



ARBEITSBERICHT NAB 23-01 BAND 9

Bautechnisches Dossier Standortvergleich
Band 9: Bautechnische Risikoanalyse

Oktober 2023

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch



ARBEITSBERICHT NAB 23-01 BAND 9

Bautechnisches Dossier Standortvergleich
Band 9: Bautechnische Risikoanalyse

Oktober 2023

STICHWÖRTER

Bautechnisches Dossier, Bautechnische Risikoanalyse,
Standortvergleich, Lagerprojekte, Bautechnische Eignung,
Referenzbericht, Rahmenbewilligungsgesuch, RBG

**Nagra | Nationale Genossenschaft
für die Lagerung radioaktiver Abfälle**
Hardstrasse 73 | 5430 Wettingen | Schweiz
+41 56 437 11 11 | info@nagra.ch | nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Aktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen.

Copyright © 2023 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

Mit dem Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager reicht die Nagra einen Bericht zur Begründung der Standortwahl ein. Die Nagra dokumentiert die Lagerprojekte für den dafür durchzuführenden Standortvergleich im «Bautechnischen Dossier Standortvergleich», welches neun Bände umfasst.

Die Bautechnische Risikoanalyse als Band 9 des Bautechnischen Dossiers dient der Bewertung der Kriteriengruppe 4 des Standortvergleichs und damit der bautechnischen Eignung des Baugrunds an den drei Standorten für die insgesamt sechs entwickelten Lagerprojekte (Bautechnisches Dossier Band 6). Während die Projektierung der Lagerprojekte die zu erwartenden Baugrundverhältnisse berücksichtigt, hat die bautechnische Risikoanalyse das Ziel, alle Risiken zu identifizieren und zu bewerten, die sich aus Abweichungen von diesen zu erwartenden Baugrundverhältnissen während des Baus der Lagerprojekte ergeben.

Die angewendete Methodik zur Durchführung der Risikoanalyse orientiert sich am Risikomanagementprozess gemäss ISO 31000 und den gemeinsamen Empfehlungen von DAUB und ITA-AITES. Die Methodik wird im ersten Teil des Berichts kurz generisch erläutert. Anschliessend werden die projektspezifischen Rahmenbedingungen vorgestellt, bestehend aus den geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen und den standortspezifischen Lagerprojekten.

Da sich die Bauwerke des geologischen Tiefenlagers bezüglich der Geometrie, Geologie und des Bauverfahrens ähneln und die Bewertung der bautechnischen Eignung nicht quantitativ, sondern qualitativ durchgeführt wird, wurden für die bautechnische Risikoanalyse repräsentative Bauwerke des geologischen Tiefenlagers betrachtet. Für diese Bauwerke wurden Risiken infolge eines Antreffens einer ausgeprägten Störungszone und infolge von unerwarteten Baugrundverhältnissen identifiziert und bewertet. Neben der Eintretenswahrscheinlichkeit einer Gefährdung wurde bei der Berechnung des Risikowerts auch die Auswirkung auf die Projektanforderungen Arbeitssicherheit, Kosten, Termine und Qualität bewertet. Bei initialen Risikowerten im nicht akzeptierten Bereich wurden jeweils Massnahmenplanungen durchgeführt, mit welchen die Restrisikowerte auf ein akzeptiertes Mass reduziert werden konnten.

Die Ergebnisse der bautechnischen Risikoanalyse zeigen, dass an allen Standorten und für alle Lagerprojekte die Restrisiken mit bekannten und erprobten Massnahmen auf akzeptierte Werte reduziert werden können. Dies gilt für die Zugangsbauwerke wie auch für die Bauwerke auf Lagerebene.

Mit dem Bautechnischen Dossier wird gezeigt, dass an allen drei zu vergleichenden Standorten Lagerprojekte entsprechend den Anforderungen realisiert und dass die Restrisiken mit geeigneten Massnahmen auf ein akzeptiertes Mass reduziert werden können. Alle drei Standorte sind aus bautechnischer Sicht für den Bau, Betrieb und Verschluss geologischer Tiefenlager geeignet.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Inhaltsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Figurenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Zweck des vorliegenden Berichts.....	1
1.2 Geltungsbereich und Abgrenzung der BTRA.....	2
1.3 Aufbau des Berichts.....	4
2 Methodik.....	5
2.1 Definition des Risikobegriffs.....	5
2.2 Grundlagen des Risikomanagementprozesses	5
2.3 Rahmenbedingungen	6
2.4 Risikoidentifikation	6
2.5 Risikoanalyse.....	6
2.5.1 Eintretenswahrscheinlichkeit (W).....	6
2.5.2 Auswirkung (A).....	6
2.5.3 Ermittlung des Risikowerts.....	7
2.6 Risikobewertung und Risikobehandlung.....	7
3 Projektspezifische Rahmenbedingungen	9
3.1 Baugrund	9
3.2 Standortspezifische Lagerprojekte.....	11
3.3 Repräsentative Bauwerke	13
4 Projektspezifische Umsetzung	15
4.1 Risikoidentifikation	15
4.1.1 Gefährdungen für Bauwerke des Kriteriums 4.1	15
4.1.2 Gefährdungen für Bauwerke des Kriteriums 4.2	17
4.1.3 Erkennung der Abweichung	19
4.2 Risikoanalyse.....	19
4.2.1 Eintretenswahrscheinlichkeit.....	20
4.2.2 Auswirkung auf Projektanforderungen.....	20
4.2.3 Ermittlung des initialen Risikowerts	21
4.3 Risikobewertung und Risikobehandlung	26
4.3.1 Störungszonen	27
4.3.2 Baugrundeigenschaften.....	29
4.4 Aufbau und Inhalt des Risikokatalogs.....	30

5	Auswertung der Ergebnisse und Diskussion hinsichtlich der Bewertung der KG 4.....	33
5.1	Vorgehen	33
5.2	Verteilung und Diskussion der Risikowerte	34
5.2.1	HAA-Einzellager	34
5.2.2	SMA-Einzellager JO und ZNO und Kombilager NL	36
5.3	Massnahmenplanung	39
6	Fazit.....	41
7	Literaturverzeichnis	A-1
Anhang A	Bauwerksliste	A-1
Anhang B	Numerische Vergleichsrechnung HAA-Hauptlager	B-1
Anhang C	Resultate und Diskussion Grobanalyse.....	C-1
Anhang D	Risikokatalog.....	D-1

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1:	Formulierung der Kriterien­gruppe 4 im Konzeptteil SGT (BFE 2008)	2
Tab. 2-1:	Klassifizierung der Auswirkungen der Projektanforderungen	6
Tab. 2-2:	Aktionsstrategie zur 4×4-Bewertungsmatrix gemäss DAUB & ITA-AITES (2022)	7
Tab. 2-3:	Bewertungsmatrix (4×4).....	8
Tab. 3-1:	Ingenieur­geologische Homogenbereiche (Hb) und bautechnische Homogenbereiche (HB) inkl. lithologischen Kurzbeschriebs	10
Tab. 4-1:	Gefährdungen infolge des Antreffens einer Störungszone Typ III/ Typ IV oder unerwarteter Baugrundeigenschaften (Bauwerke im Kriterium 4.1)	16
Tab. 4-2:	Gefährdungen infolge des Antreffens von Störungs­zonen Typ III/ Typ IV oder unerwarteter Baugrundeigenschaften (Bauwerke im Kriterium 4.2)	17
Tab. 4-3:	Klassifizierung der Eintretenswahrscheinlichkeit (W)	20
Tab. 4-4:	Klassifizierung der Auswirkungen der einzelnen Projektanforderungen	21
Tab. 4-5:	Standortspezifische Werte für die erwarteten, initialen und permanenten Wasserzutritte in einer Störungszone in HB4 an den Standorten NL und ZNO und HB4* am Standort JO gemäss ingenieur­geologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d)	22
Tab. 4-6:	Standortspezifische Werte für die minimalen Trennflächenabstände in HB4 an den Standorten NL und ZNO und HB4* am Standort JO und in HB5 an allen Standorten gemäss ingenieur­geologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d)	25
Tab. 4-7:	Ungünstigste Werte für den initialen und permanenten Wasserzutritt in HB4 an den Standorten NL und ZNO und HB4* am Standort JO gemäss ingenieur­geologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d)	25
Tab. 4-8:	Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke im Kriterium 4.1 zu Störungs­zonen: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung	27
Tab. 4-9:	Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke in Kriterium 4.2 zu Störungs­zonen: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung	28
Tab. 4-10:	Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke in Kriterium 4.1 zu unerwarteten Baugrundeigenschaften: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung.....	29

Tab. 4-11: Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke in Kriterium 4.2 zu unerwarteten Baugrundeigenschaften: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung.....	30
Tab. A-1: Bauwerksliste mit der Zuteilung der Kriterien und der Zuordnung zu den repräsentativen Bauwerken	A-1
Tab. D-1: Risikokatalog für Antreffen einer Störungszone Typ III.....	D-3
Tab. D-2: Risikokatalog für Antreffen einer Störungszone Typ IV.....	D-13
Tab. D-3: Risikokatalog für Antreffen von unerwarteten Baugrundeigenschaften.....	D-23

Figurenverzeichnis

Fig. 1-1:	Systemskizze mit Visualisierung der räumlichen Abgrenzung der BTRA und zwischen den Kriterien 4.1 und 4.2.....	3
Fig. 2-1:	Risikomanagementprozess gemäss ISO 31000 aus DAUB & ITA-AITES (2022)	5
Fig. 3-1:	Homogenbereiche Fels der Schächte in den Standortgebieten NL (Zugangsschacht), ZNO (Lüftungsschacht) und JO (Lüftungsschacht)	10
Fig. 3-2:	Zuordnung der Störungzonen gemäss den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d) zu den standortspezifischen Lagerprojekten und der BTRA.....	11
Fig. 3-3:	Darstellung der für die einzelnen Gruppen repräsentativen Bauwerke in der Legende und der gruppierten Bauwerke (farblich).....	14
Fig. 4-1:	Ausschnitt aus dem bautechnischen Risikokatalog (Anhang D) des Standorts JO.....	31
Fig. 5-1:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzellager HAA am Standort JO	34
Fig. 5-2:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzellager HAA am Standort NL	34
Fig. 5-3:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzellager HAA am Standort ZNO	35
Fig. 5-4:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager HAA am Standort JO	35
Fig. 5-5:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager HAA am Standort NL	36
Fig. 5-6:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager HAA am Standort ZNO	36
Fig. 5-7:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzellager SMA am Standort JO	37
Fig. 5-8:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Kombilager am Standort NL.....	37
Fig. 5-9:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzellager SMA am Standort ZNO	37
Fig. 5-10:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager SMA am Standort JO	38
Fig. 5-11:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Kombilager am Standort NL.....	38
Fig. 5-12:	Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager SMA am Standort ZNO	39

Fig. B-1: LDP-Profil in Krone (oben) und Parament (unten) für die Minimal- und Referenzwerte B-1

Fig. B-2: Normalkraftverlauf in Krone und Parament für die Minimal- und die Referenzwerte B-2

Fig. C-1: Bereinigte Grobanalyse (Endresultat)..... C-2

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
BFE	Bundesamt für Energie
BTRA	Bautechnische Risikoanalyse
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EUU	Erdwissenschaftliche Untersuchungen Untertag
HAA	Hochaktive Abfälle
IBN	Inbetriebnahme
JO	Jura Ost
KG	Kriteriengruppe gemäss Konzeptteil Sachplan SGT
NAB	Nagra Arbeitsbericht
NL	Nördlich Lägern
SGT(-E3)	Sachplan geologische Tiefenlager(-Etappe 3)
SMA	Schwach- und mittelaktive Abfälle
ZNO	Zürich Nordost
DAUB	Deutscher Ausschuss für Untertagebau
ITA-AITES	International Tunneling and Underground Space Association
W	Eintretenswahrscheinlichkeit
A	Auswirkung
R	Risikowert
LZS	Langzeitsicherheit
gTL	geologisches Tiefenlager

1 Einleitung

1.1 Zweck des vorliegenden Berichts

Die Bautechnische Risikoanalyse ist Band 9 des neunbändigen Bautechnischen Dossiers für den Standortvergleich. Inhalt, Umfang und Zweck des Bautechnischen Dossiers sind in Band 1, «Projektdefinition und Einführung» (Nagra 2023a) detailliert beschrieben.

Die Bautechnische Risikoanalyse (BTRA) dient dem sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte in Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) (Nagra NAB 24-01 *in Bearb.*). Der sicherheitstechnische Vergleich beinhaltet unter anderem eine qualitative Bewertung der einschlusswirksamen Gebirgsbereiche und der darin eingebetteten Lagerprojekte, welche auf 13 zu beurteilenden Kriterien aus vier Kriteiengruppen (KG) zur Sicherheit und technischen Machbarkeit basiert. Diese Kriterien sind im Konzeptteil des SGT festgehalten (BFE 2008). Gemäss den Vorgaben des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI 2018b) erfolgt der sicherheitstechnische Vergleich zuerst hinsichtlich der Wahl des geeignetsten Standorts für das HAA-Lager. Erst danach wird der geeignetste Standort für das SMA-Lager evaluiert. Entsprechend wird die BTRA für drei HAA-Einzellager und anschliessend für zwei SMA-Einzellager in Jura Ost und Zürich Nordost sowie ein Kombilager im gewählten HAA-Standort Nördlich Lägern (Nagra NTB 24-03 *geplant*) durchgeführt.

In der KG 4 «Bautechnische Eignung» erfolgt eine Bewertung der standortspezifischen Lagerprojekte aus bautechnischer Sicht. Es sind zwei Kriterien zu bewerten, die sich auf die bautechnische Eignung des Baugrundes beziehen. Dabei sind einerseits die felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen (Kriterium 4.1) und andererseits die Bedingungen für die untertägige Erschliessung und Wasserhaltung (Kriterium 4.2) zu beurteilen. Die Beschreibung der Kriterien-Gruppe 4 ist in Tab. 1-1 zu finden.

Gemäss den Präzisierungen des ENSI zur Etappe 3 (ENSI 2018a) ist die Erstellung einer Bautechnischen Risikoanalyse (BTRA) für die Bewertung des Kriteriums 4.2 vorgeschrieben. Darüber hinaus eignet sich die BTRA ebenfalls für die Beurteilung des Kriteriums 4.1, da es auch bei diesem Kriterium um die Bewertung der «Bedingungen für Bau [...]» geht, die in der BTRA systematisch erfasst werden. Mit diesem Vorgehen wird eine vollständige und konsistente Betrachtung und Bewertung der bautechnischen Eignung gewährleistet. Vorliegender Bericht dokumentiert das Vorgehen und die Ergebnisse der BTRA. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die qualitative Bewertung der KG 4 (Nagra NAB 24-01 *in Bearb.*).

Tab. 1-1: Formulierung der Kriterien­gruppe 4 im Konzeptteil SGT (BFE 2008)

Kriterien­gruppe	4 Bautechnische Eignung
Kriterium	4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die felsmechanischen Eigenschaften und Bedingungen für Bau, Betrieb, Überwachung und Verschluss des geologischen Tiefenlagers (u. a. Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten, Verformungseigenschaften der Gesteine, Tiefenlage und Gebirgsspannungen, Stabilität der Hohlräume, natürliche Gasführung).
Relevanz für die Machbarkeit	Günstig sind bautechnisch einfach beherrschbare Verhältnisse, bei denen sich durch die Tiefenlage keine extremen Anforderungen bei der Erstellung, beim Betrieb, bei der Überwachung (inkl. einer eventuellen Rückholung) oder beim Verschluss des Lagers ergeben. Günstig ist, wenn der Verschluss der Lagerteile ohne technische Probleme mit der erforderlichen Abdichtung realisiert werden kann.
Kriterium	4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung
Zu beurteilende Aspekte	Beurteilt werden die Bedingungen für die Erschliessung der Lagerkavernen und -stollen, insbesondere die bautechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse für die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt der Zugangsbauwerke zu den Lagerkavernen und -stollen, inkl. natürlicher Gasführung.
Relevanz für die Machbarkeit	Günstig ist, wenn keine wesentlichen hydrogeologischen und geotechnischen Probleme oberhalb der Lagerebene zu erwarten sind.

1.2 Geltungsbereich und Abgrenzung der BTRA

Die BTRA wird für alle in der Etappe 3 weiter zu untersuchenden Standortgebiete Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) durchgeführt. Sie beschränkt sich dabei gemäss Konzeptteil SGT (BFE 2008) auf die Untertaganlagen aller Lagerprojekte.

Der generische Aufbau der Untertaganlagen wird in Nagra (2022) für ein Kombilager mit reiner Schächterschliessung beschrieben und ist in einer Systemskizze in Fig. 1-1 dargestellt. Der Aufbau ist jedoch auch für eine Neuordnung der Module für Einzellager gültig. Der Rohbau der Untertaganlagen wird standortspezifisch im technischen Beschrieb (Nagra 2023e) beschrieben.

Um Doppelbewertungen bei den Kriterien 4.1 und 4.2 zu vermeiden, wird in Anlehnung an die Beschreibung von KG 4 im Konzeptteil des SGT eine räumliche Abgrenzung der zu bewertenden Bauwerke vorgenommen (vgl. Fig. 1-1):

- Beim Kriterium 4.1 «Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen» werden die Lagerfelder und deren Zugänge (inkl. Lagerfeldversiegelungen) bewertet (Bauwerke 9 – 10, 12 – 13, 15 – 18 und 20 – 23 in Fig. 1-1).
- Beim Kriterium 4.2 «Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung» werden die Zugangstunnel und -schächte, die Bauwerke im zentralen Bereich und die Lagerfeldzugänge (bis hin zu den, aber exkl. der Lagerfeldversiegelungen) bewertet (Bauwerke 1 – 6 und 8, 11, 19 in Fig. 1-1).

Gemäss den Präzisierungen des ENSI zur Etappe 3 (ENSI 2018a) werden in der BTRA ausschliesslich Risiken aus dem Baugrund während des Baus, Betriebs und Verschlusses identifiziert. Mögliche Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit werden berücksichtigt.

Mit der vorliegenden BTRA wird kein Gesamtrisikowert berechnet, sondern sichergestellt, dass alle möglichen Risiken erfasst und bei Bedarf Massnahmen definiert wurden.

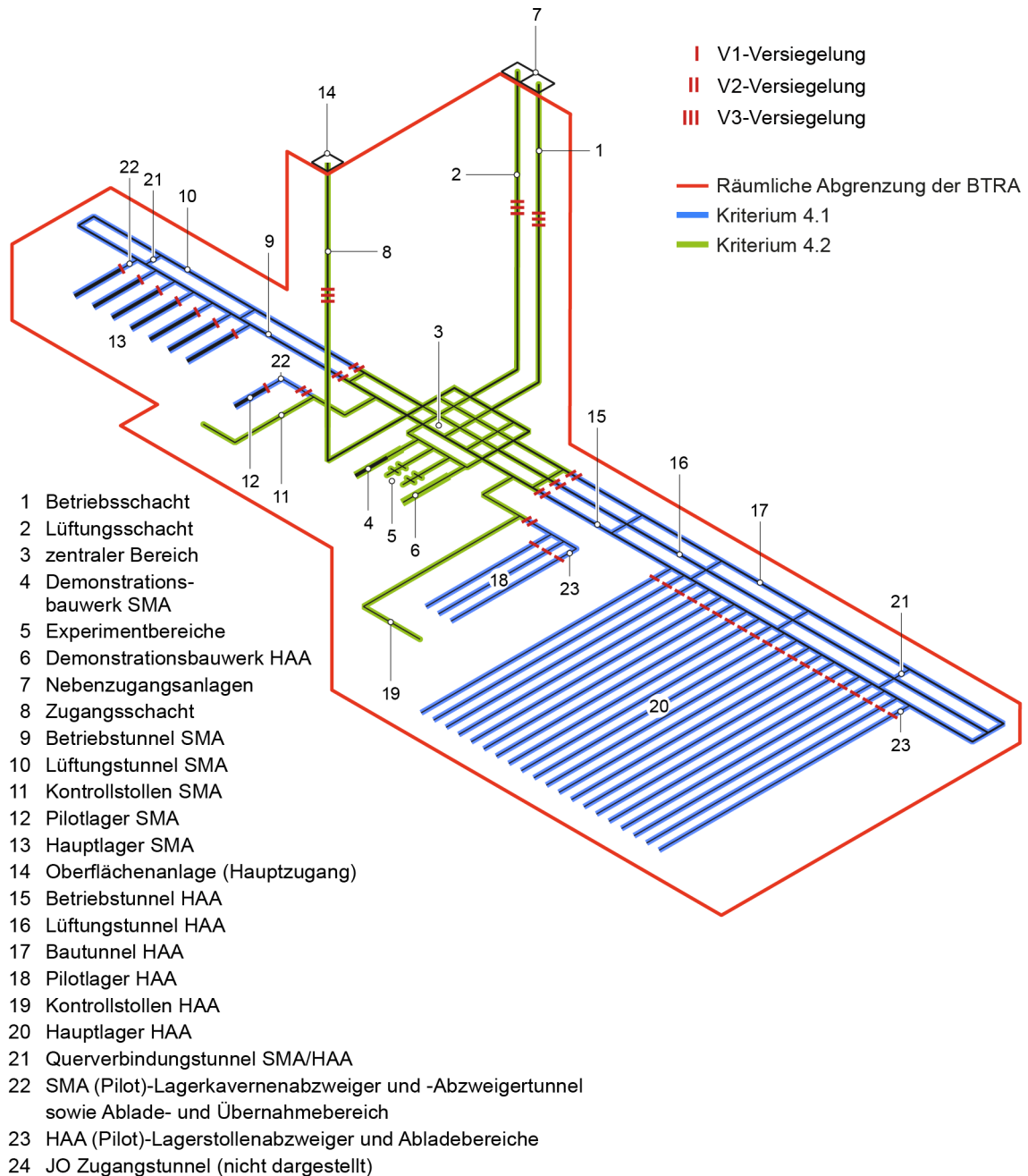


Fig. 1-1: Systemskizze mit Visualisierung der räumlichen Abgrenzung der BTRA und zwischen den Kriterien 4.1 und 4.2

1.3 Aufbau des Berichts

Zunächst wird in Kapitel 2 die grundlegende Methodik für die Durchführung einer Risikoanalyse erläutert. Die Schritte umfassen die Identifikation potenzieller Risiken, die Bewertung ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit und der Auswirkung auf die gewählten Projektanforderungen, die Bewertung der Risikowerte und die Planung von Massnahmen zur Risikobewältigung.

Anschliessend werden in Kapitel 3 die projektspezifischen Rahmenbedingungen beschrieben, die den Kontext der BTRA definieren. Dazu gehören die standortspezifischen Angaben zum Baugrund, die die Grundlage für die einzelnen Lagerprojekte bilden, sowie die standortspezifischen Lagerprojekte und die Auswahl der repräsentativen Bauwerke.

Danach wird in Kapitel 4 die projektspezifische Umsetzung der BTRA erläutert. Dabei werden die identifizierten Risiken beschrieben und das Vorgehen bei der Risikoanalyse ausführlich erläutert. Anschliessend erfolgt die Beschreibung der Risikobewertung und -behandlung und eine kurze Erläuterung des Risikokatalogs, in dem das Vorgehen und die Ergebnisse der BTRA dokumentiert sind.

In Kapitel 5 wird die Auswertung der Ergebnisse der BTRA hinsichtlich der Bewertung der KG 4 erläutert und diskutiert. Dabei wird auf die Verteilung der Risikowerte und die Massnahmenplanung eingegangen.

Kapitel 6 fasst die wichtigsten Punkte der BTRA im Hinblick auf die Begründung der Standortwahl zusammen.

2 Methodik

Die angewendete Methodik zur Durchführung der Risikoanalyse orientiert sich am Risikomanagementprozess gemäss ISO 31000 und den gemeinsamen Empfehlungen des Deutschen Ausschusses für Untertagebau (DAUB) und der International Tunneling and Underground Space Association (ITA-AITES) (DAUB & ITA-AITES 2022).

2.1 Definition des Risikobegriffs

Gemäss den anfangs genannten Normen und Empfehlungen kann ein potenzielles zukünftiges unerwünschtes Ereignis, das negative Auswirkungen auf die Projektziele hat, als Risiko oder Gefährdung definiert werden. Bei positiven Auswirkungen wird das Ereignis hingegen als Chance bezeichnet. Ein Risiko, das eine oder mehrere Ursachen hat, kann anhand der Eintretenswahrscheinlichkeit des Ereignisses und der Auswirkung des Ereignisses auf die Projektziele beschrieben werden.

2.2 Grundlagen des Risikomanagementprozesses

Der Risikomanagementprozess gemäss ISO 31000 (Fig. 3-1) stellt den äusseren Rahmen und Ablauf des Risikomanagements auf allgemein gefasster und standardisierter Ebene dar. Die vorliegende Bautechnische Risikoanalyse befasst sich ausschliesslich mit der Risikobeurteilung und der Risikobehandlung, da diese Elemente die Grundlage für die Beurteilung der KG 4 bilden. Die Prozessschritte Kommunikation und Konsultation sowie Überwachen und Überprüfen finden in der gegenwärtigen Projektphase nicht statt und werden daher nicht weiter beschrieben.

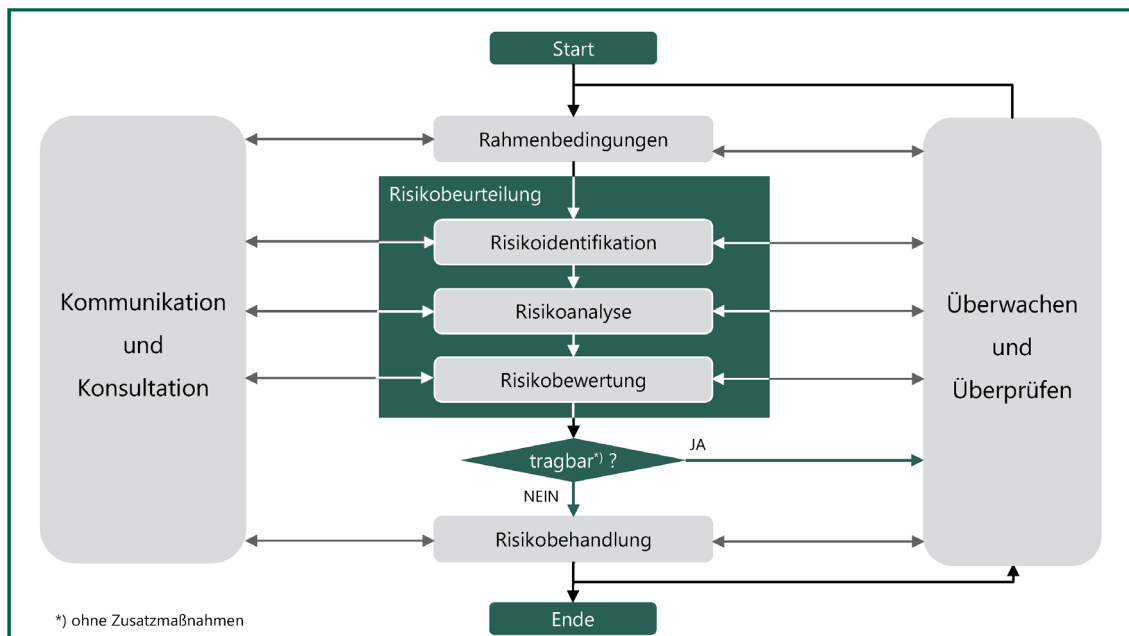


Fig. 2-1: Risikomanagementprozess gemäss ISO 31000 aus DAUB & ITA-AITES (2022)

2.3 Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen haben innerhalb des Risikomanagementprozesses eine zentrale Funktion und agieren als übergeordnetes Koordinationselement. Sie definieren den Umfang der Risikoanalyse sowie die wichtigsten Systemgrenzen und den Kontext, in dem die Risiken betrachtet werden.

2.4 Risikoidentifikation

Der erste Schritt der Risikobeurteilung besteht aus der Risikoidentifikation. Diese beinhaltet die Identifikation aller Risiken, welche die Erfüllung der projektspezifischen Anforderungen negativ beeinflussen können.

2.5 Risikoanalyse

Nach der Risikoidentifikation wird die Risikoanalyse durchgeführt, in der den identifizierten Risiken Wahrscheinlichkeiten zugeordnet und Auswirkungen auf die Projektanforderungen ermittelt werden.

2.5.1 Eintretenswahrscheinlichkeit (W)

Gemäss DAUB & ITA-AITES (2022) erfolgt die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Risikos wegen der unzureichenden Datengrundlage meistens qualitativ über die Bewertung der Häufigkeit des Eintretens bzw. der Eintretenswahrscheinlichkeit eines unerwünschten Ereignisses.

2.5.2 Auswirkung (A)

Das Eintreten eines unerwünschten Ereignisses beeinträchtigt eine oder mehrere Projektanforderungen mit einer unterschiedlichen Auswirkung. Die Auswirkung wird für alle in die Analyse einbezogenen Projektanforderungen bestimmt. Das Beurteilungskriterium ist von den einzelnen projektspezifischen Projektanforderungen abhängig. Die Einstufung erfolgt in vier Schadensklassen, die exemplarisch in Tab. 2-1 dargestellt sind.

Tab. 2-1: Klassifizierung der Auswirkungen der Projektanforderungen

Auswirkungsklasse A	Beurteilung	Beurteilungskriterium
1	Sehr klein	Gemäss den Definitionen für die einzelnen projektspezifischen Projektanforderungen
2	Klein	
3	Mittel	
4	Hoch	

2.5.3 Ermittlung des Risikowerts

Der Risikowert dient als einheitliche Bewertungsgrösse und wird mit Hilfe der Klassennummern von Ausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit für jedes Risiko ermittelt. Hohe Risikowerte zeigen eine stärkere Gefährdung der Projektanforderungen an. Bei mehreren massgebenden Projektanforderungen (i) wird die Formel für die Berechnung des Risikowerts wie folgt erweitert:

$$R = W * \max [A_i] \quad (1)$$

mit $i = 1$ (Projektanforderung 1), 2 (Projektanforderung 2),

3 (Projektanforderung 3) und 4 (Projektanforderung 4)

Für die Ermittlung des Risikowerts wird jeweils nur die grösste Auswirkung eines unerwünschten Ereignisses berücksichtigt. Der ermittelte Risikowert ohne Berücksichtigung von Massnahmen wird als initialer Risikowert bezeichnet. Nach der Umsetzung der Massnahmen wird der Restrisikowert ermittelt.

2.6 Risikobewertung und Risikobehandlung

Das Ziel der Risikobewertung ist es, eine Grundlage für die im nächsten Schritt folgende Massnahmenplanung zu bilden. Dabei wird der Risikowert für jedes Risiko mit den festgelegten Akzeptanzkriterien verglichen. Die Akzeptanzkriterien teilen den gesamten Risikobereich in unterschiedliche Risikokategorien ein, welche gemäss einer festgelegten Aktionsstrategie unterschiedliche Massnahmen zur Folge haben. Die Anforderungen, Randbedingungen und Systemgrenzen des Projektes sind in der Aktionsstrategie berücksichtigt. Die Aktionsstrategie verfolgt das Ziel, unakzeptable Risiken durch geeignete Massnahmen auf einen akzeptierten Restrisikowert unterhalb der Akzeptanzlinie zu reduzieren. Die Einteilung der Risiken und die Aktionsstrategie, welche sich an Vorgaben des DAUB & ITA-AITES (2022) orientiert, sind in Tab. 2-2 dargestellt. Die zugehörige Bewertungsmatrix wird in Tab. 2-3 gezeigt.

Tab. 2-2: Aktionsstrategie zur 4×4-Bewertungsmatrix gemäss DAUB & ITA-AITES (2022)

Titel	Aktion
Keine Zusatzmassnahmen	Ereignismanagement erforderlich (z. B. Monitoring, Beobachten, Schutzausrüstung), Planung von Zusatzmassnahmen nicht notwendig.
Zusatzmassnahmen, soweit verfügbar	Zusätzliche Massnahmen für die Risikominimierung sind zu prüfen und unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit anzuwenden (Proportionalität Risikominimierung vs. Kosten nach dem ALARP-Prinzip). ALARP = as low as reasonably practicable.
Notfallmassnahmen zwingend notwendig	Extrem seltene Ereignisse mit grossem Schadenspotenzial. Für diese Ereignisse müssen entsprechende Notfallpläne mit organisatorischen Massnahmen ausgearbeitet und geplant werden.
Zusatzmassnahmen zwingend notwendig	Risiko ist durch technische, konzeptionelle oder organisatorische Massnahmen systematisch zu reduzieren.

Tab. 2-3: Bewertungsmatrix (4×4)

		W			
		Sehr klein	Klein	Mittel	Hoch
A		1	2	3	4
	Hoch	4*	8	12	16
	Mittel	3	6	9	12
	Klein	2	4	6	8
	Sehr klein	1	2	3	4

A = Ausmass, W = Eintretenswahrscheinlichkeit
 — Akzeptanzlinie definiert für die BTRA

Der Risikowert 4* befindet sich im «akzeptablen Bereich» mit besonderen Massnahmen der Aktionsstrategie und wird als Sonderfall behandelt. Die Zelle 4* beinhaltet extrem selten eintreffende Gefährdungen (W = 1) mit sehr grossem Schadenspotenzial (A = 4). Die Eintretenswahrscheinlichkeit des Risikos kann durch Massnahmen nicht weiter herabgesetzt werden, da sie bereits dem kleinstmöglichen Wert W = 1 entspricht. Eine konkrete Risikoreduktion ist selten möglich. Massnahmen zur Reduktion der Auswirkung (Schadenspotenzial) sind bei diesem Sonderfall meist nicht wirtschaftlich oder es gibt keine Möglichkeit, die Auswirkung mithilfe von Massnahmen zu reduzieren. Deshalb müssen zur Beherrschung der Konsequenzen (Auswirkung) des Eintretens organisatorische Massnahmen und Notfallpläne ausgearbeitet und bereitgestellt werden.

3 Projektspezifische Rahmenbedingungen

Wie in Kapitel 2.2 geschrieben, spielen die Rahmenbedingungen bei der Durchführung einer Risikoanalyse eine entscheidende Rolle. Die Rahmenbedingungen dienen als Grundlage und Leitfaden für den gesamten Prozess der Risikobewertung und für die Massnahmenplanung und spiegeln den Kontext, die Ziele und Besonderheiten des Projekts wider. Aus diesem Grund werden die projektspezifischen Rahmenbedingungen im Folgenden kurz erläutert, bevor im nächsten Kapitel auf den Inhalt und die Umsetzung der BTRA eingegangen wird.

3.1 Baugrund

Die Angaben zum Baugrund sind die Grundlage für die ingenieurtechnische Planung der standortspezifischen Lagerprojekte. Die Informationen zum Baugrund und die standortspezifischen Lagerprojekte stellen die Ausgangslage dar, um potenzielle Risiken zu identifizieren, zu bewerten und eine geeignete Massnahmenplanung durchzuführen. Für die BTRA sind insbesondere die standortspezifischen Homogenbereiche unter Berücksichtigung der Störungzonen relevant und im Folgenden zusammenfassend beschrieben. Weitergehende Angaben zur Ingenieurgeologie finden sich in den standortspezifischen ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d).

Ingenieurgeologische Homogenbereiche

Die Zugangsbauwerke der geologischen Tiefenlager durchörtern verschiedene lithografische Gesteinseinheiten. In den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d) werden die Gesteinseinheiten in Homogenbereiche (Hb) zusammengefasst. Die Tab. 3-1 zeigt die Übersetzung der ingenieurgeologischen Homogenbereiche (Hb) in bautechnische Homogenbereiche (HB). An den Standorten Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO) durchörtern die Schachtbauwerke vergleichbare HB. Am Standort Jura Ost (JO) werden nur zwei HB aufgeföhren (HB4* und HB5). Die Bauwerke auf Lagerebene und der Zugangstunnel JO¹ befinden sich alle ausschliesslich in vergleichbaren HB (HB5).

¹ In JO befindet sich der Zugangstunnel von der Geländeoberfläche bis auf Lagerebene im HB5.

Tab. 3-1: Ingenieurgeologische Homogenbereiche (Hb) und bautechnische Homogenbereiche (HB) inkl. lithologischen Kurzbeschriebs

Ingenieurgeologische Homogenbereiche (Hb)			Bautechnische Homogenbereiche (HB)			Lithologischer Kurzbeschrieb
JO	NL	ZNO	JO	NL	ZNO	
	Hb1 NL	Hb1 ZNO		HB1	HB1	Molasse
	Hb2 NL	Hb2 ZNO		HB2	HB2	«Felsenkalke» und «Massenkalk»
	Hb3 NL	Hb3 ZNO		HB3	HB3	Schwarzbach- und Villigen-Formation
Hb1 JO	Hb4 NL	Hb4 ZNO	HB4*	HB4	HB4	Wildeggen-Formation und Dogger oberhalb Opalinuston
Hb2 JO	Hb5 NL	Hb5 ZNO	HB5	HB5	HB5	Opalinuston

Die bautechnischen Homogenbereiche der Zugangsbauwerke (Schächte) zur Lagerebene sind in Fig. 3-1 für alle drei Standorte dargestellt.

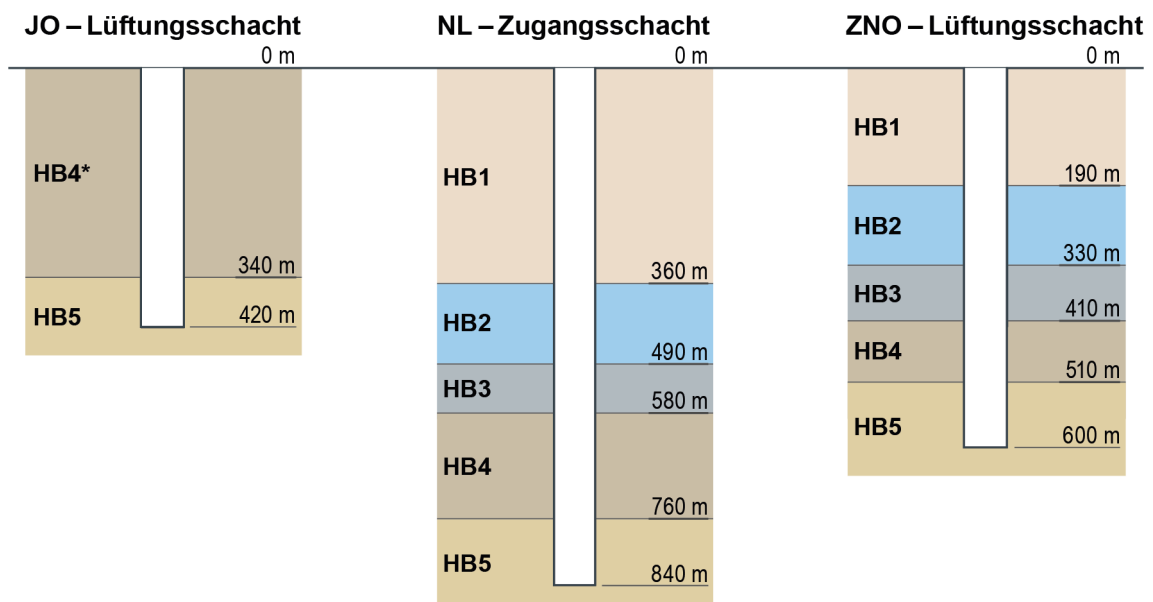


Fig. 3-1: Homogenbereiche Fels der Schächte in den Standortgebieten NL (Zugangsschacht), ZNO (Lüftungsschacht) und JO (Lüftungsschacht)

Störungszone

In den ingenieurgeologischen Berichten wird die Störungszone in vier unterschiedliche Typen unterteilt, die sich hinsichtlich ihrer Ausprägung unterscheiden (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d). In Fig. 3-2 ist grafisch dargestellt, welche Typen von Störungszone in den standortspezifischen Lagerprojekten und welche in der BTRA berücksichtigt werden. Die Einteilung orientiert sich an der Wahrscheinlichkeit, mit welcher eine entsprechende Ausprägung der Störungszone angetroffen wird.

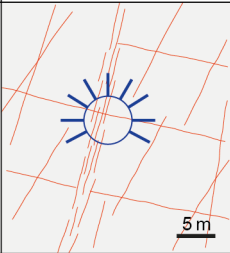
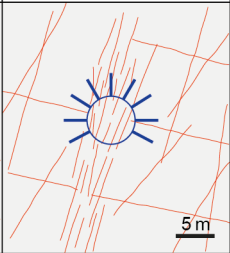
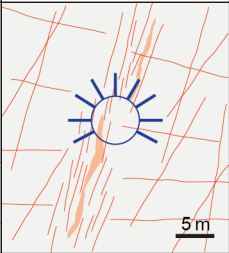
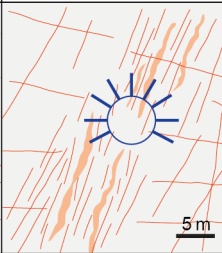
	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV
Beschreibung der Störungszone	Bis zu wenige Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich	Mehrere Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich	Mehrere Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich mit einer bis zu metrigen, stark zerrütteter und brekziöser «Kernzone»	Zehner Meter mächtiger Gebirgsbereich mit Trennflächenabstände im dm-Bereich mit einer bis mehrere Meter mächtigen, stark zerrütteten und brekziösen «Kernzone»
Skizze zum Aufbau der Störungszone				
Seismisch nicht kartierte Störungszone	Lagerprojekt		BTRA	
Seismisch kartierte Störungszone	Lagerprojekt			BTRA

Fig. 3-2: Zuordnung der Störungszone gemäss den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d) zu den standortspezifischen Lagerprojekten und der BTRA

Mit Darstellung des Normalprofils des Betriebstunnels in der Skizze als Referenz.

3.2 Standortspezifische Lagerprojekte

Im Rahmen der Entwicklung der standortspezifischen Lagerprojekte ist eine Gefährdungsbildanalyse auf Grundlage der erwarteten Baugrundverhältnisse durchgeführt worden, auf deren Basis Massnahmenpakete für den Bau der untertägigen Bauwerke definiert worden sind. Eine detaillierte Beschreibung der Gefährdungsbilder und Massnahmen ist im technischen Beschrieb (Nagra 2023e) zu finden. Im Folgenden werden die standortspezifischen Lagerprojekte kurz vorgestellt.

An den Standorten NL und ZNO erfolgt der Zugang nach untertag für die HAA-Einzellager und das Kombilager über drei Schächte und für ein SMA-Einzellager am Standort ZNO über zwei Schächte. Am Standort JO erfolgt die Erschliessung der Lagerebene für ein HAA-Einzellager und ein SMA-Einzellager über einen einröhriigen Zugangstunnel und einen Schacht. Die Schächte werden alle nach dem aktuellen Planungsstand konventionell abgeteuft, wobei das Gebirge mittels Sprengvortrieb gelöst wird. Zur Vermeidung von Wasserzutritten während des Abteufens der Schächte wird an den Standorten NL und ZNO in den HB1 bis HB3 das Gefrierverfahren in

Kombination mit vorgängigen Zementinjektionen des Gebirges angewendet. Im HB4* am Standort JO und im HB4 an den Standorten NL und ZNO sind sporadische vorausseilende Injektionsschirme vorgesehen. In den HB1 bis HB3 an den Standorten NL und ZNO wird die Ausbruchssicherung mit Stahlfaserspritzbeton und einer kurzen Systemankerung ausgeführt. In den HB4, HB4* und HB5 wird wegen des druckhaften Gebirges eine nachgiebige Ausbruchssicherung mit Stahlbögen, Spritzbeton und einer Systemankerung eingesetzt. Die Abdichtung der Schächte erfolgt von der Oberfläche bis zur Einbindung in den Opalinuston mit einem Stahlblechmantel (druckwasserhaltende Abdichtung). Der Bergwasserdruck wird über eine entsprechend dimensionierte Ortbetonschale aufgenommen. Im HB5 (Opalinuston) ist keine Abdichtung erforderlich. Um den Eintrag von Wasser in den Opalinuston zu vermeiden, erfolgt das Abteufen in diesen erst, nachdem der Einbau der Abdichtung und der Ortbetoninnenschale im bereits ausgebrochenen Teil des Schachts erfolgt ist. Im Betriebszustand sind an den Übergängen vom HB3 zu HB4 (nur NL und ZNO) und am Übergang vom HB4 bzw. HB4* zum HB5 (alle Standorte) Abdichtungsringe vorgesehen.

Vor dem Bau der Schächte sind Erkundungsmassnahmen an den Schachtstandorten vorgesehen.

Der Zugangstunnel JO wird mittels einer Schild-TBM aufgeföhren. Aufgrund des druckhaften Gebirges erfolgt der temporäre Ausbau mittels eines nachgiebigen Tübbingausbaus mit tangentialen Stauchelementen. Dem Vortrieb mit einem gewissen Abstand folgend oder erst nach der Beendigung des Vortriebs wird der Zugangstunnel mit einer Ortbetoninnenschale dauerhaft ausgebaut.

Die Bauwerke auf Lagerebene werden alle, mit Ausnahme des Hauptlagers HAA, konventionell gemäss aktuellem Planungsstand im Sprengvortrieb erstellt. Der Vortrieb erfolgt im Vollausbuch. Im Hauptlager SMA wird die Lagerkaverne mit einer abgetreppten Ortsbrust im Vollausbuch vorgetrieben. Aufgrund des druckhaften Gebirges ist bei allen konventionell vorgetriebenen Bauwerken eine nachgiebige Ausbruchssicherung mit einer geschlitzten Spritzbetonschale, nachgiebigen TH-Stahlbögen und einer Systemankerung vorgesehen. Bei Bedarf ist eine Ortsbrustversiegelung und -ankerung vorgesehen. Der Einbau der Verkleidung in Form einer starren Ortbetonschale oder einer Spritzbetonschale erfolgt nach dem Abklingen der Kurzzeitverformungen.

Bei den konventionell vorgetriebenen Bauwerken ist eine vortriebsbegleitende Erkundung vorgesehen.

Das Hauptlager HAA wird mit einer Schild-TBM aufgeföhren und mit einem starren Tübbingausbau aus hochfestem Beton ausgebaut.

In den Lagerprojekten sind mehrere Versiegelungsbauwerke vorgesehen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Abschluss der Einlagerung und während bzw. nach der Beobachtungsphase eingebaut werden. Eine detaillierte Beschreibung der unterschiedlichen Versiegelungsbauwerke, deren Erstellung und deren Aufbau ist in Nagra (2021) zu finden. Für die Erstellung der Versiegelungsbauwerke muss im Bereich des Dichtelements des Versiegelungsbauwerks der bestehende Ausbau geraubt werden, um einen direkten Kontakt zwischen Dichtelement und Gebirge zu gewährleisten. Zudem ist eine Verstärkung der angrenzenden Abschnitte der Bauwerke vorgesehen.

3.3 Repräsentative Bauwerke

Da sich die Bauwerke des geologischen Tiefenlagers (gTL) bezüglich ihrer Geometrie, Homogenbereiche und des Bauverfahrens ähneln, werden die Bauwerke in der BTRA in Gruppen betrachtet, wobei für jede Gruppe ein repräsentatives Bauwerk gewählt und berücksichtigt wird. Die Gruppierung der Bauwerke und die Wahl des dafür repräsentativen Bauwerks berücksichtigen folgende Aspekte:

- bautechnische Homogenbereiche und Tiefenlage
- Geometrie (Normalprofile) und Orientierung Bauwerk
- Bauverfahren

Damit wird sichergestellt, dass alle bautechnisch relevanten Gefährdungen der einzelnen Bauwerke mit einer Ursache im Baugrund in der Risikoanalyse abgebildet werden.

Folgende Bauwerke wurden als repräsentative Bauwerke für die einzelnen Gruppen gewählt und nach den Kriterien 4.1 und 4.2 aufgeteilt:

- Kriterium 4.1 «Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen»:
Hauptlager HAA (Nr. 20; Fig. 1-1), Lagerstollenabzweiger HAA (Nr. 24)/Lagerkavernenabzweiger SMA (Nr. 23), Hauptlager SMA (Nr. 13), Versiegelungsbauwerk V1-HAA, Betriebstunnel SMA (Nr. 9)/HAA (Nr. 15)
- Kriterium 4.2 «Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung»:
Betriebsschacht (Nr. 1) (NL, ZNO) bzw. Lüftungsschacht (Nr. 2) (JO), Zugangstunnel JO (Nr. 25)

In Tab. A-1 im Anhang ist die Zuordnung der Bauwerke hinsichtlich der oben genannten Kriterien (Geometrie, Bauverfahren und Homogenebereiche/Tiefenlage) detailliert aufgelistet. Die Analyse anhand von repräsentativen Bauwerken ist zulässig, da in der BTRA kein Gesamtrisikowert berechnet wird, sondern sichergestellt wird, dass alle möglichen Risiken auf ein akzeptiertes Mass reduziert werden können. In Fig. 3-3 sind die repräsentativen Bauwerke in der Legende farblich hervorgehoben und es ist grafisch dargestellt, welche weiteren Bauwerke sie repräsentieren. Zudem ist in Tab. A-1 im Anhang die Zuordnung der Bauwerke hinsichtlich der oben genannten Kriterien (Geometrie, Bauverfahren und Homogenebereiche/Tiefenlage) detailliert aufgelistet.

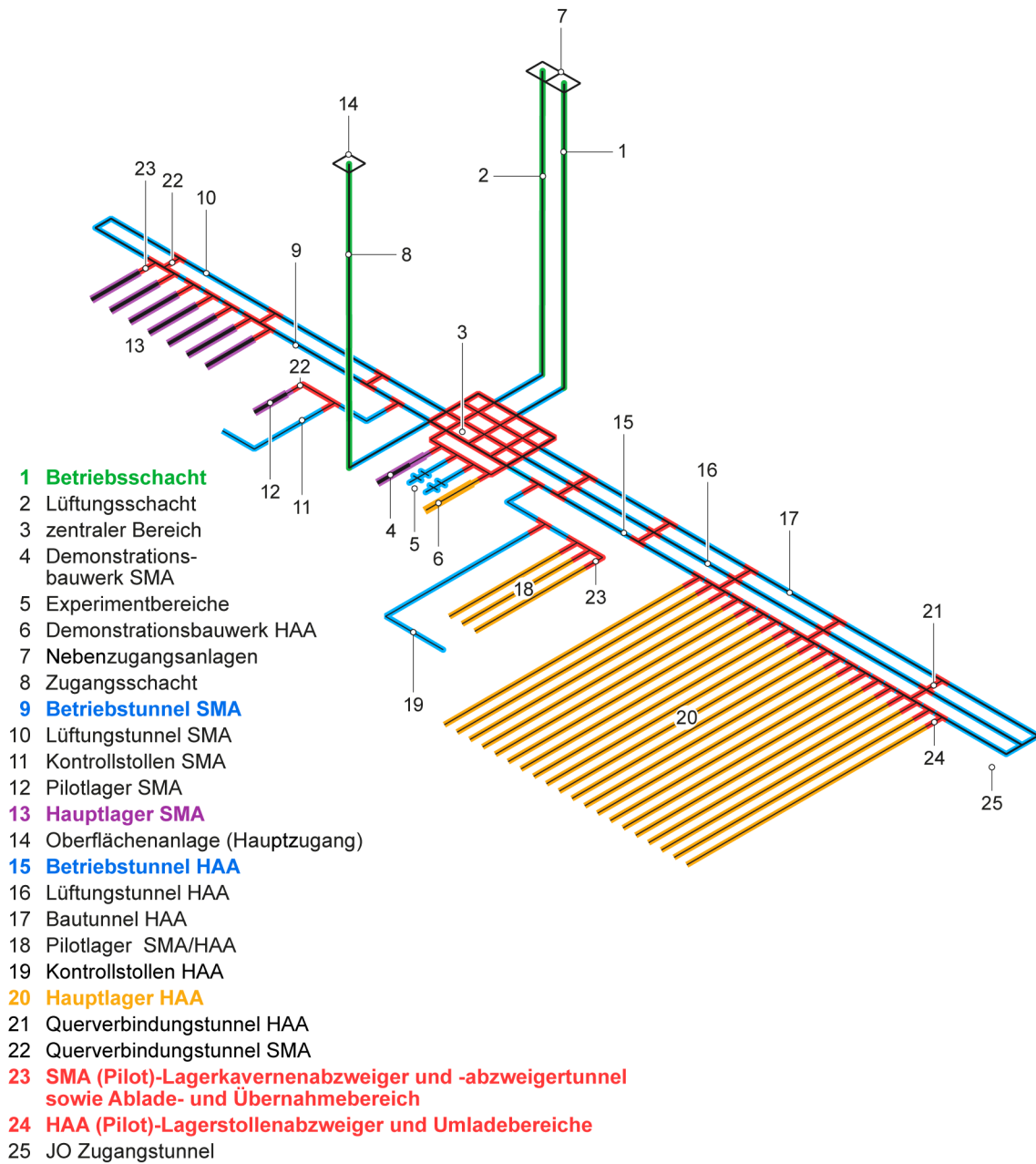


Fig. 3-3: Darstellung der für die einzelnen Gruppen repräsentativen Bauwerke in der Legende und der gruppierten Bauwerke (farblich)

4 Projektspezifische Umsetzung

Die BTRA wird für jeden Standort jeweils für ein HAA-Einzellager sowie für ein SMA-Einzellager resp. für ein SMA-Teil eines Kombilagers im Fall von NL durchgeführt. Für die Durchführung wird ein bautechnischer Risikokatalog verwendet, welcher auf der in Kapitel 2 generisch beschriebenen Methodik beruht.

4.1 Risikoidentifikation

In der BTRA werden alle potenziellen Risiken identifiziert, welche sich beim Bau aus baugrundbedingten Ursachen ergeben können. Da in der BTRA ausschliesslich Risiken mit einer negativen Auswirkung betrachtet werden, werden Risiken im Folgenden als Gefährdungen bezeichnet. Die Beschreibung der Gefährdungen erfolgt wie im Untertagbau üblich in der Form von Gefährdungsbildern.

Ausgehend von den standortspezifischen Lagerprojekten werden in der BTRA ausschliesslich Gefährdungen betrachtet, deren Ursachen sich aus Abweichungen von den erwarteten Baugrundverhältnissen ergeben. Bei den Ursachen wird dabei zwischen dem Antreffen von Störungszonen und unerwarteten Baugrundeigenschaften unterschieden:

- Störungszonen
 - In allen Homogenbereichen wird als Abweichung von den erwarteten Baugrundverhältnissen das Antreffen von Störungszonen des Typs III und IV gemäss Fig. 3-2 berücksichtigt.
- Baugrundeigenschaften
 - Im HB5 wird der ungünstige Fall betrachtet, dass sich das Gebirge druckhafter verhält als erwartet. Dies kann durch eine niedrigere Festigkeit und Steifigkeit, ein unerwartetes Verhalten der Porenwasserdrücke, eine höhere Permeabilität oder einen unerwarteten Spannungszustand ausgelöst werden.
 - Im HB5 wird der ungünstige Fall betrachtet, dass sich das Gebirge wegen eines geringeren Trennflächenabstands nachbrüchiger verhält als erwartet.
 - In den HB1 bis HB4 bzw. HB4* werden in den entsprechenden Formationen eine erhöhte Druckhaftigkeit, eine erhöhte Nachbrüchigkeit und erhöhte Werte für den initialen und permanenten Wasserzutritt als erwartet berücksichtigt.

4.1.1 Gefährdungen für Bauwerke des Kriteriums 4.1

In Tab. 4-1 sind die identifizierten Gefährdungen und deren Beschreibungen in Form von Gefährdungsbildern für die Bauwerke des Kriteriums 4.1 zusammengefasst. Unabhängig von der Ursache sind für alle Bauwerke dieselben Gefährdungen identifiziert worden. Ausgenommen davon ist das Versiegelungsbauwerk V1-HAA. Da der Ort des Bauwerks erst nach dem Vortrieb der Lagerstollen festgelegt wird, wird für die Gefährdungen bei diesem Bauwerk das Antreffen einer Störungzone nicht betrachtet.

Tab. 4-1: Gefährdungen infolge des Antreffens einer Störungszone Typ III/Typ IV oder unerwarteter Baugrundeigenschaften (Bauwerke im Kriterium 4.1)

Gefährdungen	Gefährdungsbild	HB	Bauwerke
Unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus aufgrund druckhaften Gebirges	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren und dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	HB5	Alle Bauwerke
Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebs-einrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	HB5	Alle konv. vorgetriebenen Bauwerke, Versiegelungsbauwerk V1-HAA
Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebs-einrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	HB5	Alle konv. vorgetriebenen Bauwerke
Verklemmen des Schildes aufgrund druckhaften Gebirges	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verklemmen der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	HB5	Hauptlager HAA
Blockierter Bohrkopf infolge Ortsbrustinstabilitäten	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (vorausseilende Ortsbrust).	HB5	Hauptlager HAA

Tab. 4-1: Fortsetzung

Gefährdungen	Gefährdungsbild	HB	Bauwerke
Versagen des Felspfeilers	Durch die Spannungumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfeilers, z. B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfeilers und einer Gefährdung des Personals und der Vortriebs-einrichtung.	HB5	SMA-Lagerkavernen-abzweiger und -abzweigertunnel oder HAA-Lagerstollen-abzweiger
Versagen des angrenzenden Ausbaus	Wegen der Spannungumlagerung auf die angrenzenden Ausbauquerschnitte, die nicht geraubt werden sollen, kann es dort zu einem Versagen des Ausbaus kommen. Dadurch kommt es zu einer Gefährdung des Personals und der Vortriebs-einrichtung.	HB5	Versiegelungsbauwerk V1-HAA

4.1.2 Gefährdungen für Bauwerke des Kriteriums 4.2

In Tab. 4-2 sind die identifizierten Gefährdungen und deren Beschreibungen in Form von Gefährdungsbildern für die Bauwerke des Kriteriums 4.2 zusammengefasst. In HB1 bis HB3 wurden keine Gefährdungen identifiziert, da das in den Lagerprojekten geplante Gefrierverfahren in diesen Homogenbereichen Niederbrüche und Wassereinbrüche auch im ungünstigsten Fall verhindert.

Unabhängig von der Ursache wurden auch hier für alle Bauwerke dieselben Gefährdungen identifiziert.

Tab. 4-2: Gefährdungen infolge des Antreffens von Störungszonen Typ III/Typ IV oder unerwarteter Baugrundeigenschaften (Bauwerke im Kriterium 4.2)

Gefährdungen	Gefährdungsbild	HB	Bauwerke
Kurzfristiger Wassereinbruch	Ausfliessen des Poren- oder Kluftwassers in den Vortriebsbereich bis zur Entleerung oder Entspannung des Systems, dadurch kann das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	HB4/ HB4*	Schachtbauwerk

Tab. 4-2: Fortsetzung

Gefährdungen	Gefährdungsbild	HB	Bauwerke
Langfristiger/dauernder Wassereintritt	Das Gebirge ist ausreichend durchlässig und es stellt sich eine Balance zwischen Zufluss und Abfluss ein, sodass permanent Wasser zutritt. Dadurch kann das Personal und die Vortriebs-einrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	HB4/ HB4*	Schachtbauwerk
Unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus aufgrund druckhaften Gebirges	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren und dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	HB4/ HB4*, HB5	Schachtbauwerk
Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum, dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebs-einrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	HB4/ HB4*, HB5	Schachtbauwerk
Verkleben des Schildes aufgrund druckhaften Gebirges	Eine rasche Verengung des Ring-spalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	HB5	Zugangstunnel JO
Blockierter Bohrkopf infolge Ortsbrustinstabilitäten	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (voraussetzende Ortsbrust).	HB5	Zugangstunnel JO

4.1.3 Erkennung der Abweichung

Der Zeitpunkt, zu dem eine Abweichung erkannt wird, ist bei der Massnahmenplanung von Bedeutung. Daher wird in der BTRA bei den Gefährdungen abhängig von den Ursachen zwischen zwei Situationen unterschieden.

Störungszonen

- Situation 1: Eine Störungszone wird bei der Erkundung erkannt und die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen einer Gefährdung, z. B. «Niederbruch», werden bewertet und falls notwendig wird eine Massnahmenplanung durchgeführt.
- Situation 2: Eine Störungszone wird trotz Erkundung nicht erkannt, sondern erst während des Vortriebs angefahren. Die initiale Wahrscheinlichkeit und die initialen Auswirkungen einer Gefährdung sind dieselben wie bei Situation 1, wobei die Auswahl an möglichen Massnahmen gegenüber Situation 1 eingeschränkt sein kann.

Baugrundeigenschaften

- Situation 1: Die unerwarteten Baugrundeigenschaften werden während der Erkundung oder der erdwissenschaftlichen Untersuchungen untertag (EUU) erkannt, die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen einer Gefährdung, z. B. «Niederbruch» werden bewertet und falls notwendig werden Massnahmen vorgesehen.
- Situation 2: Die unerwarteten Baugrundeigenschaften werden nicht vorgängig, sondern erst während des Vortriebs erkannt. Die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen einer Gefährdung, z. B. «Niederbruch», sind dieselben wie bei Situation 1, wobei die Auswahl an möglichen Massnahmen gegenüber Situation 1 eingeschränkt sein kann.

4.2 Risikoanalyse

In der Risikoanalyse werden den identifizierten Gefährdungen, basierend auf den projektspezifischen Randbedingungen und aus Erfahrungen von anderen Projekten, eine Eintretenswahrscheinlichkeit und Auswirkungen auf die Projektanforderungen zugeordnet. Im Folgenden wird zunächst auf die hierfür in der BTRA verwendeten Klassifizierungstabellen und die massgebenden Projektanforderungen eingegangen. Danach wird das Vorgehen und die Umsetzung in der BTRA erläutert.

4.2.1 Eintretenswahrscheinlichkeit

In der BTRA wird die qualitative Klassifizierung der Eintretenswahrscheinlichkeit nach DAUB & ITA-AITES (2022) verwendet, die in Tab. 4-3 dargestellt ist.

Tab. 4-3: Klassifizierung der Eintretenswahrscheinlichkeit (W)

Wahrscheinlichkeitsklasse W	Beurteilung	Beurteilungskriterium
1	Sehr klein	Denkbar, aber während des betrachteten Zeitraums praktisch auszuschliessen, nur seltene Fälle sind dokumentiert.
2	Klein	Es ist davon auszugehen, dass das Ereignis/die Gefährdung einmal während des betrachteten Zeitraums auftreten kann, Einzelfälle sind dokumentiert.
3	Mittel	Es ist davon auszugehen, dass das Ereignis/die Gefährdung während des Zeitraums mehrfach auftreten kann, mehrfaches Auftreten ist dokumentiert.
4	Hoch	Wird mit hoher Wahrscheinlichkeit in grösserer Zahl auftreten, viele Fälle von vielen Baustellen sind bekannt, sehr häufiges Auftreten ist dokumentiert.

4.2.2 Auswirkung auf Projektanforderungen

Für die BTRA wurden die massgebenden Projektanforderungen, wofür die Auswirkung der identifizierten Risiken bestimmt werden soll, mithilfe einer Grobanalyse festgelegt.

Die Grobanalyse ist eine erste Risikobeurteilung mit niedrigem Detaillierungsgrad. Aus Vereinfachungsgründen basiert sie auf einem Ursachenkatalog, der gemäss dem Gefahrenregister der SIA 199: Erfassen des Gebirges im Untertagebau, Anhang E «Gefahren und Gefährdungsbilder» (SIA 2015) aufgebaut ist. Die Grobanalyse untersucht die Auswirkung aller im Ursachenkatalog erfassten Einflüsse auf alle Projektanforderungen.

Die durch die Grobanalyse identifizierten massgebenden Projektanforderungen sind:

- Arbeitssicherheit
- Kosten
- Termine
- Qualität

Die «Qualität» ist die Projektanforderung, welche für die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers steht, indem sie eine direkte Wirkung über den Verschluss des geologischen Tiefenlagers hinaus hat.

Weitere Angaben zu dem Aufbau, dem Vorgehen und der Auswertung der Grobanalyse sind in Anhang C zu finden.

Tab. 4-4: Klassifizierung der Auswirkungen der einzelnen Projektanforderungen

Klasse A	Beurteilung	Arbeits-sicherheit und Gesund-heitsschutz	Einhaltung vereinbarter Termine ²	Einhalten der Kostenziele	Gewährleistung der vereinbarten Qualität
1	Sehr klein	Geringfügige Personenschäden, ohne Ausfallzeit von mehr als 1 Tag	Abweichung im Maximum im Bereich weniger Tage	Kosten-überschreitung < 0.1 Mio. CHF	Geringfügige Beeinträchtigungen, keine Massnahmen erforderlich
2	Klein	Kleine bleibenden Personenschäden; Ausfallzeit 2 – 3 Tage	Weniger als 2 Monate, IBN wird gehalten.	Kosten-überschreitung 0.1 bis 1 Mio. CHF	Unwesentliche Beeinträchtigungen, welche mit einfachen Massnahmen behoben werden können
3	Mittel	Bleibende Gesundheitsschäden; Ausfallzeit über 3 Tage	2 bis 6 Monate, IBN gefährdet.	Kosten-überschreitung 1 Mio. bis 10 Mio. CHF	Qualität teilweise beeinträchtigt, evtl. leicht erhöhter Erhaltungsaufwand, leichte Beeinträchtigung des Betriebs und ohne Nachteile für die LZS
4	Hoch	Schwere bleibende Gesundheitsschäden bis Todesfolgen	Mehr als 6 Monate, IBN wird nicht gehalten.	Kosten-überschreitung > 10 Mio. CHF	Qualität stark beeinträchtigt, dauerhafte Nachteile im Betrieb und für die LZS

4.2.3 Ermittlung des initialen Risikowerts

Ausgehend von den standortspezifischen Lagerprojekten und unter Verwendung der Klassifizierungstabellen (Tab. 4-3 und Tab. 4-4) werden für jede identifizierte Gefährdung eine Eintretenswahrscheinlichkeit und die Auswirkungen auf die vier Projektanforderungen abgeschätzt. Aus diesen Werten wird dann der initiale Risikowert ermittelt, anhand dessen die Gefährdung bewertet wird und bei Bedarf die Massnahmenplanung erfolgt. Im Folgenden werden die Annahmen beschrieben, auf denen die Ermittlung des Risikowerts beruht.

² Die gesamte Bauzeit für den Bau und den Verschluss beträgt gemäss aktueller Planungsannahmen 100 Jahre (Nagra 2023e). Die Bauzeit beinhaltet die Beobachtungsphase von 50 Jahren, in der nicht gebaut wird.

Störungszonen

Um die Auswirkung einer Störungzone beim Vortrieb des Hauptlagers HAA infolge der Gefährdungen «Verkleben des Schildes» und «unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus» abschätzen zu können, wird für das mechanische Gebirgsverhalten angenommen, dass für den zerrütteten Kern der Störungzone die in der Projektbasis (Nagra 2023f) aufgeführten Minimalwerte der Gebirgsparameter gelten. Konservativ wird eine unendliche grosse Ausdehnung des Kerns angenommen. Angaben zu den daraus resultierenden Normalkräften und notwendigen Überschnitten sind im Anhang B zu finden.

Für die Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit und der Auswirkung auf die einzelnen Projektanforderungen der Gefährdungen des kurzfristigen und des langfristigen Wassereintritts dienen die standortspezifischen Angaben zu den erwarteten initialen und permanenten Wasserzutritten in einer Störungzone aus den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d). Die Angaben sind in Tab. 4-5 zusammengefasst.

Tab. 4-5: Standortspezifische Werte für die erwarteten, initialen und permanenten Wasserzutritte in einer Störungzone in HB4 an den Standorten NL und ZNO und HB4* am Standort JO gemäss ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d)

Beschreibung	Einheit	JO	NL	ZNO
Initialer Wasserzutritt in einer Störungzone	l/min/m	10 – 100	1 – 10	1 – 10
Permanenter Wasserzutritt in einer Störungzone	l/min/m	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Es wird zunächst auf die initialen Risikowerte für Gefährdungen eingegangen, die infolge des Antreffens einer Störungzone Typ III auftreten. Die Unterschiede zu einem Antreffen einer Störungzone Typ IV werden am Ende des Abschnitts erläutert.

- **Alle Zugangsbauwerke und Bauwerke auf der Lagerebene**

- **«unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus»**

- **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Aufgrund der unterschiedlichen Tiefenlagen wird sie am Standort JO mit «klein» und bei den Standorten NL und ZNO mit «mittel» bewertet.
- **Auswirkung:** Die Auswirkung auf die Projektanforderungen «Termine» und «Kosten» wird mit «klein», für die «Qualität» mit «mittel» und für die «Arbeitsicherheit» mit «sehr klein» abgeschätzt. Grund hierfür ist, dass die Ursache für diese Gefährdung ein zeitabhängiger Prozess ist. Die Gefährdung tritt nicht schlagartig auf und Schäden können sukzessive ausgebessert werden. Dadurch verursachen die notwendigen Instandsetzungsmassnahmen weder hohe Kosten und noch einen langen Zeitverzug. Der Zustand des Ausbaus ist für die LZS nicht massgebend, der Betrieb kann jedoch durch die Instandsetzungen teilweise beeinträchtigt sein.

- **Hauptlager HAA und Zugangstunnel JO**
 - **«Verklemmen des Schildes»**
 - **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Aufgrund der unterschiedlichen Tiefenlagen wird sie am Standort JO mit «klein» und bei den Standorten NL und ZNO mit «mittel» bewertet.
 - **Auswirkung:** Im ungünstigsten Fall muss die TBM aufgegeben oder befreit werden. Daher wird die Auswirkung auf die «Termine» und «Kosten» für diese Gefährdung bei dem Hauptlager HAA und dem Zugangstunnel JO mit «mittel» bewertet. Die Auswirkung auf die «Qualität» wird bei dem Hauptlager HAA mit «hoch» abgeschätzt, da der betroffene Bereich nach der Befreiung der TBM wegen der vergrößerten Auflockerungszone nicht mehr für die Einlagerung verwendet werden kann. Für den Zugangstunnel JO wird die Auswirkung auf die «Qualität» als «klein» abgeschätzt, da dieser keine Sicherheitsfunktion hat und der spätere Betrieb nicht beeinträchtigt wird.
 - **«blockierter Bohrkopf infolge Ortsbrustinstabilitäten»**
 - **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Sie wird für alle Standorte mit «mittel» abgeschätzt, da der zerrüttete Kern in der Störungszone die Gefährdung für Ortsbrustinstabilitäten unabhängig von der Tiefenlage erhöht.
 - **Auswirkung:** Die Auswirkung auf die «Arbeitssicherheit» wird mit «sehr klein» abgeschätzt, da das Personal nicht gefährdet ist. Die Auswirkung auf die Projektanforderungen «Termine» und «Kosten» wird mit «mittel» bewertet, da das Blockieren des Bohrkopfs im ungünstigsten Fall zu einem Aufgeben der TBM führen kann. Die Auswirkung auf die «Qualität» wird beim Zugangstunnel JO mit «klein» bewertet. Beim Hauptlager HAA wird die Auswirkung auf die «Qualität» mit «hoch» abgeschätzt, da der Lagerstollen möglicherweise nicht mehr für die Einlagerung verwendet werden kann.
- **Alle konventionell vorgetriebenen Bauwerke auf der Lagerebene und Zugangsbauwerke**
 - **«Niederbruch»**
 - **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Sie wird wegen des zerrütteten Kerns der Störungszone trotz der im Lagerprojekt vorgesehenen Massnahmen beim Sicherungstyp 2 mit «mittel» bewertet. Der massgebende Grund hierfür ist, dass alle Bauwerke im Vollausbruch vorgetrieben werden.
 - **Auswirkung:** Die Auswirkung auf die «Arbeitssicherheit» wird als «klein» bewertet. Grund hierfür ist, dass in der Planung der Lagerprojekte bereits festgelegt worden ist, dass sich während des Vortriebs keine Personen im ungesicherten Bereich befinden dürfen. Die Auswirkung eines Niederbruchs auf die «Termine» und die «Kosten» werden wegen der ohnehin vorgesehenen engen Systemankerung und des Stahlfaserspritzbetons mit «klein» abgeschätzt. Die Auswirkung auf die «Qualität» wird für alle konventionell vorgetriebenen Bauwerke mit Ausnahme des Hauptlagers SMA mit «klein» abgeschätzt, da die LZS bei diesen Bauwerken nicht massgebend ist. Beim Hauptlager SMA hingegen wird die Auswirkung wegen der möglichen vergrößerten Auflockerungszone und der Bedeutung für die LZS mit «hoch» abgeschätzt.

- **«Niederbruch aus der Ortsbrust»**
 - **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Wegen der beim Sicherungstyp 2 vorgesehenen Ortsbrustankerung wird sie mit «klein» bewertet.
 - **Auswirkung:** Die Auswirkung auf die «Arbeitssicherheit» wird als «klein» bewertet. Grund hierfür ist, dass in der Planung der Lagerprojekte bereits festgelegt worden ist, dass sich während des Vortriebs keine Personen im ungesicherten Bereich befinden dürfen. Die Auswirkung auf die «Termine» und die «Kosten» wird wegen der Ortsbrustankerung mit «sehr klein» abgeschätzt. Die Auswirkung auf die «Qualität» wird für alle konventionell vorgetriebenen Bauwerke mit Ausnahme des Hauptlagers SMA mit «klein» abgeschätzt, da die LZS bei diesen Bauwerken nicht massgebend ist. Beim Hauptlager SMA hingegen wird die Auswirkung wegen der möglichen vergrösserten Auflockerungszone und der Bedeutung für die LZS mit «hoch» abgeschätzt.
- **Lagerstollen-/Lagerkavernenabzweiger**
 - **«Versagen des Felsfeilers»**
 - **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Sie wird wegen der geringeren Tiefenlage in JO mit «klein» und in ZNO und NL mit «mittel» abgeschätzt.
 - **Auswirkung:** Die Auswirkung auf die «Arbeitssicherheit» wird als «sehr klein» und die auf die «Qualität» als «klein» bewertet. Da ein Versagen eines Felspfeilers wegen der notwendigen Instandsetzungsmassnahmen zu hohen Kosten und einem Terminverzug führen kann, wird die Auswirkung auf «Termine» und «Kosten» als «mittel» abgeschätzt.
- **Schachtbauwerk in HB4 und HB4***
 - **«kurzfristiger Wassereintritt»**
 - **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Da am Standort JO im Lagerprojekt bereits vorausseilende Injektionen bei Bedarf vorgesehen sind, wird sie mit «klein» abgeschätzt. An den Standorten NL und ZNO sind keine Abdichtungsinjektionen vorgesehen. Deshalb wird der initiale Wasserzutritt als «mittel» abgeschätzt.
 - **Auswirkung:** An allen Standorten wird die Auswirkung auf alle Projektanforderungen als «klein» abgeschätzt.
 - **«langfristiger Wassereintritt»**
 - **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Sie wird wegen der geringen Wasserzutritte an allen Standorten als «sehr klein» abgeschätzt.
 - **Auswirkung:** Die Auswirkung auf «Arbeitssicherheit», «Kosten», «Termine» und «Qualität» wird als «sehr klein» abgeschätzt.

Die Bewertung des initialen Risikos für die Ursache eines Antreffens einer Störungszone IV ist, ausser für das Bauwerk Hauptlager HAA, für alle Gefährdungen dieselbe wie beim Antreffen einer Störungszone III. Grund hierfür ist, dass sich die beiden Störungszone lediglich bezüglich der Ausprägung der zerrütteten Zone unterscheiden. Beim Hauptlager HAA erhöht sich die Eintretenswahrscheinlichkeit für die Gefährdungen **«Verkleben des Schildes»** und **«unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus»** an allen drei Standorte um eine Klasse. Das

bedeutet, dass die Eintretenswahrscheinlichkeit am Standort JO mit «mittel» und an den anderen zwei Standorten mit «hoch» abgeschätzt wird. Die Bewertung der Auswirkung ändert sich nicht gegenüber der Störungszone Typ III.

Baugrundeigenschaften

Um die Auswirkung der erhöhten Druckhaftigkeit des Gebirges auf die Projektanforderungen abzuschätzen, werden die Ergebnisse von Berechnungen von Nordas et al. (2023a) und Morosoli et al. (2023) verwendet. Dort sind der Einfluss der Annahmen zur Verteilung der Porenwasserdrücke während des Vortriebs auf das Tragwerksverhalten und die Machbarkeit des Bauverfahrens für das Hauptlager HAA und das Hauptlager SMA beschrieben. Zusätzlich sind Vergleichsrechnungen für das Hauptlager HAA mit den minimalen Gebirgsparametern im Anhang B zu finden.

Für die Abschätzung der Auswirkung der erhöhten Nachbrüchigkeit des Gebirges werden die 5-%-Perzentil-Parameter für die Trennflächenabstände aus den ingenieurgeologischen Berichten angesetzt. Die dort aufgeführten Werte sind in Tab. 4-6 zusammengefasst.

Tab. 4-6: Standortspezifische Werte für die minimalen Trennflächenabstände in HB4 an den Standorten NL und ZNO und HB4* am Standort JO und in HB5 an allen Standorten gemäss ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d)

Beschreibung	Einheit	JO	NL	ZNO
HB4	m	-	1.0	2.5
HB4*	m	0.6	-	-
HB5	m	0.6	1.0	2.5

Für die Bewertung des Gefährdungsbilds eines permanenten oder initialen Wasserzutritts im HB4 an den Standorten NL und ZNO und HB4* an dem Standort JO wird gemäss den standort-spezifischen Angaben zu den hydrogeologischen Verhältnissen in den ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d) der ungünstigste Fall betrachtet. Die dort aufgeführten Werte für den initialen und permanenten Wasserzutritt im Gebirge und einer Störungszone sind in Tab. 4-7 zusammengefasst.

Tab. 4-7: Ungünstigste Werte für den initialen und permanenten Wasserzutritt in HB4 an den Standorten NL und ZNO und HB4* am Standort JO gemäss ingenieurgeologischen Berichten (Nagra 2023b, Nagra 2023c, Nagra 2023d)

Beschreibung	Einheit	JO	NL	ZNO
Initialer Wasserzutritt im Gebirge	l/min/m	100 – 1'000	0.1 – 1	10 – 100
Permanenter Wasserzutritt im Gebirge	l/min/m	10 – 100	0.1 – 1	< 0.01
Initialer Wasserzutritt in einer Störungszone	l/min/m	1'000	10 – 100	100 – 1'000
Permanenter Wasserzutritt in einer Störungszone	l/min/m	10 – 100	0.1 – 1	< 0.01

Bei allen Gefährdungen ausser der Gefährdung **«unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus»** beim Hauptlager HAA werden die Auswirkungen mit denselben Werten wie bei den Störungszonen abgeschätzt.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit der Gefährdung **«unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus»** wird bei allen Bauwerken ausser dem Hauptlager HAA mit denselben Werten wie bei den Störungszonen abgeschätzt. Grund hierfür ist, dass die Druckhaftigkeit des Gebirges unabhängig von der Ursache dieselbe Ausprägung aufweist.

Aus demselben Grund wird für die Gefährdung **«Verklemmen des Schildes»** ebenfalls die Eintretenswahrscheinlichkeit beim Hauptlager HAA und beim Zugangstunnel JO mit denselben Werten abgeschätzt.

Beim Hauptlager HAA wird die Eintretenswahrscheinlichkeit für die Gefährdung **«unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus»** als «sehr klein» bewertet. Dies ist darin begründet, dass das Gebirgsverhalten bereits vor EUU gut erkundet ist. Zudem beträgt die Nutzungsdauer der Lagerstollen nur vier Jahre und der Einfluss der Druckhaftigkeit des Gebirges ist wegen der Zeitabhängigkeit des Prozesses aus diesem Grund gering. Die Auswirkung der Gefährdung ist auf alle Projektanforderungen mit Ausnahme der «Qualität» dieselbe wie bei den Störungszonen. Da durch die Gefährdung der gesamte Lagerstollen und nicht nur, wie bei den Störungszonen, ein Teilbereich betroffen sein kann, wird die Auswirkung auf die «Qualität» mit «hoch» abgeschätzt.

Bei den Gefährdungen **«Niederbruch»**, **«blockierter Bohrkopf infolge Ortsbrustinstabilitäten»**, **«Niederbruch aus der Ortsbrust»** und **«Versagen des Felspfeilers»** infolge eines nachbrüchigeren Gebirgsverhaltens wird die Eintretenswahrscheinlichkeit im Vergleich zu den Störungszonen um eine Klasse reduziert. Dies ist darin begründet, dass die Werte für die minimalen Trennflächenabstände grösser sind als die im Kern der Störungszonen.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit für die Gefährdung **«kurzfristiger Wassereintritt»** wird an allen Standorten mit «hoch» abgeschätzt. Am Standort JO ist dies durch die hohen Werte für den initialen Wasserzutritt begründet. An den anderen Standorten ist dies auf die fehlenden Massnahmen im Lagerprojekt zurückzuführen. Für die Gefährdung **«langfristiger Wassereintritt»** wird die Eintretenswahrscheinlichkeit mit denselben Werten wie bei den Störungszonen abgeschätzt, da die Grössenordnung der Wasserzutritte ähnlich ist.

Die Gefährdung **«Versagen des angrenzenden Ausbaus»** wird bei den Störungszonen nicht betrachtet. Aus diesem Grund wird die Ermittlung des initialen Risikowerts im Folgenden ausführlich erläutert.

- **Versiegelungsbauwerk V1-HAA**

- **«Versagen des angrenzenden Ausbaus»**

- **Eintretenswahrscheinlichkeit:** Sie wird wegen der unterschiedlichen Tiefenlagen am Standort JO mit «klein» und an den Standorten NL und ZNO mit «mittel» bewertet.
- **Auswirkung:** Die Auswirkung auf die Projektanforderungen wird überall mit «klein» bewertet.

4.3 Risikobewertung und Risikobehandlung

In der Risikobewertung werden die in der Risikoanalyse ermittelten Werte für den initialen Risikowert mit den Akzeptanzkriterien in einer Bewertungsmatrix eingeordnet, wie in Tab. 2-3 zu sehen. Für Gefährdungen, bei denen sich der initiale Risikowert nicht im akzeptablen Bereich befindet, wird eine Massnahmenplanung mit dem Ziel einer Reduktion des Risikowerts auf einen Wert im akzeptablen Bereich durchgeführt. Im Folgenden werden die Gefährdungen, deren

initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und das Ergebnis der Massnahmenplanung für jedes Bauwerk und jeden HB einzeln beschrieben. Die Massnahmen werden dabei nach Situation 1 (vor dem Vortrieb/Abteufen) und Situation 2 (während des Vortriebs/Abteufens) unterschieden.

4.3.1 Störungszonen

In Tab. 4-8 und Tab. 4-9 sind für alle Gefährdungen, die im Falle eines Antreffens einer Störungszone Typ III/IV identifiziert worden sind und bei denen ein initialer Risikowert im nicht akzeptablen Bereich ermittelt worden ist, die vorgesehenen Massnahmenpakete zur Reduktion des Risikowerts aufgelistet.

Tab. 4-8: Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke im Kriterium 4.1 zu Störungszonen: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung

Gefährdungen	Standort	Bauwerk	Massnahmen
Unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	NL, ZNO, JO	Hauptlager HAA	Situation 1: Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, Durchfahren mit nachgiebigem Tübbingausbau Situation 2: Beobachtung des Ausbaus und bei Bedarf Nichtberücksichtigung des Abschnittes für die Einlagerung oder Aufgabe ganzer Stollen
		Hauptlager SMA	Situation 1 und 2: Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür notwendigen Sicherungsmittel
		Betriebstunnel HAA/SMA	
		Lagerstollen-/ Lagerkavernenabzweiger	
Verklemmen des Schildes	JO, NL, ZNO	Hauptlager HAA	Situation 1: Erhöhung des Überschnitts Situation 2: Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern, Stillstand vermeiden
Blockierter Bohrkopf infolge Ortsbrustinstabilitäten	JO, NL, ZNO	Hauptlager HAA	Situation 1: Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb Situation 2: Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb

Tab. 4-8: Fortsetzung

Gefährdungen	Standort	Bauwerk	Massnahmen
Niederbruch	JO, NL, ZNO	Hauptlager SMA	Situation 1 und 2: Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch, engeres Ankerraster, Bauhilfsmassnahmen
		Betriebstunnel HAA/SMA	
		Lagerstollen-/ Lagerkavernenabzweiger	
Versagen des Felspfeilers	NL, ZNO	Lagerstollen-/ Lagerkavernenabzweiger	Situation 1 und 2: Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz

Tab. 4-9: Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke in Kriterium 4.2 zu Störungszonen: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung

Gefährdungen	Standort	Bauwerk	Massnahmen
Unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	NL, ZNO, JO	Schachtbauwerk HB4/HB4*	Situation 1 und 2: Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel
		Schachtbauwerk HB5	
	JO	Zugangstunnel JO	Situation 1 und 2: Verstärkung Innenschale
Niederbruch	JO, NL, ZNO	Schachtbauwerk HB4/HB4*und HB5	Situation 1 und 2: Reduktion der Abschlagslänge, engeres Ankerraster
Verklemmen des Schildes	JO	Zugangstunnel JO	Situation 1 und 2: Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern
Blockierter Bohrkopf infolge Ortsbrustinstabilitäten	JO	Zugangstunnel JO	Situation 1 und 2: Anpassung der Vortriebsparameter, händische Zerkleinerung der Blöcke
Kurzfristiger Wassereinbruch	NL, ZNO	Schachtbauwerk HB4	Abdichtungsinjektionen

4.3.2 Baugrundeigenschaften

In Tab. 4-8, Tab. 4-10 und Tab. 4-11 sind für alle Gefährdungen, die im Falle von unerwarteten Baugrundeigenschaften identifiziert worden sind und bei denen ein initialer Risikowert im nicht akzeptablen Bereich ermittelt worden ist, die vorgesehenen Massnahmenpakete zur Reduktion des Risikowerts aufgelistet.

Tab. 4-10: Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke in Kriterium 4.1 zu unerwarteten Baugrundeigenschaften: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung

Gefährdungen	Standort	Bauwerk	Massnahmen
Unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	NL, ZNO	Hauptlager SMA	Situation 1 und 2: Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel
		Betriebstunnel HAA/SMA	
		Lagerstollen-/Lagerkavernen-abzweiger	
	JO, NL, ZNO	Hauptlager HAA	Situation 1: nachgiebiger Tübbingausbau
Verklemmen des Schildes	JO, NL, ZNO	Hauptlager HAA	Situation 1: Erhöhung des Überschchnitts (Bohrkopf anpassen), kein Stillstand Situation 2: Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern, kein Stillstand
Blockierter Bohrkopf infolge Ortsbrustinstabilitäten	JO, NL, ZNO	Hauptlager HAA	Situation 1 und 2: Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers
Niederbruch	JO, NL, ZNO	Hauptlager SMA	Situation 1 und 2: Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch, engeres Ankerraster, Bauhilfsmassnahmen
		Betriebstunnel HAA/SMA	
		Lagerstollen-/Lagerkavernen-abzweiger	
		Versiegelungsbauwerk V1-HAA	Arbeiten aus dem gesicherten Bereich, Rauben in Etappen, partielle Raubung
Versagen des Felspfeilers	NL, ZNO	Lagerstollen-/Lagerkavernen-abzweiger	Situation 1 und 2: Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz
Versagen des angrenzenden Ausbaus	JO, NL, ZNO	Versiegelungsbauwerk V1-HAA	Verstärkung des angrenzenden Ausbaus

Tab. 4-11: Massnahmenkatalog für repräsentative Bauwerke in Kriterium 4.2 zu unerwarteten Baugrundeigenschaften: Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptierten Bereich liegt, und Massnahmenpakete zur Risikobewältigung

Gefährdungen	Standort	Bauwerk	Massnahmen
Kurzfristiger Wassereintritt	JO, NL, ZNO	Schachtbauwerk HB4*	Situation 2: Intensivierung Abdichtungsinjektionen/Gefrierverfahren (JO), Abdichtungsinjektionen (NL, ZNO)
Unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	NL, ZNO, JO	Schachtbauwerk HB5	Situation 2: Erhöhung des Mearausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel
	JO	Zugangstunnel JO	Situation 2: Verstärkung der Innenschale
Niederbruch	JO, NL, ZNO	Schachtbauwerk HB4/HB4*	Situation 2: Reduktion der Abschlagslänge, engeres Ankerraster
		Schachtbauwerk HB5	
Verkleben des Schildes	JO	Zugangstunnel JO	Situation 2: Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern

4.4 Aufbau und Inhalt des Risikokatalogs

Die Ergebnisse der BTRA, die in den Kapiteln 4.1, 4.2 und 4.3 beschrieben wurden, sind in Form eines Risikokatalogs (Anhang D) dokumentiert. Der Katalog ist in die drei Teile «Störungszone III», «Störungszone IV» und «Baugrundeigenschaften» gegliedert. Der Katalog besteht aus dem Risikoregister, welches in der ersten Spalte die Ursache, in der zweiten Spalte alle in Kapitel 4.1 identifizierten Gefährdungen und in der dritten Spalte die Gefährdungsbilder und die ermittelten initialen Risikowerte gemäss Kapitel 4.2.3 enthält. Das Risikoregister wird für die Dokumentation der beiden Arbeitsschritte Risikobewertung und Risikobehandlung gemäss Kapitel 4.3 mit weiteren Spalten ergänzt: Massnahme und Restrisikowert.

Ein Ausschnitt aus dem bautechnischen Risikokatalog ist in Fig. 4-1 zu sehen.

Standort				JO												
		Gefährdungen	Gefährdungsbild	W	A _s	A _k	A _r	A _q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _q	R _R
1 Störungszone																
Kriterium 4.1																
11 Störungszone des Typs III ist vorhanden																
111 Hauptlager HAA in HB5																
111a	Störungszone beim Vortrieb der Nachbarbauwerke erkannt	Verkleben des Schildes	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	2	1	3	3	4	8	Erhöhung des Überschritts (Anpassung des Bohrkopfs), kein Stillstand	1	1	3	3	4	
111b		instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (voraussetzende Ortsbrust).	3	1	3	3	4	12	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb	1	1	3	3	3	3
111c		unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Durchfahren mit nachgiebigem Tübbingausbau	1	1	2	2	3	3

Fig. 4-1: Ausschnitt aus dem bautechnischen Risikokatalog (Anhang D) des Standorts JO
 In den linken Spalten sind die identifizierten Risiken und in den rechten Spalten die Initialbewertung, der Massnahmenplan und die Bewertung des Restrisikos dargestellt.

5 Auswertung der Ergebnisse und Diskussion hinsichtlich der Bewertung der KG 4

5.1 Vorgehen

In Kapitel 1.1 wurde erläutert, dass die Ergebnisse der BTRA als Grundlage für die Bewertung der KG 4 im Rahmen des Standortvergleichs dienen. Es wurde zudem angegeben, dass die Bewertung der Kriterien zunächst für die drei HAA-Einzellager und anschliessend für ein SMA-Einzellager an den Standorten JO und ZNO und ein Kombilager am Standort NL erfolgt.

Die BTRA wurde, wie in Kapitel 4 beschrieben und im Risikokatalog im Anhang D dokumentiert, unter Berücksichtigung aller repräsentativen Bauwerke in einem Kombilager durchgeführt. Für die stufenweise Bewertung der KG 4 werden die Ergebnisse der BTRA daher im ersten Schritt für den Vergleich der standortspezifischen HAA-Einzellager ausgewertet. Folgende Bauwerke werden in der Auswertung für ein HAA-Einzellager als repräsentative Bauwerke berücksichtigt und nach den Kriterien 4.1 und 4.2 aufgeteilt:

- 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen
Hauptlager HAA (Nr. 20; Fig. 1-1), Lagerstollenabzweiger HAA (Nr. 24), V1-Siegel HAA, Betriebstunnel HAA (Nr. 15)
- 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung
Betriebsschacht (Nr. 1) (NL, ZNO) bzw. Lüftungsschacht (Nr. 2) (JO), Zugangstunnel JO (Nr. 25)

Im zweiten Schritt wird dieselbe Auswertung für die Standorte JO und ZNO für ein SMA-Einzellager und für den Standort NL für ein Kombilager durchgeführt. Folgende Bauwerke werden in der Auswertung für ein SMA-Einzellager als repräsentative Bauwerke berücksichtigt und nach den Kriterien 4.1 und 4.2 aufgeteilt:

- 4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen
Lagerkavernenabzweiger SMA (Nr. 23), Hauptlager SMA (Nr. 13), Betriebstunnel SMA (Nr. 9)
- 4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung
Betriebsschacht (Nr. 1) (NL, ZNO) bzw. Lüftungsschacht (Nr. 2) (JO), Zugangstunnel JO (Nr. 25)

Ein Standort ist bautechnisch geeignet, wenn alle Restrisikowerte mit bekannten und erprobten Massnahmen im akzeptierten Bereich zu liegen kommen. Aus diesem Grund erfolgt die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse in zwei Schritten. Zunächst wird mit Hilfe von Risikomatrizen auf die Verteilung der initialen Risikowerte und der Restrisikowerte eingegangen. Anschliessend werden die Massnahmen, die zur Reduktion der initialen Risikowerte vorgesehen sind, diskutiert.

5.2 Verteilung und Diskussion der Risikowerte

Wegen des zweistufigen Bewertungsverfahrens der Kriterien werden zunächst die Risikomatrizen für drei HAA-Einzellager und dann für zwei SMA-Einzellager und ein Kombilager gezeigt und diskutiert.

5.2.1 HAA-Einzellager

Im Folgenden sind die Risikomatrizen für HAA-Einzellager an den drei Standorten dargestellt. In den Matrizen ist die Verteilung der initialen Risikowerte und Restrisikowerte gezeigt. Da sie als Grundlage für die Bewertung der KG 4 dienen, sind sie nach den Kriterien 4.1 und 4.2 unterteilt.

Zunächst werden in Fig. 5-1, Fig. 5-2 und Fig. 5-3 die standortspezifischen Risikomatrizen für das Kriterium 4.1 gezeigt.

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	2	7	6	0	11	0	0	0
3	2	15	2	0	22	0	0	0
2	2	17	8	0	28	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 5-1: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzel-lager HAA am Standort JO

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	2	3	8	2	11	0	0	0
3	0	2	15	2	22	0	0	0
2	2	12	13	0	28	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 5-2: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzel-lager HAA am Standort NL

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	2	3	8	2	11	0	0	0
3	0	2	15	2	22	0	0	0
2	2	12	13	0	28	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 5-3: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzelager HAA am Standort ZNO

Die Verteilung der initialen Risikowerte ist bei den Standorten NL und ZNO identisch und weicht nur geringfügig von der Verteilung am Standort JO ab. Dieser Unterschied ist auf eine erhöhte Eintretenswahrscheinlichkeit der Gefährdungen «Verkleben des Schildes» und «unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus» bei NL und ZNO zurückzuführen, die durch die höhere Tiefenlage an diesen Standorten begründet ist. Die Verteilung der Restrisiken ist für alle Standorte identisch. Die Restrisikowerte befinden sich an allen Standorten im akzeptierten Bereich.

Standortübergreifend ist die Auswirkung auf die «Qualität» bei den Gefährdungen «Verkleben des Schildes», «Instabile Ortsbrust» und «unzulässige Verformungen und Versagen des Ausbaus» nach der Massnahmenplanung als «hoch» bewertet. Gemäss der Aktionsstrategie in Tab. 2-2 bedeutet das, dass für diese Gefährdung zusätzliche planerische oder organisatorische Massnahmen notwendig sind, auf die in Kapitel 5.3 näher eingegangen wird.

Als nächstes sind in Fig. 5-4, Fig. 5-5 und Fig. 5-6 die standortspezifischen Risikomatrizen für das Kriterium 4.2 dargestellt.

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	17	1	2	21	0	0	0
2	2	6	10	1	19	0	0	0
1	0	0	0	3	3	0	0	0

Fig. 5-4: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager HAA am Standort JO

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	8	3	11	0	0	0
2	2	1	10	1	14	0	0	0
1	0	0	0	3	3	0	0	0

Fig. 5-5: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager HAA am Standort NL

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	8	3	11	0	0	0
2	2	1	10	1	14	0	0	0
1	0	0	0	3	3	0	0	0

Fig. 5-6: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager HAA am Standort ZNO

Die höhere Anzahl der Gefährdungen am Standort JO ergibt sich, da nebst einem Schacht auch der Zugangstunnel JO in der Bewertung berücksichtigt wird. Die Restrisiken liegen an allen Standorten im akzeptierten Bereich. Bei Kriterium 4.2 gibt es keine Restrisiken mit einem hohen Ausmass und einer sehr kleinen Eintretenswahrscheinlichkeit (Risikowert 4*).

5.2.2 SMA-Einzellager JO und ZNO und Kombilager NL

Im Folgenden werden für den Standort NL die Risikomatrizen für ein Kombilager und für die Standorte JO und ZNO Risikomatrizen für ein Einzellager SMA für beide Kriterien einzeln dargestellt und diskutiert.

Zunächst werden in Fig. 5-7, Fig. 5-8 und Fig. 5-9 die standortspezifischen Risikomatrizen für das Kriterium 4.1 gezeigt.

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	3	4	0	0	0	0	0
3	2	17	0	0	26	0	0	0
2	4	23	8	0	35	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 5-7: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzel-lager SMA am Standort JO

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	2	5	12	2	11	0	0	0
3	0	2	19	2	32	0	0	0
2	4	16	15	0	36	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 5-8: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Kombi-lager am Standort NL

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	3	4	0	0	0	0	0
3	0	2	17	0	26	0	0	0
2	4	16	15	0	35	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 5-9: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für das Kriterium 4.1 für ein Einzel-lager SMA am Standort ZNO

Da in NL ein Kombilager und in JO und ZNO nur ein Einzellager betrachtet werden, ist die Anzahl der initialen Risikowerte am Standort NL höher als an den Standorten JO und ZNO. Die Restrisikowerte liegen an allen Standorten im akzeptierten Bereich. Die elf Gefährdungen, die in NL eine hohe Auswirkung (4*) aufweisen, sind, wie bereits erwähnt, auf die Gefährdungen «Verklemmen des Schildes», «Instabile Ortsbrust» und «unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus» im Hauptlager HAA und die damit verbundene Auswirkung auf die «Qualität» zurückzuführen.

Als nächstes sind in Fig. 5-10, Fig. 5-11 und Fig. 5-12 die standortspezifischen Risikomatrizen für das Kriterium 4.2 dargestellt.

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	17	1	2	21	0	0	0
2	2	6	10	1	19	0	0	0
1	0	0	0	3	3	0	0	0

Fig. 5-10: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager SMA am Standort JO

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	8	3	11	0	0	0
2	2	1	10	1	14	0	0	0
1	0	0	0	3	3	0	0	0

Fig. 5-11: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Kombilager am Standort NL

A\W	initiale Risikowerte				Restrisikowerte			
	1	2	3	4	1	2	3	4
4	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	8	3	11	0	0	0
2	2	1	10	1	14	0	0	0
1	0	0	0	3	3	0	0	0

Fig. 5-12: Anzahl Risiken dargestellt in der Risikomatrix für Kriterium 4.2 für ein Einzellager SMA am Standort ZNO

Die höhere Anzahl der Gefährdungen am Standort JO gegenüber NL und ZNO ergibt sich, gleich wie in Kapitel 5.2.1, daraus, dass nebst einem Schacht auch der Zugangstunnel JO in der Bewertung berücksichtigt wird. Auch hier liegen alle Restrisikowerte im akzeptierten Bereich. Es gibt keine Restrisiken mit einem hohen Ausmass und einer sehr kleinen Eintretenswahrscheinlichkeit (Risikowert 4*).

5.3 Massnahmenplanung

In Kapitel 4.3 sind die einzelnen Massnahmenpakete für alle Gefährdungen, deren initialer Risikowert nicht im akzeptablen Bereich lag, in Tabellenform aufgelistet. Für die Beurteilung der bautechnischen Eignung der Standorte werden die Massnahmen nun kurz diskutiert. Wegen der ähnlichen Massnahmenpakete werden die HAA-Einzelager, SMA-Einzelager und das Kombi-lager gemeinsam besprochen.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit für die Gefährdung «unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus» kann bei den Bauwerken, die konventionell vorgetrieben werden, vor und während des Vortriebs durch eine Intensivierung der im Projekt vorgesehenen Massnahmen vermindert werden. Im Hauptlager HAA ist für eine Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit vor dem Beginn des Vortriebs das Vorsehen eines nachgiebigen Tübbingausbaus notwendig. Entsprechende numerische Berechnungen sind in Nordas et al. (2023b) zu finden. Untersuchungen zur technischen Anwendung sind in Zghondi et al. (2023) dokumentiert. Werden die ungünstigen Verhältnisse erst während des Vortriebs erkannt, kann der Risikowert dieser Gefährdung im Hauptlager HAA nur durch eine Beobachtung des Ausbaus und bei Bedarf eine Nichtberücksichtigung des Lagerstollens für die Einlagerung abgemindert werden.

Die Gefährdung «Niederbruch» tritt nur bei den konventionell vorgetriebenen Bauwerken und dem Versiegelungsbauwerk V1-HAA auf. Die Eintretenswahrscheinlichkeit und Auswirkung können in beiden Situationen durch eine Intensivierung der bestehenden Baumassnahmen reduziert werden.

Die Gefährdung «kurzfristiger Wassereintritt» erfordert an allen Standorten im HB4 und HB4* Massnahmen zur Reduktion des Risikowerts. Hierfür sind an den Standorten NL und ZNO während des Abteufens bereits im Projekt Injektionsmassnahmen vorzuhalten und bei Bedarf einzusetzen. Falls bei der vorgängigen Erkundung am Standort JO im HB4* ein höherer initialer Wasserzutritt erkannt wird, ist zu prüfen, ob die Anwendung des Gefrierfahrens anstelle von Injektionsmassnahmen in diesem HB notwendig ist.

Die Gefährdung «instabile Ortsbrust» führt nur beim Hauptlager HAA zu einem initialen Risikowert, der nicht im akzeptablen Bereich liegt. Zur Reduktion des Risikowerts ist eine entsprechende Auslegung des Bohrkopfs und Räumers sowie die Möglichkeit einer Verfestigung der Störungszone aus dem Vortrieb heraus vorzusehen.

Die Gefährdung «Versagen des angrenzenden Ausbaus» beim Versiegelungsbauwerk VI-HAA kann durch eine Intensivierung der ohnehin vorgesehenen Massnahme «Verstärkung des angrenzenden Ausbaus» auf einen akzeptablen Risikowert reduziert werden.

Um die Eintretenswahrscheinlichkeit für die Gefährdung «Verkleben des Schildes» im Hauptlager HAA und Zugangstunnel JO vor dem Beginn des Vortriebs zu reduzieren, werden eine Erhöhung des Überschchnitts und kein Stillstand beim Antreffen einer Störungszone als Massnahmen vorgesehen. Während des Vortriebs wird die Eintretenswahrscheinlichkeit durch ein Shiften der Kalibermeissel reduziert, sobald auffällige Bohrparameter auf eine Störungszone hinweisen. Diese Massnahme muss im Projekt bei der Auslegung der TBM berücksichtigt werden.

Da beim Hauptlager HAA die Auswirkung der Gefährdungen «Verkleben des Schildes» und «instabile Ortsbrust» auf die «Qualität» nicht reduziert werden kann, sind für diese extrem seltenen Ereignisse planerische oder organisatorische Massnahmen erforderlich. Wenn die TBM oder der Bohrkopf in einem Lagerstollen verklebt, muss die TBM befreit oder aufgegeben werden. Kann im betroffenen Bereich hinsichtlich der LZS keine Einlagerung stattfinden, muss ein Teil des Lagerstollens aufgegeben werden. Für einen solchen Fall muss die Lagerarchitektur so ausgelegt sein, dass eine daraus erforderliche Erweiterung des Lagerfeldes möglich ist.

Während des Vortriebs des Hauptlagers HAA kann die Auswirkung der Gefährdung «unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus» nicht durch Massnahmen reduziert werden. Für dieses extrem seltene Ereignis sind planerische oder organisatorische Massnahmen erforderlich. Treten Schäden des Ausbaus während der Nutzungsdauer auf, muss geprüft werden, ob der Stollen weiterhin für die Einlagerung genutzt werden kann. Falls dies nicht möglich ist, wird ein Teil oder der ganze Lagerstollen für die Einlagerung aufgegeben. Auch für einen solchen Fall muss die Lagerarchitektur so ausgelegt sein, dass eine daraus erforderliche Erweiterung des Lagerfeldes möglich ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass alle identifizierten Gefährdungen an jedem Standort mit bekannten und erprobten Massnahmen gehandhabt werden können.

6 Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die initialen Risikowerte zwar zwischen den Standorten geringfügig wegen der Tiefenlage unterscheiden, die Restrisikowerte jedoch lagertyp- und standortübergreifend nach der Massnahmenplanung komplett im akzeptierten Bereich liegen. Dies gilt sowohl für das Kriterium 4.1 als auch für das Kriterium 4.2. Die vorgesehenen Massnahmen zur Reduktion der Risiken auf akzeptierte Werte sind im Untertagebau bekannt und erprobt. Lediglich die Anwendung eines nachgiebigen Tübbingausbaus ist heute noch wenig erprobt. Die Konzepte sind jedoch vorhanden und die dafür nötigen Technologien schon heute verfügbar.

Einzelne Massnahmen können trotz Vorauserkundung oder wegen der fehlenden Möglichkeit einer zuverlässigen Vorauserkundung nicht rechtzeitig eingesetzt werden, weshalb diese im Regelvortrieb umzusetzen oder vorzuhalten sind und daher bereits in der Planung der Lagerprojekte berücksichtigt werden. Solche Massnahmen sind im technischen Beschrieb (Nagra 2023e) aufgeführt.

Für einzelne Gefährdungen kann für den extrem seltenen Fall des Eintretens trotz der vorgesehenen Massnahmen die Auswirkung auf die Projektanforderung der Qualität nicht reduziert werden. Für diese Fälle sind planerische oder organisatorische Massnahmen vorgesehen. Dazu zählt die Auslegung der Lagerarchitektur dahingehend, dass bei der Aufgabe eines Stollens eine Erweiterung des Lagerfeldes möglich ist.

Um zu verhindern, dass eine Störungszone des Typs III oder IV quer zu allen Lagerstollen verläuft und so mehrere Lagerstollen aufgegeben werden müssten, sind entsprechende Erkundungsmassnahmen vorzusehen.

Die Analyse und die Ergebnisse sind robust, weil Gefährdungen betrachtet werden, die sich aus unerwarteten Baugrundverhältnissen ergeben. Gemeinsam mit der Dokumentation der Lagerprojekte, deren Projektierung auf Grundlage der erwarteten Baugrundverhältnisse durchgeführt wurde, ist damit eine vollständige Identifikation und Bewertung aller möglichen Gefährdungen gegeben.

7 Literaturverzeichnis

- BFE (2008): Sachplan Geologische Tiefenlager: Konzeptteil. BFE 2. April 2008 (Revision vom 30. November 2011). Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bern.
- DAUB & ITA-AITES (2022): Empfehlungen für das Projektrisikomanagement im Untertagebau. DAUB-Arbeitskreis. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB), Köln.
- ENSI (2018a): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3. ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- ENSI (2018b): Präzisierungen der sicherheitstechnischen Vorgaben für Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 3. ENSI 33/649. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg.
- Morosoli, D., Anagnostou, G. & Cantieni, L. (2023): Design considerations for deep caverns in Opalinus Clay. *In: World Tunnel Congress 2023*. CRC Press, Balkema, 2114-2121.
- Nagra (2021): Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 21-12.
- Nagra (2022): Module der Lagerarchitektur. Nagra Arbeitsbericht NAB 22-35.
- Nagra (2023a): Bautechnisches Dossier - Band 1: Einführung und Projektdefinition. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 1.
- Nagra (2023b): Bautechnisches Dossier - Band 2: Bautechnisch relevante Auszüge geologischer Grundlagen Jura Ost. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 2.
- Nagra (2023c): Bautechnisches Dossier - Band 3: Bautechnisch relevante Auszüge geologischer Grundlagen Nördlich Lägern. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 3.
- Nagra (2023d): Bautechnisches Dossier - Band 4: Bautechnisch relevante Auszüge geologischer Grundlagen Zürich Nordost. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 4.
- Nagra (2023e): Bautechnisches Dossier - Band 6: Technischer Beschrieb und Pläne Lagerprojekte. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 6.
- Nagra (2023f): Bautechnisches Dossier - Band 7: Projektbasis. Nagra Arbeitsbericht NAB 23-01 Band 7.
- Nagra NAB 24-01 (*in Bearb.*): Definition der Bewertungsobjekte für den sicherheitstechnischen Vergleich der Standorte in Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager. Nagra Arbeitsbericht NAB 24-01.
- Nagra NTB 24-03 (*geplant*): Rahmenbewilligungsgesuch für das geologische Tiefenlager – Bericht zur Begründung der Standortwahl. Nagra Technischer Bericht NTB 24-03.

Nordas, A., Cantieni, L., Natale, M. & Anagnostou, G. (2023a): Study on TBM jamming hazard in Opalinus clay. World Tunnel Congress. *In: World Tunnel Congress 2023*. CRC Press, Balkema, 2146-2153.

Nordas, A., Natale, M., Cantieni, L. & Anagnostou, G. (2023b): Assessment of squeezing-related hazards for the Swiss high-level radioactive waste repository drifts. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, submitted.

SIA (2015): Erfassen des Gebirges im Untertagebau. Schweizer Norm SIA 199:2015, SN 531:199. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.

Zghondi, J., Armand, G., Kerner, L., Terrade, B., Dias, N. & Bosgiraud, J.M. (2023): Compressible linings solutions: A multi-scale mechanical and technical demonstration up to a full 6m diameter surface loading “accelerator” device. *In: World Tunnel Congress 2023*. CRC Press, Balkema, 2581-2589.

Anhang A Bauwerksliste

In der Tab. A-1 sind für die einzelnen Bauwerke gemäss der Systemskizze in Fig. 3-3 die zutreffende Spannweite, der Homogenbereich, das Bauverfahren und das Kriterium der KG 4 aufgelistet. Die fett gedruckten Bauwerke werden als repräsentative Bauwerke in der BTRA berücksichtigt. Die weiteren Bauwerke werden nicht betrachtet, da sie bezüglich der Geometrie, der Geologie und des Bauverfahrens einem der repräsentativen Bauwerke ähneln. Das zugehörige repräsentative Bauwerk wird in der letzten Spalte aufgelistet.

Tab. A-1: Bauwerksliste mit der Zuteilung der Kriterien und der Zuordnung zu den repräsentativen Bauwerken

Nr.	Bauwerk	Spannweite [m]	HB	Bauverfahren	Kriterium	Analogie
1	Betriebsschacht	9.50	HB1 – HB5	Konv. Vortrieb	4.2	
2	Lüftungsschacht	6.00	HB1 – HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Betriebsschacht bei NL und ZNO
3	Zentraler Bereich	6.00 – 8.00	HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Betriebstunnel HAA/SMA und Lagerstollen-/ Lagerkavernenabzweiger
4	Demonstrationsbauwerk SMA	6.04/ 11.75	HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Betriebstunnel SMA und Hauptlager SMA
5	Experimentbereiche	5.50	HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Betriebstunnel SMA/HAA
6	Demonstrationsbauwerk HAA	6.04/ 2.80	HB5	Konv. Vortrieb/ TBM	4.2	Betriebstunnel HAA und Hauptlager HAA
8	Zugangsschacht	8.50	HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Betriebsschacht bei NL und ZNO
9	Betriebstunnel SMA	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	
10	Lüftungstunnel SMA	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Betriebstunnel SMA
11	Kontrollstollen SMA	5.50	HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Betriebstunnel SMA
12	Pilotlager SMA	11.57	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Hauptlager SMA
13	Hauptlager SMA	11.57	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	

Tab. A-1: Fortsetzung

Nr.	Bauwerk	Spannweite [m]	HB	Bauverfahren	Kriterium	Analogie
15	Betriebstunnel HAA	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	
16	Lüftungstunnel HAA	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Betriebstunnel HAA
17	Bautunnel HAA	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Betriebstunnel HAA
18	Pilotlager HAA	2.80	HB5	TBM	4.1	Hauptlager HAA
19	Kontrollstollen HAA	5.50	HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Betriebstunnel HAA
20	Hauptlager HAA	2.80	HB5	TBM	4.1	
21	Querverbindungstunnel HAA	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Lagerstollen-abzweiger
22	Querverbindungstunnel SMA	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Lagerkavernen-abzweiger
23	SMA (Pilot)-Lagerkavernen-abzweiger und -abzweigertunnel sowie Ablade- und Übernahmenbereich	6.04	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Lagerkavernen-abzweiger
24	HAA (Pilot)-Lagerstollen-abzweiger und Umladebereiche	6.55	HB5	Konv. Vortrieb	4.1	Lagerstollen-abzweiger
25	Zugangstunnel JO (konv.)	5.40	HB5	Konv. Vortrieb	4.2	Wird nicht betrachtet
26	Zugangstunnel JO (TBM)	9.75	HB5	TBM	4.2	

Anhang B Numerische Vergleichsrechnung HAA-Hauptlager

In diesem Anhang werden die Ergebnisse von numerischen Berechnungen des Hauptlagers HAA mit den Minimalwerten und den Referenzwerten der Gebirgsparameter verglichen. Angaben zu den Gebirgsparametern sind in der Projektbasis (Nagra 2023f) zu finden. Es wurden numerische, dreidimensionale Berechnungen des Kurzzeit- und des Langzeitverhaltens des Hauptlagers HAA mit den Referenzwerten und den Minimalwerten der Gebirgsparameter durchgeführt. Das Berechnungsmodell entspricht dem in Nordas et al. (2023b) beschriebenen Modell. Nur, dass hier neben den Referenzwerten die Minimalwerte aus der in Nordas et al. (2023a) dokumentierten Kalibrierung des ALEPP Stoffgesetzes verwendet wurden.

Fig. B-1 zeigt das LDP-Profil in der Krone und im Parament für die Minimalwerte und die Referenzwerte. Fig. B-2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Normalkräfte in Krone und Parament für die Minimalwerte und Referenzwerte.

Der notwendige Überschnitt, der aus den LDP-Profilen abzulesen ist, beträgt bei den Minimalwerten ca. 100 mm und bei den Referenzwerten ca. 20 mm. Die Normalkräfte betragen nach der Nutzungsdauer von 4 Jahren mit den Minimalwerten in der Krone ca. 5'200 kN und mit den Referenzwerten ca. 2'300 kN. Der Wert, der sich mit den Minimalwerten für den Überschnitt ergibt, ist noch im Bereich der technischen Machbarkeit, aber die ermittelten Normalkräfte sind zu hoch, um durch den in den Lagerprojekten geplanten Tübbingausbau aufgenommen werden zu können. Aus diesem Grund muss für diesen Fall kein starrer, sondern ein nachgiebiger Tübbingausbau vorgesehen werden.

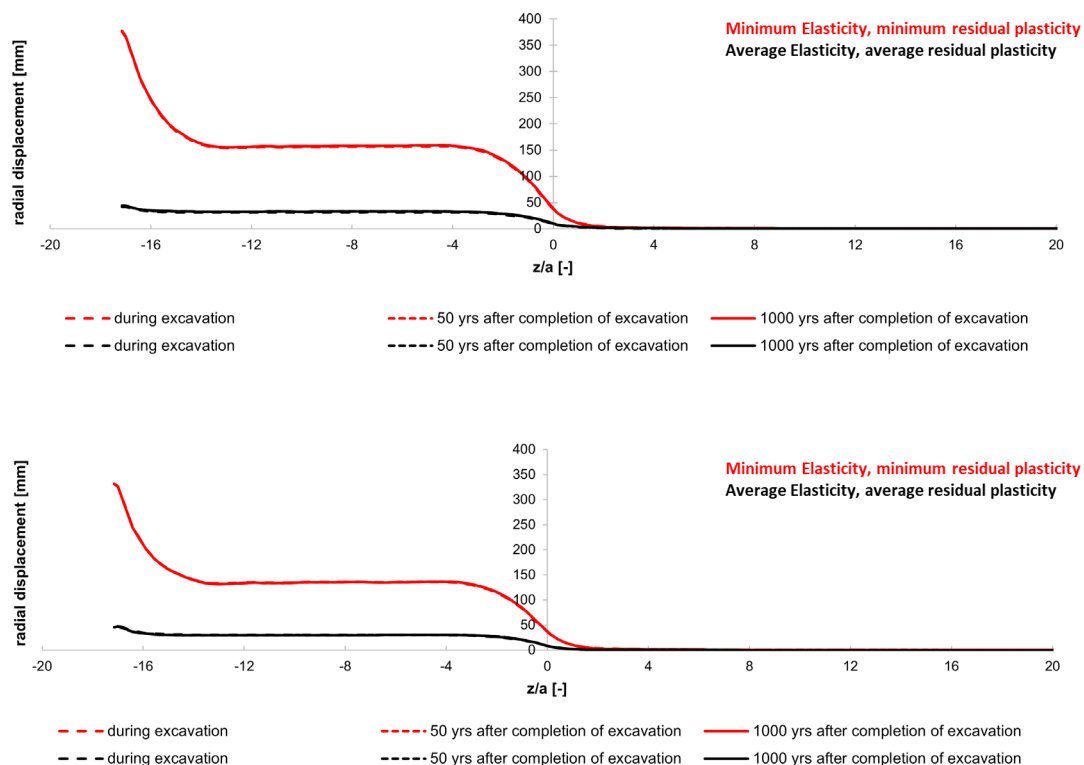


Fig. B-1: LDP-Profil in Krone (oben) und Parament (unten) für die Minimal- und Referenzwerte

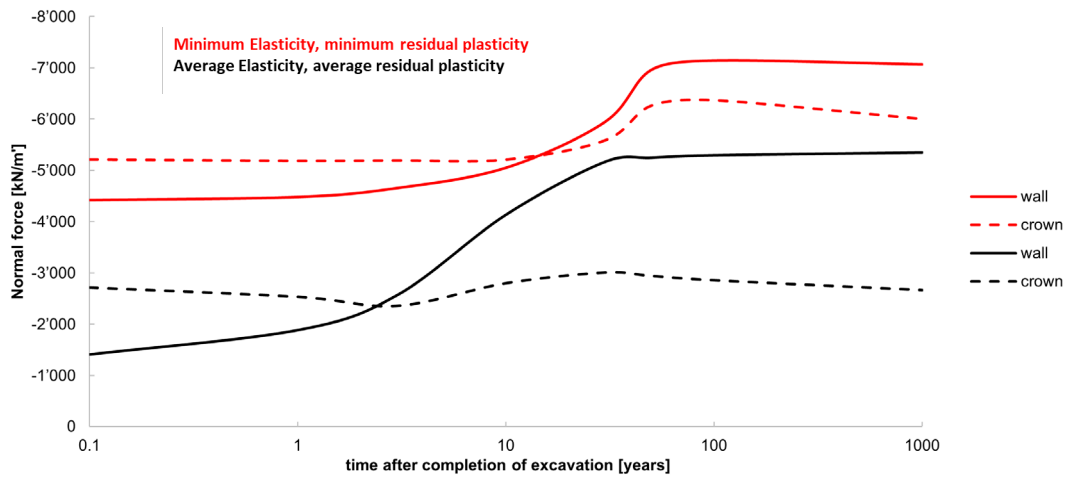


Fig. B-2: Normalkraftverlauf in Krone und Parament für die Minimal- und die Referenzwerte

Anhang C Resultate und Diskussion Grobanalyse

In einem ersten Schritt der Grobanalyse wird für jede Ursache qualitativ abgeschätzt, mit welchem Risikowert der jeweiligen Gefährdung jede einzelne Projektanforderung voraussichtlich beeinflusst wird. Bei der Klassifizierung von Eintretenswahrscheinlichkeit und Ausmass werden die in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 vorgestellten Klassifizierungen verwendet und anschliessend der resultierende Risikowert berechnet ($R = W * A$).

Für jede Kombination aus Ursache und Projektanforderung wird der ermittelte Risikowert anschliessend in ein Schema eingetragen. Durch Summenbildung der Zeilen können die vier höchstbewerteten Ursachen bzw. die Hauptursachen für negative Einflüsse auf die Projektanforderungen erkannt werden. Die spaltenweise Addition der Risikowerte ermöglicht es, die vier höchstbewerteten Schwerpunkte bzw. die Gefahrenschwerpunkte (Q-Schwerpunkte) des Projekts zu identifizieren.

Die Grobanalyse für das geologische Tiefenlager wird von mehreren Fachspezialisten seitens Bauherrschaft, des Planungsteams und externen Beratern einzeln und im Rahmen eines Workshops nach der Delphi-Methode durchgeführt. Die Delphi-Methode ist ein systematisches mehrstufiges Befragungsverfahren mit Rückkopplung. Die Methode dient dazu, zukünftige Entwicklungen möglichst gut einzuschätzen. Im Projekt wird die spezifische Breitband-Delphi-Methode verwendet. Im Gegensatz zur Standard-Delphi-Methode dürfen sich die Experten bei der Breitband-Delphi-Methode untereinander abstimmen.

Zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen, Randbedingungen und Systemgrenzen müssen folgende spezifische Randbedingungen für die Grobanalyse berücksichtigt werden:

- Die Betrachtungsstandpunkte bestehen aus dem internen Projektumfeld (Bauherr (Initiator), Planer, Experten).
- Die Diversität des Beurteilungsgremiums ist durch den Beitrag von Personen mit unterschiedlichen Sichtweisen, Erfahrungen, Fachgebieten und Positionen im Arbeitsumfeld möglichst hochzuhalten.
- Die Grobanalyse erfolgt standortübergreifend
- Die Beurteilung erfolgt für den damaligen Initialzustand, ohne Berücksichtigung von Massnahmen zur Risikoreduktion.
- Umfangreiche und ganzheitliche Betrachtung mit minimalem Detaillierungsgrad (hohe Flughöhe) ohne detaillierte Betrachtung von einzelnen Gefährdungen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse und die Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung der Grobanalyse aufgezeigt und diskutiert.

Experten mit unterschiedlichen Funktionen, Erfahrung und Fachkenntnissen haben in einer ersten Phase ihre Einschätzung abgegeben, welche Auswirkung die Ursachen auf die Projektanforderungen haben. Dies erfolgte mithilfe der Festlegung eines Risikowertes aus der Risikomatrix.

In der zweiten Phase konnten die Experten alle Bewertungen der Grobanalyse inkl. einem Mittelwert über alle Bewertungen zusammen einsehen. Es fand eine Bereinigungssitzung mit dem Ziel statt, sich auf einen einzigen Risikowert pro Ursache und Projektanforderung zu einigen. Die Expertendiskussion (Breitband-Delphi-Methode) hat dazu beigetragen, dass Stärken und Schwächen der einzelnen Experten und die damit verbundenen, schwächer begründeten Einschätzungen und deren Einfluss reduziert werden konnten. Das Endergebnis der Bewertung

und Auswertung der Grobanalyse im Expertengremium ist in Fig. C-1 zu sehen. Das Endresultat der Grobanalyse ist somit keine Abbildung von Mittelwerten, sondern beinhaltet die aus den Abstimmungsdiskussionen (Expertengremium) hervorgegangenen Risikowerte.

Durch die Bildung der Summen wurden die vier höchstbewerteten Projektanforderungen bestimmt und somit die Gefahrenschwerpunkte (Q-Schwerpunkte) definiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die definierten Q-Schwerpunkte sich klar von den übrigen Projektanforderungen in ihrer erreichten Summe der Risikowerte abheben.

Die identifizierten Gefahrenschwerpunkte (Q-Schwerpunkte) sind:

- Arbeitssicherheit
- Kosten
- Termine
- Qualität

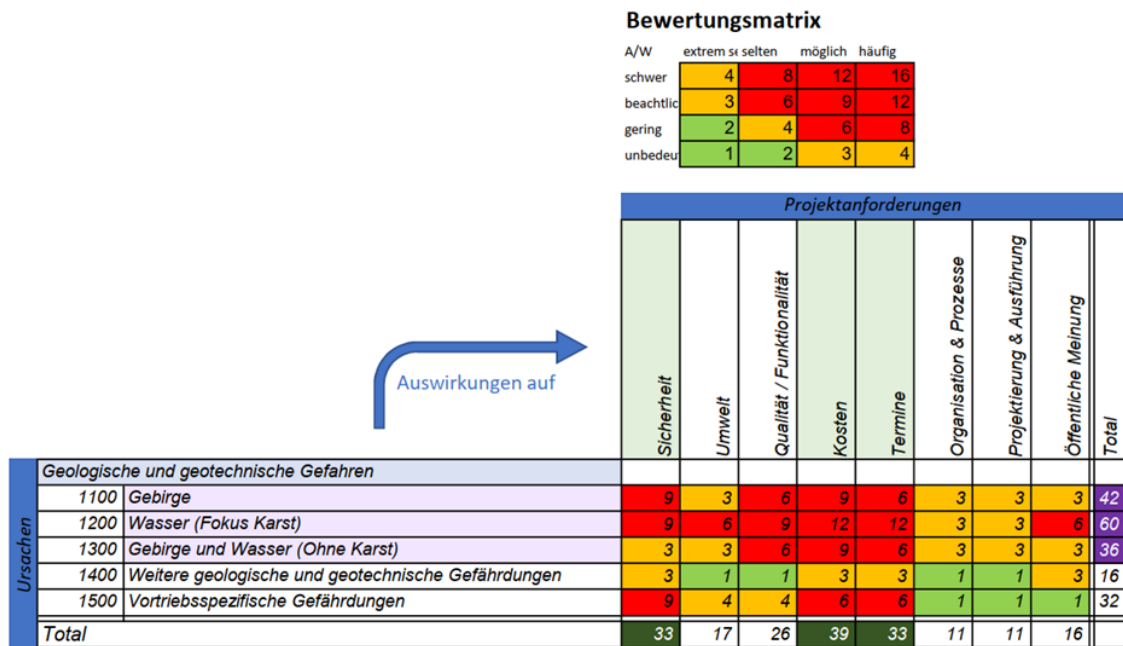


Fig. C-1: Bereinigte Grobanalyse (Endresultat)

Anhang D Risikokatalog

In den folgenden Tabellen sind die Risikokataloge dargestellt. Tab. D-1 zeigt den Risikokatalog für das Antreffen einer Störungszone Typ III, Tab. D-2 für das Antreffen einer Störungszone Typ IV und Tab. D-3 für das Antreffen von unerwarteten Baugrundeigenschaften.

Der Aufbau des Risikokatalogs ist detailliert in Kapitel 4.4 beschrieben.

Tab. D-1: Fortsetzung

Standort	Gefährdungen	Gefährdungsbild	JO										NL										ZNO																		
			W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R
112d Erkennen einer Störungszone während des Vortriebs	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsvorrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	3	2	2	2	4	12	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	4	12	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	4	12	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	3	3
	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsvorrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2
	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3
112e																																									
112f																																									
113	Betriebstunnel in HB5																																								
113a Erkennen einer Störungszone bei der vortriebsbegleitenden Erkundung	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsvorrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2
	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsvorrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2
	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3
113b																																									
113c																																									
113d Erkennen einer Störungszone während des Vortriebs	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsvorrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2
	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsvorrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2
	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3
113e																																									
113f																																									

Tab. D-1: Fortsetzung

Standort	Gefährdungen	Gefährdungsbild	JO										NL										ZNO																		
			W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R					
114 Lagerstollen-/Lagerkavernenabzweiger in HB5	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2
114a	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2
114b Erkennen einer Störungszone bei der vortriebsbegleitenden Erkundung	Versagen des Felspfeilers	Durch die Spannungsumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfeilers, z. B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfeilers.	2	1	3	3	2	6	Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz	1	1	3	3	2	3	3	1	3	3	2	9	Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz	1	1	3	3	2	3	3	1	3	3	2	9	Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz	1	1	3	3	2	3
114c	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3
114d	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	2	2	2	2
114e	Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2
114f Erkennen einer Störungszone während des Vortriebs	Versagen des Felspfeilers	Durch die Spannungsumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfeilers, z. B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfeilers.	2	1	3	3	2	6	Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz	1	1	3	3	2	3	3	1	3	3	2	9	Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz	1	1	3	3	2	3	3	1	3	3	2	9	Verstärkung Felspfeiler, Materialersatz	1	1	3	3	2	3
114g	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3
114h	Kriterium 4.2																																								
115 Schachtbauwerk in HB4/HB4*	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge; engeres Ankerraster	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge; engeres Ankerraster	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Reduktion der Abschlagslänge; engeres Ankerraster	1	2	2	2	2	2
115a	Kurzfristiger Wassereintrich	Ausfließen des Poren- oder Kluftwassers in den Vortriebsbereich bis zur Entleerung oder Entspannung des Systems. Dadurch kann das Personal und die Vortriebsrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	2	2	2	2	2	4	Abdichtungsinjektionen	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Abdichtungsinjektionen	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	6	Abdichtungsinjektionen	1	2	2	2	2	2
115b	Langfristiger/dauernder Wassereintrich	Das Gebirge ist ausreichend durchlässig und es stellt sich eine Balance zwischen Zufluss und Abfluss ein, sodass permanent Wasser Zutritt. Dadurch kann das Personal und die Vortriebsrichtung gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.	1	1	2	2	2	2		1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2		1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2		1	1	2	2	2	2
115c	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus	1	1	2	2	3	3
115d																																									

Tab. D-2: Risikokatalog für Antreffen einer Störungszone Typ IV

Standort	Gefährdungen	Gefährdungsbild	JO										NL										ZNO																			
			W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R													
1 Störungszone																																										
Kriterium 4.1																																										
12 Störungszone des Typs IV ist vorhanden																																										
121 Hauptlager HAA in HB5																																										
121a	Störungszone beim Vortrieb der Nachbarbauwerke erkannt	Verkleben des Schildes	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	3	1	3	3	4	12	Erhöhung des Überschnitts (Anpassung des Bohrkopfs), kein Stillstand	1	1	3	3	4	3	4	1	3	3	4	16	Erhöhung des Überschnitts (Anpassung des Bohrkopfs), kein Stillstand	1	1	3	3	4	3	4	1	3	3	4	16	Erhöhung des Überschnitts (Anpassung des Bohrkopfs), kein Stillstand	1	1	3	3	4	3
		Instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (vorausliegende Ortsbrust).	3	1	3	3	4	12	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb	1	1	3	3	3	3	3	1	3	3	4	12	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb	1	1	3	3	3	3	3	1	3	3	4	12	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb	1	1	3	3	3	3
		unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	3	1	2	2	3	9	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Durchfahren mit nachgiebigem Tübbingausbau	1	1	2	2	3	3	4	1	2	2	3	12	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Durchfahren mit nachgiebigem Tübbingausbau	1	1	2	2	3	3	4	1	2	2	3	12	Störungszone meiden und Anpassung Linienführung, falls nicht möglich: Durchfahren mit nachgiebigem Tübbingausbau	1	1	2	2	3	3
121b	Störungszone wurde nicht erkannt	Verkleben des Schildes	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	3	1	3	3	4	12	Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern mit Hinweis auf eine Störungszone, kein Stillstand	1	1	3	3	4	3	4	1	3	3	4	16	Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern mit Hinweis auf eine Störungszone, kein Stillstand	1	1	3	3	4	3	4	1	3	3	4	16	Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern mit Hinweis auf eine Störungszone, kein Stillstand	1	1	3	3	4	3
		Instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (vorausliegende Ortsbrust).	3	1	3	3	4	12	Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb	1	1	3	3	4	3	3	1	3	3	4	12	Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb	1	1	3	3	4	3	3	1	3	3	4	12	Auslegung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter; Verfestigung Störungszone aus Vortrieb	1	1	3	3	4	3
		unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	3	1	2	2	3	9	Beobachtung des Ausbaus und bei Bedarf Nichtberücksichtigung des Abschnittes für Einlagerung oder Aufgabe Stollen	1	1	2	2	3	3	4	1	2	2	3	12	Beobachtung des Ausbaus und bei Bedarf Nichtberücksichtigung des Abschnittes für Einlagerung oder Aufgabe Stollen	1	1	2	2	3	3	4	1	2	2	3	12	Beobachtung des Ausbaus und bei Bedarf Nichtberücksichtigung des Abschnittes für Einlagerung oder Aufgabe Stollen	1	1	2	2	3	3
122 Hauptlager SMA in HB5																																										
122a	Erkennen einer Störungszone bei der vortriebsbegleitenden Erkundung	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsanlage erhöht werden.	3	2	2	2	4	12	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spieße etc.)	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	4	12	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spieße etc.)	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	4	12	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spieße etc.)	1	2	2	2	3	3
		Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsanlage erhöht werden.	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	4	Abschlag in Teilausbrüchen, engeres Ankerraster	1	2	1	1	2	2
		unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3	3	1	2	2	3	9	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	3	3
122c																																										

Tab. D-3: Risikokatalog für Antreffen von unerwarteten Baugrundeigenschaften

Standort	Gefährdungen	Gefährdungsbild	JO										NL										ZNO																					
			W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _r	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _r	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _r									
2 Baugrundeigenschaften																																												
Kriterium 4.1																																												
21 Hauptlager HAA in HB5																																												
21a	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke, anderen Spannungszustands etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	1	1	2	2	4	8	nachgiebiger Tübbingausbau	1	1	2	2	2	2		1	1	2	2	4	8	nachgiebiger Tübbingausbau	1	1	2	2	2	2		1	1	2	2	4	8	nachgiebiger Tübbingausbau	1	1	2	2	2	2
		Verkleben des Schildes	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	2	1	3	3	4	8	Erhöhung des Überschnitts (Bohrkopf anpassen); kein Stillstand	1	1	3	3	4	8		3	1	3	3	4	12	Erhöhung des Überschnitts (Bohrkopf anpassen); kein Stillstand	1	1	3	3	4	8		3	1	3	3	4	12	Erhöhung des Überschnitts (Bohrkopf anpassen); kein Stillstand	1	1	3	3	4	8
21b	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	1	1	2	2	4	8		1	1	2	2	4	8		1	1	2	2	4	8		1	1	2	2	4	8		1	1	2	2	4	8		1	1	2	2	4	8
		Verkleben des Schildes	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	2	1	3	3	4	8	Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern, kein Stillstand	1	1	3	3	4	8		3	1	3	3	4	12	Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern, kein Stillstand	1	1	3	3	4	8		3	1	3	3	4	12	Shiften der Kalibermeissel bei auffälligen Bohrparametern mit Hinweis auf eine Störungszone, kein Stillstand	1	1	3	3	4	8
21c	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch	2	1	3	3	4	8	Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter	1	1	3	3	4	8
		instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (vorausliegende Ortsbrust).	2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8
21d	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (vorausliegende Ortsbrust).	2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8
		instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (vorausliegende Ortsbrust).	2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8		2	1	3	3	4	8	Anpassung der Vortriebsparameter, nachträgliche Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers	1	1	3	3	4	8
22 Hauptlager SMA in HB5																																												
22a	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2
		unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2
22b	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z.B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höhere Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke, etc.).	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	2	2	1	1	4	8	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3		2	2	1	1	4	8	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3		2	2	1	1	4	8	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3
		Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2
22c	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	2	2	1	1	4	8	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3		2	2	1	1	4	8	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3		2	2	1	1	4	8	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3
		Niederbruch aus der Ortsbrust	Grössere Mengen an stark fragmentiertem Fels oder Blöcke lösen sich aus der Ortsbrust mit Bewegung gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsrichtung. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.	1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2
22d	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z.B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höhere Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke, etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2
		unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		3	1	2	2	2	6	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2

Tab. D-3: Fortsetzung

Standort	Gefährdungen	Gefährdungsbild	JO										NL										ZNO										
			W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R	Massnahme	W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R	Massnahme	W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R	Massnahme	W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R	Massnahme			
22e	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	2		2	1	1	4	8	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	3	3			
		Niederbruch aus der Ortsbrust	1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			
22f			1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			
23	Betriebstunnel in HB5																																
23a	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	2		1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2			
		Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	2		1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		
23b	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	Niederbruch	2		2	1	1	2	4	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2			
		Niederbruch aus der Ortsbrust	1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			
23c	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	2		2	1	1	2	4	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2			
		Niederbruch aus der Ortsbrust	1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			
23d	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	2		2	1	1	2	4	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2			
		Niederbruch aus der Ortsbrust	1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			
23e	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	2		2	1	1	2	4	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2			
		Niederbruch aus der Ortsbrust	1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			
23f	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	2		2	1	1	2	4	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2			
		Niederbruch aus der Ortsbrust	1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			
24	Lagerstollen-/Lagerkavernenabzweiger in HB5																																
24a	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	2		1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2			
		Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	2		1	2	2	2	4	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2	Erhöhung des Mehrausbruchs des nachgiebigen Ausbaus, Vorhalten der dafür erforderlichen Sicherungsmittel	1	1	2	2	2	2		
24b	Untersuchungen in EUU zeigen, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	2		2	1	1	2	4	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2	Reduktion der Abschlagslänge, Teilausbruch; engeres Ankerraster; Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm/Spiesse etc.)	1	2	1	1	2	2			
		Niederbruch aus der Ortsbrust	1		2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2		1	2	1	1	2	2			

Tab. D-3: Fortsetzung

Standort	Gefährdungen	Gefährdungsbild	JO										NL										ZNO															
			W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R _R	W	A _s	A _k	A _r	A _Q	R	Massnahme	W	A _s	A _k
24d	Untersuchungen in EUU zeigen, dass die Festigkeit des Gebirges im HB5 geringer als erwartet.	Versagen des Felspfieilers	Durch die Spannungsumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfieilers, z. B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfieilers.																																			
24e	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsanlage. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.																																			
24f	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass die Festigkeit des Gebirges im HB5 geringer ist als erwartet.	Versagen des Felspfieilers	Durch die Spannungsumlagerung wird die Tragfähigkeit des Felspfieilers, z. B. zwischen zwei Gewölben, eventuell überschritten. Dadurch kommt es zu einem Versagen des Felspfieilers.																																			
25	V1 Siegel HAA in HB5																																					
25a	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung der Ausbruchssicherung	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.																																			
25b		Versagen des angrenzenden Ausbaus	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsanlage. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.																																			
25c	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.																																			
26	Kriterium 4.2 Schachtbauwerk in HB4/HB4*																																					
26a	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass der Wasserzutritt grösser ist als erwartet.	Kurzfristiger Wassereintrich	Ausfließen des Poren- oder Kluftwassers in den Vortriebsbereich bis zur Entleerung oder Entspannung des Systems. Dadurch können das Personal und die Vortriebsanlage gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.																																			
26b		Langfristiger/dauernder Wassereintrich	Das Gebirge ist ausreichend durchlässig und es stellt sich eine Balance zwischen Zufluss und Abfluss ein, sodass permanent Wasser zutritt. Dadurch können das Personal und die Vortriebsanlage gefährdet und der Vortrieb erschwert werden.																																			
26c	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB4 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsanlage. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.																																			
27	Schachtbauwerk in HB5																																					
27a	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke, anderen Spannungszustands etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.																																			
27b	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Niederbruch	Trennflächenbedingte, spannungsinduzierte, gravitationsbedingte Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken gegen den Hohlraum. Dadurch Gefährdung des Personals und der Vortriebsanlage. Die Gefährdung kann durch Strömungskräfte erhöht werden.																																			

Tab. D-3: Fortsetzung

Standort	Gefährdungen	Gefährdungsbild	JO						NL						ZNO															
			W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R	Massnahme	W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R _R	Massnahme	W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R	Massnahme	W	A _S	A _K	A _T	A _Q	R _R	
28 JO Zugangstunnel in HB5																														
28a	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge in HB5 während der Nutzungsdauer druckhafter ist als erwartet (z. B. wegen niedrigeren Festigkeiten/Steifigkeiten als Referenz, höherer Permeabilität, Verhalten Porenwasserdrücke etc.).	unzulässige Verformungen und Überbeanspruchung des Ausbaus	Der ausgebrochene Querschnitt verengt sich innerhalb von Tagen bis Jahren. Dadurch entstehen unzulässige Verformungen. Bei Behinderung der Verformungen bildet sich ein echter Gebirgsdruck, der zu einem Versagen des Ausbaus führt. Hohe Porendruckgradienten verstärken die Gefährdung.	2	1	2	2	3	6	Verstärkung Innenschale	1	1	2	2	3	3														
28b		Verkleben des Schildes	Eine rasche Verengung des Ringspalts im Bereich des Schildes kann zu einem Verkleben der TBM während des Vortriebs oder eines längeren Stillstands führen. Ablösung resp. Abgleiten von Blöcken auf den Schild können die Gefährdung verstärken.	1	1	3	3	2	3		1	1	3	3	2	3														
28c	Während des Vortriebs wird festgestellt, dass das Gebirge im HB5 nachbrüchiger ist als erwartet.	Instabile Ortsbrust	Bei einer ungünstigen Ausbildung oder Raumstellung der Trennflächen können sich Ortsbrustinstabilitäten vor dem Bohrkopfbereich der TBM ergeben. Blöcke fallen ggf. aus der Ortsbrust und werden durch die Disken nicht zerkleinert (vorausseilende Ortsbrust).	2	1	2	2	2	4	Anpassung des Bohrkopfs und des Räumers, Anpassung der Vortriebsparameter	1	1	2	2	2	2														