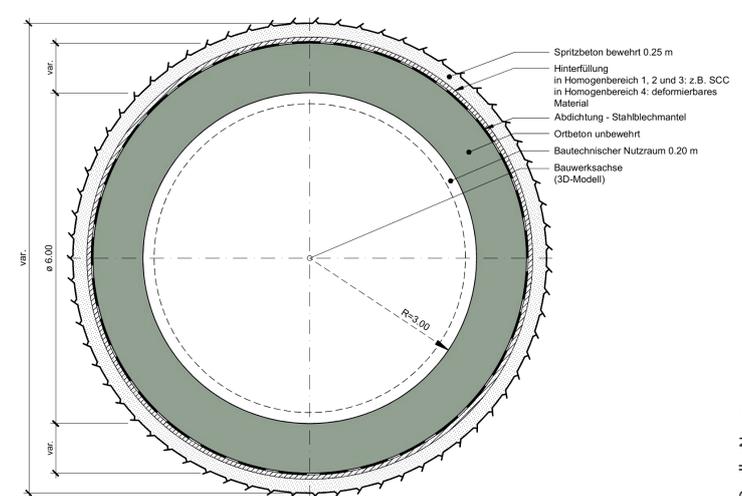
S80-BAU/BET-LRP1A



Quelle: Nagra

5 Normalprofil Bau- und Betriebsschacht

S50-BET-LRP1A



Quelle: Nagra

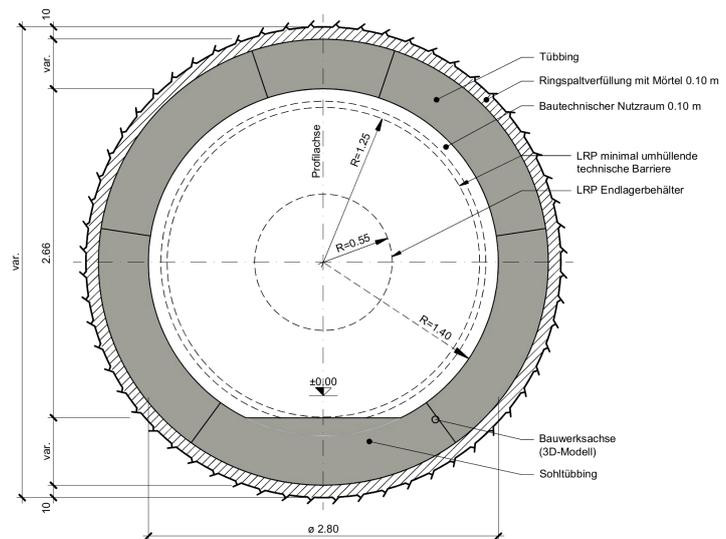
6 Normalprofil Lüftungsschacht

primär auf den Platzbedarf der zwei Fahranlagen ausgerichtet und erlaubt im freien Querschnitt die Abluftführung zur OFA.

Der Bau- und Betriebsschacht beinhaltet eine Schachtförderanlage für den Tunnel- und Kavernenbau sowie für den Betrieb und den Unterhalt auf Lagerebene, eine Fahranlage für Personentransporte und einen Skip für den kontinuierlichen und unabhängigen Abtransport von Ausbruchmaterial (Bild 5). Zusätzlich verfügt der Betriebsschacht über einen separaten Abluftkanal, über den Sprengschwaden zur Oberfläche abgeführt werden können.

Der Lüftungsschacht bietet neben seiner Primärfunktion der Bewetterung des gTL (Zufuhr von Frischluft auf Lagerebene) zusätzlich Raum für die optionale Durchführung von Sondertransporten Bau (Bild 6). Der Schacht bietet dabei aufgrund seines Normalprofils auch ausreichend Platz, um im Ereignisfall eine Hilfsfahranlage für den reinen Personentransport im Frischluftzustrom zum Tiefenlager betreiben zu können.

F10-BET-LRP1A



7 Normalprofil F10 für die HAA-Lagerstollen

Quelle: Nagra

4.2.2. Vortriebsmethode, Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen der Schächte

Die Schächte werden nach aktuellem Planungsstand konventionell abgeteuft. Das Lösen des Gebirges erfolgt dabei im Felsbereich mittels Sprengvortrieb (SPV). Die Sicherungsmittel werden dem Vortrieb folgend ab einer Schachtbühne eingebaut. Zur Vermeidung von unzulässigen Wasserzutritten wird das Gefrierverfahren eingesetzt.

4.3. Stollen, Tunnel und Kavernen im Opalinuston

Die Stollen, Tunnel und Kavernen liegen alle im Opalinuston. Aufgrund dessen geringer hydraulischen Durchlässigkeit ist eine Abdichtung der Bauwerke auf Lagerebene nicht erforderlich. Für das geologische Tiefenlager sind drei typische Normalprofile vorgesehen, das Normalprofil F10 der HAA-Lagerstollen (total ca. 19 km Tunnellänge), das Normalprofil K90 der SMA-Lagerkavernen (total ca. 1.7 km Kavernenlänge) sowie das Normalprofil D20 der Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel sowie weiterer Teile des zentralen Bereichs. Diese drei Normalprofile decken rund 90% der auf Lagerebene aufzufahrenden Streckenlänge ab.

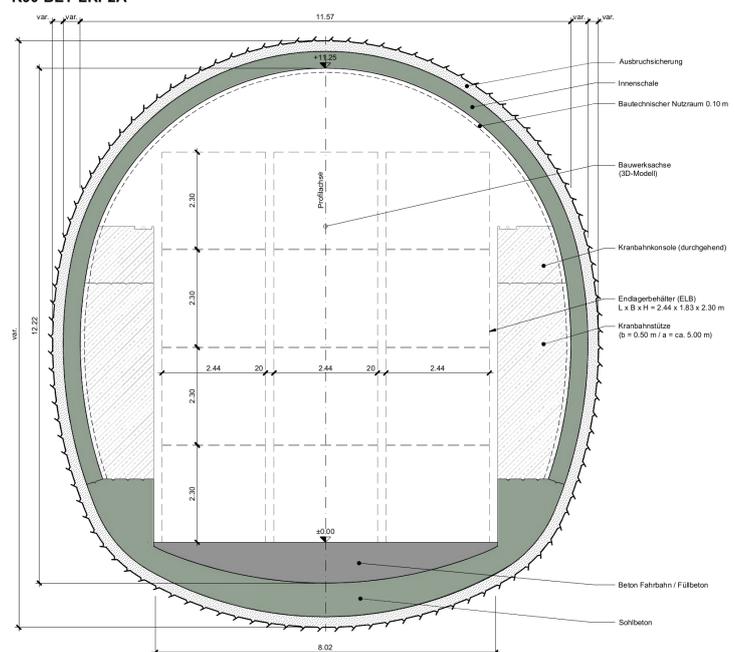
4.3.1. Normalprofile

Das Profil F10 zeigt den Ausbau des HAA-Lagerstollens mittels Tübbing (Bild 7). Die Tübbingstärke beträgt 40 cm. Massgebend für die Dimensionierung ist dabei der unwahrscheinliche Fall einer Rückholung der Abfälle innerhalb der Beobachtungsphase (Bild 2).

Das Profil K90 zeigt den Endausbau der Lagerkaverne für eine Einlagerung der SMA mittels Kranbahn (Bild 8).

Die Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel weisen alle dieselbe Profilform auf (D20, Bild 9). Da der Bauverkehr für das Auffahren der SMA-Kavernen und den Bau des HAA-Lagerteils aus Gründen der Arbeitssicherheit im Einbahnverkehr vorgesehen ist, weisen zudem alle Tunnel in der Verbindung vom zentralen Bereich bis hin zu den Lagerstollen bzw. Kavernen denselben Innendurchmesser von ca. 6 m auf. Das Profil D20 steht somit stellvertretend für einen Großteil der auf Lagerebene vorhandenen Profile.

K90-BET-LRP2A



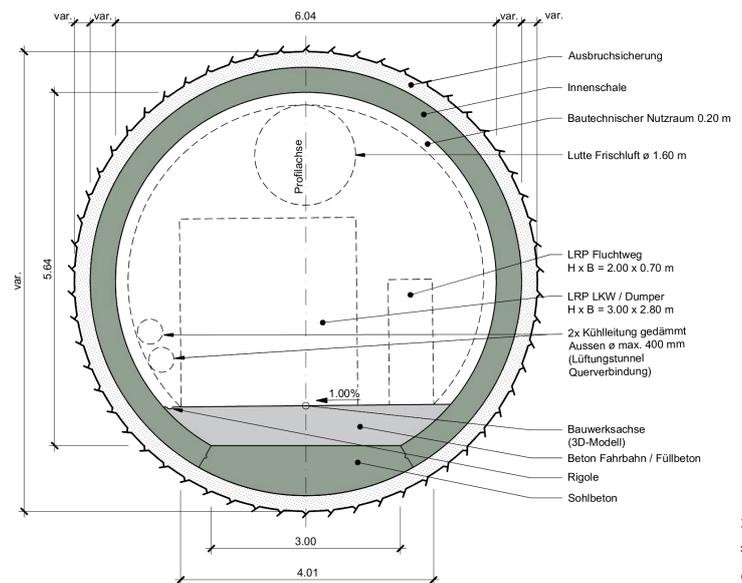
8 Normalprofil K90 für die SMA-Lagerkaverne

Quelle: Nagra

4.3.2. Vortriebsmethode, Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen der Bauwerke auf Lagerebene

Für alle Bauwerke auf Lagerebene, ausser für den HAA-Lagerstollen, wird ein Sprengvortrieb zugrunde gelegt. Aufgrund der hohen Gebirgsdrücke kommt für alle Profile im SPV eine nachgiebige Ausbruchsicherung zur Anwendung, die aus einer Systemankerung, einer geschlitzten Spritzbetonschale und Stahlbögen mit Gleitschlössern besteht. Nach Abklingen der Deformationen wird die definitive Innenschale eingebaut. Der Einbau der Innenschale erfolgt präferenziell in Ort beton. Bei komplexen Geometrien, wie etwa im Bereich von Verschneidungsbauwerken und Abzweigungen, ist auch ein Spritzbetoninnenausbau möglich. Der Vortrieb erfolgt bei den genannten Tunnelprofilen jeweils im Vollaussbruch. Bei den Lagerkavernen wird mit einer abgetreppten Ortsbrust ebenfalls im Vollaussbruch vorgetrieben. Für den Bau der HAA-Lagerstollen inkl. der HAA-Pilotlagerstollen ist ein maschineller Vortrieb mit einer Schild-Tunnelbohrmaschine (TBM-S) und einem starren Tübbingausbau im Schutz des Schilds vorgesehen. Der Ringspalt wird mit Mörtel verfüllt.

D20-BAU-LRP1B



Quelle: Nagra

9 Normalprofil D20 für die Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel

5. Ausblick

Die hier gezeigte exemplarische Umsetzung der untertägigen Anlagen des geologischen Tiefenlagers diente dem Standortvergleich im RBG und zeigt die generelle Machbarkeit des Projekts. Das dargestellte Lagerprojekt bietet einen Startpunkt für die standortspezifische Entwicklung der Gesamtanlage (inklusive Oberflächenanlagen). Diese wird, basierend auf den Festlegungen im RBG, gemäss dem Bewilligungsverfahren nach der Kernenergiegesetzgebung stetig weiterentwickelt. Durch die Realisierung des Lagers in mehreren Phasen, werden vertiefere Kenntnisse der lokalen geologischen Verhältnisse aus Schachterkundungen oder aus den zukünftigen Testbereichen sowie die Ergebnisse von Projektoptimierungen in die Planung einfließen. Detaillierte Abklärungen von Betriebsabläufen oder der Betriebssicherheit können gegebenenfalls zukünftig noch zu Projektänderungen führen. In der Untertaganlage werden beispielsweise Anpassungen bei der Anzahl und dem Ort der Schächte oder bei den Testbereichen erwartet. Insgesamt soll ein möglichst kompaktes, sicheres und finanzierbares Lagerprojekt angestrebt werden.

PROJEKTDATEN

Region

Standort Haberstal, Gemeinde Stadel, Kanton Zürich, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle

Kenndaten

Bauzeit:	ca. 2035 bis 2130
Inbetriebnahme:	2050 (Einlagerungsbetrieb)
Baukosten:	ca. 12 Mrd. (Gesamtvorhaben)
Gesamtlänge:	ca. 40 km
Ausbruchquerschnitt:	ca. 12 m ² bis 152 m ²