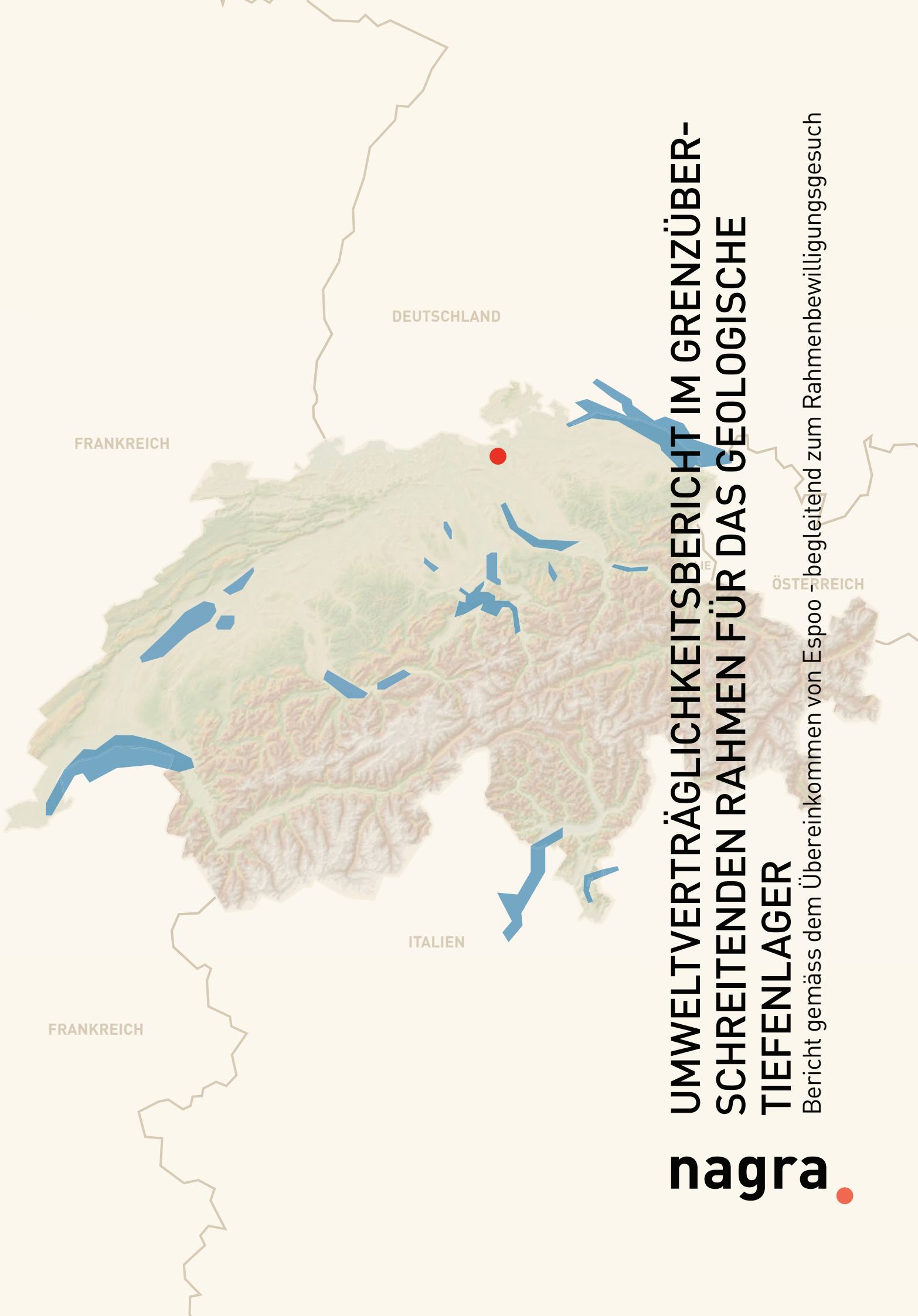




FRANKREICH

FRANKREICH

DEUTSCHLAND

ITALIEN

ÖSTERREICH

UMWELTVERTRÄGLICHKEITSBERICHT IM GRENZÜBER- SCHREITENDEN RAHMEN FÜR DAS GEOLOGISCHE TIEFENLAGER

Bericht gemäss dem Übereinkommen von Espoo - begleitend zum Rahmenbewilligungsgesuch

nagra ●



TECHNISCHER BERICHT 25-01

Umweltverträglichkeitsbericht im
grenzüberschreitenden Rahmen für das
geologische Tiefenlager

Bericht gemäss dem Übereinkommen von
Espoo – begleitend zum
Rahmenbewilligungsgesuch

Juli 2026

ISSN 1015-2636

Copyright © 2026 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten. Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw.

Zusammenfassung

Die Nagra hat im November 2024 ein Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für ein geologisches Tiefenlager (gTL) im Standortgebiet Nördlich Lägern (NL) mit den Oberflächenanlagen (OFA) am Standort «Haberstal» in Stadel (Zürich, Schweiz) eingereicht. Ziel dieses Berichts ist es, Deutschland und Österreich im Rahmen des Übereinkommens von Espoo frühzeitig über mögliche Umweltauswirkungen zu informieren und ihnen Gelegenheit zur Stellungnahme zu geben. Inhaltlich stützt sich der Bericht auf die Angaben im RBG ab.

Der vorliegende Bericht wurde im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) von der Nagra erstellt und von den zuständigen Bundesbehörden auf Vollständigkeit geprüft. Er erfüllt somit die Anforderungen des Übereinkommens von Espoo an die Dokumentation zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

Das gTL dient der gesetzlich vorgeschriebenen Entsorgung radioaktiver Abfälle. Eine Entsorgung gewährleistet den langfristigen Schutz von Mensch und Umwelt in der Schweiz und den Nachbarstaaten. Die Standortwahl erfolgte mittels eines sicherheitsorientierten Verfahrens.

Der OFA-Standort Haberstal wurde im Rahmen des Sachplanverfahrens «Sachplan geologische Tiefenlager» unter Einbezug angrenzender deutscher Gemeinden gewählt und basiert auf einer umfassenden Interessenabwägung.

Die Voraussetzungen für die Erteilung der Rahmenbewilligung sind aus Sicht der Nagra erfüllt. Der Standort ist für den Bau und Betrieb des gTL geeignet. Die Umgebung, die Bevölkerung und das Personal werden durch ein gestaffeltes Barrieren- und Schutzkonzept während des Normalbetriebs, bei Betriebsstörungen und bei Störfällen vor unzulässiger Strahlenexposition geschützt. Sicherheitsrelevante Auswirkungen ausserhalb der Anlage sind ausgeschlossen.

Die Langzeitsicherheit ist stufengerecht nachgewiesen. Selbst unter pessimistischsten Annahmen belegen die Ergebnisse, dass die Sicherheit des gTL in der Nachverschlussphase durch das Mehrfachbarrierensystem gewährleistet ist.

Das Mehrfachbarrierensystem besteht aus gestaffelten technischen und geologischen Barrieren. Vor allem die geologischen Barrieren stellen passiv, d. h. ohne menschliches Zutun, den Einschluss und die Rückhaltung der im gTL eingelagerten radioaktiven Stoffe sicher, bis die Radiotoxizität durch Zerfall genügend abgeklungen ist und gewährleisten so die Langzeitsicherheit.

Die Tiefenlage des gTL in einer stabilen geologischen Situation sorgt dafür, dass das Mehrfachbarrierensystem auch bei geologischen Prozessen und Entwicklungen an der Oberfläche und bei Klimaveränderungen langfristig geschützt bleibt.

Konventionelle (nicht radiologische) Umweltauswirkungen sind im Vergleich zum Ausgangszustand geringfügig und beschränken sich auf den Standort und das unmittelbare Umfeld des Projektperimeters. Erhebliche Auswirkungen auf die Nachbarstaaten können ausgeschlossen werden. Für alle Umweltbereiche sind Auswirkungen durch das Vorhaben entweder unerheblich oder sie sind lokal begrenzt und nehmen mit zunehmender Entfernung vom Projektperimeter auf ein vernachlässigbares Mass ab.

Die Rahmenbewilligung ist ein politischer Grundsatzentscheid und ein Akt der Rechtsanwendung zugleich, der den Standort sowie die Grundzüge des Projekts festlegt und die Grundlage bildet für nachfolgende Bewilligungsschritte. Für das gTL sieht das Kernenergiegesetz (KEG) ein zweistufiges UVP-Verfahren vor. Für das Rahmenbewilligungsverfahren erfolgt die Beurteilung der Umweltauswirkungen im Rahmen der UVP 1. Stufe. Der dafür erstellte Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) enthält auch ein Pflichtenheft für die UVP 2. Stufe, die später im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens erfolgt.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Figurenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Standortsuche und geprüfte Alternativen	4
2.1 Entsorgungsnachweis	4
2.2 Sachplan geologische Tiefenlager	4
2.3 Wahl des Standorts für das geologische Tiefenlager.....	5
2.4 Wahl des Standorts der Oberflächenanlage.....	8
2.5 Platzierung und Festlegung eines Areals für die Brennelementverpackungsanlage	12
3 Beschreibung des Vorhabens.....	13
3.1 Sicherheitskonzept für die Nachverschlussphase	13
3.2 Gesamtanlage und Lagergut	15
3.3 Projektperimeter	19
3.4 Realisierungsplan.....	22
3.5 Materialbewirtschaftungs- und Entsorgungskonzept.....	24
3.6 Verkehrserschliessung	24
3.7 Transporte radioaktiver Abfälle.....	26
3.8 Abschätzung des induzierten Verkehrs.....	27
3.9 Einlagerungsbetrieb	27
4 Radiologische Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt	29
4.1 Betriebsphase.....	29
4.2 Nachverschlussphase	35
5 Konventionelle Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt	43
5.1 Luftreinhaltung, Lärm, Erschütterung und abgestrahlter Körperschall	43
5.2 Nichtionisierende Strahlung (NIS)	46
5.3 Grundwasser	46
5.4 Oberflächengewässer	50
5.5 Entwässerung.....	51
5.6 Boden und Fruchtfolgeflächen	51
5.7 Altlasten.....	51
5.8 Konventionelle Abfälle, umweltgefährdende Stoffe	51
5.9 Umweltgefährdende Organismen	52
5.10 Störfallvorsorge / Katastrophenschutz (nicht-nuklear).....	52

5.11	Wald.....	52
5.12	Flora, Fauna, Lebensräume.....	52
5.13	Landschaft und Ortsbild	53
5.14	Kulturdenkmäler, archäologische Stätten.....	55
5.15	Übersicht Umweltauswirkungen	55
6	Überwachungs- und Managementprogramme	57
7	Wissenslücken und Ungewissheiten	59
8	Ausblick	61
8.1	Die Rahmenbewilligung	61
8.2	Die weiteren Bewilligungsschritte nach Kernenergiegesetzgebung.....	61
9	Literaturverzeichnis	63

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1:	Inhalt der Dokumentation zur UVP gemäss Anhang II (Übereinkommen von Espoo 1991).....	3
Tab. 3-1:	Flächenaufteilung des Projektperimeters.....	20
Tab. 5-1:	Schätzung des induzierten Bauverkehrs	45
Tab. 5-2:	Schätzung der durch das Vorhaben induzierten Zunahme (in %) des durchschnittlichen Werktagesverkehrs (DWV) bezogen auf die Verkehrsprognose für das Jahr 2040	45
Tab. 5-3:	Überblick Umweltauswirkungen	55

Figurenverzeichnis

Fig. 1-1:	Standorte.....	1
Fig. 2-1:	Geeignete Standortgebiete, SGT-Etappe 1	5
Fig. 2-2:	Standortgebiete für HAA- und SMA-Lager als Ergebnis von SGT-Etappe 1	6
Fig. 2-3:	Die drei weiterzuverfolgenden Standortgebiete als Ergebnis von SGT-Etappe 2	7
Fig. 2-4:	Standortgebiete und Planungsperimeter als Ergebnis von SGT-Etappe 1	9
Fig. 2-5:	Durch die RK NL beurteilte Arealvorschläge für die OFA (NL-1 – 9, NL-2a) im Standortgebiet NL (vgl. Kapitel 2 in Nagra 2013)	10
Fig. 2-6:	Standortgebiete und Standortareale für die OFA als Ergebnis von SGT-Etappe 2	11
Fig. 3-1:	Umsetzung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase gemäss den im RBG verfolgten Lagerkonzepten für HAA und SMA	14
Fig. 3-2:	Gesamtanlage des gTL (exemplarische Umsetzung, Nagra 2024a)	15
Fig. 3-3:	Vorläufiger Schutzbereich im Untergrund und Projektperimeter an der Oberfläche am Standort Haberstal	17
Fig. 3-4:	3D-Modell des vorläufigen Schutzbereichs im Untergrund und des Projektperimeters an der Oberfläche am Standort Haberstal.....	18
Fig. 3-5:	Übersichtskarte des Projektperimeters und seiner Umgebung	19
Fig. 3-6:	Projektperimeter (Nagra 2025e)	20
Fig. 3-7:	Bevölkerungsdichte pro Gemeinde in der Umgebung des Projektperimeters	21
Fig. 3-8:	Zeitlicher Ablauf in Anlehnung an EP21 (Nagra 2021)	22
Fig. 3-9:	Zustand der Gesamtanlage zu fünf ausgewählten und in Fig. 3-8 markierten Zeitpunkten.....	23
Fig. 3-10:	Verkehrs- und Transportwege im Umkreis des Projektperimeters.....	25
Fig. 3-11:	HAA-Einlagerungsbetrieb (exemplarisch)	28

Fig. 4-1:	Betriebe um den Projektperimeter, die der StFV unterliegen.....	33
Fig. 4-2:	Verlauf der Erdgasleitung in der Umgebung des Projektperimeters	34
Fig. 4-3:	Die Standortevaluation basiert auf 13 Kriterien zur Langzeitsicherheit und technischen Machbarkeit (vgl. Kap. 2.3 und Nagra 2025a)	36
Fig. 4-4:	Die für die Standortwahl ausschlaggebenden Eigenschaften des EG im Standortgebiet NL.....	39
Fig. 5-1:	Grundwasserverhältnisse im Umkreis des Projektperimeters.....	47
Fig. 5-2:	Auszug aus der Gewässerschutzkarte im Umkreis des Projektperimeters	48
Fig. 5-3:	Theoretische Sichtbarkeit von Schachtkopfanlagen mit 45 m Höhe im Nah-, Mittel- und Fernbereich des Projektperimeters.....	54

Datenquellen: Nagra (z. B. Standortgebiete, Projektperimeter), Swisstopo (z. B. Transportwege, Geländemodell), Bundesamt für Statistik (Bevölkerungsdichte), Kanton Zürich (z. B. Gasleitungen, Grundwasser), Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Grundwasser), Esri (Hintergrundkarte)

Abkürzungsverzeichnis

ADR	Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
AG	Kanton Aargau
AG SiKa / KES	Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone und Kantonale Expertengruppe Sicherheit
AG VA-extern	Arbeitsgruppe Verpackungsanlagen-Extern
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ATA	Alphatoxische Abfälle
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAR	Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung
BE	Abgebrannte Brennelemente
BEVA	Brennelementverpackungsanlage
BevSV	Bevölkerungsschutzverordnung
BFE	Bundesamt für Energie
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BLN	Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler
BMUKN	Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit
DWV	Durchschnittlicher Werktagesverkehr
EG	Einschlusswirksamer Gebirgsbereich
EGT	Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung
EKRA	Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle
ELB	Endlagerbehälter
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EP	Entsorgungsprogramm
ESchT	Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager
EVA	Einwirkungen von aussen
EVI	Einwirkungen von innen
FFF	Fruchtfolgeflächen
GAV	Gefährdungsannahmenverordnung
GIS	Geografische Informationssysteme

GschV	Gewässerschutzverordnung
gTL	Geologisches Tiefenlager
GVM-ZH	Gesamtverkehrsmodell des Kanton Zürichs
GWS	Grundwasserschutz
HAA	Hochaktive Abfälle
Hohentengen a. H.	Hohentengen am Hochrhein
HSK	Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (heutiges ENSI)
IGW	Immissionsgrenzwert
ISOS	Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung
JO	Standortregion Jura Ost
JS	Standortregion Jura-Südfuss
KbS	Kataster der belasteten Standorte
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KIG	Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz
KNS	Kommission für nukleare Sicherheit
LRV	Luftreinhalteverordnung
LGL BW	Geoportal Baden-Württemberg
LKW	Lastkraftwagen
MIRAM	Modellhaftes Inventar radioaktiver Materialien
mSv	Millisievert
Nagra	Nationale Gesellschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
NEA	Nuclear Energy Agency
NHV	Verordnung über den Natur- und Heimatschutz
NIS	Nichtionisierende Strahlung
NL	Standortregion Nördlich Lägern
OFA	Oberflächenanlage (des gTL)
PKW	Personenkraftwagen
RBG	Rahmenbewilligungsgesuch
RK	Regionalkonferenz
SDR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse
SGT	Sachplan geologische Tiefenlager

SH	Kanton Schaffhausen
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
SR	Standortregion Südranden
StFV	Störfallverordnung
StSV	Strahlenschutzverordnung
TB	Transportbehälter
UBB	Umweltbaubegleitung
UTA	Untertaganlage (des gTL)
UVB	Umweltverträglichkeitsbericht
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPV	Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung)
WA-HAA	Verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung
WLB	Standortregion Wellenberg
ZH	Kanton Zürich
ZNO	Standortregion Zürich Nordost
Zwilag	Zentrale Zwischenlager der Zwilag Zwischenlager Würenlingen AG

1 Einleitung

In der Schweiz schreibt das **Gesetz** vor, dass **radioaktive Abfälle in einem geologischen Tiefenlager (gTL) entsorgt werden müssen** (Art. 31 KEG). Für die Entsorgung müssen die Abfälle endlagerfähig verpackt werden. Die Verpackung von hochaktiven Abfällen (HAA) erfolgt in der Brennelementverpackungsanlage (BEVA). Schwach und mittelaktive Abfälle (SMA) werden in bereits bestehenden Betrieben endlager- und transportfähig verpackt. Sowohl das Tiefenlager als auch die BEVA gelten als Kernanlagen. Für den Bau und Betrieb solcher Anlagen ist eine Rahmenbewilligung des Bundesrats notwendig (Art. 12 Abs. 1 KEG). Die Nagra hat deshalb zwei Rahmenbewilligungsgesuche (RBG) eingereicht: eines für die BEVA am Standort Zwiilag im Kanton Aargau und eines für das gTL am Standort Haberstal im Kanton Zürich (vgl. Fig. 1-1). Die Gesuche und die dazugehörigen Unterlagen sind öffentlich einsehbar (vgl. drbg.ch).



Fig. 1-1: Standorte

Eine Rahmenbewilligung kann erteilt werden, wenn u. a. der Schutz von Mensch und Umwelt am vorgeschlagenen Standort sichergestellt werden kann (Art. 13 Abs. 1 Bst. a KEG) und keine anderen von der Bundesgesetzgebung vorgesehenen Gründe, namentlich des Umweltschutzes, des Natur- und Heimatschutzes und der Raumplanung, entgegenstehen (Art. 13 Abs. 1 Bst. b KEG).

Die behördliche Begutachtung des RBG erfolgt unter Leitung des Bundesamts für Energie (BFE) durch die zuständigen Bundesbehörden. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) prüft das RBG hinsichtlich der nuklearen Sicherheit und Sicherung und erstellt ein Gutachten. Die Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) nimmt Stellung zum ENSI-Gutachten. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und das Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) begutachten das RBG in Bezug auf Umwelt und Raumplanung und nehmen Stellung. Alle Kantone können zum RBG ebenfalls Stellung nehmen. Dabei beurteilt insbesondere der Standortkanton das RBG betreffend Umweltauswirkungen.

Weitere Stellungnahmen werden unter anderem durch folgende Fachexperten Gremien abgegeben: Die Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone und Kantonale Expertengruppe Sicherheit (AG SiKa / KES) erstellt im Auftrag und zuhanden der Kantone Zürich, Aargau und Schaffhausen eine Stellungnahme, die Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) nimmt Stellung zuhanden des ENSI und die deutsche Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) nimmt Stellung zuhanden der deutschen Behörden¹. Die Nuclear Energy Agency (NEA) bietet zuhanden der zuständigen Schweizer Behörden eine umfassende Perspektive, die sie bei ihrer eigenen Bewertung des Sicherheitsnachweises berücksichtigen können.

Gemäss Art. 44 KEG beteiligt das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) im Rahmen des Rahmenbewilligungsverfahrens den Standortkanton sowie die in unmittelbarer Nähe des vorgesehenen Standorts liegenden Nachbarkantone und Nachbarländer (für das gTL ist dies Deutschland, vgl. Fig. 1-1) an der Vorbereitung des Rahmenbewilligungsentscheids. Die Anliegen der Kantone Aargau, Zürich und Schaffhausen sowie Deutschlands sind zu berücksichtigen, soweit diese das Projekt nicht unverhältnismässig einschränken (Art. 44 KEG).

Das Vorhaben gTL fällt in den Anwendungsbereich des Übereinkommens über die Umweltverträglichkeitsprüfung im grenzüberschreitenden Rahmen (Anhang I, Ziff. 3 Übereinkommen von Espoo). Deutschland und Österreich haben gegenüber dem BFE ihr Interesse bekundet, im Rahmen des Übereinkommens von Espoo am Verfahren mitzuwirken und zum Vorhaben Stellung zu nehmen. Mit dem vorliegenden Bericht stellt die Nagra die dazu notwendigen Informationen zur Verfügung. Die dem Bericht zugrundeliegenden Unterlagen werden noch durch die Behörden geprüft.

Das BFE nimmt als die zuständige Bundesbehörde die Rechte und Pflichten der Schweiz als Ursprungspartei gemäss Art. 6a Abs. 2 UVPV wahr. Der vorliegende Bericht wurde von der Nagra im Auftrag des BFEs erstellt und durch das ARE, das BAFU, das BFE und das ENSI auf Vollständigkeit geprüft. Der **Bericht erfüllt die Anforderungen** an die Dokumentation zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) für ein Verfahren gemäss **Übereinkommen von Espoo** (vgl. Tab. 1-1: Inhalt der Dokumentation zur UVP gemäss Anhang II (Übereinkommen von Espoo 1991); Art. 4 Abs. 1 und Anhang II Übereinkommen von Espoo).

¹ Die ESchT wurde vom deutschen Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN, damals BMU) einberufen.

Tab. 1-1: Inhalt der Dokumentation zur UVP gemäss Anhang II (Übereinkommen von Espoo 1991)

Ziffer	Anforderung (gemäss Anhang II)	Abgehandelt in
a)	eine Beschreibung des Vorhabens und seines Zwecks	Kap. 3
b)	gegebenenfalls eine Beschreibung vertretbarer Alternativen (beispielsweise für den Standort oder in technologischer Hinsicht) zum Vorhaben einschliesslich des Verzichts	Kap. 2
c)	eine Beschreibung der Umwelt, die durch das Vorhaben und seine Alternativen voraussichtlich erheblich betroffen wird	Kap. 3 und Kap. 5
d)	eine Beschreibung der möglichen Umweltauswirkungen des Vorhabens und seiner Alternativen sowie eine Abschätzung ihres Ausmasses	Kap. 4 und Kap. 5
e)	eine Beschreibung der Massnahmen zur Reduzierung der nachteiligen Umweltauswirkungen auf ein Minimum	Kap. 3.1 und 8.2
f)	die ausdrückliche Angabe der Prognosemethoden und der zugrunde liegenden Annahmen sowie der verwendeten massgebenden Umweltdaten	Kap. 4, 5 und 8.2
g)	die Angabe von Wissenslücken und Unsicherheiten, die bei der Zusammenstellung der geforderten Angaben festgestellt wurden	Kap. 7
h)	gegebenenfalls eine Übersicht über die Überwachungs- und Managementprogramme sowie etwaige Pläne für eine Beurteilung nach der Projektdurchführung	Kap. 6
i)	eine nichttechnische Zusammenfassung, gegebenenfalls mit Anschauungsmaterial (Karten, Diagramme usw.)	Zusammenfassung

Die BEVA ist eine eigenständige Kernanlage und unterliegt ebenfalls dem Geltungsbereich des Übereinkommens von Espoo. Die BEVA wird in Nagra (2026) behandelt.

Der vorliegende Bericht stützt sich inhaltlich auf Angaben in RBG-Berichten für das gTL ab und fokussiert auf allfällige grenzüberschreitende Auswirkungen. Im Bericht wird auf die entsprechenden Quellen in den RBG-Unterlagen verwiesen. Bei etwaigen Widersprüchen gehen die RBG-Unterlagen vor.

Die **Rahmenbewilligung** ist u. a. als politischer Grundsatzentscheid zu verstehen, mit welchem der **Standort** sowie die **Grundzüge des Projekts festgelegt** werden². Die Standortwahl wird in Kapitel 2 und die Grundzüge des Projekts werden in Kapitel 3 beschrieben.

² Wesentliche Elemente der technischen Realisierung werden später mit der Baubewilligung festgelegt. Alternativen in technologischer Hinsicht werden bei der Ausarbeitung des Baubewilligungsgesuchs evaluiert.

2 Standortsuche und geprüfte Alternativen

2.1 Entsorgungsnachweis

Das in der Schweiz verfolgte **Konzept der geologischen Tiefenlagerung** geht auf eine Empfehlung der Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle (EKRA) zurück. Die EKRA wurde 1999 vom UVEK eingesetzt und hat verschiedene Lagerkonzepte verglichen und Alternativen geprüft³. Das durch die EKRA empfohlene Konzept (EKRA 2000) wurde 2003 vom Parlament als «geologische Tiefenlagerung» in das neue KEG aufgenommen.

Die Entsorgung hochaktiver Abfälle in einem gTL, d. h. ihr langfristig wirksamer Einschluss in geeigneten tiefliegenden Gesteinsformationen, entspricht der **internationalen Praxis**. Ähnliche Konzepte wie das schweizerische Entsorgungskonzept werden auch in anderen Ländern verfolgt (z. B. Deutschland, Frankreich, Finnland).

2002 wurde von der Nagra ein **Entsorgungsnachweis** für hochaktive Abfälle in einem gTL im Opalinuston eingereicht. Dieser basierte auf einem exemplarischen Vorhaben im Zürcher Weinland. Mit dem Entsorgungsnachweis wurde im Sinne einer Machbarkeitsstudie aufgezeigt, dass eine **sichere geologische Tiefenlagerung** der HAA an einem Standort in der Schweiz **möglich** ist (Nagra 2002). Der Nachweis war grundsätzlicher Art und stützte sich auf erdwissenschaftliche Untersuchungen.

Der Bundesrat hat den eingereichten Entsorgungsnachweis der Nagra aufgrund von Gutachten der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK, heutiges ENSI) sowie Stellungnahmen von Kommissionen und Experten im Jahr 2005 genehmigt. Der Bundesrat forderte aber, dass ausgehend von der ganzen Schweiz und allen möglichen Wirtgesteinen Alternativen geprüft werden sollen und ordnete einen Neuanfang der Standortsuche im Rahmen eines Sachplanverfahrens an.

2.2 Sachplan geologische Tiefenlager

Sachpläne sind Planungsinstrumente des Bunds zur Realisierung von Infrastrukturprojekten in der Kompetenz des Bunds, welche erhebliche Auswirkungen auf Raum und Umwelt haben. Der **Standort des gTL** wurde im Rahmen des Sachplanverfahrens «**Sachplan geologische Tiefenlager (SGT)**» gewählt und von der Nagra mit dem RBG beantragt.

2008 hat der Bundesrat den Konzeptteil des SGT verabschiedet (BFE 2008a). Dieser legt ein **transparentes Auswahlverfahren** mit sicherheitsgerichteten Kriterien für geologische Standortgebiete fest, stellt einen Vergleich verschiedener möglicher Standortgebiete sicher und dass verschiedene Standorte für die Oberflächenanlage (OFA) geprüft und einer **umfassenden Interessenabwägung** unterzogen werden (gemäss Art. 13 Abs. 1 Bst. b KEG). Bei letztgenanntem Punkt gewährleistet der SGT insbesondere den Einbezug der Standortregion.

Im selben Jahr startete die Standortsuche. Der Sachplan erfolgte in drei Etappen, wobei jede Etappe mit einem Entscheid des Bundesrats abgeschlossen wird. Etappe 1 wurde 2011 und Etappe 2 2018 abgeschlossen.

Entscheidend für den langfristig sicheren Einschluss der radioaktiven Abfälle in einem gTL sind die Verhältnisse im **geologischen Untergrund**. Insbesondere der einschlusswirksame Gebirgsbereich (EG), fehlende Fliesswege und eine langfristig stabile Situation tragen als natürliche Barriere zur Langzeitsicherheit bei (vgl. Kap. 4.2). Die Kriterien, die der SGT zur Auswahl der Standorte vorgibt, adressieren deshalb die Langzeitsicherheit in der Nachverschlussphase und die

³ Ein Vergleich der geologischen Tiefenlagerung mit möglichen Alternativen findet sich in BFE (2017).

bautechnische Machbarkeit. Wenn sicherheitstechnisch gleichwertige Standorte zur Auswahl stehen, werden Aspekte der Sicherheit beim Bau und Betrieb, bei der Raumnutzung, Ökologie, Wirtschaft und Gesellschaft nachgeordnet beurteilt.

2.3 Wahl des Standorts für das geologische Tiefenlager

In **SGT-Etappe 1** wurden ausgehend von der gesamten Schweiz aufgrund von Kriterien der Sicherheit und bautechnischen Machbarkeit **geeignete Standortgebiete** identifiziert (vgl. Fig. 2-1).

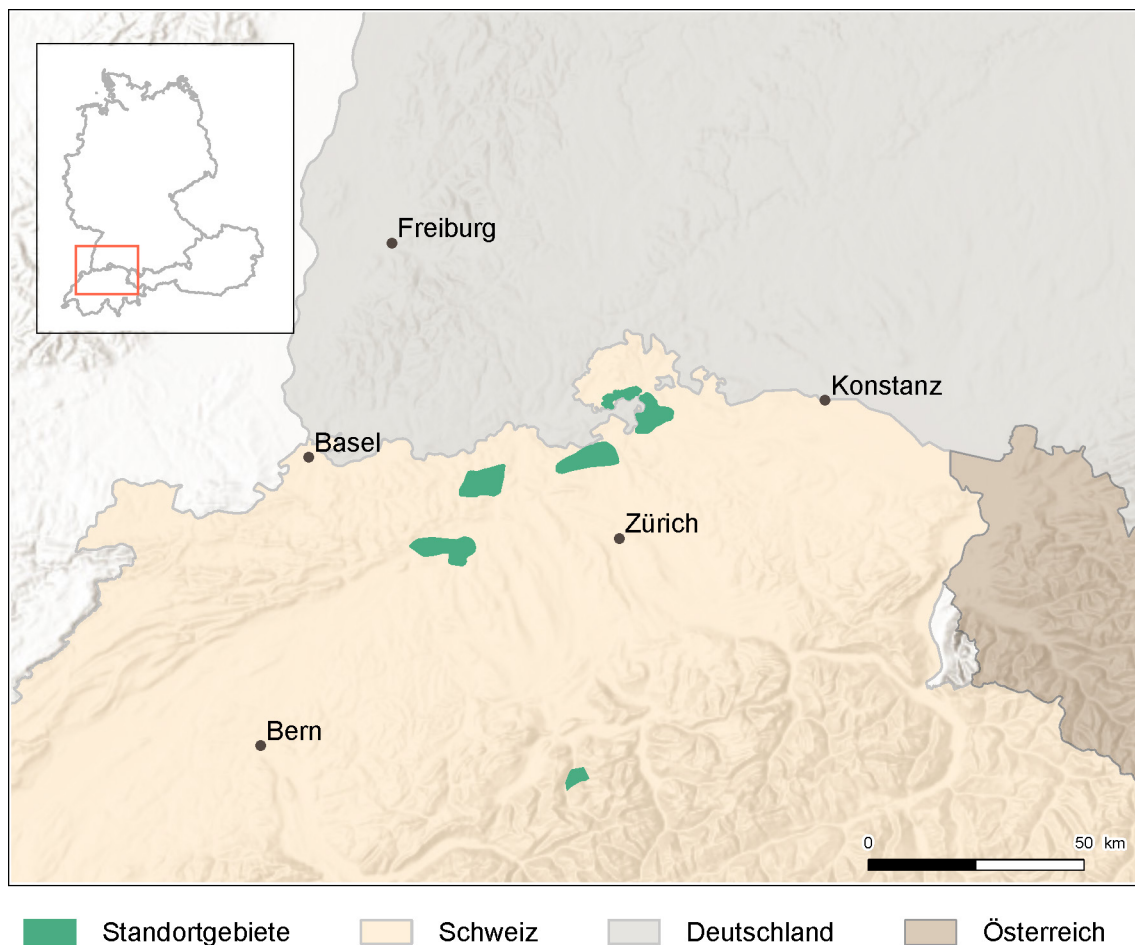


Fig. 2-1: Geeignete Standortgebiete, SGT-Etappe 1

Vorgeschlagen wurden sechs geologische Standortgebiete für das Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA-Lager) und drei geologische Standortgebiete für das Lager für hochaktive Abfälle (HAA-Lager). Die drei HAA-Standortgebiete sind gleichzeitig auch SMA-Standortgebiete (vgl. Fig. 2-2). Diese Vorschläge wurden durch den Bundesrat im November 2011 bestätigt. Damit wurden die sechs geologischen Standortgebiete Jura Ost (JO), Jura-Südfuss (JS), Nördlich Lägern (NL), Südranden (SR), Wellenberg (WLB) und Zürich Nordost (ZNO) als Vororientierungen in den SGT aufgenommen (vgl. Fig. 2-2 und BFE 2011).

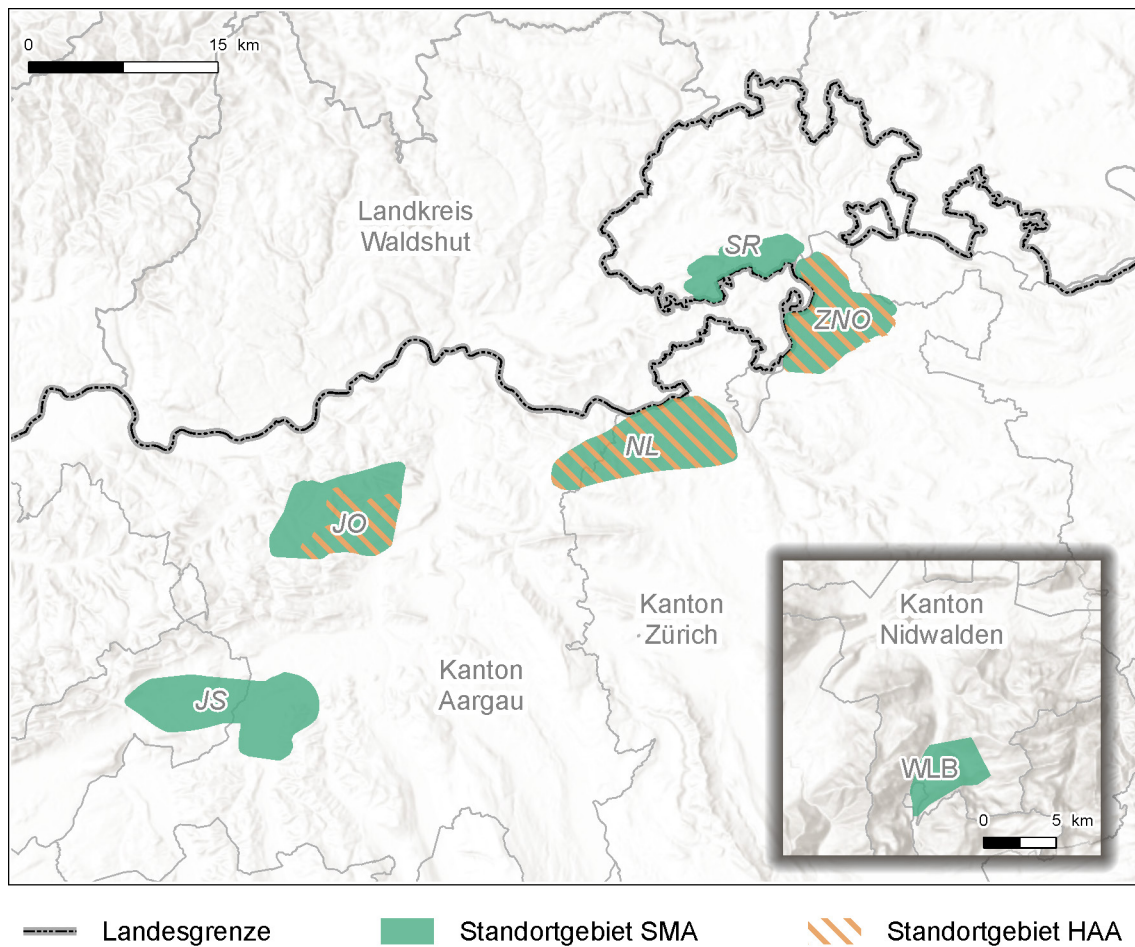


Fig. 2-2: Standortgebiete für HAA- und SMA-Lager als Ergebnis von SGT-Etappe 1

In **SGT-Etappe 2** hat die Nagra die sechs geologischen Standortgebiete einem vertieften sicherheitstechnischen Vergleich unterzogen. Die Auswahl wurde nach behördlicher Begutachtung auf **drei** geeignete **Standortgebiete** in der Nordschweiz (JO, NL und ZNO) eingegrenzt (vgl. Fig. 2-3). Mit den Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für SGT-Etappe 3 erfolgte eine Fokussierung auf das Wirtgestein Opalinuston (ENSI 2018).

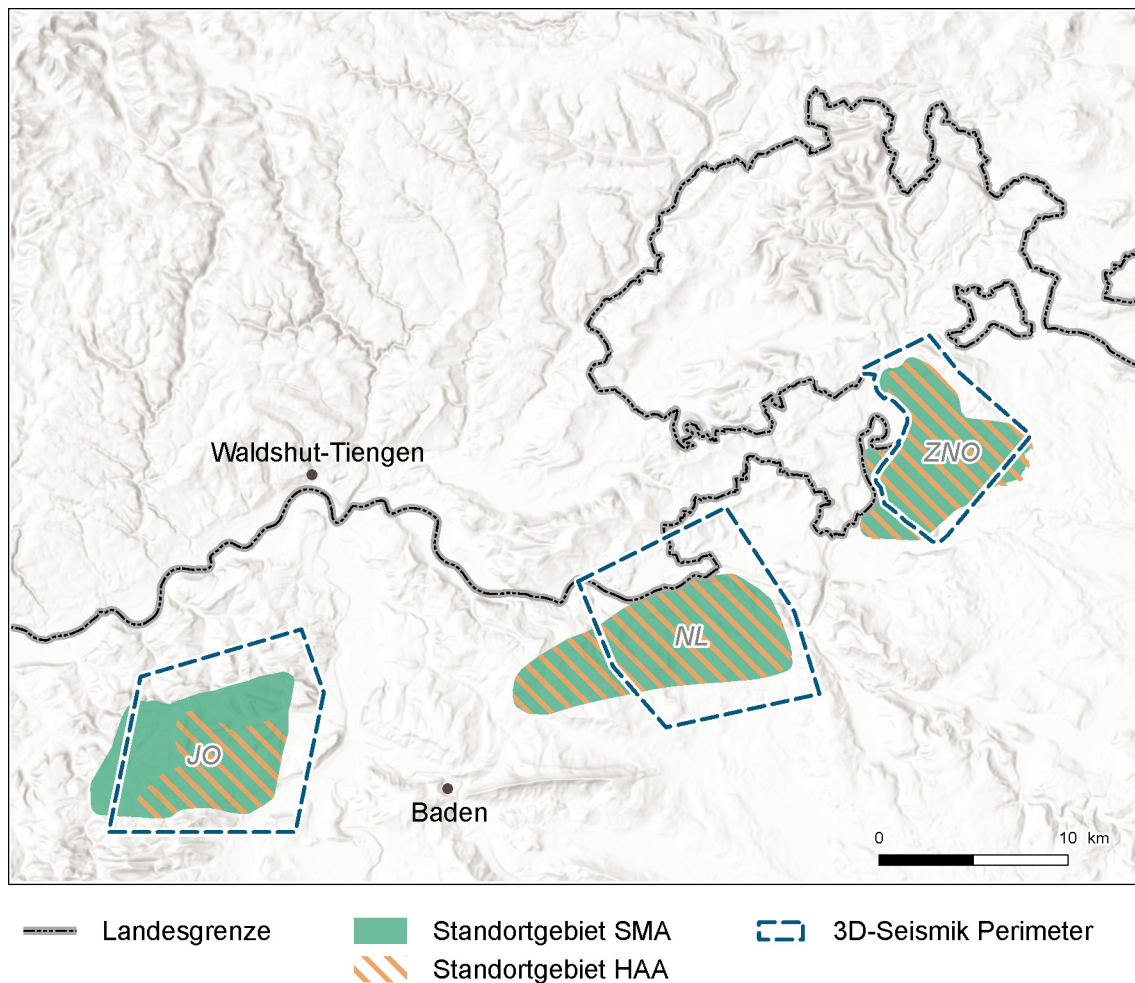


Fig. 2-3: Die drei weiterzuverfolgenden Standortgebiete als Ergebnis von SGT-Etappe 2

In **SGT-Etappe 3** wurden die drei verbliebenen Standortgebiete mit einem umfangreichen erdwissenschaftlichen Untersuchungsprogramm weiter untersucht (u. a. mit seismischen Messkampagnen, teilweise auch in Deutschland; vgl. Fig. 2-3). Die Standortwahl erfolgte auf Grundlage eines sicherheitstechnischen Vergleichs (Nagra 2025a) gemäss den behördlichen Vorgaben (ENSI 2018). Nach systematischer Bewertung der 13 Kriterien des SGT erwies sich das **Standortgebiet NL** als am besten geeignet (vgl. Kap. 4.2 und Begründung der Standortwahl (Nagra 2025a) nach Art. 62 KEV). Im Vergleich mit den Standortgebieten JO und ZNO weist NL die besten Gesteinseigenschaften, die grösste Langzeitstabilität sowie die grösste Flexibilität für die optimale Lagerauslegung und -platzierung auf. Der grosse, zusammenhängende Bereich im tektonisch und seismisch ruhig gelagerten Wirtgestein bietet zudem mehr als genug Platz für alle radioaktiven Abfälle der Schweiz (vgl. Kap. 3.2). Das gTL kann am Standort NL als sogenanntes **Kombilager** realisiert werden. Ein Kombilager erfüllt die gleichen sicherheitstechnischen Anforderungen bezüglich Betriebs- und Langzeitsicherheit wie zwei Einzellager für HAA und SMA (vgl. Nagra 2025a), ist im Vergleich zu zwei Einzellagern aber mit betrieblichen, sicherheitstechnischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen verbunden (vgl. Nagra 2021). Beispielsweise ergibt sich ein geringerer Flächenverbrauch, da eine geringere Anzahl von Anlagen sowohl an der Oberfläche als auch untertag gebaut und betrieben werden muss.

Die Begründung der Nagra zur Wahl von NL als Standortgebiet für ein Kombilager erschien auch der ESchT (vgl. Kap. 1) in ihrer Plausibilitätsprüfung (ESchT 2022) grundsätzlich überzeugend und nachvollziehbar.

2.4 Wahl des Standorts der Oberflächenanlage

Ein integraler Bestandteil des gTL ist die OFA. Von dieser Anlage aus wird das gTL gebaut und betrieben. Bei der Platzierung der OFA wurden neben betrieblichen, sicherheits- und sicherungstechnischen Anforderungen auch raumplanerische und umweltrechtliche Überlegungen sowie Anliegen der Standortregionen berücksichtigt.

Der SGT schreibt den Einbezug der betroffenen Standortregionen vor. Gemeinden, Interessengruppen und Bürgerinnen und Bürger können sich in speziell dafür geschaffenen Regionalkonferenzen (RK) beteiligen (BFE 2008b, BFE 2018b). Deutsche Vertreter arbeiten von Beginn an in den RK⁴ und weiteren Gremien des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager mit⁵.

Im Folgenden werden die raumplanerischen und umweltrechtlichen Überlegungen erläutert und die Interessenabwägung dargelegt, welche zur Wahl des Standorts Haberstal in Stadel als Areal zur Platzierung der OFA des gTL geführt haben (vgl. Nagra 2025b).

Für die Platzierung der OFA hat der Bundesrat im Ergebnisbericht zu **SGT-Etappe 1 Planungsperimeter** festgelegt (vgl. Fig. 2-4). Diese wurden anhand einer raumplanerischen Bestandsaufnahme durch die Arbeitsgruppe Raumplanung⁶ unter der Leitung des ARE identifiziert (ARE 2009).

⁴ Anteile Sitze in der RK der Standortregion Nördlich Lägern (NL): Kanton ZH 57 %, Kanton AG 26 %, Kanton SH 2 %, Deutschland 15 % (BFE 2018b).

⁵ Deutsche Vertretungen nehmen unter anderem Einsitz in folgenden Gremien: Koordination SGT, Begleitgruppe Rahmenbewilligungsverfahren, Ausschuss der Kantone, Fachkoordination Standortkantone, Arbeitsgruppe Raumplanung, Technisches Forum Sicherheit (in diesem Gremium ist auch Österreich vertreten).

⁶ Die Arbeitsgruppe Raumplanung ist ein Gremium des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager und besteht aus Vertretern der betroffenen Kantone, Standortregionen, Bundesämter, Deutschland und der Nagra.

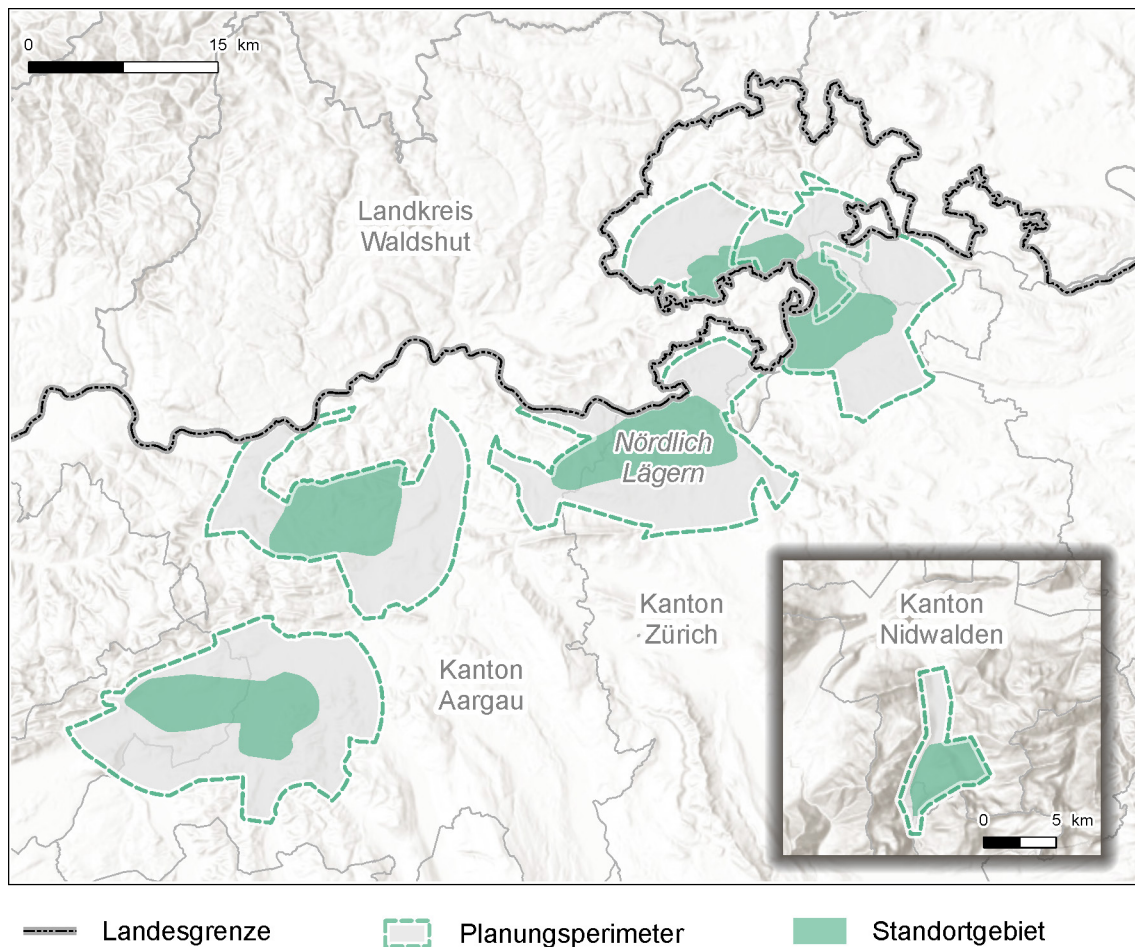


Fig. 2-4: Standortgebiete und Planungsperimeter als Ergebnis von SGT-Etappe 1

Am Ende von SGT-Etappe 1 wurden die Planungsperimeter und die raumplanerische Beurteilungsmethodik⁷ als Zwischenergebnis im Sachplan festgelegt (BFE 2011).

Für alle Standortgebiete wurden im Rahmen des Partizipationsverfahrens in **SGT-Etappe 2** Standorte für die Platzierung des Oberflächenareals vorgeschlagen. Für NL hat die Nagra Arealvorschläge für insgesamt 10 Standorte ausgearbeitet (Nagra 2011, 2012, 2013), welche durch die RK NL bewertet wurden. Die RK NL schloss mit der Empfehlung, die weitere Planung auf **NL-2** und **NL-6** zu stützen und eingebrachte Anliegen zu berücksichtigen (RK NL 2013).

⁷ Um potenzielle Standortareale für die OFA mit gleichen Kriterien beurteilen zu können, entwickelte das ARE unter Einbezug der Arbeitsgruppe Raumplanung eine Beurteilungsmethodik.

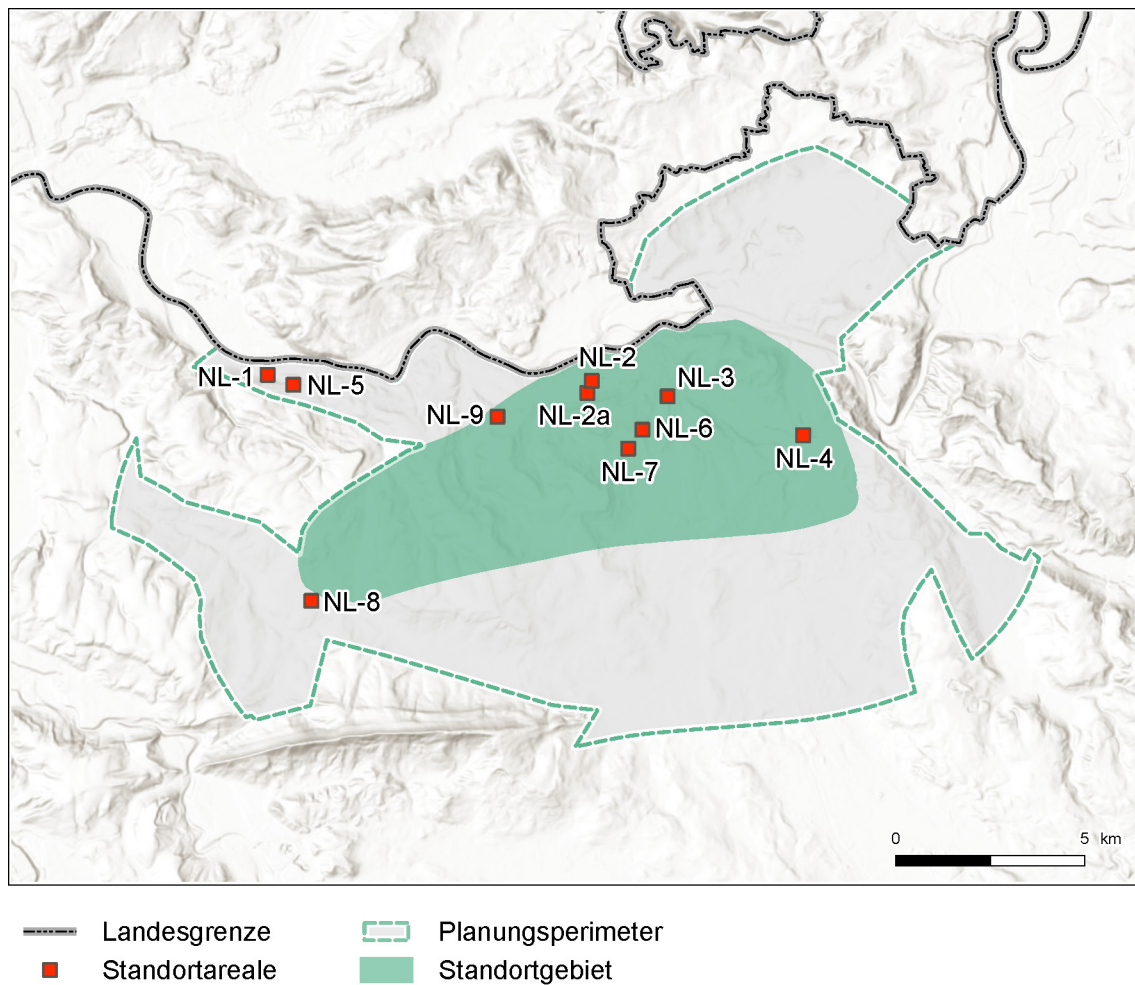


Fig. 2-5: Durch die RK NL beurteilte Arealvorschläge für die OFA (NL-1 – 9, NL-2a) im Standortgebiet NL (vgl. Kapitel 2 in Nagra 2013)

Der Bundesrat hat mit dem Ergebnisbericht zu SGT-Etappe 2 (BFE 2018a) die beiden Areale als Zwischenergebnisse in den Sachplan aufgenommen (vgl. Fig. 2-6). Er beurteilt die beiden Areale als mit den Plänen und Vorgaben des Bunds sowie dem kantonalen Richtplan vereinbar und geht von einer raumplanerischen und umweltrechtlichen Bewilligungsfähigkeit aus.

In Anlehnung an die Vorgaben des Übereinkommens von Espoo hat das BFE den «Zusammenfassenden Bericht über die Auswirkungen geologischer Tiefenlager auf Mensch und Umwelt» erarbeitet (BFE 2017), welcher den Kenntnis- und Verfahrensstand für die drei verbliebenen Standorte Ende SGT-Etappe 2 zusammenfasst.

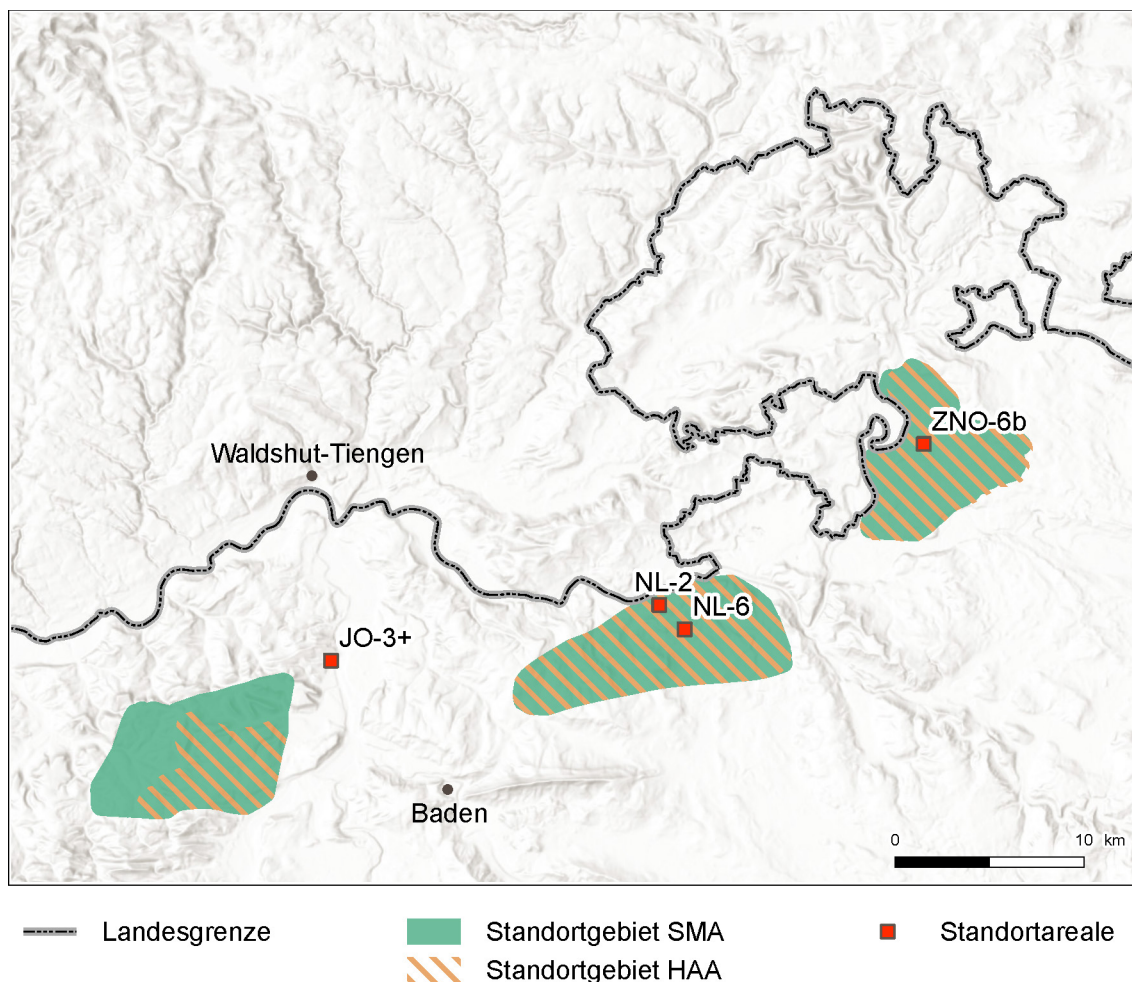


Fig. 2-6: Standortgebiete und Standortareale für die OFA als Ergebnis von SGT-Etappe 2

Daraufhin hat die Nagra in **SGT-Etappe 3** die beiden Areale für die Oberflächeninfrastruktur des Tiefenlagers im Standortgebiet NL weiter konkretisiert (Nagra 2019a, 2019b). Nach einer erneuten Beurteilung hat die RK NL das **Standortareal NL-6 «Haberstal»** vorteilhafter bewertet (RK NL 2021).

Die Nagra ist – unter Berücksichtigung der Stellungnahme des Kantons Zürich – der Empfehlung der RK NL gefolgt und hat den Standort «Haberstal» (im Rahmen des SGT als Standortareal NL6 bezeichnet) in der Gemeinde Stadel in die nachfolgenden Planungsarbeiten übernommen.

Ein Hauptanliegen in deutschen Stellungnahmen ist der Schutz des Grundwassers. Auch die Nagra verfolgt dieses Anliegen und wird den Schutz mit geeigneten und bewährten Massnahmen gewährleisten (vgl. Kap. 4.1 und 5.3).

2.5 Platzierung und Festlegung eines Areals für die Brennelement-verpackungsanlage

Zu Beginn des Sachplanverfahrens hatte die Nagra vorgesehen, die BEVA als Teil der OFA beim gTL zu realisieren. Im Verlauf der SGT-Etappe 2 kam jedoch bei einem Teil der RK die Frage auf, ob die Abfallverpackung zwingend Teil der OFA sein muss oder ob die BEVA auch an einem anderen Ort stehen könnte. In der Anhörung zu SGT-Etappe 2 äusserten diverse Gemeinden dieses Anliegen. Bei seinem Entscheid zu SGT-Etappe 2 legte der Bundesrat deshalb fest, dass die Nagra diese Option in SGT-Etappe 3 gemeinsam mit den betroffenen Regionen und Kantonen prüfen kann (vgl. Ergebnisbericht zu SGT-Etappe 2, BFE 2018a).

Verschiedene Standortoptionen für Verpackungsanlagen wurden in überregionaler Zusammenarbeit der betroffenen Akteure von der dafür vom BFE geschaffenen Arbeitsgruppe Verpackungsanlagen-Extern (AG VA-Extern) diskutiert. Die Arbeitsgruppe verabschiedete eine gemeinsame Erklärung (AG VA-extern 2020). Aufgrund der Stellungnahmen zu dieser Frage hat sich die Nagra für eine **BEVA am Standort Zwiilag** entschieden (dargelegt in Nagra 2022, 2026). Diese Begründung erschien auch der ESchT in ihrer Plausibilitätsprüfung (ESchT 2022) grundsätzlich überzeugend und nachvollziehbar.

3 Beschreibung des Vorhabens

Das gTL durchläuft neben der Planungs- und Genehmigungsphase zwei wesentliche Lebensabschnitte:

- **Bau- und Betriebsphase:** Zunächst erfolgt der Bau des gTL. Anschliessend werden die verpackten Abfälle eingelagert, beobachtet und schliesslich wird das gTL verschlossen (vgl. Fig. 3-8, Kap. 4.1 und Kap. 5).
- **Nachverschlussphase:** In dieser Phase sorgt das Sicherheitskonzept ohne menschliches Zutun für den Schutz von Mensch und Umwelt (vgl. Fig. 3-1, Kap. 3.1 und Kap. 4.2). Vor allem die geologischen Barrieren stellen passiv den Einschluss und die Rückhaltung der radioaktiven und chemotoxischen Stoffe sicher. Die Einhaltung der Schutzkriterien wird für einen Nachweiszeitraum von einer Million Jahre aufgezeigt.

Schwerpunkt der Vorhabensbeschreibung ist die Bau- und Betriebsphase, wobei auch in diesen Phasen Vorgaben aus dem Sicherheitskonzept für die Nachverschlussphase einzuhalten sind (vgl. Kap. 3.1).

Dem RBG liegt eine **exemplarische Umsetzung des Vorhabens** zugrunde (Nagra 2025e). Diese dient dazu, für das RBG die Sicherheit nachzuweisen, die Machbarkeit zu plausibilisieren und den Flächenbedarf aufzuzeigen. Die Vorhabensbeschreibung für den Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) der 1. Stufe und den vorliegenden Bericht basiert auf dieser exemplarischen Umsetzung. Sie bildet die Grundlage für die Beurteilung des Vorhabens bezüglich Umwelt und Raumplanung. Darüber hinaus enthält die Vorhabensbeschreibung **plausibilisierte Abschätzungen von Bandbreiten**. Die Bandbreiten ermöglichen eine Einschätzung, ob und in welchem Ausmass Auswirkungen als relevant einzustufen sind und erlauben eine Aussage darüber, ob die Raum- und Umweltverträglichkeit durch geeignete Massnahmen sichergestellt werden kann.

Die Vorhabensbeschreibung spannt somit einen ausreichend grossen **Rahmen für die Weiterentwicklung des Vorhabens** in den folgenden Projektphasen. Damit wird sichergestellt, dass unter Wahrung des Optimierungsgebots in den weiteren Bewilligungsverfahren keine wesentlichen Änderungen auftreten, deren Auswirkungen über den in der UVP 1. Stufe bewerteten Rahmen hinausgehen. Eine genauere Quantifizierung der Umweltauswirkungen erfolgt stufengerecht im Rahmen der weiteren Entwicklung des Projekts.

3.1 Sicherheitskonzept für die Nachverschlussphase

Das **Sicherheitskonzept** für die Nachverschlussphase des gTL gewährleistet den dauernden Schutz von Mensch und Umwelt durch gestaffelte, passive Barrieren (vgl. Art. 3 Bst. c KEG). Es basiert auf einem für die Langzeitsicherheit entwickelten Mehrfachbarrierensystem bestehend aus technischen und geologischen Barrieren (vgl. Fig. 3-1 sowie Nagra 2025e, 2024i). Das Sicherheitskonzept berücksichtigt Anforderungen und Vorgaben zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit (vgl. Nagra 2024k).

Das **Lagerkonzept** beschreibt die einzelnen Barrieren und ihre Eigenschaften, einschliesslich ihrer Wechselwirkungen. Das Sicherheitskonzept und das Lagerkonzept sind somit **eng miteinander verknüpft** und werden gemeinsam als Sicherheits- und Lagerkonzept bezeichnet. Das Sicherheits- und Lagerkonzept der Nagra (vgl. Fig. 3-1 sowie Nagra 2024i, 2024k) ist sowohl national als auch international anerkannt.

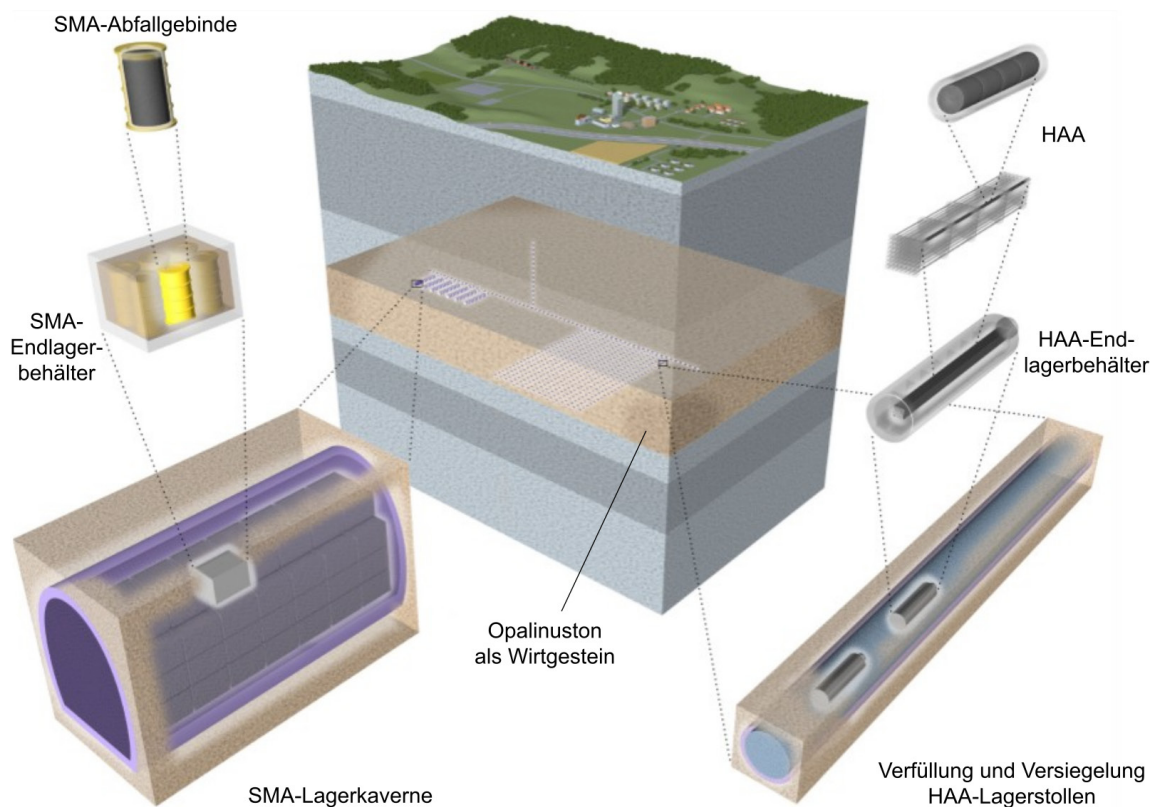


Fig. 3-1: Umsetzung des Sicherheitskonzepts für die Nachverschlussphase gemäss den im RBG verfolgten Lagerkonzepten für HAA und SMA

Das Sicherheitskonzept definiert fünf Sicherheitsfunktionen, die bei der geologischen Tiefenlagerung zur Gewährleistung der Langzeitsicherheit einzuhalten sind:

- Isolation der radioaktiven Abfälle von der Erdoberfläche
- Vollständiger Einschluss der Radionuklide für eine gewisse Zeit
- Immobilisierung, Rückhaltung und langsame Freisetzung der Radionuklide
- Kompatibilität der Elemente des Mehrfachbarrierensystems und der radioaktiven Abfälle untereinander und mit anderen Materialien
- Langzeitstabilität des Mehrfachbarrierensystems bezüglich geologischer und klimatischer Langzeitentwicklungen

Das Mehrfachbarrierensystem stellt zusammen mit der Tiefenlage des gTL in einer stabilen geologischen Situation sicher, dass das gTL unter Berücksichtigung seiner zeitlichen Entwicklung und der verbleibenden Ungewissheiten im Nachweiszeitraum die notwendigen Sicherheitsfunktionen erfüllt (vgl. Kap. 4.2). Das **Mehrfachbarrierensystem** besteht aus gestaffelten, passiv und verschiedenartig wirkenden technischen und geologischen Barrieren zum Einschluss und zur Rückhaltung der im gTL eingelagerten radioaktiven Stoffe. Im aktuellen Sicherheits- und Lagerkonzept bilden Abfallmatrix, Endlagerbehälter, Verfüllung und Verschlussystem die **technischen Barrieren**. Die Rückhaltung wird vor allem durch die **geologischen Barrieren**, d. h. durch das geologische Umfeld des gTL, gewährleistet. Dabei stellen das Wirtgestein Opalinuston

und die Rahmengesteine den einschlusswirksamen Gebirgsbereich (EG) dar. Das Mehrfachbarrierensystem ist gestaffelt ausgelegt und sorgt so passiv für die Langzeitsicherheit, so dass das gTL nach dessen Verschluss nicht gewartet und überwacht werden muss.

Die Tiefenlage des gTL in einer stabilen geologischen Situation sorgt zudem dafür, dass das Mehrfachbarrierensystem auch bei geologischen Prozessen und Entwicklungen an der Oberfläche und bei Klimaveränderungen langfristig geschützt bleibt (vgl. Kap. 4.2).

3.2 Gesamtanlage und Lagergut

Die Gesamtanlage des gTL besteht aus der **OFA** und der **Untertageanlage (UTA)** (vgl. Fig. 3-2). Diese stellen gemeinsam die benötigten Funktionen zur geologischen Tiefenlagerung der radioaktiven Abfälle bereit und sind mittels mehrerer **Zugangsbauwerke** miteinander verbunden.

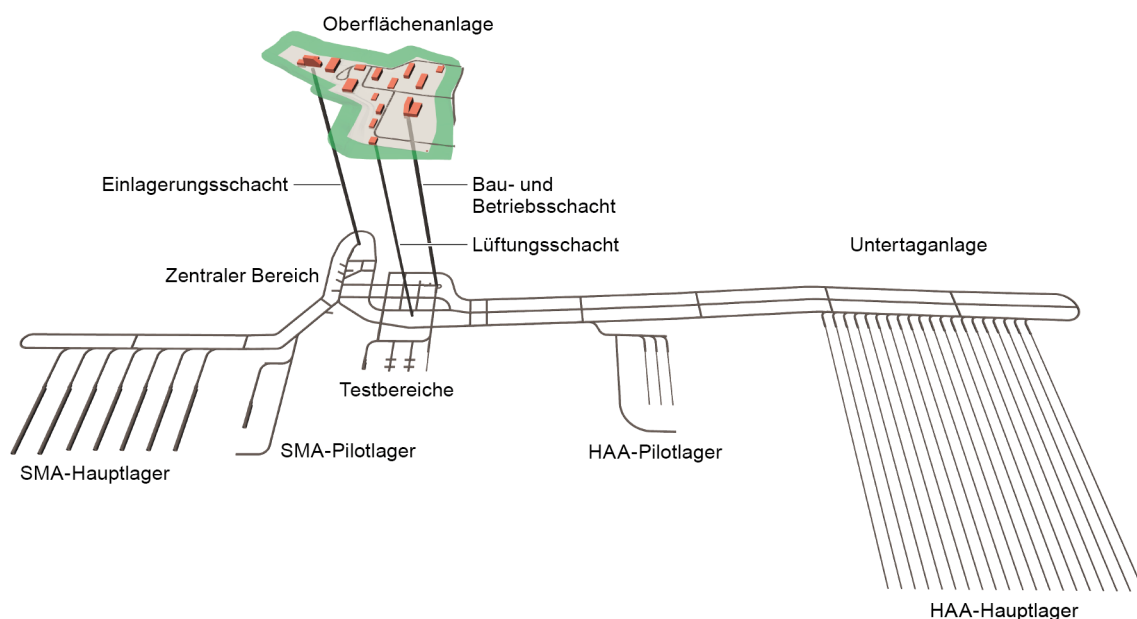


Fig. 3-2: Gesamtanlage des gTL (exemplarische Umsetzung, Nagra 2024a)

Die UTA befindet sich in ca. 900 m Tiefe und erstreckt sich gemäss den im RBG verfolgten Lagerkonzepten für HAA und SMA auf rund 4 km Länge und 1 km Breite.

Die Kernenergieverordnung (KEV) unterscheidet **drei Kategorien** von radioaktiven Abfällen (Art. 51 KEV) hochaktive Abfälle (**HAA**), alphanukleare Abfälle (**ATA**) und schwach- und mittelaktive Abfälle (**SMA**). Diese drei Abfallkategorien werden im gTL entsorgt und stellen somit das Lagergut des gTL dar (Art. 14 Abs. 2 Best. b KEG).

Das im RBG beschriebene Lagerkonzept geht von einem gTL mit zwei Lagerteilen aus (vgl. Fig. 3-2):

- einem **SMA-Lagerteil** für SMA und ATA
- und einem **HAA-Lagerteil** für HAA, d. h. abgebrannte Brennelemente (BE) und verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (WA-HAA).

Die beantragte maximale Lagerkapazität⁸ unverpackter Abfälle ist 2'500 m³ für HAA, 100'000 m³ für SMA und 600 m³ für ATA (vgl. Nagra 2025e).

Weiterhin **legt die Rahmenbewilligung** den Standort (vgl. Kap. 2) und die Grundzüge des Projekts **fest** (Art. 14 Abs. 1 Bst. b und d KEG). Als **Grundzüge des Projekts** gelten gemäss Art. 14 Abs. 2 KEG die «ungefähre Grösse und Lage der wichtigsten Bauten». Die **wichtigsten Bauten** an der Oberfläche sind die Zugangsbauwerke (max. Länge 120 m, max. Breite 90 m, max. Höhe 45 m) und die Bereitstellungshalle (max. Länge 80 m, max. Breite 50 m, max. Höhe 25 m) (vgl. Nagra 2025e).

Die Lage wird mit dem **Projektperimeter** bzw. dem Anlagenperimeter zur Anordnung der OFA (Haberstal) sowie einem **vorläufigen Schutzbereich** für den als potenzielle Lagerzone ausgewiesenen Bereich zur Anordnung der UTA definiert (vgl. Fig. 3-3). Als wichtigste Bauten der UTA gelten Haupt- und Pilotlager, da in diesen die radioaktiven Abfälle eingelagert werden. Der Schutzbereich ist ein vor menschlichen Eingriffen zu schützender Bereich im Untergrund. Er umfasst gemäss Art. 70 Abs. 1 KEV alle Teile des gTL, einschliesslich der Zugänge von der Oberfläche (vgl. Fig. 3-4). In diesem Schutzbereich könnten direkte Eingriffe in den tiefen Untergrund die geologischen Barrieren beeinträchtigen.

⁸ Die maximale Lagerkapazität wurde aus dem derzeit zu erwartenden Inventar radioaktiver Materialien (vgl. Nagra 2023b, Modelhaftes Inventar für radioaktive Stoffe MIRAM-RBG) abgeleitet und um planungstechnische Reserven erweitert (z. B. Verlängerung der Betriebszeiten der bestehenden KKW). Allfällige zukünftige KKW sind nicht in die Berechnungen der maximalen Lagerkapazität oder des Abfallinventars eingeflossen.

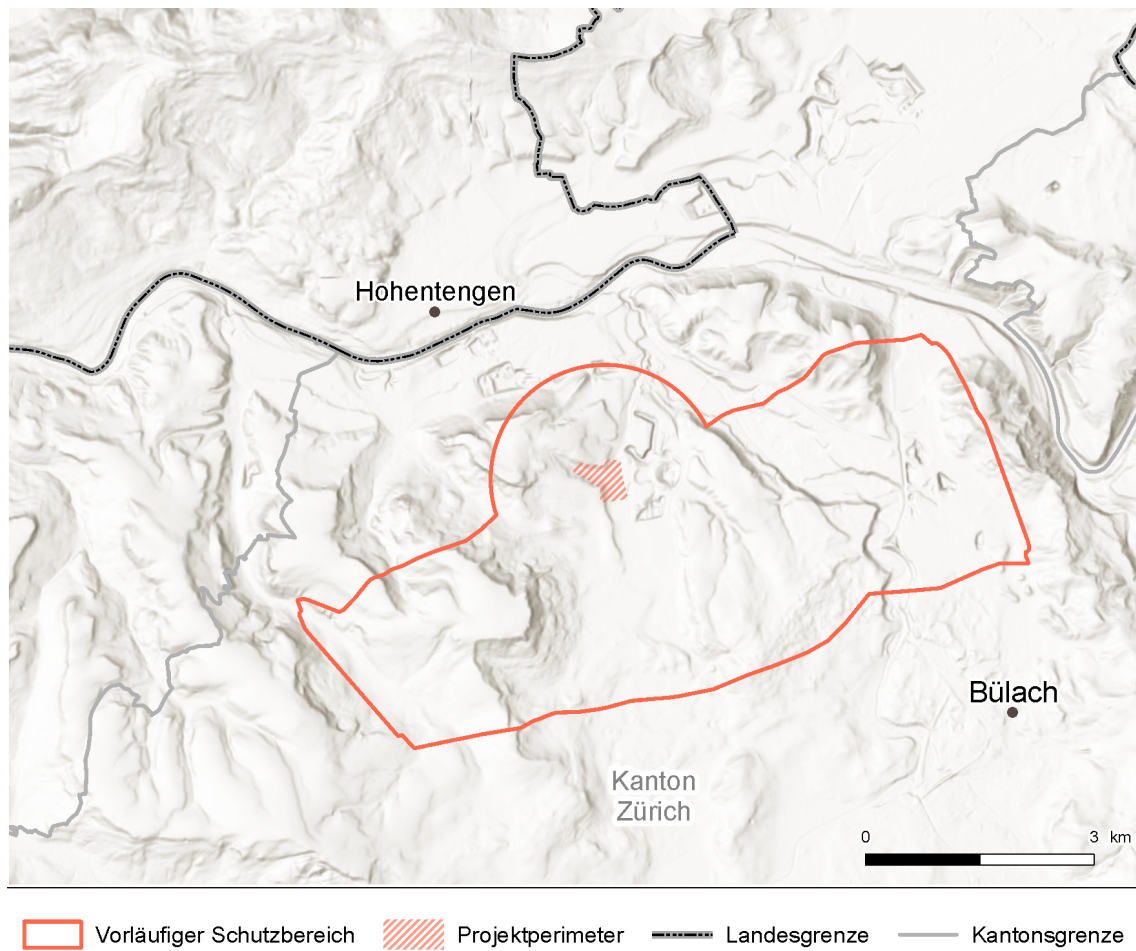


Fig. 3-3: Vorläufiger Schutzbereich im Untergrund und Projektperimeter an der Oberfläche am Standort Habsburg

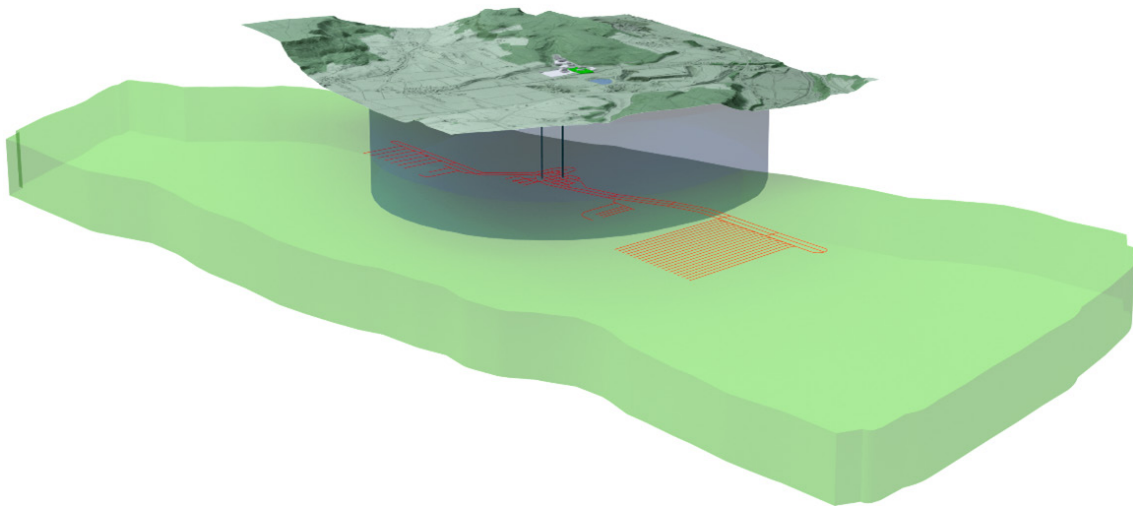


Fig. 3-4: 3D-Modell des vorläufigen Schutzbereichs im Untergrund und des Projektperimeters an der Oberfläche am Standort Haberstal

Der Schutzbereich umfasst einen Teilraum für die Zugänge (blauer Zylinder). Dieser dient dem Schutz des Gesteinskörpers, in dem die Zugangsbauwerke erstellt werden. Der Teilraum Tiefenlager (grün) umfasst die Gesteinsbereiche, die den hydraulischen Einschluss und die Rückhaltung bewirken. Er dient dem Schutz des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und der potenziellen Lagerzone. In diesen Teilraum kommt das Tiefenlager (orange) zu liegen.

3.3 Projektperimeter

Der Projektperimeter (vgl. Fig. 3-5) befindet sich in der Gemeinde Stadel im Kanton Zürich. Er ist von vier Hügeln umgeben (vgl. Fig. 3-5), die mit ausgedehnten Wäldern bestockt sind und die Talebene umrahmen, welche durch die landwirtschaftliche Nutzung sowie den Kiesabbau geprägt ist. Der Projektperimeter wird nach Nordosten in den Rhein entwässert. Der Rhein bildet die Landesgrenze zu Deutschland, welche rund 2.4 km nördlich des Projektperimeters in West-Ost-Richtung verläuft.

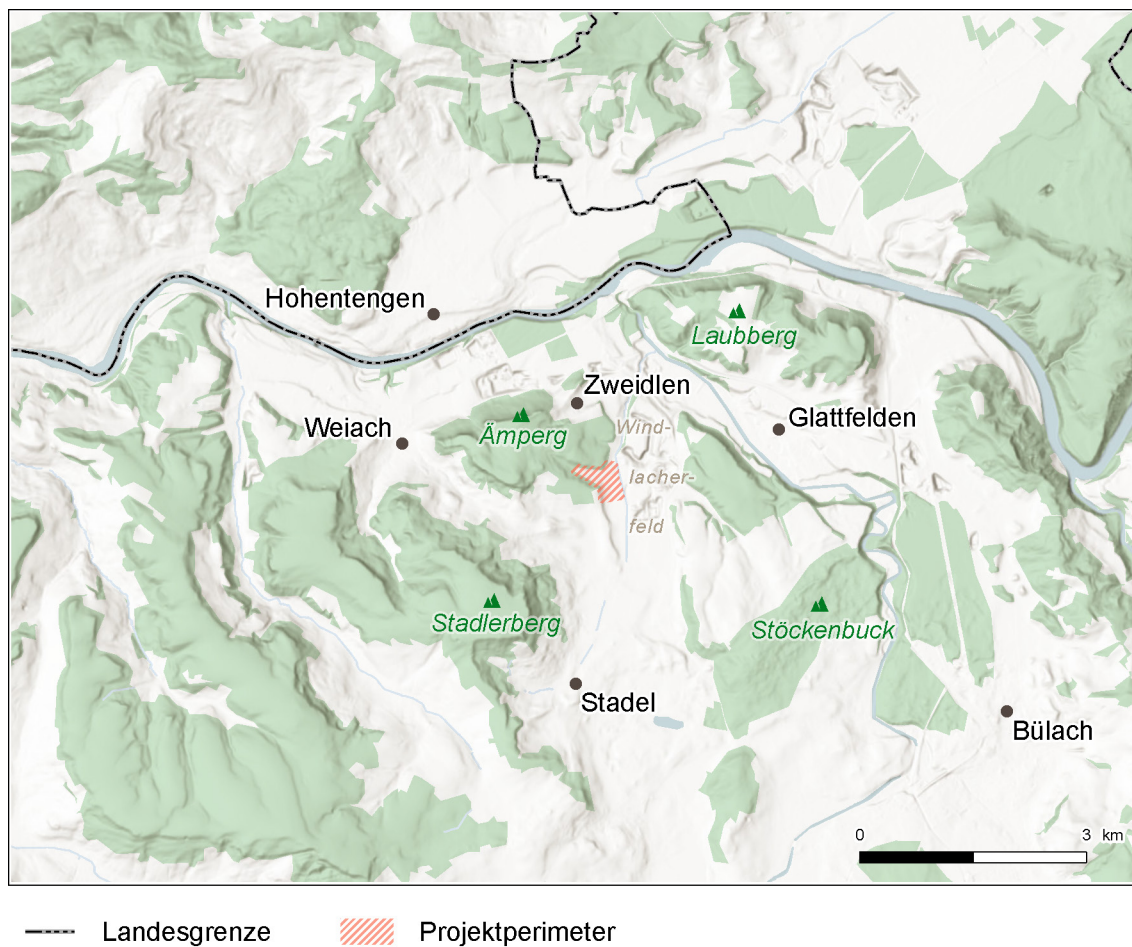


Fig. 3-5: Übersichtskarte des Projektperimeters und seiner Umgebung

Der Projektperimeter (vgl. Fig. 3-6) besteht aus dem Anlagenperimeter und dem umgebenden Eingliederungssaum. Im **Anlagenperimeter** kommen Bauten und Anlagen für den Bau und Betrieb des gTL zu liegen. Der rund 50 m breite **Eingliederungssaum**, welcher den Anlagenperimeter umgibt, bietet Flexibilität hinsichtlich Eingliederung in die Landschaft, Aussenansicht, Sicherheit, Sicherung, Bau und Umsetzung ökologischer Massnahmen (vgl. Nagra 2025b).

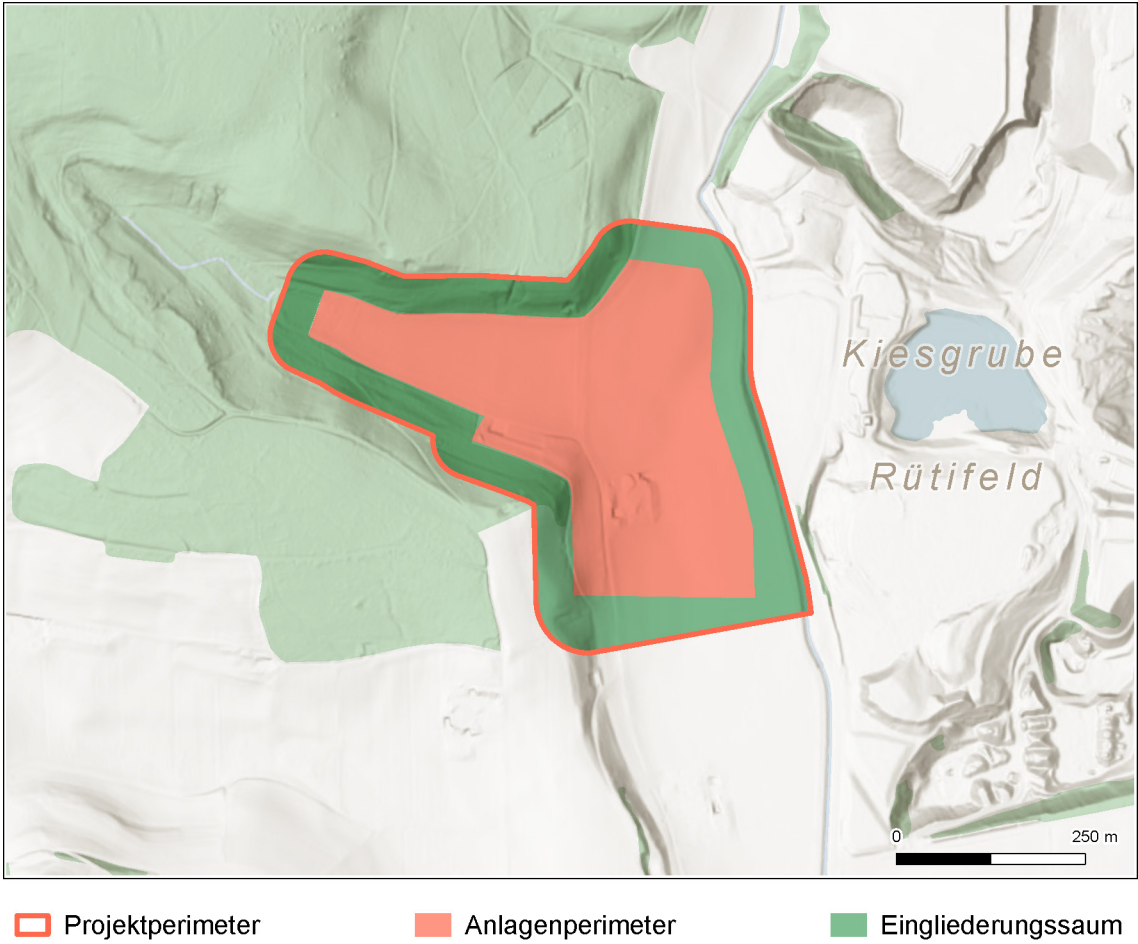


Fig. 3-6: Projektperimeter (Nagra 2025e)

Flächenbedarf und heutige Landnutzung

Der Projektperimeter umfasst eine Fläche von insgesamt 23.7 ha, wovon gut 60 % auf Fruchtfolgeflächen (FFF), gut 20 % im Wald und knapp 20 % auf übrigen Flächen (landwirtschaftliche Flächen ohne FFF-Qualität, Siedlungsflächen, Wege und Gewässer) liegen (vgl. Tab. 3-1).

Tab. 3-1: Flächenaufteilung des Projektperimeters

Flächentyp	Teilfläche Anlagenperimeter	Teilfläche Eingliederungssaum	Gesamtfläche Projektperimeter
FFF	11.0 ha	3.7 ha	14.7 ha
Wald, Freihaltung	-	3.0 ha	3.0 ha
Wald, gestuft	-	2.1 ha	2.1 ha
Übrige Flächen	2.1 ha	1.8 ha	3.9 ha
Gesamtfläche	13.1 ha	10.6 ha	23.7 ha

Besiedelung der Umgebung

Der Projektperimeter liegt in einem **dünn besiedelten Gebiet** (vgl. Fig. 3-7). Die Bevölkerungsdichte in der Umgebung des Standorts liegt mit 3.0 Einw./ha unter dem durchschnittlichen Wert der Kantone Zürich (9.4 Einw./ha) und Aargau (5.0 Einw./ha). Auf Schweizer Seite leben ca. 8'400 Einwohner innerhalb des 3 km Umkreises.

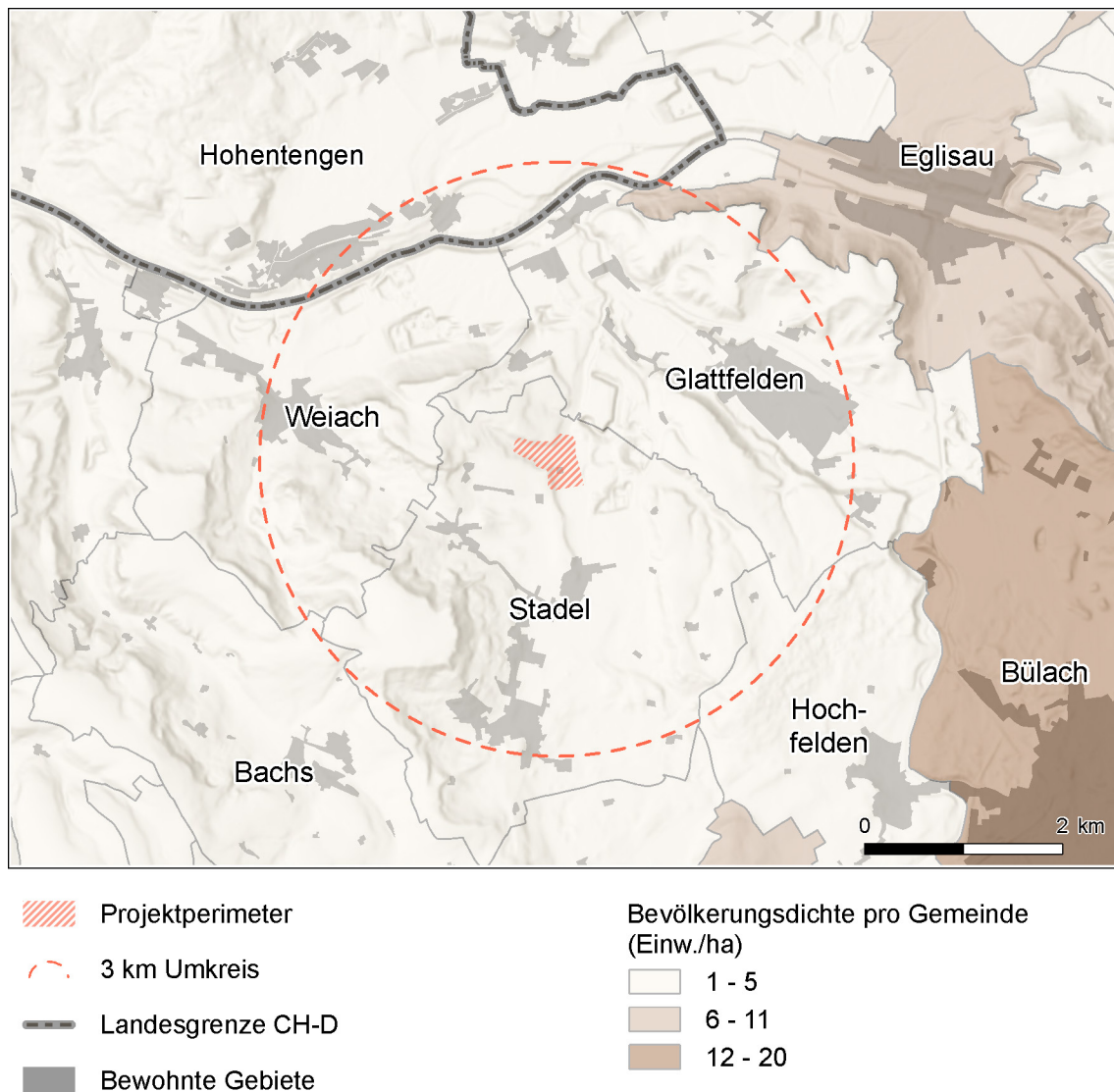


Fig. 3-7: Bevölkerungsdichte pro Gemeinde in der Umgebung des Projektperimeters

Die Bevölkerungsdichte in der Umgebung des Standorts ist auch auf der deutschen Seite der Grenze mit 1 – 5 Einwohnern/ha gering. In Deutschland leben ca. 500 Einwohner innerhalb des 3 km Umkreises in der Gemeinde Hohentengen am Hochrhein (a. H.), die sich auf den Ortsteil Herdern mit etwa 430 Einwohnern⁹ und einem Ausläufer des Ortsteils Hohentengen mit etwa 80 Einwohnern aufteilen (vgl. Fig. 3-7).

⁹ Quelle: <https://www.hohentengen.de/de/daten-zahlen.html>, abgerufen November 2025.

3.4 Realisierungsplan

Fig. 3-8 zeigt den Realisierungsplan in Anlehnung an das Entsorgungsprogramm 2021 (EP21; Nagra 2021). Er umfasst die Bau- und Betriebsphasen der Gesamtanlage. Der Realisierungsplan sieht eine Zeitspanne von rund 100 Jahren zwischen Baubeginn und Gesamtverschluss des gTL vor. Die Planung ist insbesondere in den späteren Phasen mit Unschärfen verbunden.

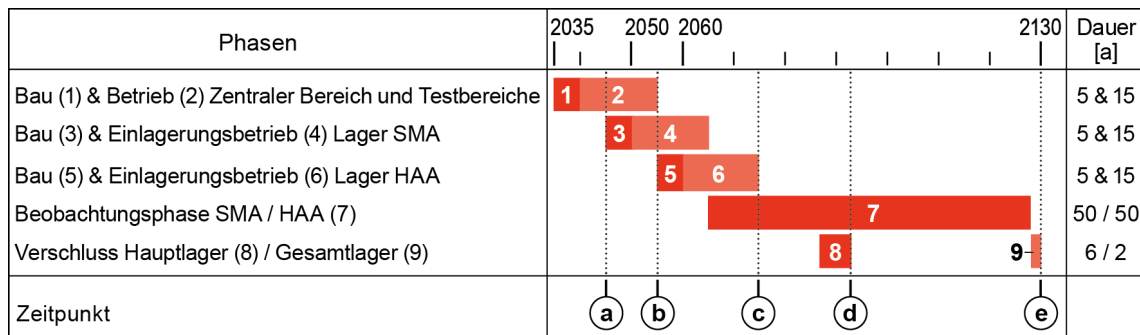


Fig. 3-8: Zeitlicher Ablauf in Anlehnung an EP21 (Nagra 2021)

Der Zustand der Gesamtanlage zu den Zeitpunkten (a) – (e) ist in Fig. 3-9 dargestellt.

Phase 1: Der Bau beginnt mit Vorbereitungsarbeiten zur Erschliessung sowie zur Baustellen-einrichtung. Anschliessend wird im Anlagenperimeter die notwendige Baustelleninfrastruktur für den Bau der OFA und der UTA erstellt. Danach folgt der Bau von Zugangsbauwerken bis auf Lagerebene sowie das Auffahren des Zentralen Bereichs und der Testbereiche. Auf der OFA werden verschiedene Gebäude und die Versorgungsinfrastruktur der UTA gebaut.

Phase 2: In den Testbereichen der UTA werden Eigenschaften des geologischen Untergrunds bestätigt und sicherheitsrelevante Techniken demonstriert.

Phase 3: Die für die Einlagerung der SMA notwendigen Bauten und Anlagen werden erstellt. Dazu wird die OFA mit den Bauten und Anlagen für die Bereitstellung und den Transport der Abfälle nach untertag erweitert und der Sicherungsbereich eingerichtet. Weiter werden die Zugänge zur Lagerebene ergänzt sowie in der UTA der SMA-Lagerteil aufgefahren.

Phase 4: Die verpackten SMA werden angeliefert, in die UTA transportiert und dort eingelagert.

Phase 5: Der HAA-Lagerteil wird gebaut.

Phase 6: Die verpackten HAA werden angeliefert, in die UTA transportiert und dort eingelagert. Die Lagerstollen werden verfüllt und versiegelt. Parallel zum Einlagerungsbetrieb HAA werden laufend die benötigten HAA-Lagerstollen gebaut. Die Ausbrucharbeiten erfolgen räumlich getrennt von der Einlagerung. Mit Abschluss der Einlagerung werden die strahlenschutzrechtlich überwachten Bauten und Anlagen der OFA stillgelegt. Für die Beobachtung nicht mehr benötigte Bauwerke der OFA können zurückgebaut werden.

Phase 7: Sobald die ersten SMA bzw. HAA in den Pilotlagern eingelagert sind, beginnt die jeweilige Beobachtungsphase, während der die Entwicklung des gTL beobachtet wird.

Phase 8: Im Laufe der Beobachtungsphase werden nicht mehr benötigte Zugangstunnel verfüllt und verschlossen. Der Zugang zu den für die Beobachtung erforderlichen Tunneln wird weiterhin gewährleistet.

Phase 9: Nach Abschluss der Beobachtungsphase erfolgt der Gesamtverschluss aller noch offenen Bauwerke der UTA. Die OFA kann nun vollständig zurückgebaut werden. Das gTL befindet sich in der Nachverschlussphase.

In Fig. 3-9 ist der Zustand der Gesamtanlage zu fünf ausgewählten und in Fig. 3-8 markierten Zeitpunkten dargestellt.

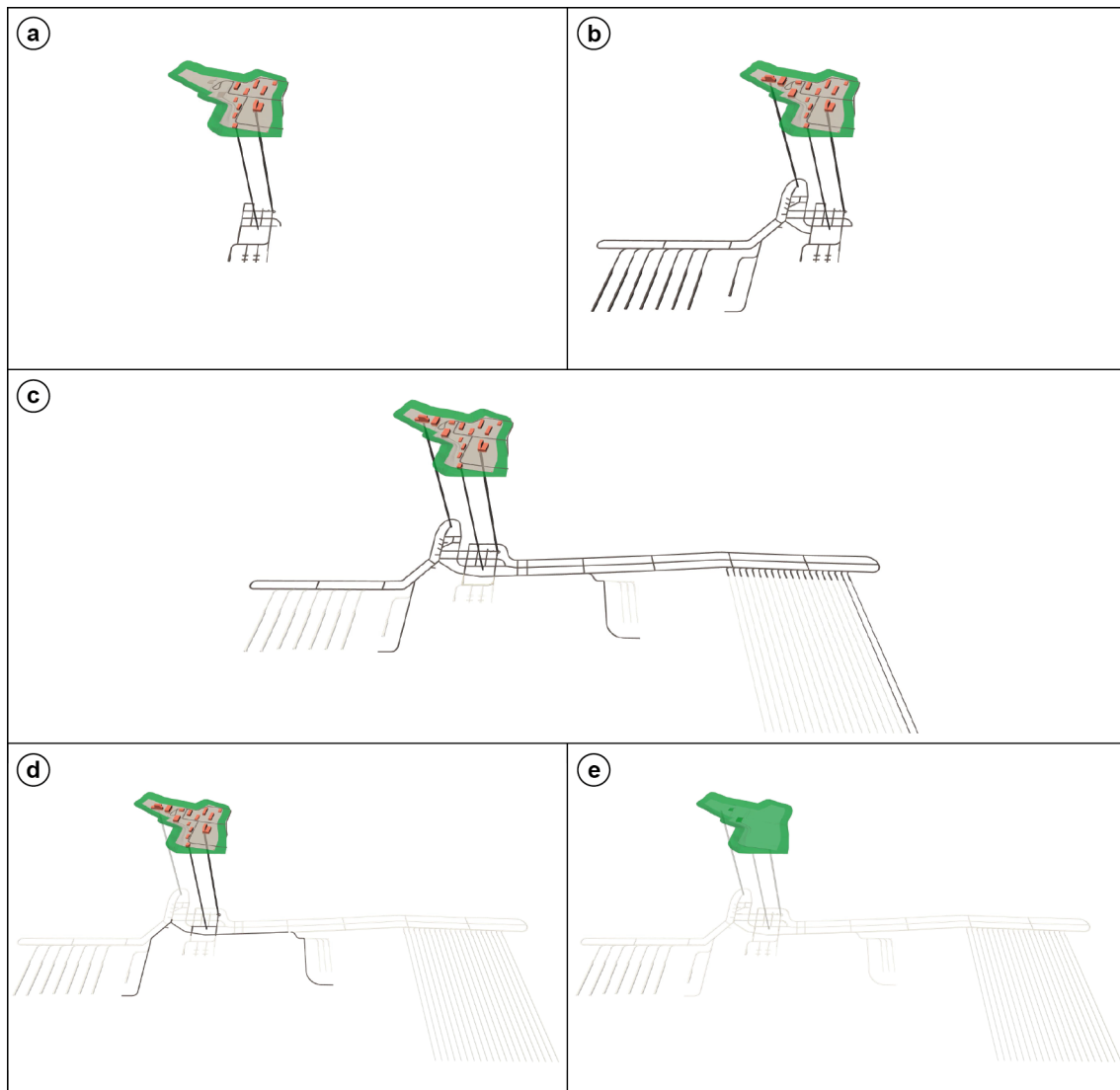


Fig. 3-9: Zustand der Gesamtanlage zu fünf ausgewählten und in Fig. 3-8 markierten Zeitpunkten

In der UTA schwarz dargestellte Bauwerke sind in Betrieb, hellgraue Bauwerke sind verschlossen. Zum Zeitpunkt (e) ist die OFA rückgebaut.

3.5 Materialbewirtschaftungs- und Entsorgungskonzept

Die Materialmengen für den Bau der OFA sind gegenüber dem Bau und Verschluss der UTA gering. Über die ganze Projektdauer gesehen fallen die grössten Materialmengen in Phasen mit Bauaktivitäten an (Phasen 1, 3, 5, 8 und 9 in Fig. 3-8).

In den verschiedenen Phasen werden gemäss heutigen Abschätzungen die folgenden Hauptmaterialmengen **abgeführt**:

- Bodenabtrag für den Bau der OFA: 100'000 – 150'000 m³ (fest)
- Aushub für den Bau der OFA: 100'000 – 200'000 m³(fest). Die anfallenden Aushubmengen werden nach Möglichkeit innerhalb des Projektperimeters verwendet.
- Ausbruch während des Baus der UTA des gTL: 1.9 – 3.2 Mio. m³ (fest)

Das anfallende Boden-, Aushub- und Ausbruchmaterial soll nach Möglichkeit lokal oder regional weiterverwendet, verwertet oder allenfalls deponiert werden. Mit der weiteren Projektentwicklung werden die Verwertungsmöglichkeiten geprüft und die gegebenenfalls benötigten Deponievolumina für das Ausbruchmaterial, die Materialqualitäten, die Deponiestandorte sowie der Transport zu den Deponiestandorten geplant¹⁰.

Folgende Hauptmaterialmengen werden in den verschiedenen Phasen **zugeführt**:

- Beton und Spritzbeton für den Bau: 0.9 – 1.5 Mio. m³
- Stahl für den Bau: 90'000 – 150'000 t
- Versiegelung/ Verfüllung: 0.9 – 1.6 Mio. m³ (fest)

Sonderanlagen und -ausrüstung sowie spezielles Bau- und Verbrauchsmaterial können je nach Anbieterlage eine Beschaffung ausserhalb der Schweiz erfordern, was in Einzelfällen einen Transport durch Nachbarstaaten in die Schweiz zur Folge hätte. Die Auswirkungen solcher allfälligen «konventionellen» Transporte sind aufgrund ihrer geringen Anzahl vernachlässigbar.

3.6 Verkehrserschliessung

Strasse

Die Arealerschliessung erfolgt über die Zweidlenstrasse, welche über die Querstrasse an das übergeordnete Strassennetz (Kiesstrasse / K 348) angebunden ist (vgl. Fig. 3-10).

¹⁰ Nach Art. 49 Abs. 5 KEG gehören zu einer Kernanlage auch die mit dem Bau und dem Betrieb zusammenhängenden Erschliessungsanlagen, Installationsplätze und die Standorte für die Verwertung und Ablagerung von Ausbruch-, Aushub- oder Abbruchmaterial, die in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang mit dem Projekt stehen. Die raumplanerische Sicherung von Deponieflächen und -volumina sowie Installationsplätzen erfolgt gestützt auf Art. 49 Abs. 5 und Art. 60 KEG im Rahmen der weiteren Bewilligungsverfahren.

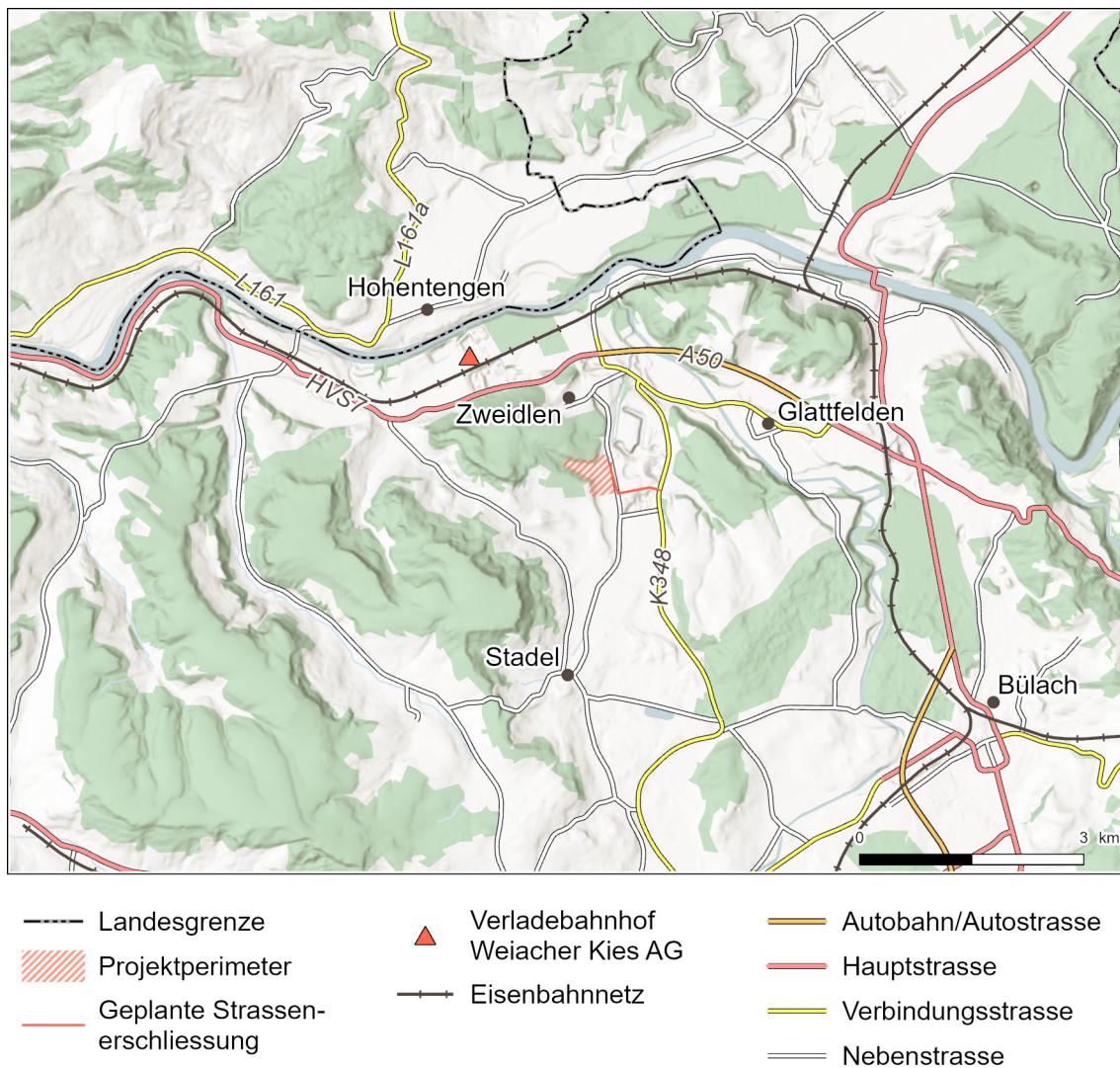


Fig. 3-10: Verkehrs- und Transportwege im Umkreis des Projektperimeters

Landstrasse (L161), Glattfelderstrasse (HVS7), Autobahn (A50), Kiesstrasse (K348)

Die Verbindungsstrasse K 348 (Kiesstrasse) liegt ca. 750 m östlich, verläuft in Nord-Süd-Richtung und schliesst im Norden an die Hauptstrasse HVS7 (vgl. Fig. 3-10). Etwa 1.5 km nördlich des Standorts verläuft die Hauptstrasse HVS7 (Glattfelderstrasse) und die Autobahn (A50).

Auf deutscher Seite befindet sich die West-Ost-orientierte Landstrasse L161 (in etwa parallel zum Rhein verlaufend) bzw. die Nord-Süd-orientierte Landstrasse L161a, die beide durch Hohentengen a. H. führen (vgl. Fig. 3-10).

Schiene

Entlang der Landesgrenze zwischen der Schweiz und Deutschland (vgl. Fig. 3-10), etwa 2 km nördlich des Standorts, verläuft auf Schweizer Boden die Eisenbahnstrecke Bülach – Koblenz. Im Osten, in etwa 4 km Entfernung, verläuft die Eisenbahnstrecke Zürich – Schaffhausen, die über Glattfelden und Bülach führt.

Es besteht grundsätzlich die **Möglichkeit**, Material mit der Bahn über den bestehenden **Verladebahnhof** des Kieswerks in Weiach an- und abzutransportieren (vgl. Fig. 3-10). Allenfalls müsste dieser ausgebaut oder angepasst werden. Die Distanz zwischen einem allfälligen Umladebahnhof entlang der Bahnlinie und dem Siedlungsgebiet von Hohentengen a. H. beträgt rund 600 m.

Der allfällige Bedarf für einen Umladebahnhof wird mit dem Materialbewirtschaftungskonzept für den Bau und den Betrieb des gTL im Rahmen des Baubewilligungsgesuchs konkretisiert. Der **Entscheid** über den Bedarf sowie über den Standort und die Ausgestaltung eines solchen Umladebahnhofs wird entsprechend mit der **weiteren Projektentwicklung** gefällt. Die damit verbundenen Umweltauswirkungen würden dann im UVB 2. Stufe im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens beurteilt werden. Ein möglicher Bereich für einen Umladebahnhof wird im Rahmen des Sachplanverfahrens planerisch als Zwischenergebnis (vgl. Nagra 2025b) gesichert.

3.7 Transporte radioaktiver Abfälle

Transporte mit nuklearen Gütern und radioaktiven Abfällen sind nicht Bestandteil der Bewilligungsverfahren für die Realisierung von Kernanlagen. **Transportbewilligungen** werden vom **BFE**, jeweils vor deren Durchführung, erteilt. In Stellungnahmen aus Deutschland im Rahmen des Sachplanverfahrens wurde wiederholt der Wunsch nach mehr Informationen zu den Transporten bzw. den Transportrouten der radioaktiven Abfälle geäußert (vgl. z. B. ESchT 2022). An dieser Stelle wird auf dieses Anliegen eingegangen.

In der Schweiz werden regelmässig Transporte von radioaktiven Abfällen durchgeführt. **Jeder Transport ist bewilligungspflichtig** und wird entsprechend der zu transportierenden Fracht in Übereinstimmung mit den **jeweils geltenden Anforderungen** durchgeführt. Gesuchsteller müssen nachweisen, dass beim Transport sämtliche Anforderungen eingehalten werden und die Sicherheit gewährleistet ist. Das ENSI kontrolliert als Aufsichtsbehörde die Einhaltung der Vorschriften.

Transporte radioaktiver Abfälle auf öffentlichen Verkehrswegen sind aus rechtlicher Sicht Gefahrguttransporte. Gefahrguttransporte sind nach den schweizerischen gesetzlichen Bestimmungen durchzuführen (Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse, SDR), welche auf internationalen Vorschriften basieren (Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse, ADR). Die Zulassung bzw. die Lizenzierung der **Transportbehälter** erfolgt nach international anerkannten Kriterien, welche auch in den Nachbarländern der Schweiz gelten. Transportbehälter müssen **harte Belastungstests** bestehen. So wird beispielsweise die Dichtheit eines Behälters für HAA bei einem 800 Grad Celsius heissen Brand, einem Sturz aus 9 Metern Höhe und einem Tauchversuch im Wasser geprüft.

Für die Entsorgung im Tiefenlager werden die **HAA** in der BEVA am Standort Zwiilag **in Endlagerbehälter (ELB) verpackt und für den Transport in Transportbehältern (TB)** bereitgestellt (vgl. Nagra 2026). Von der BEVA werden die Abfälle ins gTL transportiert (vgl. Fig. 1-1). Weder der Standort Zwiilag noch der Standort Haberstal verfügen über direkte Gleisanschlüsse und liegen abseits der bestehenden Bahnstrecken. Für beide Standorte ist eine Gleisführung auf das Betriebsgelände aufwändig und auch aus Sicht der Umwelt und Raumplanung nicht verhältnismässig. Der Transport der radioaktiven Abfälle ist daher über das bestehende Strassennetz vorgesehen (vgl. Kap. 3.6). Der noch nicht vorhandene Strassenanschluss am Standort Haberstal muss für den Bau des gTL ohnehin ausgebaut werden (vgl. Fig. 3-10). Die Transportdistanz zwischen BEVA und gTL ist mit 30 – 50 km Länge kurz und der Transport findet ausschliesslich auf dem schweizerischen Strassennetz statt (vgl. Transportkonzept in Nagra 2024l).

Die Transporte der HAA finden gemäss den aktuellen Planungsannahmen einmal pro Woche mittels Konvois von Schwerlasttransportfahrzeugen statt. Sie verkehren ausserhalb der Stosszeiten, beispielsweise nachts, als Sondertransporte mit Polizeibegleitung. Die **genaue Transportroute** wird **vor den jeweiligen Transporten** von den Verantwortlichen **festgelegt** aber aus Sicherheitsgründen nicht vor dem Transport bekannt gegeben.

Neben HAA müssen auch **SMA** von den Zwischenlagern ins gTL transportiert werden. Alle SMA-Zwischenlager (Zwilag, Zwischenlager Beznau, Bundeszwischenlager) befinden sich in der Umgebung der BEVA (vgl. Nagra 2026).

Die Anforderungen an endlager- und transportfähige Behälter für SMA hängen von der vorgesehenen Beladung, dem sogenannten Inventar, ab. Die Behälter sind sowohl für den Normaltransport wie auch für Transportunfallbedingungen ausgelegt.

Gemäss den aktuellen Planungsannahmen ist für SMA während des Betriebs mit ca. drei Transporten pro Tag zu rechnen. Diese Transporte werden grösstenteils im regulären Verkehr durchgeführt; vereinzelt erfolgt der Transport in Konvois.

3.8 Abschätzung des induzierten Verkehrs

In den Bauphasen werden vor allem die Querstrasse, die Kiesstrasse (K 348), die A50 und die Glattfelderstrasse (HVS7) durch Transporte belastet (vgl. Fig. 3-10).

Der **Verkehr von und zum Projektperimeter** kann heute noch nicht genau quantifiziert werden. Schätzungen ergeben, dass in der Schweiz auf den parallel zur Landesgrenze zu Deutschland verlaufenden Strassen (A50 und HVS7, vgl. Fig. 3-10) eine durch das Vorhaben verursachte Zunahme des Verkehrs um 2 – 4 % zu erwarten ist (vgl. Kap. 5.1, Tab. 5-2).

Der **Betriebsverkehr** ist im Vergleich zum Bauverkehr **gering**.

3.9 Einlagerungsbetrieb

Radioaktive Abfälle werden erst in der Betriebsphase angeliefert. Bewertet werden deshalb die radiologischen Auswirkungen während des Einlagerungsbetriebs (vgl. Kap. 4.1). Der HAA-Einlagerungsbetrieb kann exemplarisch in die folgenden Schritte unterteilt werden (vgl. Fig. 3-11):

1. **Annahme:** Die ELB werden in TB verpackt per Strassentransport zur OFA angeliefert. Nach der kontrollierten Einfahrt in das Sicherungsareal werden sie in der Bereitstellungshalle in Empfang genommen.
2. **Bereitstellen:** Die Bereitstellung umfasst die Eingangskontrollen, das Abladen der TB auf interne Transportfahrzeuge sowie deren Vorbereitung für den weiteren internen Transfer bzw. die Einlagerung. Dies beinhaltet auch Eingangsmessungen im Rahmen des Strahlenschutzes. Die ELB, die zum Schutz und für die Abschirmung in TB verpackt sind, werden mit diesen abgeladen und verbleiben in diesen, um auch im gTL bis vor die Lagerstollen deren Schutzwirkung und Abschirmfunktion weiter zu nutzen. Eine bedeutende Pufferung von ELB in der OFA ist im Normalbetrieb nicht vorgesehen, sie werden nach Ankunft abgeladen und zeitnah nach untertag gefördert.
3. **Förderung** (lateral und vertikal): Von der Bereitstellungshalle werden die ELB nacheinander zur Förderanlage im Einlagerungsschacht gefahren, einzeln nach untertag gefördert und dort direkt anschliessend zum jeweilig vorgesehenen Lagerstollen gefahren.

4. **Einlagerung:** Vor den Lagerstollen werden die ELB für die Einlagerung vorbereitet und an das Einlagerungsgerät übergeben. Die ELB werden dazu aus den TB herausgeholt. Das Einlagerungsgerät fährt den ELB zur definierten Einlagerungsposition im Lagerstollen und setzt jeden ELB auf dessen Einlagerungsplatz ab.
5. **Verfüllen:** Die verbleibenden Resthohlräume um die ELB werden anschliessend verfüllt. Bei den HAA erfolgt dies unmittelbar nach der Platzierung jedes einzelnen ELB.
6. **Versiegeln:** Sind die Lagerstollen vollständig mit ELB bestückt und die Hohlräume verfüllt, erfolgt der Verschluss der Lagerstollen mit einem Siegel. Der Verschluss der Lagerstollen erhöht den passiven Schutz weiter.
7. Sind alle ELB eingelagert und die Lagerstollen verschlossen, werden – nach einer ersten **Beobachtungsphase** – alle verbliebenen Hohlräume, die betrieblich nicht mehr für die weitere Beobachtungsphase oder den **Gesamtverschluss** benötigt werden, ebenfalls verfüllt.

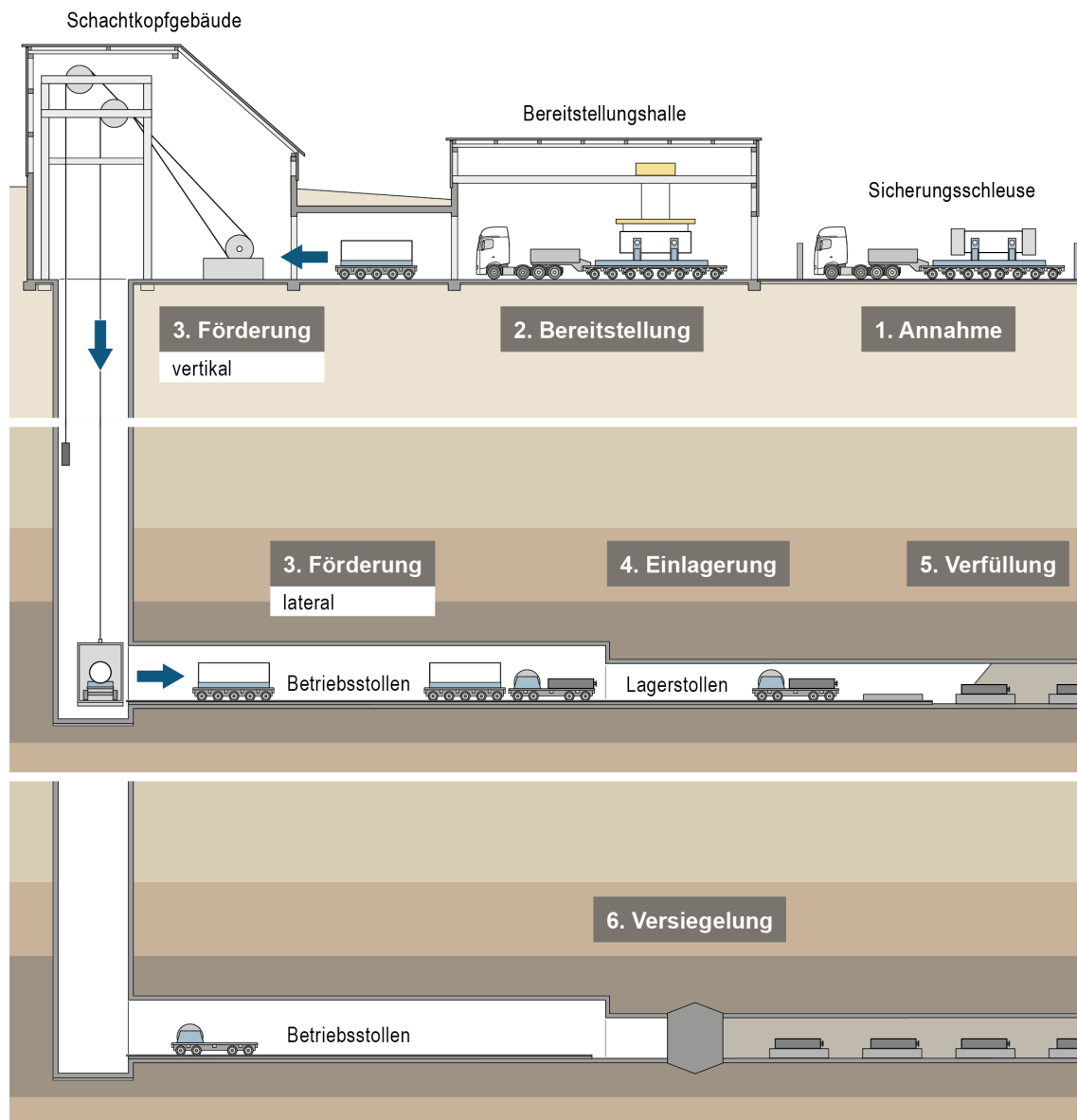


Fig. 3-11: HAA-Einlagerungsbetrieb (exemplarisch)

4 Radiologische Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt

4.1 Betriebsphase

Als Grundlage für die Bewertung der radiologischen Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt in der Betriebsphase werden im Folgenden das Sicherheitskonzept für die Betriebsphase dargelegt und die Charakteristika des Strahlenschutzes erläutert.

Anschliessend werden der Standort und dessen Umgebung hinsichtlich der Einwirkungen von aussen (EVA) charakterisiert bzw. bewertet und damit die Standorteignung für den Bau und Betrieb des gTL im Zuge der Rahmenbewilligung aufgezeigt. Eine generische Sicherheitsbetrachtung bewertet neben den EVA auch die Einwirkungen von innen (EVI) und zeigt die sicherheitsgerichtete Auslegung der Anlage und ihres Betriebs auf. Schliesslich wird auf die radiologischen Auswirkungen eingegangen.

Sicherheitskonzept für die Betriebsphase

Damit eine Kernanlage in der Schweiz betrieben werden darf, wird gemäss Art. 4 Abs. 1 KEG der Schutz von «Mensch und Umwelt vor Gefährdungen durch ionisierende Strahlen» gefordert. Diesem Anspruch folgend, dürfen somit radioaktive Stoffe «nur in nicht gefährdendem Umfang freigesetzt werden» und «es muss insbesondere **Vorsorge** getroffen werden **gegen** eine **unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe** sowie gegen eine **unzulässige Bestrahlung** von Personen im Normalbetrieb und bei Störfällen». Ziel ist somit der sichere Einschluss der radioaktiven Stoffe (vgl. unten).

Die Gewährleistung einer ausreichenden radiologischen Sicherheit während der Betriebsphase wird gemäss Gefährdungsannahmenverordnung (Art. 1 Bst. d GAV) durch die Einhaltung der grundlegenden Schutzziele passiv gewährleistet:

1. **Kontrolle der Reaktivität:** Für SMA/ATA und WA-HAA kann aufgrund der Abfalleigenschaften, Beschaffenheit und Konditionierung eine sich selbst erhaltende Kettenreaktion zuverlässig ausgeschlossen werden. Für die abgebrannten und abgeklungenen BE ist dies durch die Auslegung (Kleinheit der Anordnung und fehlender Moderator) gewährleistet.
2. **Kühlung der Kernmaterialien und der radioaktiven Abfälle:** Die Nachzerfallswärme der SMA ist vernachlässigbar klein. Die Nachzerfallswärme der HAA ist durch die bereits vorgängige, in der Regel seit Jahrzehnten erfolgte Zwischenlagerung auf ein unkritisches Mass abgeklungen, so dass die Integrität der Barrieren ohne weitere Kühlung sichergestellt ist.
3. **Einschluss der radioaktiven Stoffe:** Der permanente Einschluss der radioaktiven Stoffe wird sowohl im Normalbetrieb als auch bei Störfällen passiv durch das gestaffelte **Barrieren- und Schutzkonzept** (vgl. Nagra 2026, 2025f) sichergestellt. Die radioaktiven Abfälle sind stets durch mehrere vorrangig technische Barrieren von der Umwelt **isoliert, eingeschlossen und abgeschirmt**¹¹. Nach der Einlagerung der ELB und der Verfüllung sowie dem Verschluss der Lagerstollen und -kavernen tragen bereits während der Betriebsphase zusätzlich die für die Langzeitsicherheit ausgelegten **technischen und geologischen Barrieren** zum Einschluss der radioaktiven Stoffe bei (vgl. Kap. 3.1).

¹¹ Bei den SMA/ATA und WA-HAA sind dies zum einen die Abfallmatrix, in der die radioaktiven Stoffe eingebunden sind, und zum anderen die Abfallbehältnisse, die die Abfallmatrix umgeben (insb. ELB und ggf. TB). Bei den BE wird der Einschluss der radioaktiven Stoffe durch die Barrieren Brennstoffmatrix, Hüllrohr und ELB sowie den TB gewährleistet.

4. **Begrenzung der Strahlenexposition (Begrenzung der Freisetzung):** Das im gTL gehandhabte Aktivitätsinventar ist infolge der langen Abklingzeiten und der begrenzten Anzahl gleichzeitig gehandhabter Abfälle relativ klein. Zudem sind die Abfälle endlagerfähig verpackt (vgl. Kap. 3.7). Zu jeder Zeit sind nur wenige, für den reibungsfreien Betrieb erforderliche ELB auf dem Anlagenperimeter (Bereitstellungshalle) vorhanden. Das gTL wird so ausgelegt und betrieben, dass Belastungen auf die ELB bei Abweichungen oder infolge allfälliger Störfälle begrenzt sind. Beim Betrieb des gTL liegen zudem die treibenden Kräfte «Reaktivität» und «Nachzerfallswärme» nicht mehr in system- und anlagegefährdender Masse vor. Als Konsequenz liegen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen selbst bei einem auslegungsüberschreitenden Störfall weit unter den zulässigen Limiten. Das **Gefährdungspotenzial** ist somit **sehr klein** und potenzielle radiologische Konsequenzen würden sich auch im Falle eines höchst unwahrscheinlich auftretenden, auslegungsüberschreitenden Störfalls auf das Anlagenareal beschränken.

Strahlenschutz

Ein gTL ist durch folgende Ausgangslage und Merkmale der ELB bzgl. des Strahlenschutzes charakterisiert:

- Die radioaktiven Abfälle sind bei der Anlieferung an die OFA in ELB verpackt und damit eingeschlossen.
- Die an das gTL angelieferten ELB (Aussenflächen) und die TB (Aussen- und Innenflächen) sind frei von Kontamination. Dies wird durch die Absender durch Messungen sowohl innerhalb ihrer Anlagen als auch vor dem Transport zum gTL nachgewiesen und dokumentiert und bei der Annahme im gTL mit Eingangsmessungen bestätigt (vgl. Kap. 3.9).
- Die ELB sind ausreichend dicht verschlossen, so dass keine radioaktiven Stoffe austreten können.
- Im gTL werden keine ELB geöffnet und es sind keine dafür notwendigen Anlagen vorhanden. Es findet auch keine Handhabung von anderen offenen radioaktiven Materialien statt.
- Im gTL entstehen keine radiologischen Materialien bzw. Abfälle.

Aufgrund dieser spezifischen Merkmale bzw. der Anforderungen an die Auslegung ist das gesamte gTL stets **kontaminationsfrei** und es ist im Normalbetrieb von **keiner Abgabe** von **radioaktiven Stoffen über den Luft- oder Wasserpfad** auszugehen.

Die Einrichtung von Überwachungsbereichen ist für ein gTL somit ausreichend. Je nach zu erwartender Dosisleistung werden Räume oder Teilbereiche des gTL in Gebiete gemäss der Strahlenschutzverordnung (StSV) unterteilt. Diese Einteilung kann permanent oder temporär sein.

Mit den kerntechnischen Auslegungsprinzipien und mit einem geeigneten Strahlenschutz- und Überwachungskonzept wird sichergestellt, dass der **Betrieb für Personal und Bevölkerung keine unzulässige Zusatzbelastung** darstellt.

- Das Personal wird gemäss dem ALARA-Prinzip¹² vor der Dosisleistung geschützt. Neben der Einrichtung von Bereichen bedingt dies die bauliche oder technische Abschirmung (stationär oder mobil), Zutritts- und Aufenthaltsbeschränkungen, Überwachung und Alarmierung mittels Dosimeter etc.

¹² Das ALARA Prinzip («As Low As Reasonably Achievable») bedeutet, dass Massnahmen ergriffen werden, um die Strahlenbelastung weiter zu minimieren, solange dies praktikabel und wirtschaftlich vertretbar ist, selbst wenn die gesetzlichen Grenzwerte nicht überschritten werden.

- Ausserhalb der Anlage (ab dem Zaun) wird sich die Dosisleistung auf die natürliche Umgebungsstrahlung begrenzen. Neben dem Abstand (Strahlungsquelle zum Zaun) wird durch bauliche Abschirmungen sowie der Abschirmung durch den ELB und TB sichergestellt, dass die Direktstrahlung ausserhalb des Anlagenperimeters vernachlässigbar ist. Die voraussichtliche **Strahlenexposition für die Bevölkerung** in der Umgebung der OFA ist im Normalbetrieb auf die **natürliche Strahlenexposition** beschränkt. Untertag sorgen bereits wenige Meter Gestein (geologische Barrieren) für eine vollständige Abschirmung.

Im Rahmen der Auslegung und beim Betrieb des gTL werden die Bauten und Anlagen sowie die Prozesse so gewählt, dass die mit ihnen verbundenen Vorteile die strahlungsbedingten Nachteile deutlich überwiegen und gesamthaft für Mensch und Umwelt keine vorteilhaftere Alternative mit geringerer oder ohne Strahlenexposition zur Verfügung steht (Art. 3 StSV). Das gTL wird an neuralgischen Punkten überwacht (vgl. Kap. 6). Für die Auslegung und Optimierung der Strahlenschutzmassnahmen werden insbesondere die langjährigen Betriebserfahrungen aus vergleichbaren Anlagen wie der Zwiilag oder dem Zwischenlager Beznau herangezogen, da diese Anlagen bereits heute in jedem Fall alle gesetzlichen und behördlichen Grenz- und Richtwerte bei Weitem unterschreiten. Das gTL wird zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme eine strahlenschutztechnisch optimiert ausgelegte und ausgereifte Anlagencharakteristik aufweisen.

Standorteignung für Bau und Betrieb (EVA)

Für die Zusammenstellung der EVA und EVI werden die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben und Verordnungen berücksichtigt.

Der Standort der OFA ist ausreichend **gegen Naturgefahren geschützt**, da:

- der **Baugrund** mit üblichen bautechnischen Methoden beherrschbar ist (vgl. Nagra 2023a, Eisenlohr & Müller 2016)
- **Hochwasser** keine Gefährdung für den Anlagenperimeter darstellt (vgl. Nagra 2024g)
- die Neigung des umgebenden Geländes und die Bodenbeschaffenheit unkritisch sind und deshalb **Naturgefahren**, die durch Hochwasser oder Erdbeben als externes Ereignis ausgelöst werden können, für die Anlage keine Gefährdung darstellen
- der Untergrund keine Besonderheiten bzgl. **seismischer Gefährdung** darstellt und eine Verschiebungsgefährdung ausgeschlossen werden kann (vgl. Nagra 2024d)
- der Standort durch stabile **meteorologische und klimatologische Verhältnisse** gekennzeichnet ist und extremwertstatistische Analysen, bei denen auch erwartbare Einflüsse des Klimawandels entsprechend berücksichtigt werden, zeigen, dass für den Standort keine für die Auslegung kerntechnischer Anlagen ungewöhnlichen Randbedingungen vorliegen (vgl. Nagra 2024h).
- der Gefahr eines auf den Anlagenperimeter übergreifenden **Waldbrands** mit der Reduzierung von Brandlasten entgegengewirkt wird (Einhaltung ausreichender Abstände der OFA zum Waldrand bzw. Freihaltung, vgl. Kap. 5.11).

Im näheren Umfeld der OFA sind **keine zivilisatorischen Gefährdungsquellen** vorhanden:

- **Betriebe:** Hinsichtlich Einwirkungen aus Betrieben (bzw. Arbeitsstätten) in der Umgebung werden die Betriebe in einem **Umkreis von 3 km** um den Standort betrachtet, die der Störfallverordnung (StFV) unterstellt sind. Wie in Fig. 4-1 dargestellt, existieren **keine** derartigen Betriebe. Für Informationen zu den Betrieben ausserhalb des Umkreis von 3 km wird auf Nagra (2024c) verwiesen¹³.
- **Rohrleitungen:** Südlich des Projektperimeters verläuft eine im Boden verlegte Hochdruckgasleitung der Erdgas Ostschweiz AG (vgl. Fig. 4-2), die einen maximal zulässigen Betriebsdruck von 70 bar aufweist. Der Verlauf der Leitung weist einen minimalen Abstand von etwa 250 m zum Projektperimeter auf. Die entsprechenden Unbedenklichkeitsnachweise für Brand- und Explosionseinwirkung infolge eines Totalversagens der Gasleitung sind erbracht (Nagra 2024c). Bezüglich des **Anlagenperimeters** hat die Gasleitung einen Abstand von etwa 330 m und liegt damit **ausserhalb** des 300 m betragenden **Konsultationsbereichs**.
- **Militäranlagen:** Von militärischen Anlagen und Objekten sowie militärischen Aktivitäten in der Umgebung der Anlage (bspw. Transporte) geht kein Gefährdungspotenzial aus.
- **Verkehrswege:** Ein unterstellter maximaler Gefahrguttransportunfall (Explosion und Brand) hat keine Auswirkungen auf die OFA (Nagra 2024c).
- **Flugverkehr:** Der Projektperimeter befindet sich im Einflussbereich des An- und Abflugverkehrs des internationalen **Flughafens Zürich-Kloten**, der zum überwiegenden Teil von Verkehrsflugzeugen angeflogen wird. Für alle Grössenklassen heutiger Flugzeuge und Militärmaschinen ergeben sich sehr niedrige Absturzhäufigkeiten (Nagra 2024b). Für die Zukunft ist nicht mit einer wesentlich grösseren Anzahl von Flugbewegungen zu rechnen.

Die Charakterisierung der Standorteigenschaften und der EVA zeigt die **sicherheitstechnische Eignung** aus dem Blickwinkel natürlicher und zivilisatorischer Gefahren und belegt damit die **Eignung des Standorts** für den Bau und den Betrieb eines gTL (vgl. Nagra 2025e)¹⁴.

¹³ Für Deutschland: vgl. [Überwachungsprogramm – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg](#) – die Verzeichnisse listen die Betriebsbereiche auf, die unter die Pflichten der Deutschen Störfall-Verordnung fallen.

¹⁴ Eine generische Sicherheitsbetrachtung der Einwirkungen von innen (EVI) ist in Nagra (2024e) dokumentiert.

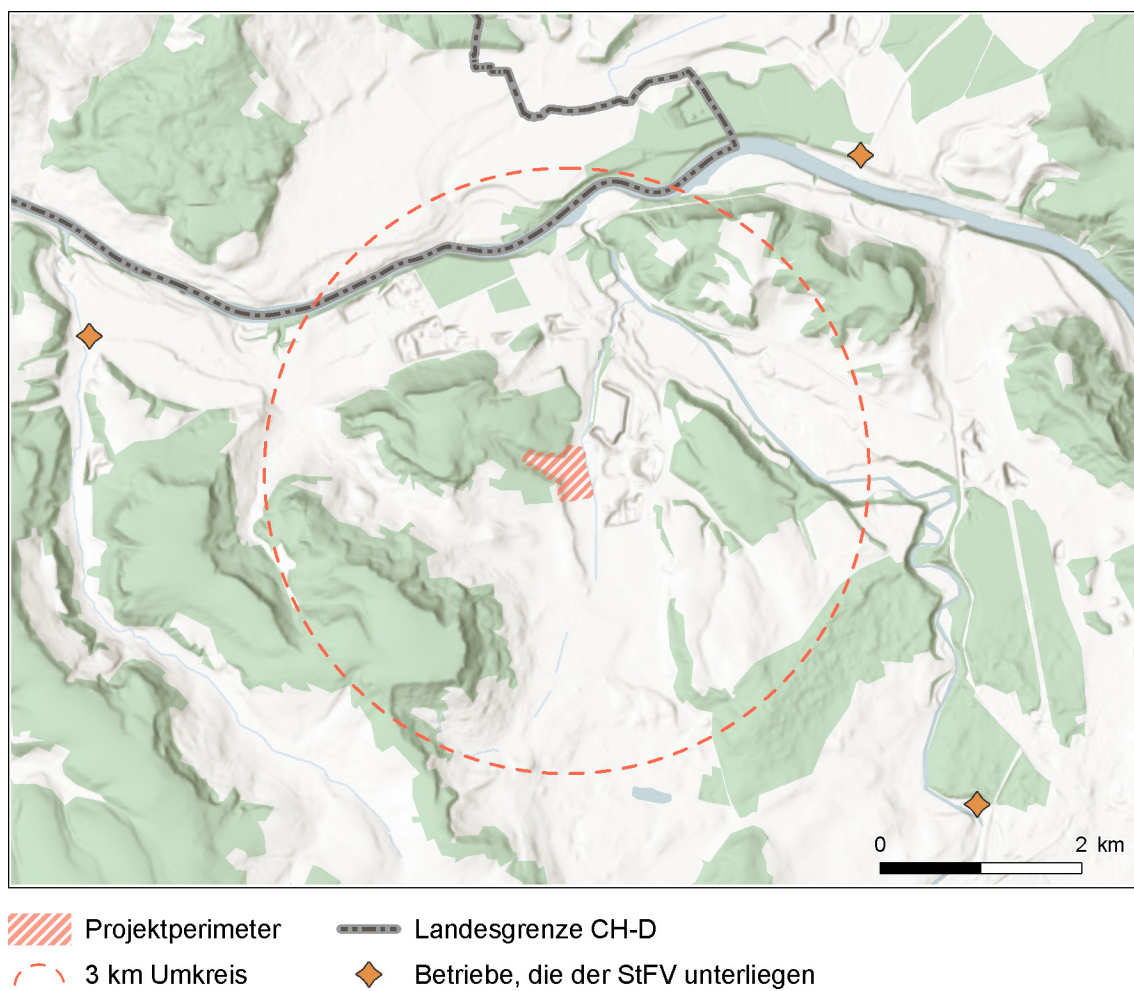


Fig. 4-1: Betriebe um den Projektperimeter, die der StFV unterliegen

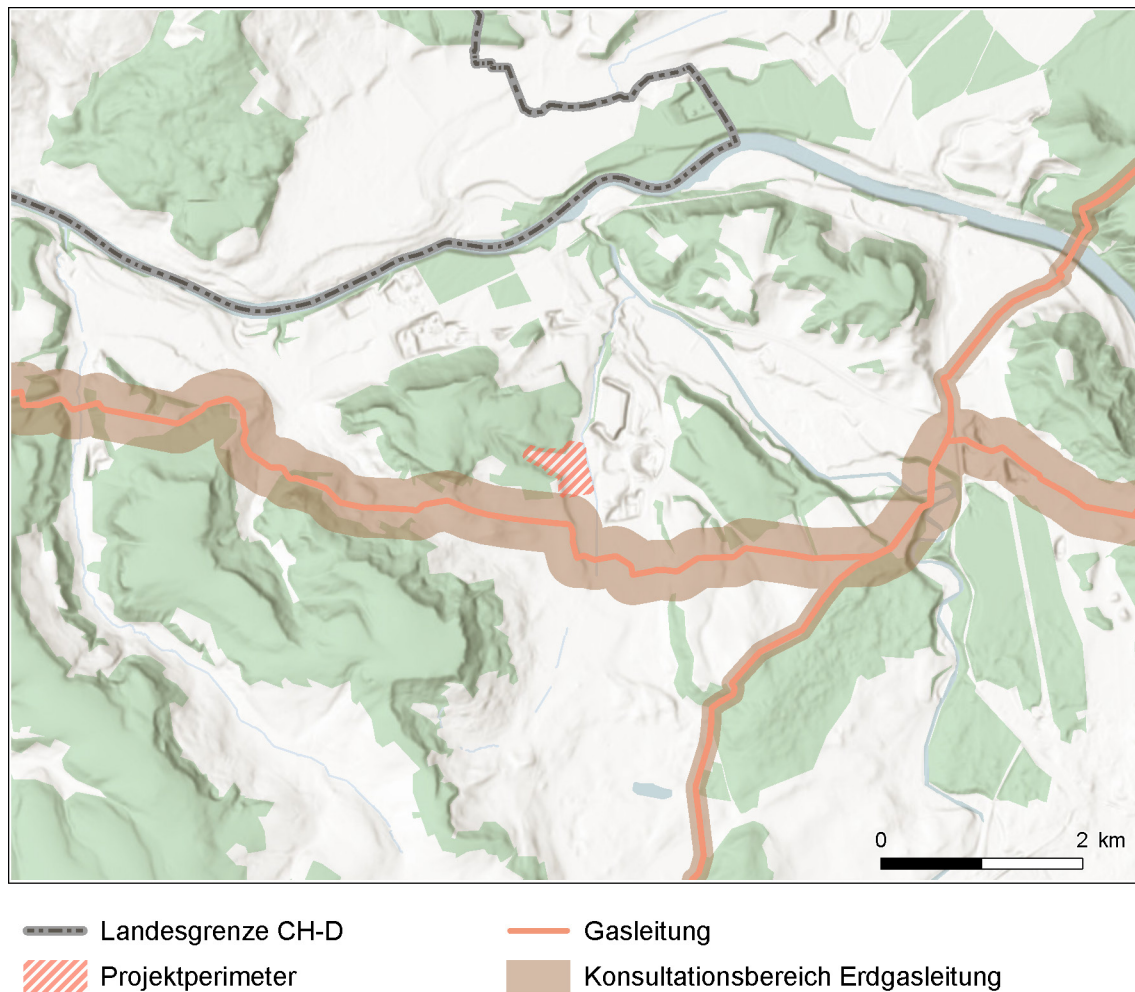


Fig. 4-2: Verlauf der Erdgasleitung in der Umgebung des Projektperimeters

Sicherheitsgerichtete Auslegung

Bei der **Auslegung der Anlage** (über- sowie untertag) wird auf eine **langjährige, breite und weltweite Erfahrungsbasis** sowohl von Zwischenlagern (übertag) als auch vergleichbaren Projekten (untertag; Tiefenlager, Tunnel, Minen) zurückgegriffen, mit der das gesamte Spektrum der potenziell vorkommenden auslösenden Ereignisse bereits konstruktiv vermieden oder deren Weiterentwicklung zu radiologischen Störfällen verhindert wird sowie entstandene Störfälle beherrscht und beendet werden und eine unzulässige Freisetzung zuverlässig vermieden wird. Dies wird – neben dem geeigneten Standort der OFA (s. weiter vorne) – einerseits durch eine geeignete bautechnische Auslegung und andererseits durch zuverlässig ausgelegte mechanisch-elektrische Hebe-/Transportfahrzeuge und Ausrüstungen sowie durch eine entsprechende Qualifikation des Personals sichergestellt.

Störfall (radiologische Sicherheit)

Im gTL werden ausschliesslich verpackte Abfälle gehandhabt. Der Einschluss der radioaktiven Abfälle in ELB und der zusätzliche Schutz durch TB stellen das hauptsächliche Sicherheitsdispositiv dar. Die Behälter, insbesondere für die HAA, sind so ausgelegt und geprüft, dass sie in

Verbindung mit den auslegungsbedingt nur begrenzt auftretenden Belastungen innerhalb des gTL auch im Fall von auslegungsbestimmenden Störfällen¹⁵ dicht und integer bleiben und deshalb von keiner Freisetzung auszugehen ist.

Das **gestaffelte Barrieren- und Schutzkonzept** stellt den **Einschluss** der radioaktiven Abfälle **sicher**. Eine **Kontamination des Grundwassers** mit radioaktiven Stoffen während des Betriebs ist **ausgeschlossen**. Als zusätzliche vorsorgliche Massnahme ist zudem ein adäquates Grundwasserschutzkonzept nach Stand der Technik vorgesehen.

Das gestaffelte Barrieren- und Schutzkonzept gewährleistet die Sicherheit auch im Falle eines Flugzeugabsturzes auf das OFA-Areal.

Auf **externe Notfallschutzmassnahmen** kann **verzichtet** werden, da die geltenden Dosis-schwellenwerte im Dosis-Massnahmenkonzept (vgl. Art. 7 Abs. 2 und Anhang 2 der Bevölkerungsschutzverordnung, BevSV) für die Einleitung von Notfallmassnahmen aufgrund des sehr **kleinen Gefährdungspotenzials** des gTL (s. weiter vorne) nicht überschritten werden können. Eine interne Notfallorganisation, um auf Notfälle aller Art angemessen reagieren zu können, wird bereitgestellt.

Radiologische Auswirkungen auf die Nachbarstaaten in der Betriebsphase

Die Umgebung, die Bevölkerung und das Personal können durch bewährte kerntechnische Vorkehrungen während des Normalbetriebs, Betriebsstörungen und bei Störfällen vor unzulässiger radioaktiver Bestrahlung geschützt werden.

Eine radiologische Gefährdung von Grundwasser und Oberflächengewässern der Nachbarstaaten ist ausgeschlossen.

Der **Schutz von Mensch und Umwelt** vor nicht zulässigen radiologischen Auswirkungen ist **jederzeit gewährleistet**. Sicherheitsrelevante Auswirkungen ausserhalb des Anlagenperimeters sind ausgeschlossen. Diese Aussage gilt für die Schweiz und umso mehr für die Nachbarstaaten, da radiologische Auswirkungen mit zunehmender Distanz zur Anlage abnehmen.

4.2 Nachverschlussphase

Mit dem Sachplanverfahren wurde der sicherste Standort für ein gTL in der Schweiz bestimmt (vgl. Kap. 2). Darüber hinaus definiert die ENSI-Richtlinie G03 (ENSI 2023) auch Vorgaben für den grenzüberschreitenden Schutz. So dürfen die Risiken aus der geologischen Tiefenlagerung in der Schweiz im Ausland nicht grösser sein als sie in der Schweiz zulässig sind (vgl. Ziff. 4.2 Bst. b ENSI-G03). Dadurch wird gewährleistet, dass das Tiefenlager der Schweiz nicht nur für die Schweiz, sondern auch über dessen Landesgrenzen hinweg die sicherste Lösung für den Schutz von Mensch und Umwelt darstellt.

Die Auswahlkriterien des Sachplans gewährleisten, dass der Standort die grössten Sicherheitsmargen in Bezug auf die Langzeitsicherheit bzw. die Nachverschlussphase aufweist. Das Standortauswahlverfahren ist sicherheitsorientiert (vgl. Kap. 2.2). In der Nachverschlussphase ist der Einschluss und die Rückhaltung der radioaktiven Stoffe so lange sicherzustellen, bis die Radiotoxizität durch Zerfall genügend abgeklungen ist und so die Langzeitsicherheit gewährleistet wird. Aspekte der Sicherheit beim Bau und Betrieb, bei der Raumnutzung, Ökologie, Wirtschaft und Gesellschaft sind bei der Standortwahl der Langzeitsicherheit nachgeordnet (vgl. Kap. 2.2).

¹⁵ Der auslegungsbestimmende Störfall ist der schwerwiegendste plausibel anzunehmende Störfall, für den eine Anlage nachweislich beherrscht werden muss, und der für die Auslegung der sicherheitstechnischen Einrichtungen einer Anlage massgebend ist.

Die Standortwahl erfolgte auf Basis von insgesamt 13 Kriterien (vgl. Fig. 4-3, Kap. 2.3 und Nagra 2025a). Die Kriterien der Gruppe 1 betreffen die Barrierenwirkung des EG. Mit der Kriteriengruppe 2 wird beurteilt, wie diese Barrierenwirkung über die erforderlichen Zeiträume gewährleistet bleibt und mit der Kriteriengruppe 3 wird die Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen und Prognosen beurteilt.

Kriterien zur Standortevaluation hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit	
Kriteriengruppe	Kriterien
1. Eigenschaften des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches	1.1 Räumliche Ausdehnung 1.2 Hydraulische Barrierenwirkung 1.3 Geochemische Bedingungen 1.4 Freisetzungspfade
2. Langzeitstabilität	2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften 2.2 Erosion 2.3 Lagerbedingte Einflüsse 2.4 Nutzungskonflikte
3. Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine 3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse 3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen
4. Bautechnische Eignung	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung

Fig. 4-3: Die Standortevaluation basiert auf 13 Kriterien zur Langzeitsicherheit und technischen Machbarkeit (vgl. Kap. 2.3 und Nagra 2025a)

Das Mehrfachbarrierensystem (vgl. Kap. 3.1) stellt zusammen mit der Tiefenlage des gTL in einer stabilen geologischen Situation sicher, dass das gTL unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung und der verbleibenden Ungewissheiten im Nachweiszeitraum die Sicherheit gewährleistet.

Für die Langzeitsicherheit sind räumliche Verhältnisse günstig, in denen der EG derart beschaffen und ausgedehnt ist, dass die Radionuklide überwiegend darin zurückgehalten werden (vgl. Fig. 4-3, Kriterium 1.1). Dazu werden Gesteine gesucht, die eine limitierte Wasserzirkulation (Kriterium 1.2), geochemische Bedingungen zur Rückhaltung (Kriterium 1.3) sowie eine Beschaffenheit aufweisen, welche die Radionuklidfreisetzung verzögert (Kriterium 1.4). Die **Eigenschaften des Opalinustons** erfüllen diese Kriterien besonders gut. Und da dieser gleichförmig und in für geologische Verhältnisse kurzer Zeit abgelagert wurde, weist er generell eine geringe räumliche Variabilität auf.

Die **sehr geringe Durchlässigkeit** für Wasser und Gas (Kriterium 1.2) stellt sicher, dass der Radionuklidtransport diffusionsdominiert, d. h. äusserst langsam ohne frei fließendes Wasser (Kriterium 1.4), erfolgt. Die geringe Durchlässigkeit für Wasser und Gas bleibt dank der **Selbstabdichtung**, die zur selbstständigen Reduktion der hydraulischen Durchlässigkeit von Rissen im Gestein führt, auch langfristig gewährleistet (Kriterium 1.4). Dieser Prozess beruht auf den quellenden Eigenschaften vorhandener **Tonminerale**, die bei Wasserkontakt ihr Volumen vergrössern und dadurch allfällige Poren verschliessen. Die negative Ladung der Tonminerale und deren grosse Oberfläche bewirken, dass positiv geladene Radionuklide an den Tonmineralen

gebunden werden. Somit besitzt der Opalinuston eine **Sorptionskapazität und geochemische Eigenschaften**, welche zur Rückhaltung der Radionuklide besonders geeignet sind (Kriterium 1.3). Der Opalinuston wurde schon am Ende von SGT-Etappe 2 als Wirtgestein festgelegt (vgl. Kap. 2.3).

Die Untersuchungen in SGT-Etappe 3 haben verdeutlicht, dass von den verbliebenen Standortgebieten im Sachplanverfahren (vgl. Kap. 2.3) NL über die grössten Sicherheitsmargen verfügt:

Zusätzlich zum Opalinuston (Mächtigkeit ca. 105 m) tragen mächtige Pakete von tonreichen **Rahmengesteinen** (Mächtigkeit EG ca. 300 m) zur geologischen Barrierenwirkung bei (Kriterium 1.1). Sie dienen mit ihren günstigen Eigenschaften als zusätzliche Transportbarrieren und erhöhen die Robustheit des Tiefenlagersystems bezüglich Langzeitsicherheit. Da der Abstand zu den Felsaquiferen in NL insgesamt am grössten bzw. der EG am mächtigsten ist, ergibt sich ein qualitativer Vorteil bei der räumlichen Ausdehnung (Kriterium 1.1).

Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung der Porenwässer zeigen, dass in NL die geringste Wasserzirkulation stattfindet. Daraus ergibt sich ein qualitativer Vorteil bei der Bewertung der hydraulischen Barrierenwirkung (Kriterium 1.2). In NL herrschen damit die günstigsten hydrogeologischen Bedingungen.

In Anbetracht der langen zu betrachtenden Zeiträume¹⁶, muss der Standort des gTL sicherstellen, dass diese Barrierenwirkung auch in Hinsicht auf geologische Prozesse (Kriterium 2.1) und Erosion (Kriterium 2.2) langfristig erhalten bleibt. Zudem muss die Langzeitstabilität des Barrierensystems gegenüber lagerbedingten Prozessen¹⁷ (Kriterium 2.3) sowie einer möglichen Nutzung von natürlichen Ressourcen (Kriterium 2.4) bestmöglich gewährleistet werden.

Der Standort NL ist **seismisch und tektonisch ruhig**. Mit dem vertieften Verständnis der geologischen Entwicklungsgeschichte können mögliche zukünftige Veränderungen (z. B. Verwitterung, Hebungs- und Erosionsvorgänge) abgeschätzt werden. Sie sind innerhalb des Betrachtungszeitraums von einer Million Jahre geringfügig und haben keinen Einfluss auf die Sicherheit. Das Wirtgestein Opalinuston ist vor ca. 174 Millionen Jahren entstanden. Die guten Barriereneigenschaften des EG bleiben über lange Zeiträume erhalten. In NL sind die Gesteine am ruhigsten gelagert und der Opalinuston liegt in einer **Tiefe von ca. 800 – 1'000 m unter Terrain** vor. Damit ist der Schutz vor geologischen Prozessen insgesamt (Kriterium 2.1) und vor **Erosion** im Besonderen (Kriterium 2.2) über den Betrachtungszeitraum mit grossen Sicherheitsmargen gewährleistet. Auch die Ausdehnung des EG hat sowohl vertikal als auch lateral grosse Sicherheitsmargen. Die potenzielle Lagerzone, welche mit der Rahmenbewilligung durch die Festlegung des vorläufigen Schutzbereichs (vgl. Fig. 3-3 und Fig. 3-4 in Kap. 3.2) geschützt werden soll, ist lateral um ein Vielfaches grösser als der Platzbedarf für die Umsetzung des gTL gemäss exemplarischer Umsetzung im RBG.

Die technischen Barrieren können so konzipiert werden, dass sie mit den geologischen Barrieren sowie untereinander kompatibel sind. Durch eine entsprechende Auslegung bleiben die Barriereneigenschaften erhalten (Kriterium 2.3). Da in der potenziellen Lagerzone keine aus heutiger Sicht wirtschaftlich nutzungswürdigen Ressourcen in einem besonderen Masse vorkommen, bestehen keine Nutzungskonflikte im Sinne von Kriterium 2.4.

¹⁶ Eine Million Jahre für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standortregionen.

¹⁷ Wechselwirkungen zwischen eingelagerten Abfällen, eingebrachten Materialien und Wirtgestein können die Langzeitstabilität des Barrierensystems beeinflussen. Zu den lagerbedingten Einflüssen gehören thermische, hydraulische, chemische und felsmechanische Einflüsse sowie Einflüsse durch Gasbildung.

Vorteilhaft sind gemäss Kriterien des SGT auch eine möglichst geringe Variabilität der sicherheitstechnischen Eigenschaften (Kriterium 3.1) und einfache und von der Oberfläche aus gut explorierbare räumliche geologische Verhältnisse (Kriterium 3.2) und Situationen, die eine zuverlässige Prognose der sicherheitsrelevanten Eigenschaften und der Geometrie des EG über die erforderlichen Zeiträume zulassen (Kriterium 3.3).

Mit den einfachen und konsistenten geologischen Verhältnissen im Untergrund, der geringen tektonischen Überprägung¹⁸ und der grossen Tiefenlage, weist der Standort NL bzw. die vorgesehene potenzielle Lagerzone auch bezüglich dieser Kriterien die grössten Sicherheitsmargen auf.

Die bautechnische Eignung ist an allen drei Standorten (JO, NL und ZNO) grundsätzlich gegeben, d. h. technisch machbar (vgl. ENSI 2017, Kriterium 4.1 und 4.2). Die grössten Sicherheitsmargen bezüglich Langzeitsicherheit bietet der Standort NL.

Für die Standortwahl von NL ausschlaggebend sind die in Fig. 4-4 dargestellten Eigenschaften des EG.

¹⁸ Die Gesteinsschichten liegen weitgehend ungestört und ruhig gelagert vor. Hinweise auf tektonische Deformationen wie Faltungen, Verwerfungen oder Bruchstrukturen sind nicht vorhanden.

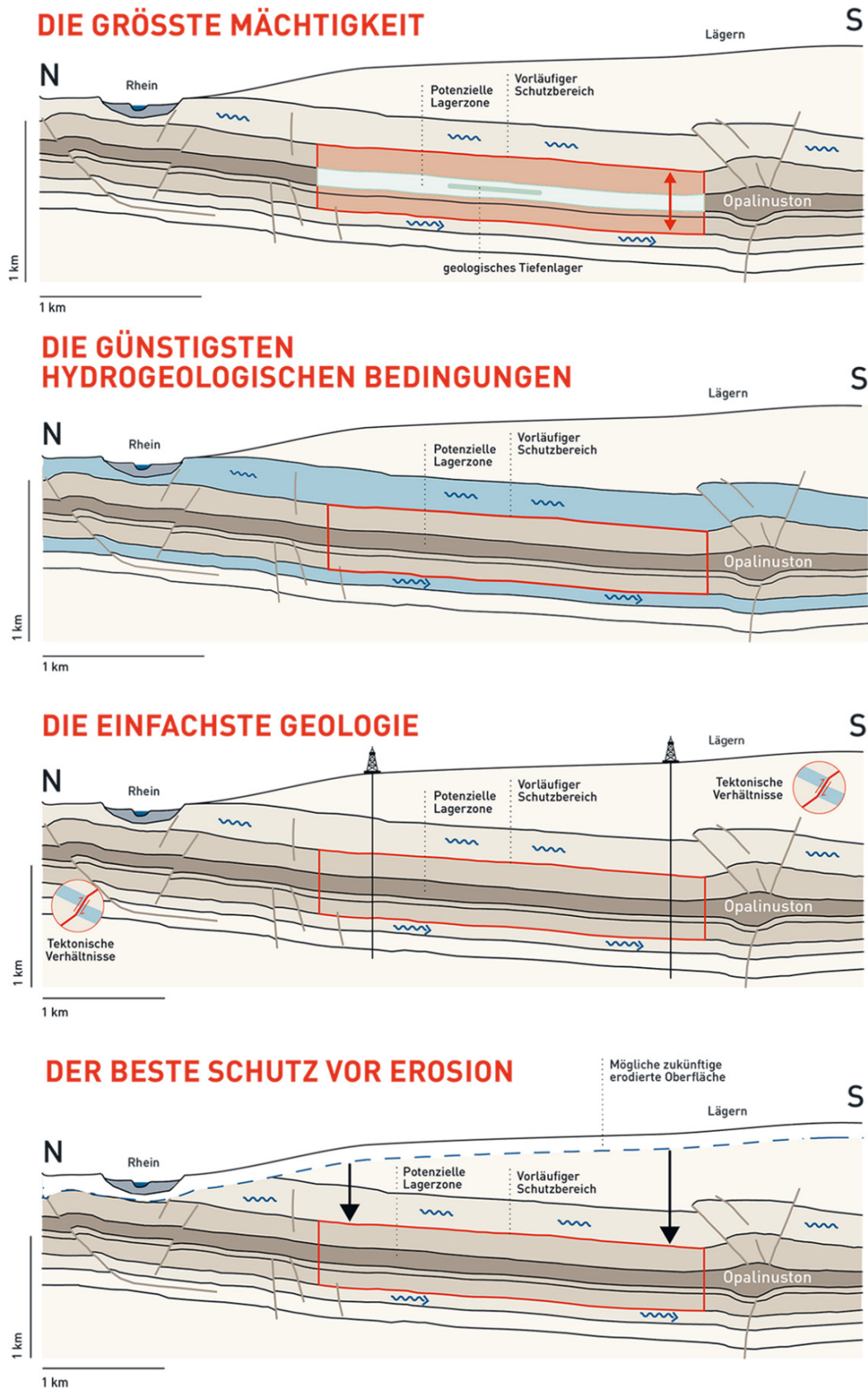


Fig. 4-4: Die für die Standortwahl ausschlaggebenden Eigenschaften des EG im Standortgebiet NL

Neben qualitativen Argumenten für die Wahl des Standorts sind mit dem RBG auch quantitative Sicherheitsnachweise für die Nachverschlussphase zu erbringen. Ein absoluter Einschluss aller radioaktiven Stoffe über sehr lange Zeiträume ist nicht erforderlich (vgl. ENSI 2021). Das Mehrfachbarrierensystem muss so ausgelegt sein, dass die Freisetzung von Radionukliden durch die technischen und geologischen Barrieren auf ein Mass begrenzt wird und die strengen quantitativen Schutzkriterien des ENSI zuverlässig erfüllt sind. Die durch ein Tiefenlager verursachte **zusätzliche Strahlenexposition** an der **Erdoberfläche** darf einen festgelegten Grenzwert nicht überschreiten. Das ENSI hat diese maximal zulässige Individualdosis, die durch radioaktive Stoffe aus einem Tiefenlager verursacht werden darf, auf 0.1 mSv pro Jahr festgelegt. Dieser Wert ist im Vergleich zur durchschnittlichen jährlichen Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung **sehr gering**. Zwei Transatlantikflüge führen zu einer vergleichbaren Strahlenbelastung. Die aktuelle durchschnittliche Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung beträgt etwa 6 mSv pro Jahr und stammt von der natürlichen Radonbelastung, medizinischen Anwendungen, der natürlichen Hintergrundstrahlung, der Nahrungsaufnahme sowie zusätzlichen künstlichen Quellen (vgl. BAG 2021).

Der **Sicherheitsnachweis für die Nachverschlussphase** erfolgt durch eine Gesamtbewertung der Langzeitsicherheit auf Basis umfassender **Sicherheitsanalysen** und qualitativen Sicherheitsbetrachtungen (Nagra 2024i). Bei bestehenden Ungewissheiten in der Sicherheitsanalyse wurden die maximal möglichen radiologischen Konsequenzen durch konservative Szenarien¹⁹ oder umhüllende Varianten abgeschätzt wie in ENSI (2023) und ENSI (2018) vorgegeben. Dies stellt sicher, dass die Sicherheitsanalyse stets konservativ ist und die tatsächliche Wirkung des Mehrfachbarrierensystems in der Realität höher ist als das modellierte Verhalten. Folglich werden die radiologischen Auswirkungen für Mensch und Umwelt mit hoher Wahrscheinlichkeit überschätzt (siehe auch Rahn et al. 2024).

Das **Verhalten der Radionuklide** im Mehrfachbarrierensystem des gTL lässt sich nach dem Verschluss grob in unterschiedliche Phasen einteilen (vgl. Nagra 2024i), die sich zu einem gewissen Grad überschneiden:

- Bei den HAA sind die Radionuklide zu Beginn vollständig in ELB eingeschlossen. Dieser Einschluss muss für mindestens tausend Jahre gewährleistet sein.
- Nach dem Versagen der HAA-ELB werden die noch nicht zerfallenen Radionuklide überwiegend sehr langsam aus der Brennstoffmatrix und dem Glas freigesetzt.
- Die SMA-ELB bieten zunächst einen Widerstand gegen das Eindringen von Porenwasser. Mit der Zeit zersetzen sie sich und das Wasser gelangt in Kontakt mit den Abfallgebinden.
- Die Radionuklide, die aus den ELB in die Verfüllung der HAA-Lagerstollen oder das Nahfeld²⁰ der SMA-Lagerkavernen gelangen, werden dort zurückgehalten. Sie zerfallen oder bewegen sich sehr langsam durch die Verfüllungen oder das Nahfeld in das Wirtgestein und/oder das Verschlusssystem.
- Nur ein sehr geringer Teil der Radionuklide erreicht das Wirtgestein. In gelöster Form können lediglich sehr langlebige und nicht sorbierende Radionuklide in geringsten Konzentrationen den EG verlassen und in die tiefen Felsaquifere gelangen. Dieser Prozess erfolgt langsam, da Diffusion den Transport im EG bestimmt.

¹⁹ Konservative Szenarien basieren auf vorsichtigen, sicherheitsorientierten Schätzungen, die auf ungünstigen Voraussetzungen beruhen, um Risiken zu minimieren und Sicherheitsreserven zu gewährleisten.

²⁰ Das Nahfeld umfasst die Abfallgebände, die technischen Barrieren, insbesondere Behälter und Verfüllungen, sowie die Auflockerungszone des Wirtgesteins.

- Bei der Dosiskalkulation wird konservativ angenommen, dass diese wenigen Radionuklide über die tiefen Felsaquifere direkt in die Biosphäre gelangen und dort geringfügig zur Gesamtdosis beitragen. Zusätzliche Abschwächungen, **Verdünnungen und Verzögerungen** werden vernachlässigt, z. B. durch radioaktiven Zerfall und **Dispersion während des Transports** aus den tiefen Felsaquiferen, welche sich mehrere hundert bis tausend Meter unterhalb der Erdoberfläche befinden. Diese Prozesse verlängern die Transportzeiten um mehrere tausend bis hunderttausend Jahre und reduzieren die tatsächliche Dosis weiter.

Der **Grossteil der Radionuklide** verbleibt und **zerfällt** aufgrund der Rückhaltung **in den Barrieren** des gTL.

Die Langzeitsicherheit wird durch Sicherheitsszenarien überprüft, die sowohl den Ausgangszustand als auch die anschliessende Entwicklung des gTL beschreiben. Berechnet werden zur Prüfung der Barrierenwirksamkeit die **radiologischen Konsequenzen verschiedener Szenarien**. Die **Sicherheitsszenarien sind abdeckend** definiert, sodass alle Ungewissheiten und Entwicklungen mit potenziellen Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit berücksichtigt werden. Dabei wird einbezogen, dass die zeitliche Prognostizierbarkeit für technische Barrieren, den EG, die geologische Langzeitentwicklung des Standorts, die Biosphäre und die Lebensgewohnheiten unterschiedlich ist. In Übereinstimmung mit **internationalen und nationalen Richtlinien** sind Sicherheitsszenarien definiert, die sowohl die erwartete Entwicklung des gTL über den Nachweiszeitraum hinaus als **auch wenig wahrscheinliche und sogar hypothetische Entwicklungen** und Abweichungen beschreiben. Aufgrund der hervorragenden Eigenschaften der geologischen Barrieren werden die **Schutzkriterien** für die Nachverschlussphase **für alle Szenarien** mit deutlichen Sicherheitsmargen **eingehalten**. Die maximalen Dosisraten liegen mit **grossen Sicherheitsmargen** unter den Schutzkriterien und damit auch deutlich unter der durchschnittlichen natürlichen Strahlung in der Schweiz.

Auswirkungen chemotoxischer Stoffe

Das schweizerische Abfallinventar enthält neben Radionukliden auch chemotoxische Stoffe. Diese Stoffe werden genauso wie Radionuklide sicher durch die geologischen Barrieren passiv eingeschlossen und über sehr lange Zeiträume zurückgehalten (Miron et al. 2024). Ihre **Mobilität** wird durch die geochemischen Bedingungen des EG **stark eingeschränkt**. Die tonreichen Wirt- und Rahmengesteine, insbesondere der Opalinuston, bieten eine hohe Sorptionskapazität und sehr geringe hydraulische Durchlässigkeit.

Numerische Berechnungen der Sicherheitsanalyse zeigen, dass die meisten Radionuklide sowie wassergefährdenden Stoffe (Elemente wie Pb, Cd oder Cu) für mindestens 1 Mio Jahre **innerhalb der ersten 10 – 20 m des Opalinustons zurückgehalten** werden (Nagra 2024i). Im vorgesehenen Standortgebiet liegen die Lager in einem Bereich, der durch mehr als 100 m zusätzliche tonreiche Schichten von den nächstgelegenen wasserführenden Schichten getrennt ist.

Durch die Rückhaltung können selbst nach einer Million Jahre nur stark verdünnte Mengen die tiefen Aquifere erreichen (Nagra 2024i). Würde dies eintreten, sind solche stark verdünnten Mengen im Vergleich zu natürlichen Stofffrachten aus Erosions- und Verwitterungsprozessen immer deutlich geringer (vgl. Nagra 2002). Der Entsorgungsnachweis (Nagra 2002) umfasst zudem **auch Extremszenarien**. So würde selbst bei einer hypothetischen Freilegung des gTL die **Trinkwasserqualität nicht beeinträchtigt**.

Radiologische Auswirkungen auf die Nachbarstaaten in der Nachverschlussphase

Die **Schutzkriterien** für die Nachverschlussphase werden **für alle Szenarien** mit deutlichen Sicherheitsmargen **eingehalten**. Bei allen Sicherheitsanalysen ist zu berücksichtigen, dass die Auswirkungen für Mensch und Umwelt bereits am Standort Haberstal aufgrund der abdeckenden, konservativen Annahmen mit hoher Wahrscheinlichkeit überschätzt werden. Unter Berücksichtigung der Dispersion in den Felsaquiferen würden die Auswirkungen mit zunehmender Distanz vom Standort über die Aquifere und die Oberflächengewässer weiter abnehmen. Das Sicherheitskonzept (v. a. die geologischen Barrieren) gewährleistet, dass die Auswirkungen in der Schweiz sehr gering sind. Die Auswirkungen nehmen mit der Distanz weiter ab. Das Tiefenlager am Standort Haberstal stellt nicht nur für die Schweiz, sondern auch über die Landesgrenze hinweg die sicherste Lösung dar. Der **Schutz von Mensch und Umwelt ist grenzüberschreitend gewährleistet**.

Diese Schlussfolgerung und der Sicherheitsnachweis (vgl. Nagra 2024i, Nagra 2024j) werden vom ENSI überprüft und zusätzlich von der internationalen Expertengruppe der NEA begutachtet.

5 Konventionelle Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt

Um zu beurteilen, ob keine anderen von der Bundesgesetzgebung vorgesehenen Gründe, namentlich des Umweltschutzes, des Natur- und Heimatschutzes und der Raumplanung, einer Rahmenbewilligung entgegenstehen (vgl. Art. 13 Abs. 1 Bst. b KEG), werden für die **Bau- und Betriebsphase** der **Ausgangszustand** und die **Umweltauswirkungen** betrachtet. Die schweizerische Gesetzgebung sieht für Kernanlagen wie das gTL eine **2-stufige UVP gemäss schweizerischem UVP-Handbuch** (BAFU 2009) vor. Die Umweltauswirkungen werden im UVB 1. Stufe (Nagra 2025d)²¹ für das RBG dokumentiert und u. a. vom BAFU geprüft. Zum UVB 1. Stufe gehört auch ein Pflichtenheft für die 2. Stufe der UVP (vgl. Kap. 8.2), die im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens durchgeführt wird.

In diesem Kapitel werden ausgehend von den Auswirkungen in der Schweiz die Auswirkungen auf die Nachbarstaaten beurteilt.

5.1 Luftreinhalung, Lärm, Erschütterung und abgestrahlter Körperschall

Luftreinhalung: Im Projektperimeter selbst sind keine bedeutenden Emissionsquellen vorhanden. Es finden heute lediglich land- und forstwirtschaftliche Nutzungen statt.

Im weiteren Umfeld sind folgende Luftschadstoff-Emissionsquellen vorhanden:

- Kiesgrube Rütifeld (ca. 350 m östlich, vgl. Fig. 3-6): Der Betrieb der Kiesgrube stellt eine relevante Vorbelastung des Gebiets bzgl. Luftreinhalung (Emissionen Maschinen und Transporte) dar.
- Materialgewinnungsstandorte im Gebiet «Windlacherfeld / Weiach» nördlich des Projektperimeters (vgl. Fig. 3-5).
- Verkehr auf dem umliegenden Strassennetz (vgl. Fig. 3-10).

Die Immissionsgrenzwerte (IGW) für die Jahresmittelwerte gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV) für NO₂ (30 µg/m³), PM10 (20 µg/m³) und PM2.5 (10 µg/m³) werden im Projektperimeter für das Jahr 2020 klar eingehalten (GVM-ZH 2024).

Es ist davon auszugehen, dass die NO₂-Immissionen im Anlagenperimeter künftig sowohl im Jahresmittel wie auch im Tagesmittel deutlich unter dem IGW der LRV (vgl. Anhang 7 LRV) liegen und damit die Anforderungen einhalten werden.

Die Immissionskarten der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg zeigen für die Gemeinde Hohentengen a. H. (Siedlungsgebiet rund 2.3 km nordwestlich vom Projektperimeter entfernt, vgl. Fig. 3-7) im Jahr 2016 einen NO₂-Jahresmittelwert von 10.0 µg/m³, der Jahresmittelwert für PM10 lag bei 11.0 µg/m³ und jener für PM2.5 bei 8.6 µg/m³ (LGL BW 2024).

Gemäss der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) gelten zum Schutz der menschlichen Gesundheit, die über ein Kalenderjahr gemittelten IGW von 40 µg/m³ für NO₂ und PM10 und 25 µg/m³ für PM2.5. In der Gemeinde Hohentengen a. H. werden diese Grenzwerte klar unterschritten.

Lärm: Der Projektperimeter und seine Umgebung befinden sich in der Landwirtschaftszone und randlich im Wald. Die zugeteilte Lärmempfindlichkeitsstufe lässt mässig störende Betriebe zu.

²¹ Die für die Beurteilung der Auswirkungen des Vorhabens auf die Umwelt anzuwendenden Gesetze, Verordnungen, Richtlinien und Normen sind für jeden Umweltbereich im jeweiligen Unterkapitel des UVB 1. Stufe (Nagra 2025d) aufgeführt.

In der Umgebung des Anlagenperimeters sind folgende Lärm-Emissionsquellen vorhanden:

- Kiesgrube Rütifeld (ca. 350 m östlich, vgl. Fig. 3-6)
- Flughafen Zürich-Kloten: Die IGW für Fluglärm werden im Projektperimeter tagsüber und nachts eingehalten.
- Schiessanlage Stadel-Windlach (südlich des Anlagenperimeters), wobei im Schiesslärnkataster des Kantons Zürich keine Daten dazu vorhanden sind.
- Eisenbahnverkehr: Die Bahnstrecke Koblenz – Bülach befindet sich rund 2 km nördlich des Anlagenperimeters. Der Eisenbahnverkehr (S36) auf der SBB-Bahnlinie erzeugt heute infolge des Stundentakts zwischen 5:00 und 24:00 Uhr geringe Lärmemissionen. Zwischen Zweidlen-Station und Weiach befindet sich ein privat genutzter Gleisabschnitt nördlich der SBB-Bahnlinie, welcher durch die Weiacher Kies AG für den Kiesverlad verwendet wird und im Bereich der Kiesgrube Rüteren mit einem Verladebahnhof ausgestattet ist. Weitere Anlagen für den Gütertransport sind der Annahmehnhof mit Freiverlad in Zweidlen-Station sowie der Annahmehnhof bei Weiach-Kaiserstuhl. Gemäss Emissionskataster 2021 abgerufen in swisstopo (2024) ist tagsüber nur innerhalb eines Korridors von ca. 70 – 80 m beidseits der Trasse mit einer Überschreitung des Beurteilungspegels durch den Bahnverkehr zu rechnen, nachts nur im unmittelbaren Nahbereich.

Erschütterungen / abgestrahlter Körperschall: In der nahen Umgebung des Projektperimeters sind keine relevanten Erschütterungsquellen vorhanden.

Auswirkungen

Aufgrund des aktuellen Projektstands können erst **grundsätzliche Erkenntnisse** für die Umweltbereiche «Luftreinhaltung», «Lärm», «Erschütterung und abgestrahlter Körperschall» gewonnen werden. Viele der für die Beurteilung der Auswirkungen wichtigen Grundlagen werden in den weiteren Bewilligungsverfahren ausgearbeitet (z. B. Installationsplätze und Deponien, Transportmittel und -strecken für Ausbruchmaterial).

Während der **Bau- und Rückbauphasen** sind **Luftschadstoff- und Lärmemissionen** durch **Bauarbeiten** relevant. Auf dem Anlagenperimeter kann es zu **erschütterungsrelevanten Arbeiten** kommen, deren Auswirkungen nach der Festlegung der Baumethoden beurteilt werden müssen. Massnahmen zur Begrenzung der Emissionen sind entsprechend den gesetzlichen Vorgaben vorzusehen.

Neben den Bautätigkeiten im Projektperimeter führen die erforderlichen **Bautransporte im Projektperimeter und entlang der Transportrouten zu Belastungen** (vgl. Kap. 3.6 und 3.8). In diesem Zusammenhang sind vor allem der Abtransport von Boden, Aushub-, Ausbruch- und Rückbaumaterial sowie die Anlieferung von Baumaterial (Beton, Bewehrung) und Verschlussmaterial relevant. Transporte finden bis auf Einzelfälle (vgl. Kap. 3.5) auf dem schweizerischen Strassennetz statt. Die genauen Mengen von an- und abzutransportierenden Materialien, die Herkunfts- bzw. Zielorte (inkl. Deponiestandorte und -volumina) und somit die Anzahl Transporte, die Transportmittel, -routen und -distanzen werden in den weiteren Bewilligungsverfahren ermittelt. Genauere Angaben zu den entsprechenden Emissionen werden dann gemacht.

Der in den Bauphasen induzierte Verkehr (Phasen 1, 3 und 5, vgl. Kap. 3.4) wurde basierend auf abdeckenden Annahmen abgeschätzt (vgl. Tab. 5-1). Die geschätzte Anzahl Fahrten (1 Transport als 2 Fahrten) repräsentieren die intensivsten Verkehrsbewegungen, wenn alle Materialien mit LKW transportiert werden. In diesem Fall werden schwerpunktmässig die Querstrasse, die Kiesstrasse (K 348), die A50 und die Glattfelderstrasse (HVS7) durch die Transporte belastet werden (vgl. Fig. 3-10). In Tab. 5-2 ist die durch das Vorhaben induzierte prozentuale Zunahme des durchschnittlicher Werktagerverkehr (DWV) dargestellt.

Tab. 5-1: Schätzung des induzierten Bauverkehrs

Phase	Anzahl Fahrten LKW ²² Bau pro Werktag ²³	Anzahl Fahrten PKW Personal pro Tag	Induzierter Verkehr (Anzahl Fahrten pro Werktag ²⁴)
Phase 1: Bau Zentraler Bereich und Testbereiche	Boden, Aushub, Ausbruch, Beton & Stahl: ca. 130	ca. 80	ca. 210 Fahrten 62 % LKW-Anteil
Phase 3: Bau Lager SMA	Boden, Aushub, Ausbruch, Beton & Stahl: ca. 230	ca. 160	ca. 390 Fahrten 59 % LKW-Anteil
Phasen 5: Bau Lager HAA	Ausbruch, Beton & Stahl: ca. 170	ca. 160	ca. 330 Fahrten 52 % LKW-Anteil

Tab. 5-2: Schätzung der durch das Vorhaben induzierten Zunahme (in %) des durchschnittlichen Werktagesverkehrs (DWV) bezogen auf die Verkehrsprognose für das Jahr 2040

	Querstrasse		K 348 / Kiesstrasse		HVS7 / Glattfelderstrasse		A50 / Autobahn	
	2040	mit gTL	2040	mit gTL	2040	mit gTL	2040	mit gTL
DWV Phasen 1, 3 und 5	639	+33 – 61 %	3'828	+5 – 10 %	11'824	+2 – 3 %	9'241	+2 – 4 %

In den **Betriebsphasen** ist **keine relevante Zunahme** der verkehrsbedingten Luftschadstoff- und Strassenlärmbelastung zu erwarten. Ebenso sind in den Betriebsphasen keine erschütterungsrelevanten Arbeiten vorgesehen.

Klimaschutz

Die Schweiz hat das Übereinkommen von Paris²⁵ 2017 ratifiziert. Das Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG) legt die Klimaziele der Schweiz bis 2050 fest.

In der Schweiz existieren noch keine gesetzlichen Vorschriften im Bereich Klimaschutz, die im UVB abgehandelt und deren Einhaltung nachgewiesen werden müssen. Falls sich in den nächsten Jahren Vorgaben ergeben, werden diese in den weiteren Bewilligungsverfahren berücksichtigt.

²² 25 Tonnen bzw. 10 m³ Felsausbruch fest, Beton und Versiegelungs- und Verfüllmaterialien pro LKW.

²³ Die Mengen, die an 7 Tagen die Woche anfallen, werden an 5 Tagen an- bzw. abtransportiert.

²⁴ Die Intensität der Materialmengen bzw. -transporte (d. h. Menge bzw. Transporte pro Zeiteinheit) wird als unabhängig von der Gesamtmenge angenommen, da der Zeitbedarf proportional zur Menge zunimmt (d. h. für z. B. doppelt so viel Aushubmaterial wird auch doppelt so viel Zeit für die Aushubarbeiten und die Transporte benötigt).

²⁵ Das Übereinkommen von Paris ist ein rechtlich verbindliches Instrument unter dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (Klimakonvention, United Nations Framework Convention on Climate Change).

Auswirkungen auf die Nachbarstaaten

Die durch den **Bau und Betrieb** des gTL entstehenden Luftschadstoff- und Lärmemissionen führen **lokal zu einem geringfügigen Immissionsanstieg**.

Die Distanz des Projektperimeters zur deutschen Grenze beträgt rund 2 km, wobei das nächstgelegene Siedlungsgebiet nördlich der Grenze von Hohentengen a. H. rund 2.3 km entfernt liegt (vgl. Fig. 3-7).

Bauarbeiten im Projektperimeter werden **keine Auswirkungen auf die Nachbarländer** haben. Die bewaldete Erhebung Ämperg (vgl. Fig. 3-5) unterbricht die Sichtverbindung nach Nordwesten und schirmt so deutsche Gebiete vom Lärm ab. Aufgrund des kiesigen Untergrunds der Niederterrassenschotter im Windlacherfeld und der darüber liegenden Ablagerungen ist die Ausbreitung und Übertragung von Erschütterungen im oberflächennahen Untergrund voraussichtlich schwach. Das Siedlungsgebiet von Hohentengen a. H. ist somit aufgrund der Distanz von Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall durch Bauarbeiten im Projektperimeter nicht betroffen.

Der **Verkehr von und zum Projektperimeter** kann heute noch nicht genau quantifiziert werden. Aber Schätzungen basierend auf abdeckenden Annahmen zeigen, dass der Verkehr **geringe Auswirkungen auf deutsches Gebiet** hat. Auf den parallel zur Landesgrenze zu Deutschland verlaufenden Strassen (vgl. Fig. 3-10) wird die durch das Vorhaben verursachte Zunahme des Verkehrs auf 2 – 4 % geschätzt (vgl. Tab. 5-2). **Auf andere Nachbarstaaten** wird das Vorhaben **keine Auswirkungen** haben.

Denkbar wären Auswirkungen auf Deutschland, wenn eine grössere Anzahl Transporte (z. B. von Ausbruchmaterial zur Deponie) entlang der Grenze durchgeführt würde oder ein Umladebahnhof genutzt wird. Aber auch dann ist davon auszugehen, dass die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden können. Ob ein Umladebahnhof genutzt wird, wird mit der weiteren Projektentwicklung entschieden. Die Distanz zwischen einem allfälligen Umladebahnhof entlang der Bahnlinie und dem Siedlungsgebiet von Hohentengen a. H. beträgt rund 600 m. Auswirkungen eines Umladebahnhofs sind hier nicht berücksichtigt und werden in den weiteren Bewilligungsverfahren beurteilt, falls diese Option gewählt wird (vgl. Kap. 3.6).

5.2 Nichtionisierende Strahlung (NIS)

Es werden nur Anlagen (z. B. eine Trafostation) in unmittelbarer Nähe zum Projektperimeter angepasst und erstellt. Die **Auswirkungen von NIS** sind bereits nach einigen Metern Abstand zur jeweiligen Quelle nicht mehr von Relevanz und somit **nur von lokaler Bedeutung**.

5.3 Grundwasser

Oberflächennahe Aquifere

Der Projektperimeter liegt in einem in den Fels eingeschnittenen Seitental des Windlacherfelds (vgl. Fig. 3-5). Bei Letzterem handelt es sich um ein glazial vertieftes und mit Niederterrassenschottern aufgefülltes Tal.

Die sandig, kiesigen Niederterrassenschotter führen den Grundwasserstrom von Windlach, welcher gegen Norden in Richtung Rhein fliesst (vgl. Fig. 5-1). Dieser wird durch Hangsickerwasserzutritte sowie durch versickerndes Niederschlagswasser gespeist. Der Projektperimeter selbst liegt im Randbereich des Grundwasservorkommens, wo die Grundwassermächtigkeit weniger als 2 m beträgt.

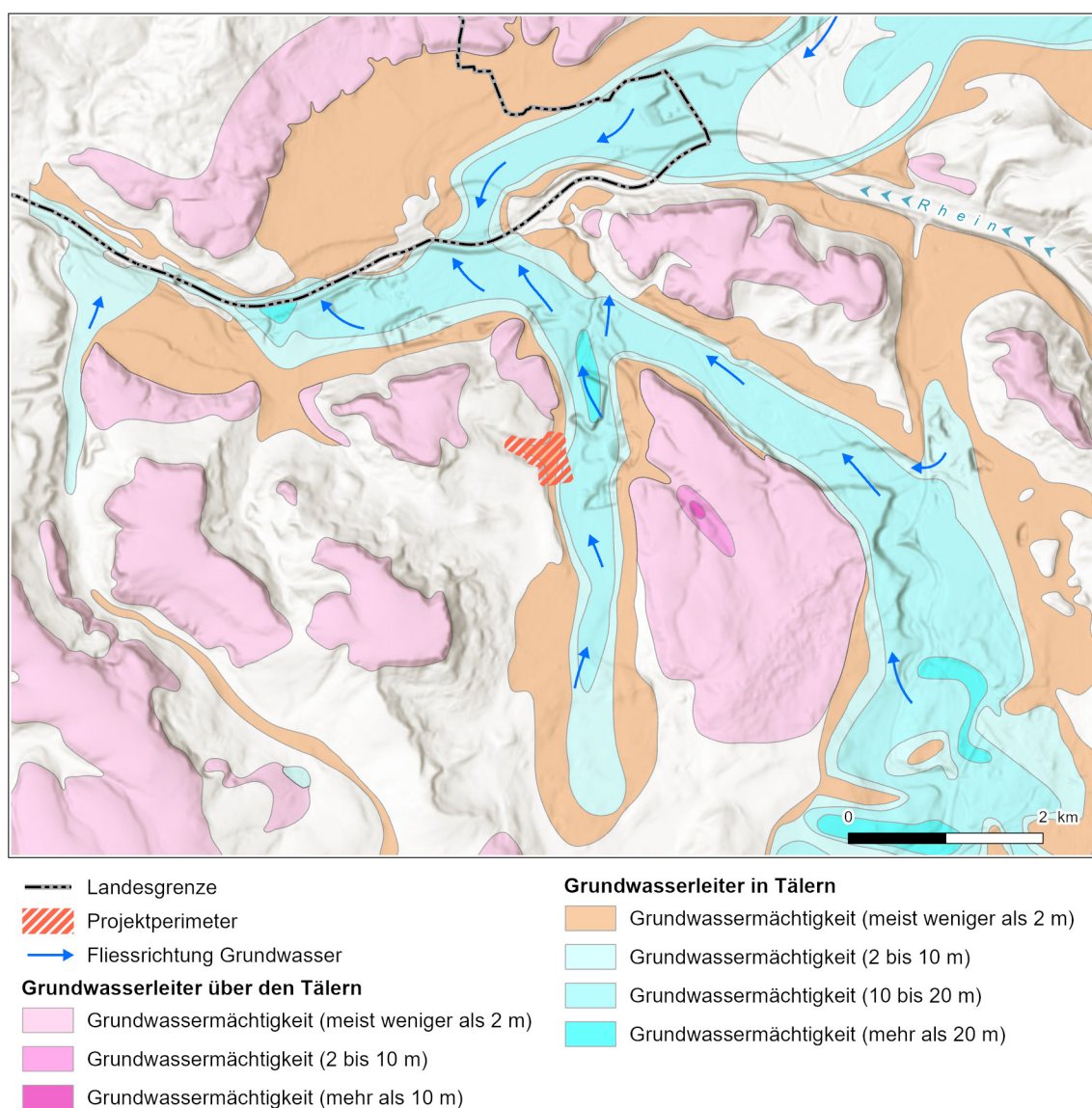


Fig. 5-1: Grundwasserverhältnisse im Umkreis des Projektperimeters

Der Projektperimeter liegt im Gewässerschutzbereich A_u ²⁶ (vgl. Fig. 5-2).

²⁶ Der Gewässerschutzbereich A_u ist als Instrument des flächendeckenden, ressourcenorientierten Grundwasserschutzes auf den quantitativen und auf den qualitativen Grundwasserschutz ausgerichtet. Dieser Gewässerschutzbereich umfasst die nutzbaren Grundwasservorkommen und die Randgebiete, die zu ihrem Schutz nötig sind.

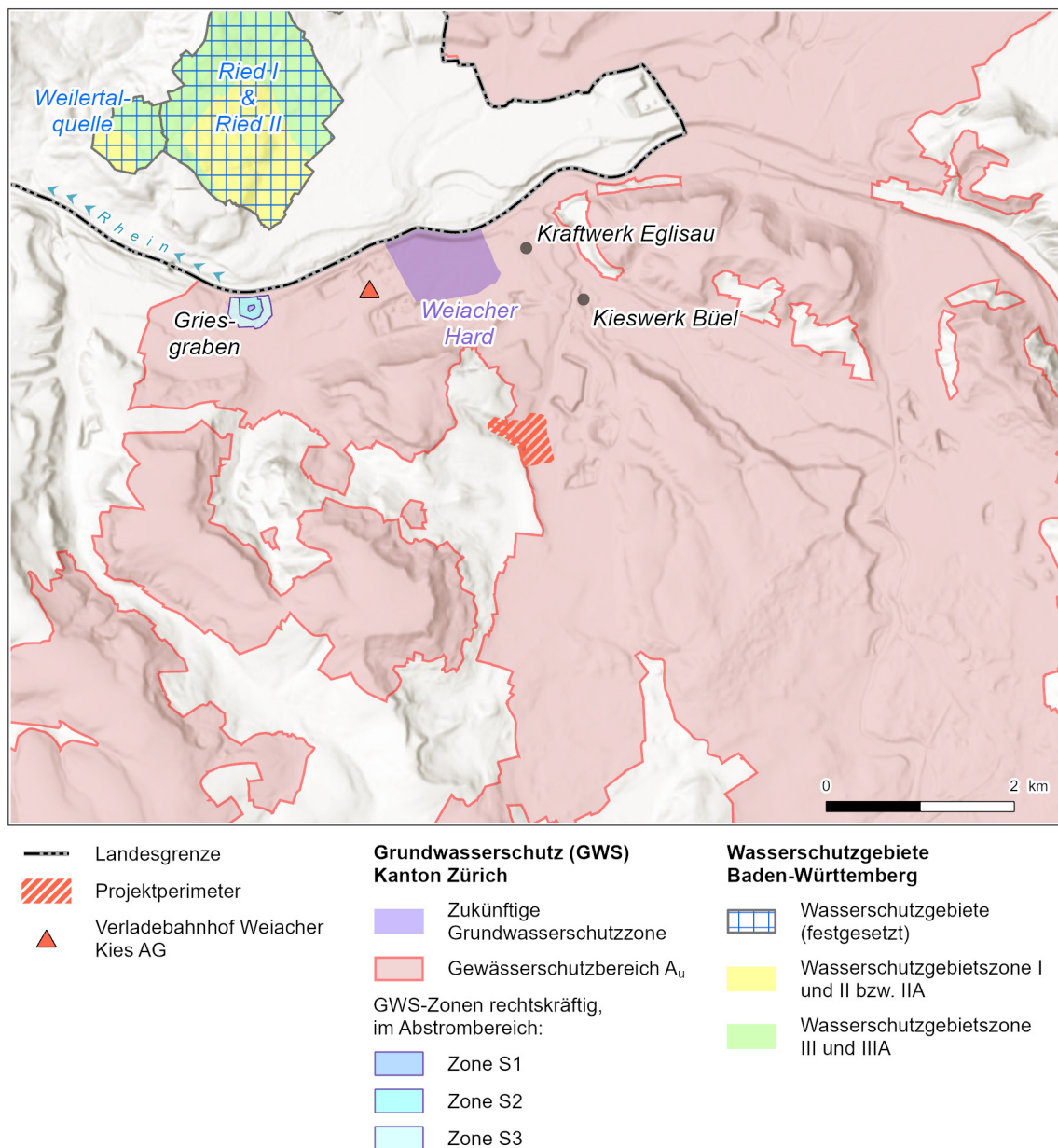


Fig. 5-2: Auszug aus der Gewässerschutzkarte im Umkreis des Projektperimeters

Rund 1.5 km nordnordwestlich am Rhein, und damit im Abstrombereich des Projektperimeters befindet sich das Schutzareal Weiacher Hard (vgl. Fig. 5-2). Das Grundwasserschutzareal mit geplanter Grundwasseranreicherung durch Rheinwasser soll gemäss Richtplan des Kantons Zürich für die zukünftige Trinkwassergewinnung verwendet werden.

Auf der deutschen Seite des Rheins befinden sich die nächstgelegenen Wasserschutzgebietszonen von Baden-Württemberg nördlich von Hohentengen a. H. (ca. 3.4 km entfernt, vgl. Fig. 5-2). Die Wasserschutzgebiete Weilertalquelle, Ried I und II schützen den vom Norden erfolgenden Zustrom zu Brunnenfassungen, die der Trinkwasserversorgung dienen.

Im näheren Abstrombereich des Projektperimeters sind keine Grundwasserfassungen vorhanden. Die nächstgelegene Grundwasserfassung des Kieswerks Büel befindet sich ca. 1.5 km nordnord-östlich des Projektperimeters. Ca. 2 km nördlich ist eine Grundwasserfassung des Kraftwerks Eglisau-Glattfelden vorhanden (vgl. Fig. 5-2).

Für den Bau und Betrieb des gTL sind innerhalb des Anlagenperimeters diverse Bauten und Anlagen mit Untergeschossen sowie mehrere Zugangsbauwerke notwendig (vgl. Fig. 3-2). Im Rahmen von **Baugrunduntersuchungen** werden weitere hydrogeologische Untersuchungen ausgeführt, mit denen sich **auf das Vorhaben zugeschnittene Grundwasserschutzmassnahmen** definieren lassen. Auch Massnahmen zum **Erhalt der Grundwasserneubildung** innerhalb des Anlagenperimeters werden mit den weiteren Bewilligungsverfahren definiert.

Die in ELB verpackten radioaktiven Abfälle werden per Strasse angeliefert. Ob für Transporte von Bau- oder Ausbruchmaterial ein Umladebahnhof genutzt wird, wird in der weiteren Projektentwicklung entschieden (vgl. Kap. 3.6). Allenfalls müsste der bestehende Verladebahnhof des Kieswerks in Weiach dafür ausgebaut oder angepasst werden (vgl. Fig. 5-2). Von Auswirkungen des Umladebahnhofs auf das Grundwasser ist nicht auszugehen. Die Grundwasserfassung Griesgraben mit rechtskräftiger Grundwasserschutzzone liegt westlich vom möglichen Bereich für einen Umladebahnhof und das Grundwasserschutzareal Weiacher Hard (vgl. Fig. 5-2) östlich.

Falls für das gTL oder den Umladebahnhof eine Tankanlage mit wassergefährdenden Flüssigkeiten (z. B. Diesel) betrieben werden muss (z. B. für eine Notstromanlage oder zur Betankung), werden die entsprechenden Schutzmassnahmen vorgesehen. Für gTL wie auch Umladebahnhof kann der Grundwasserschutz während der Bauphase mit den üblichen baustellenspezifischen Schutzmassnahmen und in der Betriebsphase mit geeigneter Auslegung der Anlage und Organisation der Betriebsabläufe gewährleistet werden.

Die Beurteilung der Auswirkungen eines Umladebahnhofs auf das Grundwasser wird in den weiteren Bewilligungsverfahren überprüft, falls diese Option gewählt wird.

Tiefere Aquifere

Am Standort bildet der Malm in einer Tiefe zwischen rund 400 m und 700 m u. T. den regionalen Tiefenaquifer (Felsaquifer) über dem Wirtgestein Opalinuston (Nagra 2024f). Unterhalb wird der EG durch den Keuper- oder Muschelkalk-Aquifer begrenzt.

Aufgrund der hydrogeologischen Eigenschaften wird beim Opalinuston und seinen Rahmengesteinen das Wasser im Porenraum nicht als Grundwasser, sondern als Porenwasser bezeichnet, da diese Gesteine aufgrund ihres hohen Tonmineralgehalts so dicht sind, dass das in Poren vorkommende Wasser nicht frei fließen kann (vgl. Kap. 4.2). Gelöste Stoffe bewegen sich deshalb nur sehr langsam durch Diffusion im Porenwasser.

Die geologischen Barrieren stellen passiv den Einschluss und die Rückhaltung der radioaktiven und chemotoxischen Stoffe sicher, so dass eine Gefährdung der tieferen Aquifere ausgeschlossen wird (vgl. Kap. 4.2).

Die tiefen Aquifere oberhalb des Opalinustons werden in der Bauphase durch die Zugangsbauwerke zum gTL durchfahren. Im Rahmen von **Schachterkundungsbohrungen** werden weitere hydrogeologische Untersuchungen ausgeführt, mit denen sich **auf das Vorhaben zugeschnittene Grundwasserschutzmassnahmen** definieren lassen. Mit **geeigneten Bauhilfs- und Schutzmassnahmen** (verhindern von Wasserzutritten, dauerhafte Abdichtung und Trennung der Grundwasserstockwerke) wird sichergestellt, dass das Tiefengrundwasser durch den **Bau** nicht relevant beeinflusst wird (Betrieb vgl. Kap. 4.1, Nachverschluss vgl. Kap. 4.2). Von einer Beeinträchtigung der überregional bedeutenden Thermalwasservorkommen ist nicht auszugehen (vgl. Kap. 4.2).

Die **Thermalquellen Lottstetten-Nack (D)** werden durch den Malm-Aquifer gespeist (rund 590 m unter Terrain). Die Quellen werden heute nicht mehr genutzt. Lokal konnte mittels Vergleichen von Wasserproben verschiedener Tiefengrundwässer des Malms nördlich und südlich des Rheins gezeigt werden, dass sich die Grundwassertypen nördlich und südlich des Rheins massgeblich unterscheiden (Waber & Traber 2022). Das Tiefengrundwasser von Lottstetten-Nack weist auf ein jüngeres Fliesssystem hin, welches das ältere, generell von Süden nach Norden gerichtete System überprägt und zumindest bis zur Vorflut des heutigen Rheins zurückdrängt. Die Interpretation der hydraulischen Daten weist zudem darauf hin, dass keine Kommunikation der Thermalquelle Lottstetten-Nack mit den südlich des Rheins gelegenen, älteren Na-Cl-Typ Grundwässern besteht (Gmünder et al. 2014). Die beiden Grundwasserregionen sind daher mit grosser Wahrscheinlichkeit vollständig hydraulisch entkoppelt. Die Thermalquellen Lottstetten-Nack (D) befinden sich ca. 11 km nördlich des Standorts Haberstal. Eine **Beeinflussung** der tieferen Aquifere ist ausgeschlossen und **aufgrund der grossen Entfernung** und des **Fliesssystems** gilt das erst recht für die Thermalquellen Lottstetten-Nack.

Die **Thermalkurorte Baden und Bad-Zurzach** beziehen ihr Wasser aus dem Muschelkalk-Aquifer bzw. dem Kristallin-Aquifer, welche durch mächtige Grundwasserstauer von den Zugangsbauwerken und dem gTL **hydraulisch entkoppelt** sind und **nicht durchfahren** werden. Daher sind sie nicht projektrelevant und werden nicht weiter betrachtet.

Auswirkungen auf die Nachbarstaaten

Während der **Bau- und Betriebsphase** können die Schutzziele mit üblichen und erprobten Massnahmen eingehalten werden. **Relevante Auswirkungen** sind **nicht zu erwarten**.

Die tiefen Aquifere bleiben auch **nach dem Verschluss** des Tiefenlagers vor relevanten Auswirkungen geschützt. Für die Nachverschlussphase werden die **Schutzkriterien mit grossen Sicherheitsmargen eingehalten** (vgl. Kap. 4.2).

Aufgrund der Dispersion nehmen die Konsequenzen, welche bereits am Standort Haberstal die strengen Vorgaben erfüllen, mit zunehmender Distanz weiter ab (vgl. Kap. 4.2). Dadurch wird gewährleistet, dass das Tiefenlager am Standort Haberstal nicht nur für die Schweiz, sondern auch über Landesgrenze hinweg die sicherste Lösung für den Schutz von Mensch und Umwelt darstellt.

Von einer **Beeinträchtigung** der überregional bedeutenden **Thermalwasservorkommen** ist **nicht auszugehen**.

5.4 Oberflächengewässer

Der eingedolte Bach «Haberstalgraben» durchfliesst den Projektperimeter. Der Bach wird verlegt, so dass eine Gefährdung der OFA und des gTL ausgeschlossen werden kann. Mit der weiteren Projektentwicklung ist zu prüfen, ob bzw. inwieweit eine Offenlegung/ Teiloffenlegung im nördlichen Eingliederungssaum vereinbar ist mit Vorgaben an die Sicherheit und Sicherung der Anlage.

Der Dorfbach durchfliesst den östlichen Eingliederungssaum. Für die Anbindung des Projektperimeters an das Strassennetz müssen mehrere Arealzufahrten über den Dorfbach gelegt werden.

Während der Betriebsphase sind keine weiteren Auswirkungen auf Oberflächengewässer zu erwarten.

Die Anforderungen können mit üblichen und erprobten Massnahmen eingehalten werden. **Auswirkungen** begrenzen sich auf den **Projektperimeter und die nähere Umgebung** in der Schweiz.

5.5 Entwässerung

In den weiteren Bewilligungsverfahren werden die Vorgaben für die Baustellenentwässerung festgelegt. Das Entwässerungskonzept für die Betriebsphase (häusliches Abwasser, Platz- und Dachwasser) wird im Rahmen der weiteren Projektentwicklung erarbeitet.

Die Schutzziele können mit üblichen und erprobten Massnahmen eingehalten werden. **Auswirkungen** begrenzen sich auf den **Projektperimeter und die nähere Umgebung** in der Schweiz.

5.6 Boden und Fruchtfolgeflächen

Der Projektperimeter tangiert land- und forstwirtschaftlich genutzte Gebiete mit natürlich gewachsenen Böden innerhalb der Landwirtschaftszone.

Bodenarbeiten finden während der Bau- und Rückbauphasen statt. Durch das Projekt werden ab der Bauphase mehrjährig FFF beansprucht, die kompensiert werden müssen. Während der Betriebsphase werden keine weiteren FFF benötigt. Mit Abschluss des Rückbaus werden die Flächen wieder frei.

Durch das Projekt werden **ausschliesslich Böden in der Schweiz tangiert**: hauptsächlich innerhalb des Projektperimeters sowie gegebenenfalls ausserhalb des Perimeters (z. B. für temporäre Installationsflächen, Ausbau von Strassenverläufen zur Arealerschliessung).

5.7 Altlasten

Im Anlagenperimeter befinden sich keine Flächen, welche im Kataster der belasteten Standorte (KbS) des Kantons Zürich eingetragen sind.

Der Eingliederungssaum tangiert den Kugelfang der Schiessanlage Stadel-Windlach, welcher im KbS ausgeschieden wurde und dessen Sanierung vor Baubeginn geplant ist, so dass im Ausgangszustand kein belasteter Standort mehr vorhanden ist.

Die Kataster des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport, des Bundesamts für Zivilluftfahrt und des Bundesamts für Verkehr enthalten in der näheren Umgebung des Projektperimeters keine Einträge.

Das Vorhaben tangiert keinen belasteten Standort. Der **Umweltbereich** «Altlasten» ist somit **nicht relevant**.

5.8 Konventionelle Abfälle, umweltgefährdende Stoffe

Während der Bauphase fallen diverse Abfälle an, insbesondere Aushub- und Ausbruchmaterial sowie Bodenabtrag (vgl. Kap. 3.5), die gesetzeskonform zu verwerten bzw. entsorgen sind (Abfallverordnung, VVEA). Ein detailliertes Materialbewirtschaftungs- und Entsorgungskonzept wird in den weiteren Bewilligungsverfahren ausgearbeitet.

Während der Betriebsphase sind vor allem Verbrauchs- und Verpackungsmaterialien sowie Hausabfälle zu erwarten.

Während der Rückbau- und Verschlussphase entstehen Bauabfälle durch den Rückbau von Bauten und Anlagen, welche nach den dann (in rund 100 Jahren) geltenden Richtlinien und Vorschriften dem Recycling oder der Entsorgung zugeführt werden sollen.

Für die Entsorgung wie die Verwertung und Behandlung oder die Deponierung von Aushub- und Rückbaumaterial stehen momentan in der Schweiz Abnehmer zur Verfügung. Es wird davon ausgegangen, dass **nur Materialien** anfallen, welche **in der Schweiz behandelt und entsorgt** werden können. Somit ist nicht mit einem nennenswerten Umfang grenzüberschreitender Abfalltransporte zu rechnen.

5.9 Umweltgefährdende Organismen

Im Projektperimeter befinden sich heute in der Schweiz häufig vorkommende invasive Neophyten, welche durch das Vorhaben tangiert werden.

Eine **Verbreitung von invasiven Neophyten** während des Baus und Betriebs wird mit **geeigneten Massnahmen** verhindert (z. B. Monitoring, Bekämpfung).

5.10 Störfallvorsorge / Katastrophenschutz (nicht-nuklear)

Die standortspezifischen Untersuchungen von natürlichen und zivilisatorischen Gefahren zeigen übereinstimmend, dass der Standort für den Bau und den Betrieb des gTL geeignet ist (vgl. Kap. 4.1). Im näheren Umfeld sind keine zivilisatorischen Gefährdungsquellen für das gTL auszumachen.

Während der Bau-, Betriebs- und Rückbauphase werden möglicherweise gemäss Anhang 1.1 StfV relevante Gefahrenstoffe (z. B. für Diesel) gelagert und umgeschlagen. Die Mengenschwellen werden aber vermutlich nicht überschritten. Dies ist in den weiteren Bewilligungsverfahren zu bestätigen. Andernfalls ist ein Kurzbericht nach StfV zu erstellen, und es müssen Massnahmen zur Verminderung des Störfallrisikos ergriffen werden.

Vom gTL ausgehende **allfällige Auswirkungen** von möglichen nicht-radiologischen Störfällen beschränken sich auf den **Projektperimeter und das nahe Umfeld** und haben keine Auswirkungen auf die Nachbarstaaten.

5.11 Wald

Der Haberstal wird auf drei Seiten von Waldflächen eingeschlossen. Es handelt sich um für das Mittelland typische, oft vorkommende Waldgesellschaften.

Für die Realisierung des Vorhabens muss aus sicherheits- und sicherungstechnischen Gründen im Eingliederungssaum um den Haberstal ein max. 30 m breiter gehölzfreier Freihaltestreifen geschaffen werden (waldrechtliche Rodung). Anschliessend an den Freihaltestreifen soll ein gestufter Waldrand erstellt werden. Voraussichtlich ist stellenweise auch eine Unterschreitung des Waldabstands notwendig.

Die Betriebsphase ist bezüglich des Umweltbereichs Wald nicht relevant.

Waldflächen ausserhalb des Projektperimeters sind durch das Vorhaben **nicht betroffen**.

5.12 Flora, Fauna, Lebensräume

Die vom Vorhaben tangierten Lebensräume wurden mittels Feldaufnahmen untersucht. Die Artenzusammensetzung der Lebensräume ist aufgrund der intensiven Bewirtschaftung der Flächen eher artenarm.

Der **überregionale Wildtierkorridor** grenzt **nördlich** an den Anlagenperimeter und liegt innerhalb des rund 50 m breiten Streifens des Eingliederungssaums. Gegebenenfalls sind Massnahmen zur Sicherstellung der Durchlässigkeit des Wildtierkorridors zu ergreifen.

Amphibien wandern vom Waldgebiet im Haberstal zum Dorfbach sowie in die Kiesgrube Rütifeld (Kiesbiotop von regionaler Bedeutung) rund 520 m östlich des Projektperimeters (vgl. Fig. 3-6).

In der Bauphase sind im Anlagenperimeter und im Eingliederungssaum aufgrund der baulichen Massnahmen **Eingriffe** in gemäss Natur- und Heimatschutzverordnung (NHV) als **schützenswert eingestufte Lebensräume und Habitate** von diversen vorhandenen Tierarten vorgesehen. In den weiteren Bewilligungsverfahren ist anhand der definitiv tangierten Flächen und mittels einer Lebensraumbilanzierung die Ersatzpflicht zu bestimmen. **Wiederherstellungs- und Ersatzmassnahmen** sind im UVB 2. Stufe zu definieren.

In der Betriebsphase sind ausser dem Einfluss der Arealeinzäunung und der partiellen nächtlichen Beleuchtung im Anlagenperimeter keine negativen Auswirkungen auf den Umweltbereich «Flora, Fauna, Lebensräume» zu erwarten.

Die projektbezogenen **Auswirkungen** auf den Umweltbereich «Flora, Fauna, Lebensräume» betreffen den **Projektperimeter und die nähere Umgebung** und haben keine Auswirkungen auf die Nachbarstaaten.

5.13 Landschaft und Ortsbild

Die Landschaft um den Projektperimeter ist glazial geprägt. Die Landschaftskammer wird von vier Molasseerhebungen umrahmt, die mit Wäldern bestockt sind. Die Fläche der Talebene ist durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Die offene Agrarlandschaft bestimmt zusammen mit dem Kiesabbaugebiet Rütifeld (vgl. Fig. 3-6) das Erscheinungsbild der Landschaftskammer.

Die Landschaft des bisher offenen Dorfbachtals / Windlacherfelds wird durch die OFA eine spürbare, langfristige Veränderung hin zu einer anthropogen- und siedlungsgeprägten Kulturlandschaft mit Industriebauten erfahren. Mittels Massnahmen im Eingliederungssaum sind die Bauten und Anlagen in die Landschaft einzugliedern und die Beleuchtung zu beachten.

Der Projektperimeter **überlagert keine Landschaftsschutzgebiete**. Rund 600 m östlich des Projektperimeters liegt das nördliche Ende des nächstgelegenen im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN) inventarisierten Objekts «Glaziallandschaft zwischen Neerach und Glattfelden». In 1.7 km nördlicher Distanz zum Projektperimeter befindet sich weiter das BLN-Objekt «Untersee – Hochrhein».

Gemäss kantonalem Inventar der Landschaftsschutzobjekte grenzt die «Kulturerbelandschaft Ämperg» direkt nördlich und westlich an den Anlagenperimeter an.

Im **Umkreis von 2 km** um den Projektperimeter befinden sich **keine schützenswerten Ortsbilder**. Die nächstgelegenen im Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung (ISOS) aufgenommenen Objekte sind die Ortschaft Stadel und das Kraftwerk Eglisau-Glattfelden.

Zur Beurteilung der Einsehbarkeit der Anlagen wurde eine GIS-gestützte **Sichtbarkeitsanalyse** durchgeführt (vgl. Fig. 5-3). Sie untersucht die theoretische Sichtbarkeit von Schachtkopfanlagen mit einer Höhe von 45 m und beurteilt diese jeweils in Bezug auf den Nah- (bis 2.5 km Luftlinie), den Mittel- (bis 5 km Luftlinie) und den Fernbereich (bis 10 km Luftlinie).

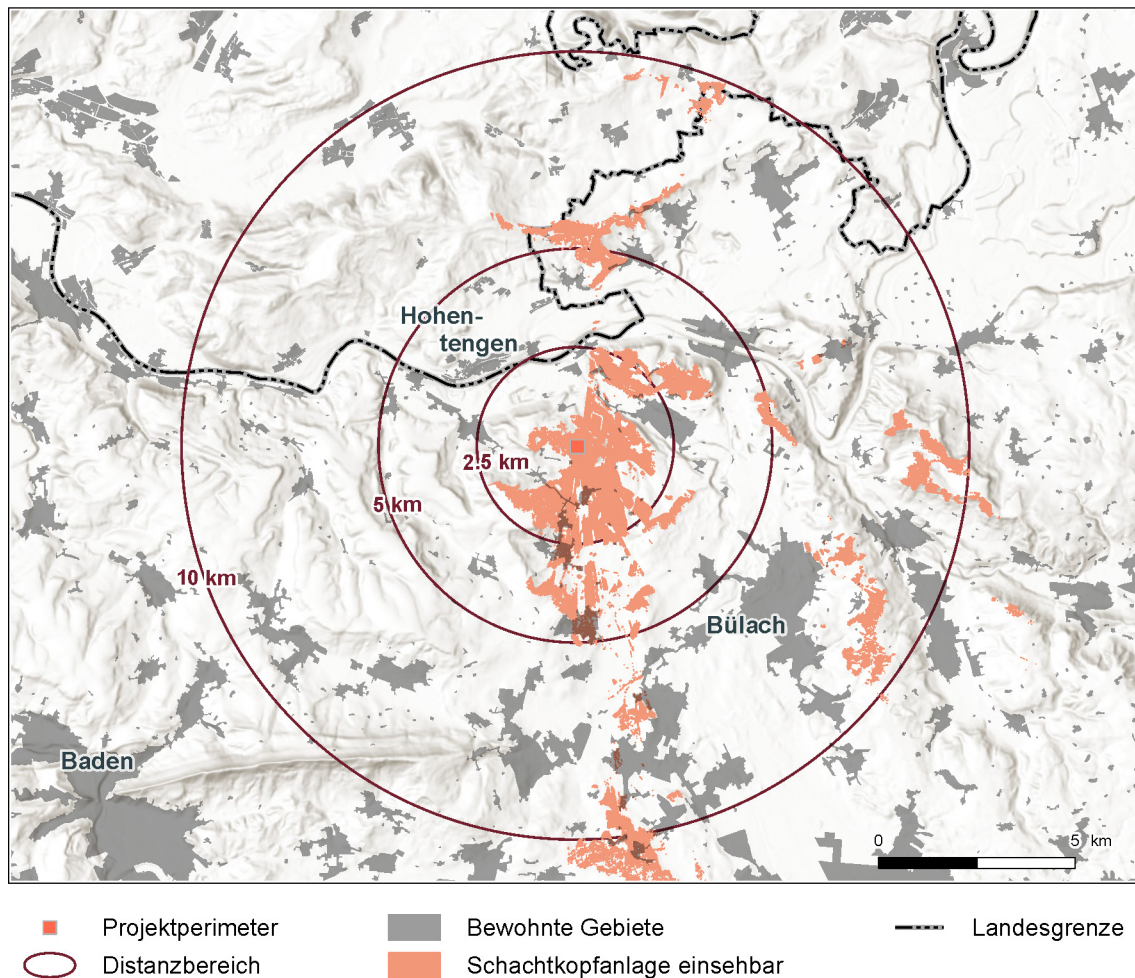


Fig. 5-3: Theoretische Sichtbarkeit von Schachtkopfanlagen mit 45 m Höhe im Nah-, Mittel- und Fernbereich des Projektperimeters

Die projektbezogenen **Auswirkungen** auf den Umweltbereich «Landschafts- und Ortsbild» betreffen vor allem das **lokale Umfeld östlich und südlich im Nahbereich** (bis 2.5 km) der geplanten Anlagen.

Die Sichtbarkeitsanalyse (vgl. Fig. 5-3) zeigt auf, dass auf deutschem Boden nur sehr wenige Sichtbeziehungen zu den Schachtkopfanlagen bestehen und diese nur von Wegen/Strassen, Wald- oder Wiesenflächen ausgehen. Von **Siedlungsgebieten der grenznahen Ortschaften Deutschlands** aus (Küssnach, Hohentengen a. H., Griessen, Bühl, Dettighofen, Baltersweil und Lottstetten) werden die **Anlagen nicht sichtbar** sein.

Denkbar wären Auswirkungen auf Deutschland, wenn der bestehende Verladebahnhof des Kieswerks in Weiach ausgebaut oder angepasst wird, um Material an- und abzutransportieren (vgl. Kap. 3.6, Fig. 3-10). Die Distanz zwischen einem allfälligen Umladebahnhof entlang der Bahnlinie und dem Siedlungsgebiet von Hohentengen a. H. beträgt rund 600 m. Ob ein Umladebahnhof genutzt wird, wird mit der weiteren Projektentwicklung entschieden. Auswirkungen eines Umladebahnhofs sind hier nicht berücksichtigt und werden in den weiteren Bewilligungsverfahren beurteilt, falls diese Option gewählt wird.

5.14 Kulturdenkmäler, archäologische Stätten

Der Projektperimeter überschneidet die archäologische Zone «Stadel» mit Funden aus der Bronzezeit. Bei Grabarbeiten in diesem Bereich kann nicht ausgeschlossen werden, dass noch unerkannte archäologische Hinterlassenschaften gefunden werden, weshalb die Kantonsarchäologie beizuziehen ist.

Im Bereich des Projektperimeters sind **keine geschützten Kulturobjekte** verzeichnet.

5.15 Übersicht Umweltauswirkungen

In diesem Kapitel werden alle radiologischen und konventionellen Auswirkungen für die Bau- und Betriebsphase auf die Schweiz und die Nachbarstaaten in Tabellenform aufgeführt (vgl. Tab. 5-3).

Tab. 5-3: Überblick Umweltauswirkungen

Umweltbereiche	Schweiz		Deutschland		Andere Nachbarstaaten	
	Bau & Rückbau	Betrieb	Bau & Rückbau	Betrieb	Bau & Rückbau	Betrieb
Radiologische Auswirkungen	-	○	-	○	-	○
Luftreinhaltung	☑	☑	☑	☑	○	○
Lärm	☑	☑	☑	☑	○	○
Erschütterungen / Körperschall	☑	○	☑	○	○	○
Nichtionisierende Strahlung	☑	☑	○	○	○	○
Grundwasser	☑	☑	☑	☑	○	○
Oberflächengewässer	☑	○	○	○	○	○
Entwässerung	☑	☑	○	○	○	○
Boden und Fruchfolgeflächen	☑	○	○	○	○	○
Altlasten	○	○	○	○	○	○
Abfälle, umweltgefährdende Stoffe	☑	☑	○	○	○	○
Umweltgefährdende Organismen	☑	☑	○	○	○	○
Störfallvorsorge / Katastrophenschutz (nicht nuklear)	☑	☑	○	○	○	○
Wald	☑	○	○	○	○	○

Umweltbereiche	Schweiz		Deutschland		Andere Nachbarstaaten	
	Bau & Rückbau	Betrieb	Bau & Rückbau	Betrieb	Bau & Rückbau	Betrieb
Flora, Fauna, Lebensräume	☒	☒	☐	☐	☐	☐
Landschaft und Ortsbild	☒	☒	☒	☒	☐	☐
Kulturdenkmäler, archäologische Stätten	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Legende:

- Radioaktive Abfälle werden erst in der Betriebsphase angeliefert und die Einlagerungsstollen werden vor dem Rückbau versiegelt (vgl. Kap. 3.9).
- ☐ Keine bzw. keine erheblichen Auswirkungen
- ☒ Auswirkungen beschränken sich auf den Projektperimeter und die nähere Umgebung des Standorts und der Transportrouten und können mit geeigneten Massnahmen auf ein gesetzeskonformes und umweltverträgliches Mass beschränkt werden.

Die Voraussetzungen für die Erteilung der Rahmenbewilligung sind aus Sicht der Nagra **erfüllt**. Die radiologischen Dosisgrenzwerte für Personal, Bevölkerung und Umwelt werden deutlich unterschritten. Das radiologische Gefährdungspotenzial ist selbst bei einem allfälligen Störfall sehr gering (vgl. Kap. 4.1). Sicherheitsrelevante Auswirkungen ausserhalb des Anlagenperimeters sind ausgeschlossen.

Die Langzeitsicherheit des gTL ist nachgewiesen. Selbst unter pessimistischsten Annahmen belegen die Ergebnisse, dass die Sicherheit des gTL in der Nachverschlussphase durch das passive Mehrfachbarrierensystem, insbesondere durch die geologischen Barrieren, gewährleistet ist (vgl. Kap. 4.2).

Der **Schutz von Mensch und Umwelt** vor nicht zulässigen Auswirkungen ist **jederzeit gewährleistet**. Die strengen Vorgaben werden bereits am Standort erfüllt. Aufgrund der Dispersion nehmen die Konsequenzen mit zunehmender Distanz weiter ab. Dadurch wird gewährleistet, dass das Tiefenlager am Standort Haberstal nicht nur für die Schweiz, sondern auch über die Landesgrenze hinweg die sicherste Lösung für den Schutz von Mensch und Umwelt darstellt (vgl. Kap. 4.2).

Weitere mögliche Umweltauswirkungen sind im Vergleich zum Ausgangszustand geringfügig und beschränken sich auf den Standort Haberstal und das unmittelbare Umfeld des Projektperimeters und der Transportrouten (vgl. Tab. 5-3). **Erhebliche Auswirkungen auf die Nachbarstaaten** können **ausgeschlossen** werden.

Für Gebiete in **Deutschland** werden aufgrund der Distanz des Projektperimeters zur Landesgrenze und der Trennwirkung des Rheins vom Vorhaben ausgehende Auswirkungen für viele Umweltbereiche ausgeschlossen. Alle denkbaren Auswirkungen nehmen mit zunehmender Entfernung vom Projektperimeter ab.

Österreich liegt nicht im Abstrombereich und aufgrund der grossen Distanzen zum Vorhaben und den Transportrouten (Abstand zur nächstgelegenen österreichischen Grenze beträgt rund 90 km) werden projektbedingte **Auswirkungen auf Österreich ausgeschlossen**.

6 Überwachungs- und Managementprogramme

Alle Realisierungsphasen des gTL am Standort Haberstal werden messtechnisch überwacht. Das **integrale Überwachungskonzept** (Nagra 2025c) zeigt, dass das gTL gemäss der Kernenergiegesetzgebung sowie gemäss den entsprechenden behördlichen Vorgaben des ENSI überwacht werden kann. Die Entwicklung des Überwachungsprogramms erfolgt schrittweise. Zukünftige Projektänderungen können so adäquat im integralen Überwachungskonzept abgebildet werden. Die Überwachung des gTL wird so umgesetzt, dass die Langzeitsicherheit nicht beeinträchtigt wird.

Überwachung in Bezug auf ionisierende Strahlung

Das gesamte gTL ist stets **kontaminationsfrei** und es ist im Normalbetrieb von **keiner Abgabe von radioaktiven Stoffen über den Luft- oder Wasserpfad** auszugehen (vgl. Kap. 4.1). Dennoch werden allfällige Auswirkungen ausserhalb der OFA überwacht. Mit dem geplanten Überwachungsprogramm «**Überwachung von Umwelt und geologischem Umfeld**» (vgl. Nagra 2025c) werden u. a. die Anforderungen einer radiologischen Umweltüberwachung (vgl. Ziff. 6.1 Bst. b ENSI-G03) umgesetzt. Zu diesem Überwachungsprogramm gehört im Sinne einer Kontrollmassnahme – wie sie in Art. 113 StSV vorgesehen ist – ebenfalls die Aufnahme von **Nullmessungen**. Die konkreten Massnahmen zur Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung der Kernanlage werden spätestens mit der Betriebsbewilligung festgelegt (Art. 21 Abs. 1 Bst. d KEG) und danach periodisch überprüft.

Innerhalb der Anlage werden die Anforderungen an die radiologische Überwachung während der Betriebsphase (vgl. Kap. 6.1 Bst. b ENSI-G03) mit dem geplanten Überwachungsprogramm «**Radiologische Überwachung**» umgesetzt. Dieses Überwachungsprogramm umfasst Überwachungsprojekte, die in den untertägigen und übertägigen Bauten während des nuklearen Betriebs zur Gewährleistung des Strahlenschutzes gemäss StSV durchgeführt werden (Nagra 2025c).

Sobald die radioaktiven Abfälle im Pilotlager eingelagert sind, beginnt die **Beobachtungsphase** (vgl. Kap. 3.4). In dieser werden mittels des geplanten Überwachungsprogramms «**Überwachung Pilotlager**» (vgl. Nagra 2025c) die Einwirkungen der Abfälle auf das Mehrfachbarrierensystem während einer begrenzten Zeitdauer überwacht. Damit wird bestätigt, dass sich das Lagersystem wie vorhergesagt verhält. Die Ergebnisse dieser Überwachung fliessen in den **Nachweis der Langzeitsicherheit für den Verschluss** des gTL ein. Dieser Nachweis ist eine Voraussetzung dafür, dass der Bundesrat später den Verschluss anordnen und das **gTL aus der Kernenergiegesetzgebung entlassen** kann.

Überwachung der konventionellen Auswirkungen auf die Umwelt

Mit dem geplanten Überwachungsprogramm «**Überwachung von Umwelt und geologischem Umfeld**» (Nagra 2025c) werden auch die Anforderungen zur messtechnischen Überwachung des geologischen Umfelds (vgl. Ziff. 6.1 Bst. b ENSI-G03) umgesetzt. Erste **Nullmessungen** zur Aufnahme des Ausgangszustands zu den Aspekten Grundwasser und geologische Langzeitentwicklung laufen bereits. Andere Nullmessungen werden rechtzeitig vor den Bautätigkeiten aufgenommen.

Die meisten konventionellen Umweltauswirkungen werden während der Bauphasen verursacht. Im Rahmen der weiteren Planung und Realisierung des gTL ist vorgesehen, eine **Umweltbaubegleitung (UBB)**²⁷ einzusetzen, die die **Überwachung** der Auswirkungen begleitet und die **Erfolgskontrolle sicherstellt**.

Im UVB der 2. Stufe werden die Grundzüge der Erfolgskontrolle dargelegt. Im Rahmen der **Erfolgskontrolle** wird mit einem **Soll-Ist-Vergleich** festgestellt, ob die **Massnahmen sach- und zeitgerecht und gesetzeskonform umgesetzt** wurden. Diese Umsetzungskontrolle erfolgt kontinuierlich während der Phasen mit Bauaktivitäten und endet mit der Umweltbauabnahme durch die zuständige Behörde.

²⁷ Vergleiche UVP-Handbuch (BAFU 2009) für Ausführungen zu UBB und Erfolgskontrolle.

7 Wissenslücken und Ungewissheiten

Dem Stand der Planung entsprechend, bestehen noch Wissenslücken, die mit der weiteren Projektentwicklung schrittweise geschlossen werden. Ungewissheiten sind als **Planungs-ungewissheiten** zu verstehen.

International besteht Konsens, dass für die Realisierung eines gTL ein **schrittweises Vorgehen** erforderlich ist. In der Schweiz ist dieses schrittweise Vorgehen im Gesetz verankert (vgl. Standortwahl in Etappen Kap. 2, Bewilligungsverfahren Kap. 8.2). Die Erkenntnisse jedes Schritts sollen in die Planung und Umsetzung der nächsten Schritte einfließen.

Beim Bau eines gTL gilt das Gebot der Sicherheitsoptimierung (vgl. Ziff. 4.4 ENSI-G03). Die Nagra plant eine schrittweise Optimierung mit folgenden Charakteristika:

- Die Konkretisierung der Kernanlagen erfolgt schrittweise (vgl. Anhang 4 KEV). Freigaben detaillieren die Bewilligung.
- Es werden nur diejenigen Festlegungen getroffen, die für den jeweiligen Verfahrensschritt relevant sind.
- Jedem Bewilligungs- und Freigabeschritt wird der aktuelle Stand der Erfahrung (z. B. ausländische Projekte) sowie von Wissenschaft und Technik zu Grunde gelegt.
- Bei jedem Bewilligungs- und Freigabeschritt wird der aktuelle gesetzliche Rahmen berücksichtigt.
- Für jeden Bewilligungsschritt ist das Projekt mindestens so umfassend zu definieren, dass die erforderlichen Nachweise hinsichtlich Sicherheit und technischer Machbarkeit stufengerecht geführt werden können.
- Soweit möglich werden in der Projektentwicklung Lösungen angestrebt, die in technischer Hinsicht eine ausreichende Flexibilität bezüglich der Umsetzung aufweisen.

Als Grundlage für die Standortwahl und das RBG wurde ein beispielhaftes, anschauliches Lagerprojekt gemäss den rechtlichen und technischen Anforderungen erarbeitet. Dieses Projekt kann unter Anwendung bewährter baulicher, technischer und organisatorischer Vorsorgemassnahmen so umgesetzt werden, dass während des Betriebs und nach dem Verschluss keine unzulässige radiologische Gefährdung für Mensch und Umwelt entsteht.

Für die Standortwahl waren geologische Kriterien entscheidend (vgl. Kap.2.3 und Kap. 4.2). Deshalb wurde die Lagerauslegung aus früheren Projektphasen im Wesentlichen übernommen; nur die Erschliessung wurde standortspezifisch ergänzt. Mit der durch die erdwissenschaftlichen Untersuchungen erweiterten, robusten Datengrundlage wurden Ungewissheiten der Gebirgsverhältnisse reduziert und die Machbarkeit der untertägigen Anlagen plausibel aufgezeigt. Selbst unter Bedingungen, die vom erwarteten Gebirgsverhalten abweichen, könnten die bautechnischen Risiken mit bekannten und erprobten Bauverfahren und Massnahmen beherrscht werden.

Für die Verbesserung der betrieblichen und bautechnischen Machbarkeit besteht in erster Linie mit der Weiterentwicklung der Lagerauslegung noch Potenzial. Die Rahmenbewilligung legt lediglich die Grundzüge des Projekts fest (Art. 14 Abs. 1 Bst. d KEG, vgl. Kap. 3.2).

Die exemplarische Umsetzung bietet einen Startpunkt für die Auslegung der Gesamtanlage. Für die weitere Planung und Entwicklung der Gesamtanlage liegt mit dem **Entsorgungsprogramm** (Nagra 2021) eine übergeordnete Strategie vor, die periodisch – das nächste Mal 2026 – angepasst wird.

Viele Wissenslücken und Ungewissheiten, die in der Vergangenheit bei der Zusammenstellung der geforderten Angaben festgestellt wurden, konnten in der Zwischenzeit geschlossen bzw. verringert werden. Seit dem Entsorgungsnachweis von 2002 (vgl. Kap. 2.1) wurde das Verständnis der Eigenschaften und Prozesse der technischen und geologischen Barrieren durch die im Rahmen des SGT durchgeführten erdwissenschaftlichen Untersuchungen sowie neue Experimente in Felslabors erweitert. Im Vergleich zum Entsorgungsnachweis stehen heute umfangreichere Daten sowie weiterentwickelte Methoden und Analysetechniken zur Verfügung. Die konsistenten Ergebnisse des vorliegenden Sicherheitsnachweises bestätigen die damaligen Erkenntnisse und erhärten diese. Zusammen mit den erzielten Weiterentwicklungen führt dies insgesamt zu einem robusteren Sicherheitsnachweis.

Dem Nachweis für die Langzeitsicherheit wird ein Nachweiszeitraum von einer Million Jahre zugrunde gelegt. Für diesen langen Zeitraum können auch in Zukunft nicht alle Wissenslücken geschlossen werden. Bei den **Sicherheitsanalysen** werden deshalb für alle nicht ausschliessbaren Aspekte **konservative Annahmen** getroffen (vgl. Kap. 4.2). Die Vorgaben von ENSI (2023) und ENSI (2018) verlangen, dass bei Ungewissheiten die **maximalen radiologischen Konsequenzen** durch Berechnung konservativer Szenarien oder durch die Annahme umhüllender Varianten abgeschätzt werden müssen. Die **radiologischen Auswirkungen** für Mensch und Umwelt werden daher **mit hoher Wahrscheinlichkeit überschätzt**, da die **tatsächliche Wirkung** des **Mehrfachbarrierensystems** das konservativ modellierte Verhalten **übertrifft** (vgl. Kap. 4.2).

8 Ausblick

8.1 Die Rahmenbewilligung

Das nach der Vollständigkeitsprüfung ergänzte RBG wurde im Juni 2025 eingereicht. Die behördliche Begutachtung der Gesuchsunterlagen erfolgt voraussichtlich bis 2027. Das Gutachten des ENSI und die Stellungnahmen der übrigen Bundesbehörden und der Kantone dürften Ende 2027 vorliegen. Der Entscheid des Bundesrats über das RBG erfolgt voraussichtlich im Jahre 2029.

Das UVEK beteiligt den Standortkanton sowie die in unmittelbarer Nähe des vorgesehenen Standorts liegenden Nachbarkantone und Deutschland an der Vorbereitung des Rahmenbewilligungsentscheids (vgl. Kap. 1).

Im Rahmen eines Verfahrens nach dem Übereinkommen von Espoo für das gTL können sich Deutschland und Österreich zum Vorhaben äussern und mitwirken (vgl. Kap. 1).

8.2 Die weiteren Bewilligungsschritte nach Kernenergiegesetzgebung

In der Schweiz müssen für die **Realisierung einer Kernanlage mehrere Verfahren durchlaufen werden**, welche im KEG geregelt sind. Nach der Rahmenbewilligung folgen die Bau- und die Betriebsbewilligung. Weitere Etappen mit Bewilligungscharakter sind bei einem gTL der Verschluss, die Stilllegung und der Rückbau der OFA sowie die Entlassung aus dem KEG. Für jede Bewilligung muss ein Gesuch eingereicht werden, welches von den Bundesbehörden eingehend geprüft wird.

Das Bewilligungsverfahren stellt sicher, dass der **erforderliche Handlungsspielraum** für die technische Umsetzung des Vorhabens unter Berücksichtigung bau- und betrieblicher Anforderungen **erhalten** bleibt. Die Abwicklung des Vorhabens kann sich immer auf einen jeweils aktuellen Informationsstand abstützen (Stand von Wissenschaft, Technik und Erfahrung) und bei Entscheiden die jeweilige marktwirtschaftliche Situation mitberücksichtigen.

Für kerntechnische Anlagen werden die Pflichten des Betreibers für jede Phase in der Kernenergiegesetzgebung festgelegt.

Zu den erforderlichen Gesuchsunterlagen für das Baubewilligungsgesuch gehören u. a. ein Sicherheitsbericht, ein UVB 2. Stufe und ein Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung. Auch muss in einem Bericht dargelegt werden, wie das Gesuch mit der Rahmenbewilligung übereinstimmt.

UVB 2. Stufe: Im Bewilligungsverfahren ist für das gTL eine 2-stufige UVP gemäss schweizerischem UVP-Handbuch (BAFU 2009) vorgesehen. Die Beurteilung der Auswirkungen wird im UVB 1. Stufe (Nagra 2025d) für das RBG dokumentiert und vom BAFU geprüft. Zum UVB 1. Stufe gehört auch ein **Pflichtenheft für den UVB 2. Stufe**, der mit dem Baubewilligungsgesuch eingereicht werden muss. Im Rahmen des UVB 2. Stufe wird die Umweltverträglichkeit erneut beurteilt. Das Pflichtenheft bezeichnet die **Umweltauswirkungen, die untersucht werden müssen**, sowie die vorgesehenen Untersuchungsmethoden und legt den **örtlichen und zeitlichen Rahmen** für die Untersuchungen fest. Das Pflichtenheft in Nagra (2025d) fasst die für alle konventionellen Umweltbereiche definierten Massnahmen zusammen.

Projektentwicklung

Die Projektentwicklung erfolgt nun in den weiteren Bewilligungsverfahren innerhalb der Festlegungen der Rahmenbewilligung. Dabei strebt die Nagra – unter Berücksichtigung des

technologischen und wissenschaftlichen Fortschritts – Optimierungen in Planung, Bau und Betrieb an. Dabei steht ein haushälterischer Umgang mit Ressourcen im Vordergrund.

Zielsetzungen in der weiteren Projektentwicklung:

- Sicherheit: Veränderungen dürfen im Vergleich zur Rahmenbewilligung nicht zu einer sicherheitstechnischen Verschlechterung führen
- Technische Effizienz: Lagerlayouts, die das Aushubvolumen reduzieren, die Bauzeit verkürzen und die Fläche begrenzen
- Umweltverantwortung: Minimierung der Auswirkungen auf Transport und Landnutzung, Gestaltung unter Berücksichtigung langfristiger Nachhaltigkeit
- Wirtschaftliche Rentabilität: Sorgfältiger Umgang mit Ressourcen, um den höchsten Nutzen pro Aufwandseinheit zu erzielen
- Betriebssicherheit: Sichere Bedingungen nicht nur nach der Stilllegung, sondern auch während des Baus und des Betriebs
- Gesellschaftliche Akzeptanz: Transparenz, Eingehen auf die Bedenken der Stakeholder und Lösungen, die sichtbar «auf dem neuesten Stand der Technik» sind

Angestrebt werden können z. B. technische Verfeinerungen, die die Effizienz und Nachhaltigkeit verbessern können, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. Jedes Konzept muss vor der Umsetzung einer detaillierten Bewertung und behördlichen Prüfung unterzogen werden.

Der Sicherheitsnachweis im Baubewilligungsverfahren stützt sich auf das weiterentwickelte Lagerprojekt. Im Gegensatz zur Lagerauslegung wird bezüglich des geologischen Umfelds nicht mit neuen Erkenntnissen in Bezug auf die Langzeitsicherheit gerechnet. Diese Standort-eigenschaften wurden bereits im Rahmen des Sachplanverfahrens umfassend geprüft und bestätigt.

9 Literaturverzeichnis

- ADR (1972): Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (ADR) vom 20. Juli 1972. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 0.741.621, Schweiz.
- AG VA-extern (2020): Gemeinsame Erklärung der Arbeitsgruppe VA-extern zu den Ergebnissen der überregionalen Zusammenarbeit für Standortoptionen der Verpackungsanlagen. Bundesamt für Energie BFE, Bern, online verfügbar unter <https://www.ag.ch/media/kanton-aargau/bvu/raumentwicklung/projekte/sachplan-geologisches-tiefenlager/2021-01-22-gemeinsame-erklaerung-bva.pdf>, aktualisiert am 11. Dezember 2020.
- ARE (2009): Sachplan geologische Tiefenlager. Bericht zu den Entwürfen der Planungsperimeter. Vorgehen der Arbeitsgruppe Raumplanung / Methode und Ergebnisse. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Ittigen.
- BAFU (2009): UVP-Handbuch. Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung Umwelt-Vollzug Nr. 0923. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- BAG (2021): Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz – Ergebnisse 2020. Bundesamt für Gesundheit BAG, Abteilung Strahlenschutz, Liebefeld.
- BevSV (2020): Verordnung über den Bevölkerungsschutz (Bevölkerungsschutzverordnung, BevSV) vom 11. November 2020. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 520.12, Schweiz.
- BFE (2008a): Sachplan geologische Tiefenlager: Erläuterungsbericht. 2. April 2008. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BFE (2008b): Sachplan geologische Tiefenlager: Konzeptteil. 2. April 2008 (Revision vom 30. November 2011). Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BFE (2011): Sachplan geologische Tiefenlager: Ergebnisbericht zu Etappe 1: Festlegungen und Objektblätter. 30. November 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BFE (2017): Sachplan geologische Tiefenlager: Zusammenfassender Bericht über die Auswirkungen geologischer Tiefenlager auf Mensch und Umwelt basierend auf dem Kenntnisstand in Etappe 2 des Sachplanverfahrens. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BFE (2018a): Sachplan geologische Tiefenlager: Ergebnisbericht zu Etappe 2: Festlegungen und Objektblätter. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BFE (2018b): Sachplan geologische Tiefenlager: Konzept regionale Partizipation in Etappe 3. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- BImSchV (2010): 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen, Stand am 19. Juni 2020. Bundesamt für Justiz, Deutschland.

- Eisenlohr, T. & Müller, P. (2016): Standortareal NL-6-SMA-HAA-Kombi Geologisch-geotechnischer Bericht: Baugrundbeschreibung und geotechnische Beschreibung der oberflächennahen Abschnitte der Zugangsbauwerke (Rampe, Schächte). Nagra Arbeitsbericht NAB 16-65.
- EKRA (2000): Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle. Schlussbericht. Expertengruppe Entsorgungskonzepte für radioaktive Abfälle EKRA, im Auftrag des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.
- ENSI (2017): Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 2. ENSI 33/540. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2018): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3. ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2021): Geologische Tiefenlager. Radioaktive Abfälle sicher entsorgen. ENSI 33/879. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2023): Geologische Tiefenlager. Ausgabe Dezember 2020 (Änderung vom 28. Mai 2025). Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen ENSI-G03/d. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ESchT (2022): Plausibilitätsprüfung des Standortvorschlags der Nagra für das geologische Tiefenlager für radioaktive Abfälle in der Schweiz. Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager ESchT.
- GAV (2009): Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (Gefährdungsannahmenverordnung, GAV) vom 17. Juni 2009. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.112.2, Schweiz.
- Gmünder, C., Malaguerra, F., Nusch, S. & Traber, D. (2014): Regional Hydrogeological Model of Northern Switzerland. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-23.
- GVM-ZH (2024): Gesamtverkehrsmodell des Kantons Zürich. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Amt für Mobilität, Abteilung Mobilitätsentwicklung und -steuerung, Zürich.
- KEG (2003): Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.1, Schweiz.
- KEV (2004): Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 732.11, Schweiz.
- KIG (2022): Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit vom 30. September 2022. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.310, Schweiz.
- LGL BW (2024): Geoportal Baden-Württemberg. Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung, online verfügbar unter <https://www.geoportal-bw.de>, aktualisiert am 11. April 2024, Stand am 21. September 2024.

- LRV (1985): Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.318.142.1, Schweiz.
- Miron, G.D., Marques Fernandes, M., Kulik, D.A., Marinich, O., Baeyens, B., Wüst, R., Becker, J. & Li, X. (2024): Sorption Databases for Opalinus Clay, Confining Geological Units and Bentonite: Methods, Concepts and Upscaling of Data. Nagra Technical Report NTB 23-06.
- Nagra (2002): Project Opalinus Clay: Safety report: Demonstration of disposal feasibility for spent fuel, vitrified high-level waste and long-lived intermediate-level waste (Entsorgungsnachweis). Nagra Technical Report NTB 02-05.
- Nagra (2011): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung. Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 11-01 Beilagenband.
- Nagra (2012): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung. Nagra Arbeitsbericht NAB 12-07.
- Nagra (2013): Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2: Nördlich Lägern: Zusätzliche Vorschläge zur Platzierung der Standortareale für die Oberflächenanlage der geologischen Tiefenlager sowie zu deren Erschliessung. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-34.
- Nagra (2019a): Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 1: Einführung und Grundlagen. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 1.
- Nagra (2019b): Vorschläge zur Konkretisierung der Oberflächeninfrastruktur der geologischen Tiefenlager. Teil 2: Standortspezifische Vorschläge. Nagra Arbeitsbericht NAB 19-08 Teil 2.
- Nagra (2021): Entsorgungsprogramm 2021 der Entsorgungspflichtigen. Nagra Technischer Bericht NTB 21-01.
- Nagra (2022): Begründung der Standortwahl für die Verpackungsanlagen bei der Zwiilag. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-27.
- Nagra (2023a): Bautechnisches Dossier Standortvergleich – Band 3: Bautechnisch relevante Auszüge geologischer Grundlagen Nördlich Lägern. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 3.
- Nagra (2023b): Modellhaftes Inventar für radioaktive Materialien MIRAM-RBG. Nagra Technischer Bericht NTB 22-05.
- Nagra (2024a): Anlagen- und Betriebskonzept für das geologische Tiefenlager. Nagra Technischer Bericht NTB 24-11.
- Nagra (2024b): Bestimmung der unfallbedingten Flugzeugabsturzhäufigkeiten am Standort der Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-33.
- Nagra (2024c): Einwirkungen auf den Standort der Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers bei Störfällen in der Nachbarschaft. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-32.
- Nagra (2024d): Erdbebengefährdungsanalyse für den Standort der Oberflächenanlage und die Betriebsphase des geologischen Tiefenlagers. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-21.

- Nagra (2024e): Generische Sicherheitsbetrachtungen der Einwirkungen von innen für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-02.
- Nagra (2024f): Geosynthesis of Northern Switzerland. Nagra Technischer Bericht NTB 24-17.
- Nagra (2024g): Hydrologische Verhältnisse am Standort der Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-31.
- Nagra (2024h): Meteorologische und klimatologische Verhältnisse am Standort der Oberflächenanlage des geologischen Tiefenlagers. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-30.
- Nagra (2024i): Post-closure safety report. Nagra Technical Report NTB 24-10 Rev. 1.
- Nagra (2024j): Radiological Consequences of Deep Geological Repository Excavation by Erosive Processes. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-08 Rev. 1.
- Nagra (2024k): Safety and Repository Concept and Provisional Design. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-18 Rev. 1.
- Nagra (2024l): Transportkonzept für radioaktive Abfälle zum geologischen Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-34.
- Nagra (2025a): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Begründung der Standortwahl. Nagra Technischer Bericht NTB 24-03.
- Nagra (2025b): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Bericht über die Abstimmung mit der Raumplanung. Nagra Technischer Bericht NTB 24-06.
- Nagra (2025c): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Integrales Überwachungskonzept. Nagra Technischer Bericht NTB 24-07.
- Nagra (2025d): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe mit Pflichtenheft für die 2. Stufe. Nagra Technischer Bericht NTB 24-05.
- Nagra (2025e): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-01.
- Nagra (2025f): Rahmenbewilligungsgesuch für eine Brennelementverpackungsanlage – Sicherheitsbericht. Nagra Technischer Bericht NTB 24-02.
- Nagra (2026): Umweltverträglichkeitsbericht im grenzüberschreitenden Rahmen für eine Brennelementverpackungsanlage – Bericht gemäss dem Übereinkommen von Espoo – begleitend zum Rahmenbewilligungsgesuch. Nagra Technischer Bericht NTB 25-02.
- NHV (1991): Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) vom 16. Januar 1991. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 451.1, Schweiz.

- Rahn, M., Leuz, A.-K. & Altorfer, F. (2024): Systematischer Umgang mit Ungewissheiten bei der Standortwahl für geologische Tiefenlager in der Schweiz. *In*: Eckhardt, A., Becker, F., Mintzlaff, V., Scheer, D. & Seidl, R. (Hrsg.): Entscheidungen in die weite Zukunft. Ungewissheiten bei der Entsorgung hochradioaktiver Abfälle. (Energiepolitik und Klimaschutz. Energy Policy and Climate Protection). Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 187-206.
- RK NL (2013): Protokoll der 10. Vollversammlung Regionalkonferenz Nördlich Lägern.
- RK NL (2021): Stellungnahme zur Oberflächeninfrastruktur. Vollversammlung Regionalkonferenz Nördlich Lägern.
- SDR (2002): Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. November 2002. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 741.621, Schweiz.
- StfV (1991): Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StfV) vom 27. Februar 1991. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.012, Schweiz.
- StSV (2017): Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 26. April 2017. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.501, Schweiz.
- swisstopo (2024): Geoportal des Bundes. Geoinformatiksystem der Schweizerischen Eidgenossenschaft, online verfügbar unter <https://map.geo.admin.ch>, aktualisiert am 11. April 2024, Stand am 31. Januar 2024.
- Übereinkommen von Espoo (1991): Übereinkommen über die Umweltverträglichkeitsprüfung im grenzüberschreitenden Rahmen vom 25. Oktober 1991. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 0.814.06, Schweiz.
- UVPV (1988): Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.011, Schweiz.
- VVEA (2015): Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015, Stand am 1. Januar 2024. Systematische Sammlung des Bundesrechts SR 814.600, Schweiz.
- Waber, H.N. & Traber, D. (2022): Die Tiefengrundwässer in der Nordschweiz und im angrenzenden Süddeutschland: Beschaffenheit, Herkunft und unterirdische Verweilzeit. Nagra Technischer Bericht NTB 19-02.