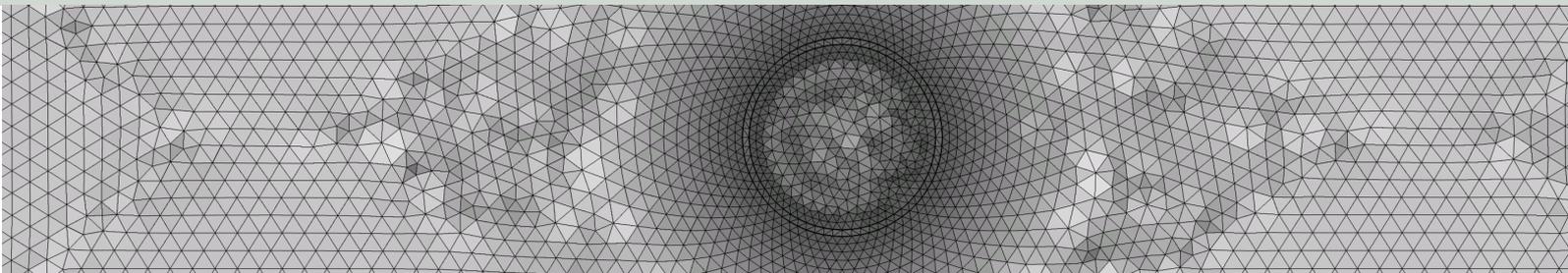




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI



Prüfbericht zum Arbeitsbericht NAB 14-50 Bautechnische Risikoanalyse

Expertenbericht

**im Rahmen der Beurteilung des Vorschlags von mindestens zwei geologischen
Standortgebieten pro Lagertyp, Etappe 2, Sachplan geologische Tiefenlager**

**M. Sommer
S. Janele
P. Jost**

Basler & Hofmann AG

März 2016

Disclaimer:

Die im Bericht dokumentierten Ansichten und Schlussfolgerungen sind diejenigen der Autoren und stimmen nicht notwendigerweise mit denen des ENSI überein.

Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2

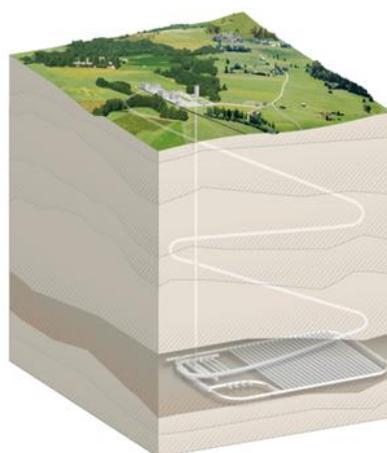
Arbeitsbericht NAB 14-50

Bautechnische Risikoanalyse

Prüfbericht ENSI 33/457

Eidgenössisches
Nuklearinspektorat ENSI
Industriestrasse 19
5200 Brugg

Datum
18. März 2016



Impressum

Datum

18. März 2016

Bericht-Nr.

3210.350-03

Verfasst von

Matthias Sommer

Simon Janele

Peter Jost

Basler & Hofmann AG
Ingenieure, Planer und Berater

Forchstrasse 395

Postfach

CH-8032 Zürich

T +41 44 387 11 22

F +41 44 387 11 00

Bachweg 1

Postfach

CH-8133 Esslingen

T +41 44 387 15 22

F +41 44 387 15 00

Titelbild: Modellgraphik ENSI

Verteiler

Ernando Saraiva ENSI

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	1
1.	Einleitung	3
1.1	Auftrag	3
1.2	Ziel der Überprüfung	3
1.3	Abgrenzung	4
1.4	Berücksichtigte Grundlagen / Quellen	6
1.5	Vorgehen und Schwerpunkte der Überprüfung	7
1.6	Stufengerechtigkeit (SIA 103)	8
1.7	Generelle Würdigung	8
1.8	Informationen zum vorliegenden Prüfbericht	8
1.9	Im Rahmen der Prüfung der BTRA berücksichtigte Karstphänomene	9
2.	Überprüfung und Ergebnisse	11
2.1	Leitfrage 1: Analyse, Stand der Technik, Methodik	11
2.1.1	Vorgehen und Beurteilung des Projektanten	11
2.1.2	Beurteilung durch den Prüferingenieur	14
2.2	Leitfrage 2: Massnahmen zur Risikoverminderung und –beherrschung	17
2.2.1	Vorgehen und Beurteilung des Projektanten	17
2.2.2	Beurteilung durch den Prüferingenieur	19
2.3	Leitfrage 3: Gefährdungen und Gefährdungsrelevanz	24
2.3.1	Vorgehen und Beurteilung des Projektanten	24
2.3.2	Beurteilung durch den Prüferingenieur	25
2.4	Leitfrage 4: Vollständigkeit und Beurteilung der Gefährdungen	28
2.4.1	Vorgehen und Beurteilung des Projektanten	28
2.4.2	Beurteilung durch den Prüferingenieur	29
2.5	Leitfrage 5: Plausibilität der Risikobeurteilung und –bewertung	31
2.5.1	Vorgehen und Beurteilung des Projektanten	31
2.5.2	Beurteilung durch den Prüferingenieur	35
2.6	Leitfrage 6: Vergleich der Standortgebiete und Schlussfolgerung	42
2.6.1	Vorgehen und Beurteilung des Projektanten	42
2.6.2	Beurteilung durch den Prüferingenieur	43
3.	Schlussfolgerung	45
3.1	Gesamtbeurteilung des Prüferingenieurs	45
3.2	Empfehlungen	46

Anhänge

- Anhang A Übersicht Risikoprofile Standortgebiete aus [1]
- Anhang B Reduktionsfaktoren der EW für Bau- und Betrieb
- Anhang C Möglichkeiten für Zugangskonfigurationen aus [1]
- Anhang D Definition Belastungsstufen potenziell verbleibender Gefährdungen

Zusammenfassung

Bautechnische Risikoanalyse der Nagra

Die Nagra, im Folgenden Projektant genannt, hat ihre Untersuchungen zu Etappe 2 des Sachplanverfahrens geologisches Tiefenlager (SGT) abgeschlossen und Anfang 2015 beim Bundesamt für Energie BFE den Vorschlag für die in der Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete eingereicht. Die bautechnische Risikoanalyse zur Realisierung der Zugangsbauwerke, im Folgenden bautechnische Risikoanalyse abgekürzt, ist Bestandteil dieser Untersuchungen.

Der Projektant hat mögliche Gefährdungen für die Zugangsbauwerke analysiert und die Risiken mit und ohne Berücksichtigung von zu treffenden Massnahmen beurteilt. Dabei kommt er zum Schluss, dass die Zugangsbauwerke in allen Standortgebieten, mit Ausnahme einer Zugangskonfiguration beim Standort Jura Südfuss, bautechnisch machbar sind. Er kommt dabei zur Beurteilung, dass weder die Standortgebiete untereinander noch die Zugangskonfigurationen innerhalb eines Standortgebietes signifikante Unterschiede in Bezug auf das Risiko aufweisen.

Überprüfung aufgrund von Leitfragen

Als Grundlage für die behördenseitige Überprüfung dieser bautechnischen Risikoanalyse hat das ENSI sechs Leitfragen formuliert. Im Vordergrund stehen dabei die Sicherheitsfragen, welche für die Kernaufgabe der Etappe 2, die Einengung der Standortgebiete, bedeutend sein können. Die Überprüfung verfolgt das Ziel, die Leitfragen zu diskutieren und zu beantworten.

Prüfergebnis

Der vom ENSI beauftragte Prüferingenieur Basler & Hofmann beurteilt die bautechnische Risikoanalyse im Rahmen der Etappe 2 des Sachplanverfahrens als stufengerecht. Die vom Projektanten gewählte Methodik zur Analyse der bautechnischen Risiken entspricht grundsätzlich dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die Bearbeitungstiefe der Risikoanalyse ist stufengerecht. Dem Resultat, dass die relevanten Gefährdungen für die Zugangsbauwerke auf Wasser- oder Schlammzutritten hauptsächlich aus Karstsystemen beruhen, stimmt der Prüferingenieur zu.

keine standortrelevanten Einschränkungen

Der grundlegenden Kernaussage, dass nach heutigem Erkenntnisstand aus der bautechnischen Risikoanalyse keine standortrelevanten Einschränkungen bestehen, stimmt der Prüferingenieur zu. Der Prüferingenieur ist ausserdem der Ansicht, dass die aktuelle Wissensbasis auch nicht ausreichen würde, um eine Eingrenzung der Standortgebiete basierend auf der vorliegenden bautechnischen Risikoanalyse vorzunehmen. Wie vom Projektanten vorgesehen, sind in SGT-Etappe 3 weitere Zusatzuntersuchungen vorzunehmen.

Die in der Etappe 2 erfolgte Einengung auf zwei weiter zu untersuchende Standortgebiete wurde dementsprechend nicht massgeblich durch die Resultate der hier beurteilten bautechnischen Risikoanalyse beeinflusst.

Empfehlungen für die weitere Planung

Der Detaillierungsgrad der bautechnischen Risikoanalyse ist in den kommenden Projektphasen zu verfeinern und dem voranschreitenden Wissensstand anzupassen. Dabei muss insbesondere die Gefährdung durch Karstsysteme im Umfeld der Zugangsbauwerke standortspezifisch untersucht und bewertet werden. Zudem sollen

weitere, möglicherweise risikomindernde Konfigurationsvarianten für die Zugangsbauwerke in Betracht gezogen werden.

1. Einleitung

1.1 Auftrag

Ausgangspunkt SGT 1

Die sechs geologischen Standortgebiete aus Etappe 1 des 'Sachplan geologische Tiefenlager' (SGT) bilden den Ausgangspunkt für die Standortwahl im Hinblick auf Rahmenbewilligungsgesuche für SMA- und HAA-Lager.

Auftrag des Projektanten

In Etappe 2 des SGT hat die Nagra, im Folgenden Projektant genannt, die Vorgabe, mindestens zwei Standortgebiete pro Lagertyp für die weiteren Untersuchungen in Etappe 3 des SGT vorzuschlagen. Der Leitgedanke ist die optimale Nutzung der geologischen Standortgebiete aus SGT-Etappe 1 bezüglich Sicherheit. D.h., der eindeutig sicherheitsbezogene Unterschied zwischen den besten und nachfolgenden Standortgebieten ist ausschlaggebend.

Anfang 2015 hat der Projektant beim Bundesamt für Energie BFE diesen Vorschlag für die in der Etappe 3 des 'Sachplan geologische Tiefenlager' (SGT) weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete eingereicht.

Gutachten ENSI

Die Dokumente des Projektanten werden vom ENSI und seinen Experten resp. Prüfteams geprüft. In [8] definiert das ENSI die Arbeitsaufteilung / Abgrenzung der Experten, fasst Themenblöcke zusammen und formuliert Leitfragen zu den abgegebenen Dokumenten des Projektanten. Die einzelnen Expertisen werden Bestandteil des ENSI-Gutachtens zum Vorschlag der Nagra zu den weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebieten (SGT-Etappe 3) im Rahmen des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager.

Prüfauftrag der
Basler & Hofmann AG

Im Rahmen dieses Prüfmandates wurde der Arbeitsbericht NAB 14-50 (dat. Dezember 2015) "Bautechnische Risikoanalyse zur Realisierung der Zugangsbauwerke" [1] anhand von sechs massgeblichen Leitfragen [8] durch Basler & Hofmann, im Folgenden als Prüfenieur bezeichnet, überprüft.

1.2 Ziel der Überprüfung

Im Vordergrund der Prüfung stehen Themenschwerpunkte, welche für die Standorteinengung bedeutend sind.

Übergeordnete Kernfragen

Übergeordnet sind folgende Kernfragen zu den Dokumenten des Projektanten zu beantworten [8]:

- _ Entsprechen die durchgeführten Arbeiten und angewandten Techniken dem Stand von Wissenschaft und Technik?
- _ Sind die parametrischen und konzeptuellen Ungewissheiten nachvollziehbar dargestellt und begründet?
- _ Liegen die Dokumente in der zur Prüfung notwendigen Qualität vor?

Berichtsspezifische Leitfragen	<p>Die fach- und berichtsspezifischen sechs Leitfragen [8] für die Überprüfung von [1] lauten:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Entsprechen die Methodik und das Vorgehen bei der Analyse dem Stand der Technik?2. Sind die vorgesehenen Massnahmen zur Risikoverminderung bzw. Risikobeherrschung für den Bau und Betrieb der Zugänge nach Untertage (Schacht/Rampe) geeignet und ausreichend?3. Ist die Evaluation der Gefährdungen nach Schadenstypen plausibel? Sind die Gefährdungsbilder vollständig? Kann der Beurteilung der Gefährdungsrelevanz zugestimmt werden?4. Sind die aus der schrittweisen Einengung verbleibenden Gefährdungen vollständig? Kann der Beurteilung zugestimmt werden?5. Sind die standortspezifische Risikobeurteilung und Risikobewertung für alle gemäss Planungsstudien möglichen Zugangskonfigurationen in den Bau- und Betriebsphasen plausibel?6. Ist der Vergleich zwischen den Standortgebieten anhand der dargestellten Risikoprofile für die Bau- und Betriebsphasen nachvollziehbar, und kann der Schlussfolgerung zugestimmt werden?
Weitere Aspekte	<p>Im vorliegenden Prüfbericht sind auch Empfehlungen / Hinweise aufgeführt, die in SGT-Etappe 3 vertiefter zu untersuchen sind.</p>
Basis Detailprüfung	<p>1.3 Abgrenzung</p> <p>Der vorliegende Bericht fasst die Beantwortung der Leitfragen des ENSI auf Basis der in der Prüfung der Bautechnischen Risikoanalyse (BTRA) durch den Projektanten gewonnenen Erkenntnisse des Prüfenieurs zusammen und erläutert eigene durchgeführte Abklärungen und Untersuchungen.</p>
Fokus Sicherheit	<p>Wirtschaftliche, terminliche, raumplanerische, sozioökonomische und ökologische Aspekte [10] sind, ebenso wie Genehmigungsrisiken, schwerpunktmässig in SGT-Etappe 3 (resp. im Rahmenbewilligungsverfahren) zu vertiefen. Der Fokus der SGT-Etappe 2 liegt auf den sicherheitsgerichteten Aspekten. Die vorgenannten Aspekte sind daher nicht Teil der Überprüfung.</p>
Zugangsbauwerke	<p>Die von der Nagra eingereichte bautechnische Risikoanalyse in [1] behandelt lediglich die erforderlichen Zugangsbauwerke nach Untertage. Deshalb wurden vom Projektanten nur die bautechnischen Risiken der Zugangsbauwerke (Schächte, Rampen, Zugangskonfigurationen) bis auf Lagerebene untersucht (siehe Abb. 1 - rote Einfärbung). Der eigentliche Lagerbereich des Tiefenlagers (z.B. Hauptlager, Pilotlager, Felslabor), die Oberflächenanlagen und die Verbindungsbauwerke zwischen den Zugangsbauwerken sind somit nicht Gegenstand dieser Prüfung. Die bautechnische Risikoanalyse für diese sicherheitstechnischen Bauwerke des Tiefenlagers wird in der Etappe 3 durchgeführt und geprüft.</p>

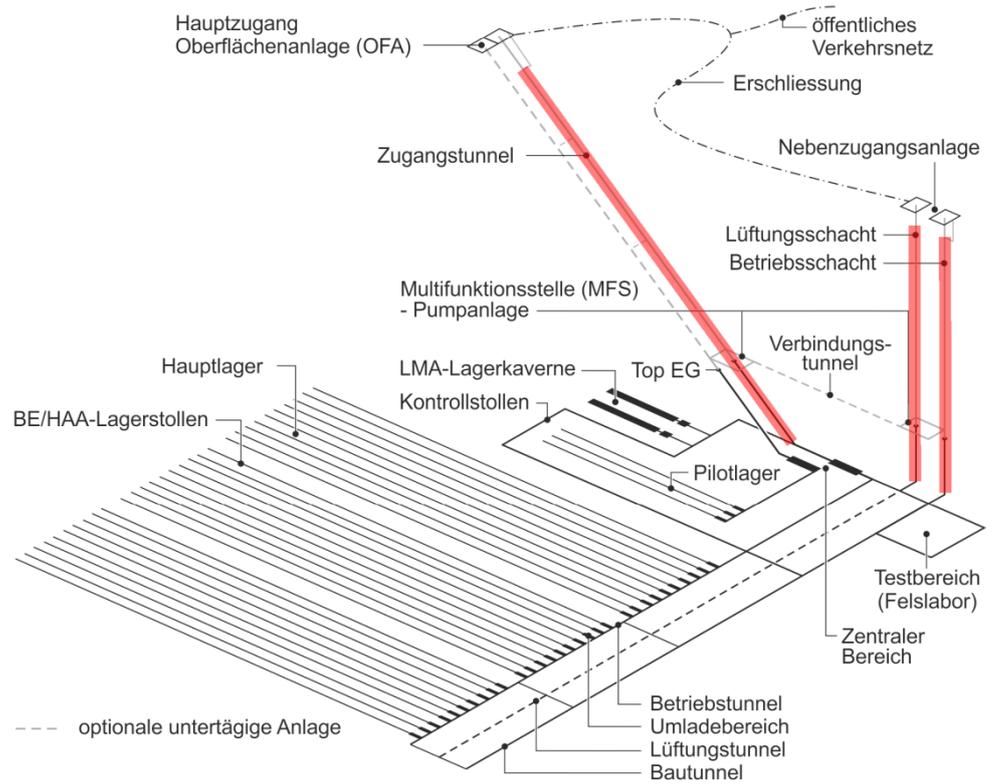


Abb. 1 Schema des HAA-Lagers. [1]

Bautechnische Machbarkeit
Tiefenlager

Die bautechnische Machbarkeit des Tiefenlagers wurde teilweise in SGT-Etappe 1 (z.B. ENSI 33-065) und wird teilweise in SGT-Etappe 2 in anderen Expertenmandaten überprüft.

Bau- und Betriebsphase

Der Fokus der im vorliegenden Prüfbericht zu prüfenden Bautechnischen Risikoanalyse liegt gemäss Vorgabe des Sachplans geologische Tiefenlager auf der Bau- und Betriebsphase der Zugangsbauwerke. Beobachtungs- und Verschlussphase sowie die Langzeitsicherheit sind nicht Gegenstand der Bautechnischen Risikoanalyse.

Langzeitsicherheit

Die Langzeitsicherheit wird in der bautechnischen Risikoanalyse nur am Rande behandelt, da sich für die primär betrachteten Bauwerksabschnitte der Zugangsbauwerke oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (EG) keine Anforderungen aus der Langzeitsicherheit ergeben.

Hydrogeologie, Geotechnik und
Lockergestein

Hydrogeologische und geotechnische Abklärungen (geologisches Schichtmodell, Wasserhaltungsrisiken entlang der Zugangsbauwerke während des Baus, Langzeitstabilität Quartärgeologie, Tektonik, Tiefenlage des Lagers, Auswirkungen infolge Auflockerungsdruck etc.) werden durch weitere Experten geprüft und sind nicht Bestandteil der vorliegenden Prüfung.

Karst

Die im Kontext der Bautechnischen Risikoanalyse relevanten, im Bericht Karst der SISKA [17] zusammengestellten wesentlichen Aussagen und Hinweise zu Karstphänomenen, zur Gefährdungsabschätzung im Karst, zur Einschätzung der

karstbedingten bautechnischen Probleme in der Nordschweiz, sowie zu Vorschlägen von Untersuchungen in Bezug auf Karst sind im vorliegenden Bericht berücksichtigt.

Gesellschaftliche Risiken

Zu berücksichtigen sind in Etappe 3 des SGT auch 'Gesellschaftliche Risiken' wie z.B. Krieg, Unruhen, Sabotage oder Flugzeugabsturz. Derartige Risiken sind jedoch nicht standortspezifisch, sondern generell an jedem Standort denkbar. Diese Risiken waren nicht Gegenstand der vorliegenden Prüfung.

1.4 Berücksichtigte Grundlagen / Quellen

Bei der Erstellung des Gutachtens wurden folgende massgebende Berichte und Dokumente berücksichtigt sowie Erfahrungswerte aus folgenden Publikationen Dritter mit einbezogen:

Grundlagen des Projektanten

- [1] Nagra; NAB 14-50; Bautechnische Risikoanalyse zur Realisierung der Zugangsbauwerke; Dezember 2014
- [2] Nagra; NAB 14-51; Ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Untertageanlagen der geologischen Tiefenlager in der Betriebsphase; Dezember 2014
- [3] Nagra; NAB 14-72; Standortsspezifische Baugrundmodelle für die Zugangsbauwerke; Dezember 2014
- [4] Nagra; NTB 14-02; Dossier IV; Geologische Grundlagen – Geomechanische Unterlagen; August 2014
- [5] IG Geologisches Tiefenlager Schweiz; Sitzungsprotokoll, UTA, Definition Bergwässer vom 15.07.2013

Grundlagen ENSI

- [6] ENSI-G03; Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis; April 2009
- [7] ENSI 33/170; Anforderungen an die bautechnischen Risikoanalysen und an ergänzende Sicherheitsbetrachtungen für die Zugangsbauwerke in Etappe 2 SGT; Januar 2013
- [8] ENSI; Protokoll Kick-off Sitzung aller Experten zur Detailprüfung des ENSI, 9. Februar 2015
- [9] ENSI; Newsletter Tiefenlager; Nr. 15; 30. Januar 2015

Grundlagen Dritter

- [10] BFE; Sachplan geologisches Tiefenlager; Konzeptteil; 02. April 2008
- [11] SIA 199; Erfassen des Gebirges im Untertagebau; Ausgabe 1998
- [12] SIA 103; Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure; 2014
- [13] UVEK Bundesamt für Strassen; KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagebau; Dezember 2012

Weitere Dokumente

- [14] Nagra-Präsentation anlässlich Arbeitssitzung vom 18. März 2015; Thomas Fries; Ergänzungen bzgl. Risikobewertung und Reduktionsfaktor inkl. interne Arbeitsunterlagen
- [15] Frage-Antwort-Katalog; Fragen der Prüferingenieure (25.03.'15) – Antworten der Nagra (22.05.'15); inkl. Kommentare SISKKA (03.06.'15)

- [16] Internetpräsentation von J. Bonzel / F. Wilhelm Locher; Über das Angriffsvermögen von Wässern, Böden und Gasen auf Beton; Anmerkungen zu den Normenentwürfen DIN 4030 E und DIN 1045 E
- [17] Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung (SISKA), Dr. von Moos AG; Grundlagen zur Beurteilung von Tiefenlagerprojekten im Hinblick auf Karstphänomene, Endversion (ENSI 33/472), November 2015
- [18] A. Radinger et al.; Die Geophysik im Einsatz zur Karst- und Erdfallerkundung im Zuge von Hochleistungsstrecken; Felsbau 21 (2003)
- [19] J. Schwarz, A. Sanoval-Wong; Risikomanagement im Tunnelbau; Technische Universität Berlin, Heft Nr. 50 (2010)
- [20] K. Kovári; Analyse und Handhabung von Risiken im Tunnelbau am Beispiel des Zimmerbergtunnels; ETH Zürich, Institut für Geotechnik (2001)
- [21] R.Pöttler et al.; Grundkonzept zur Lösung der Karst- und Erdfallproblematik für den Bau von Verkehrswegen, Felsbau 20 (2002)

1.5 Vorgehen und Schwerpunkte der Überprüfung

Vorgehen

Die Prüfarbeit startete mit der Kick-off Sitzung beim ENSI am 06. Februar 2015 [8]. Im Anschluss an diese Sitzung wurden dem Prüffingenieur umfangreiche Dokumente im Kontext zu den aktuellen Leitfragen übergeben. Sukzessive und iterativ wurden relevante Dokumente studiert und Fachsitzungen mit dem ENSI abgehalten. Auf Grund von Unklarheiten und offenen Fragen wurde auch eine Fachsitzung im Beisein des Projektanten abgehalten [14].

Prüfeschwerpunkte

Während der Prüfung der Unterlagen des Projektanten zur Bautechnischen Risikoanalyse stellten sich folgende Schwerpunkte heraus, welche als systemrelevant für die Risikoanalyse erkannt wurden:

- _ Vorhandensein von Karst und damit verbundene Gefährdungsbilder (Wasser, Schlamm etc.)
- _ Tiefenabhängigkeit (vor allem Wasserdruck)
- _ Nachvollziehbarkeit und Sensitivität der Beurteilung zur Risikoeinschätzung der Standorte

Vergleichsrechnungen /
Sensitivitätsanalysen

Durch stichprobenartige Vergleichsrechnungen und Sensitivitätsanalysen massgebender Bewertungsparameter wurden die Standort- und konfigurationsspezifischen Risikobewertungen für die verbliebenen Gefährdungen sowie der Einfluss parametrischer Ungenauigkeiten untersucht.

Beiträge Dritter:
Dr. von Moos AG
SISKA

Die Thematik des vorliegenden Prüfberichts beinhaltet signifikante Schnittstellen zur Hydrogeologie und Geotechnik. Dank interdisziplinärem Austausch mit weiteren Experten konnten wertvolle Synergien genutzt und verarbeitet werden. Die Dr. von Moos AG (Beat Rick, Martin Vogelhuber) und das Schweizerische Institut für Speläologie und Karstforschung SISKA (Pierre-Yves Jeannin) haben grundlegende und entscheidende Beiträge und Informationen zum vorliegenden Bericht geliefert. Ihre Beiträge seien an dieser Stelle bestens verdankt.

1.6 Stufengerechtigkeit (SIA 103)

Bei der Einordnung und Prüfung des Berichtes [1] ist zu berücksichtigen, dass sich die Etappe 2 des SGT gemäss SIA103 [12] im Rahmen einer Vorstudie (siehe Abb. 2 Phase 2) bewegt und in Etappe 3 des SGT noch stufengerecht zu vertiefende Untersuchungen anstehen.

Phasen	Teilphasen
1 Strategische Planung	11 Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien
2 Vorstudien	21 Definition des Bauvorhabens, Machbarkeitsstudie 22 Auswahlverfahren
3 Projektierung	31 Vorprojekt 32 Bauprojekt 33 Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt
4 Ausschreibung	41 Ausschreibung, Offertvergleich, Vergabeantrag
5 Realisierung	51 Ausführungsprojekt 52 Ausführung 53 Inbetriebnahme, Abschluss
6 Bewirtschaftung	61 Betrieb 62 Überwachung / Überprüfung / Wartung 63 Instandhaltung

Abb. 2 SIA103 (Version 2014) Kapitel 3.2

1.7 Generelle Würdigung

Der Prüfenieur würdigt den Arbeitsbericht NAB 14-50 sowie die Kommunikation mit dem Projektanten wie folgt:

- Stufengerechtes Vorgehen
- _ Das im Bericht gewählte Vorgehen des Projektanten ist stufengerecht. In Analogie zur SIA 103 entspricht der gegenwärtige Projektstand einer 'Vorstudie' (SIA-Phase 2). Der Detaillierungsgrad ist in den kommenden Projektphasen stufengerecht zu vertiefen und dem voranschreitenden Wissensstand anzupassen.
- Offene Kommunikation
- _ Die Kommunikation mit dem Projektanten wurde von den Experten als 'offen' wahrgenommen. Die erforderlichen Prüfdokumente wurden den Experten zugestellt. Auf Fragen und Unklarheiten wurde seitens des Projektanten eingegangen.
- Nutzbare Prüfunterlagen
- _ Die geprüften Unterlagen des Projektanten werden als nutzbarer Beitrag zum Standortvergleich gewertet und erfüllen teilweise die an sie in [7] gestellten Anforderungen.

1.8 Informationen zum vorliegenden Prüfbericht

- Dokumentation der Prüfung
- In den folgenden Kapiteln wird detailliert auf die Prüfung von [1] eingegangen. Diese erfolgte anhand der sechs Leitfragen aus [8]. Jeder Leitfrage wird in Kapitel 2 dieses Berichtes ein Unterkapitel gewidmet, welches wiederum in eine Beschreibung des Vorgehens und der Beurteilung des Projektanten sowie in die Beurteilung des Prüfenieurs untergliedert ist. Wo relevant sind Empfehlungen des Prüfenieurs für die weitere Vertiefung der Arbeiten in Etappe 3 des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager erwähnt.

Im Kapitel 3 werden die wichtigsten Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus der Prüfung von [1] zusammengefasst und leitfragenübergreifend strukturiert.

Karstphänomene und daraus resultierende Gefährdungen

Im Rahmen der Beurteilung der bautechnischen Risiken nehmen Karstphänomene und daraus resultierende Gefährdungen eine prominente Stellung ein. Zwecks besserer Lesbarkeit des vorliegenden Berichts werden im nachfolgenden Kapitel die wichtigsten Karstphänomene kurz beschrieben. Obwohl die aus Karst resultierenden Gefährdungen sich als massgebend für die Risikobewertung herausstellen bleibt festzuhalten, dass das Auftreten von Karst sich hauptsächlich auf Schichten des Malm und Muschelkalks beschränkt und die Phänomene mit einem Zugangsbauwerk nicht gezwungenermassen angetroffen werden müssen.

1.9 Im Rahmen der Prüfung der BTRA berücksichtigte Karstphänomene

Gemäss [17] treten in der Nordost-Schweiz folgende übergeordnete Typen der Verkarstung (Karstphänomene) generell auf:

- _ epigener Karst
- _ hypogener Karst
- _ Küstenkarst

Epigener Karst

Epigener Karst entwickelt sich in einem Kalkmassiv unter Einwirkung von meteorischem Wasser und biogenem, also natürlich vorhandenem darin angereichertem CO₂, bis nicht sehr tief unter das heutige Quellniveau (i.d.R. bis weniger als 100 m, manchmal 300 bis 500 m). Die Karströhren entwickeln sich als unterirdisches Entwässerungsnetz mit Hauptwasserläufen und Zuflüssen bis zu einem Austrittspunkt in vertikaler und horizontaler Richtung entlang von Diskontinuitäten (Klüften, Schichtflächen) und stärker durchlässigen Gebirgszonen. Beim epigenen Karst werden verschiedene Zonen der Verkarstung in Abhängigkeit der Tiefe und des Vorhandenseins von Wassers (Infiltration, Sättigung Grundwasser) sowie der damit zusammenhängenden Ausbildung von Hohlräumen unterschieden.

Hypogene Verkarstung

Hypogene Verkarstung beruht auf der Auflösung von Kalkgesteinen durch aus der Tiefe diffus aufsteigendes Wasser, welches entlang von Diskontinuitäten durch Druckunterschiede und erhöhte Temperatur bewegt wurde. Hypogener Karst ist durch Eigenschaften des tieferen Untergrundes geprägt (Gas oder warme Quellen) und tritt in grösseren Tiefen auf.

Im Gegensatz zur epigenen Verkarstung weist hypogener Karst kein hierarchisches Entwässerungssystem auf. Es handelt sich um labyrinthartige Strukturen mit hoher Röhrendichte und starker Verzweigung, die auch grosse Hohlräume von mehreren 10 m bis 100 m Durchmesser enthalten können.

Küstenkarst

Der auch als "mixed-zone" bezeichnete Küstenkarst tritt in verkarstungsfähigen Gesteinen durch Vorhandensein von Salz- und Süsswasser in grösseren Tiefen mit eher grossen Hohlräumen auf.

Die in [1] und [3] als eozäner Karst bezeichneten Karsterscheinungen im Malmkalk entwickelten sich gemäss [17] unter meeresnahen, tropischen Flachlandbedingungen (typischer Küstenkarst). Es handelt sich um eine Paläolandfläche mit Mulden und alten

Sedimenten (Lösungsrückstände = Bolustone, Bohnerz), welche auch Klüfte und Höhlen bis in grössere Tiefe teilweise verfüllen.

verkarstungsfähigen Formationen

Als verkarstungsfähigen Formationen in der Nordost-Schweiz werden in [17] grösstenteils der Malm und der Muschelkalk eingestuft. Als potentiell verkarstungsfähig werden auch der Haupttrogenstein und der Arietenkalk sowie eingelagerte Kalksteinbänke (z.B. in den Effingerschichten) bewertet.

Die im Bereich der Standortgebiete in unterschiedlicher Tiefenlage anstehenden und bei dem Bau der Zugangsbauwerke zu durchörternden Malmformationen sind gemäss [17] von epigener Verkarstung und durch Küstenkarst betroffen. Indizien weisen auch auf die Möglichkeit einer hypogener Verkarstung hin, dies insbesondere im Standortgebiet Jura-Südfuss.

Relevante Kriterien für die
Bautechnische Risikoanalyse

Für die Bewertung der Standortgebiete eines Tiefenlagers in der Nordost-Schweiz ist neben der Mächtigkeit der zu durchquerenden verkarsteten Schicht die Frage der Tiefe der potentiellen Verkarstung zentral, da die Zugangsbauwerke durch den Malm-Kalkstein bis einige 100 m Tiefe unter das regionale Vorfluterniveau führen werden. Aus bautechnischer Sicht ist die Kenntnis der Lage und Grenze zwischen der Höhlenentwicklungs-Zone (zahlreiche Röhren von relativ grossem Durchmesser) und der tieferen Zone der Initialfugenentwicklung (mit seltenen Röhren von geringem Durchmesser) besonders wichtig.

Gemäss [17] sprechen diverse Indizien für eine hypogene Verkarstung des Muschelkalks in der Nordschweiz. Da die Zugangsbauwerke nicht durch den Muschelkalk führen und nur in kürzeren Abschnitten im einschlusswirksamen Gebirgsbereich oberhalb des Muschelkalks verlaufen, sind die Risiken für die Langzeitsicherheit aus hypogener Verkarstung nicht im Rahmen der BTRA der Zugangsbauwerke, sondern im Zusammenhang mit der Risikoanalyse (Langzeitstabilität) des Lagerbereichs zu diskutieren.

Auf die weiteren für die Prüfung der BTRA relevanten karstspezifische Thematiken aus [17] wie

- _ Gefährdungsbilder aus Karst beim Bau und Betrieb der Zugangsbauwerke
- _ Gefährdungen der Langzeitsicherheit durch Karst
- _ Erkundungsmethoden zur Vorhersage von Karst und Karstgefährdungen
- _ Empfehlungen zu Untersuchungen bezgl. Karst in Etappe 3

wird im Rahmen der Beurteilung des Prüfenieurs zu den Leitfragen des ENSI in den Kapiteln 2.2 bis 2.6 eingegangen. Detaillierte Ausführungen zu den obengenannten Thematiken sind dem zugehörigen Bericht [17] des SSKA zu entnehmen.

2. Überprüfung und Ergebnisse

2.1 Leitfrage 1: Analyse, Stand der Technik, Methodik

Leitfrage 1

"Entsprechen die Methodik und das Vorgehen bei der Analyse dem Stand der Technik?"

2.1.1 Vorgehen und Beurteilung des Projektanten

Bautechnische Risiken /
Schadensgruppen

Der Projektant bewertet in seiner Analyse ausschliesslich bautechnische Risiken für die Zugangsbauwerke. Dabei identifiziert er die massgebenden Gefährdungen betreffend der Sicherheit in der Bau- und Betriebsphase mit Auswirkungen auf die Schadensgruppen:

- _ P: Personensicherheit (Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz)
- _ U: Auswirkungen auf Umwelt (Bau-, Betriebsphase)
- _ F: Erhalt der Funktionalität

Bauherrenrisiken

Klassische Bauherrenrisiken, wie Kosten, Termine und Genehmigungsrisiken werden nicht berücksichtigt. Die Risikoanalyse basiert auf dem heutigen Wissensstand zur Geologie, der in standortspezifischen Baugrundmodellen [3], zusammengefasst ist.

Risikoanalyse in 5
Vorgehensschritten

Der Projektant unterteilt seine Risikoanalyse in 5 Vorgehensschritte. In Abb. 3 ist der in [1] gewählte Ablauf dargestellt.

In den Schritten 1 bis 3 ist zunächst eine übergeordnete, standortunabhängige Ermittlung der potenziell für die Zugangsbauwerke relevanten Gefährdungen vorgesehen. Dabei sollen zunächst aus dem Tunnel- und Bergbau bekannte übliche Gefährdungen aus der Geologie unterteilt nach Schadenstypen und standortunabhängig identifiziert (vgl. Leitfrage 3 und 4) und in Gefährdungsregistern zusammengestellt werden. Anschliessend ist eine Beurteilung der Gefährdungsrelevanz unter Berücksichtigung von im Tunnel- und Bergbau üblichen Standard- und Zusatzmassnahmen vorgesehen. Als Ergebnis der Schritte 1 bis 3 werden potenziell relevante standortunabhängige weiter zu untersuchende Gefährdungen herausgearbeitet, die mit Standard- und Zusatzmassnahmen nicht auf ein akzeptables Sicherheitsniveau reduziert werden können.

In den anschliessenden Bearbeitungsschritten 4 und 5 folgt dann eine standort- und konfigurationsspezifische Analyse der verbleibenden potentiell relevanten Gefährdungen aus den Schritten 1 bis 3 mit und ohne Berücksichtigung von weiterführenden spezifischen Massnahmen für die Bau- und Betriebsphase.

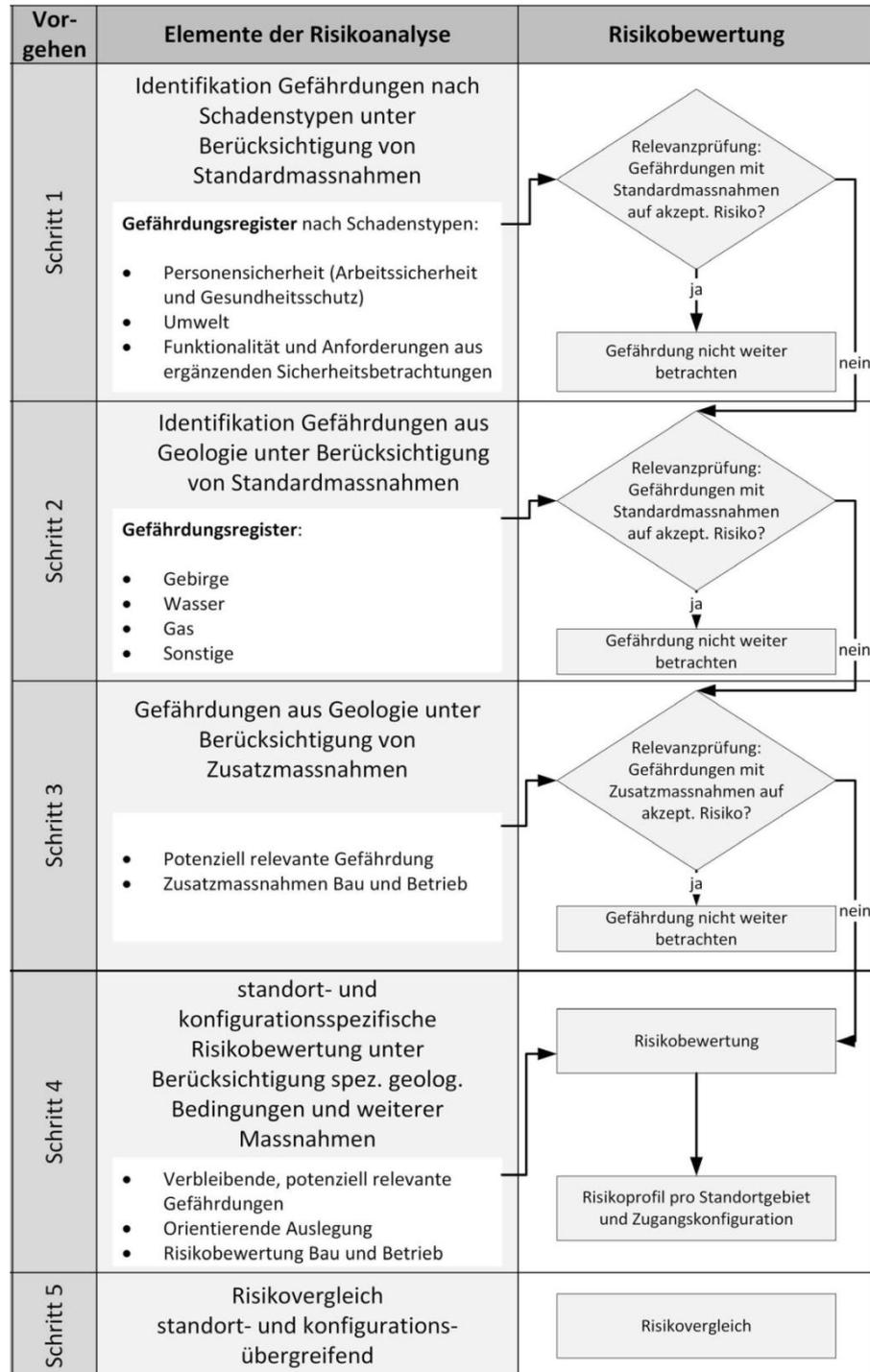


Abb. 3 Vorgehensschritte und Elemente der Risikoanalyse in [1]

Belastungsstufen / Eintretenswahrscheinlichkeiten

Für die Bewertung der potentiell relevanten Gefährdungen verwendet der Projektant die in Abb. 4 dargestellte Risikomatrix mit Unterteilung in 5 Bereiche der Eintretenswahrscheinlichkeit und 5 Belastungsstufen der Auswirkungen. Bei der Abgrenzung der Eintretenswahrscheinlichkeitsbereiche orientiert er sich gemäss [1] an Leitfäden zu Sicherheitsanalysen für Kernkraftwerke in Deutschland.

		Eintretenswahrscheinlichkeit (EW) bzw. Häufigkeit (H _{EW}) pro Jahr gemäss Stufendefinition nach Tab. 2-2 und deren Zuordnung zu Risikobereichen				
		A (nicht möglich)	0 (extrem unwahrscheinlich)	1 (unwahrscheinlich)	2 (möglich)	3 (wahrscheinlich)
Belastungsstufen (BS) nach Tab. 2-3	V (extrem gross)	Ausgeschlossen durch Transisterung/Auslegung	0	1	2	3
	IV (sehr gross)		0	1	2	3
	III (gross)		0	1	2	3
	II (mittel)		0	1	2	3
	I (gering)		0	1	2	3
			HEW < 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ ≤ HEW < 10 ⁻²	10 ⁻² ≤ HEW < 10 ⁻¹	HEW > 10 ⁻¹

Abb. 4 Risikomatrix für die verbleibenden potentiell relevanten Gefährdungen aus [1]

Die Eintretenswahrscheinlichkeit (EW) ist als jährliche Auftretenshäufigkeit (H_{EW}) einer Gefährdung definiert. Die Grössenordnung der Belastungsstufen (z.B. Wasser- und Schlammengen) basiert auf Auswertungen vorliegender Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten und Einschätzungen des Projektanten in [3]. Die bei der Einstufung der Gefährdung in [1] zu Grunde gelegte Definition der Belastungsstufen (BS) der vom Projektanten ermittelten potenziell verbleibenden Gefährdungen in der Bau- und Betriebsphase ist in Anhang D enthalten.

Risikobereiche

Die vom Projektanten definierten Risikobereiche werden wie folgt unterschieden:

- _ akzeptierter Bereich (grün) – Risiken mit Massnahmen zuverlässig beherrschbar
- _ Übergangsbereich (orange) – Risiken noch akzeptabel aber weiter zu überprüfen in den folgenden Projektphasen
- _ Nicht akzeptierter Bereich (rot) – Risiken in Betriebsphase nicht akzeptabel (Zugangskonfiguration technisch nicht machbar); Risiken in Bauphase nur mit Belastungsstufe III akzeptabel, sofern diese mit weiteren Massnahmen in der Betriebsphase im orangen Bereich zu liegen kommen

Zugangskonfigurationen

Für jedes Standortgebiet berücksichtigt der Projektant mindestens 2 und teilweise 3 Zugangskonfigurationen aus

- _ 1 Rampe und 1 Schacht
- _ 1 Rampe + 2 Schächten
- _ 2 Schächten

wobei die Rampen je nach Konfiguration als langgestreckte Rampe mit doppelröhrigen Einspurtunneln und Querverbindungen oder als Wendelrampe mit Doppelspurtunnel ausgebildet werden sollen. Die Erschliessung über Schachtbauwerke (Betriebsschächte und Lüftungsschächte) ist mit Vertikal- und Blindschächten (Erschliessung Schachtkopf mit Horizontalstollen und Kaverne) vorgesehen. Dabei handelt es sich um an den jeweiligen Standorten mögliche, in der nachfolgenden Etappe weiter zu evaluierende Zugangskonfigurationen. Beispielhaft sind in Abb. 5 die am häufigsten an den Standortgebieten vorgesehenen Zugangskonfigurationen dargestellt. Eine Darstellung aller alternativ möglichen Zugangskonfigurationen ist in Anhang C enthalten.

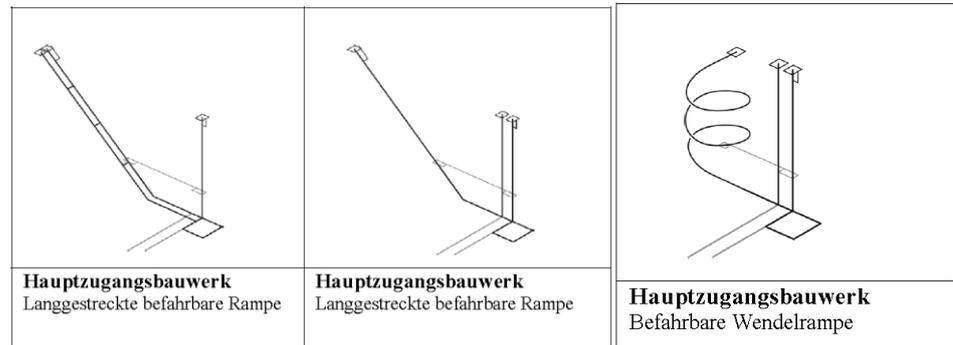


Abb. 5 Am häufigsten gewählte Zugangs-konfigurationen der Standortgebiete aus [1]

Aspekte der betrieblichen Sicherheit der Zugangs-bauwerke werden in ergänzenden sicherheitstechnischen Betrachtungen [2] untersucht und bewertet. Der zugehörige Bericht des Projektanten ist nicht Grundlage dieser Prüfung und wird in einem gesonderten Prüfbericht abgehandelt.

2.1.2 Beurteilung durch den Prüferingenieur

Methodik

Die vom Projektanten gewählte Methodik für die bautechnische Risikoanalyse entspricht grundsätzlich dem Stand von Wissenschaft und Technik. Empfehlungen zu einem prinzipiell vergleichbaren Vorgehen sind in der Fachliteratur zu finden (vgl. [19] und [20]).

Detaillierungsgrad

Der Prüferingenieur beurteilt den mit dem Vorgehen gewählten Detaillierungsgrad der Gefährdungsanalyse (Identifikation und Relevanzprüfung) und die Bearbeitungstiefe der Risikobewertung als stufengerecht.

Zentrale Anforderungen an die Methodik

Die in [7] ENSI 33/170, Abschnitt 2.1, definierten, zentralen Anforderungen an die Methodik und den Umfang der bautechnischen Risikoanalyse sind in [1] NAB 14-50 insofern nur teilweise erfüllt, da die darin dokumentierte Risikoanalyse lediglich die Zugangs-bauwerke betrachtet. Die sicherheitsrelevanten Bauwerke auf der Ebene des Tiefenlagers wurden dabei nicht betrachtet und sind auch andersorts nicht vollständig im Sinne der Anforderungen aus [7] abgehandelt.

- a) *"Für geologische Tiefenlager stehen die Aspekte der Arbeitssicherheit, Auswirkungen auf die Umwelt, Betriebs- und Langzeitsicherheit im Vordergrund. Diese Risiken basieren auf (...) Gefährdungsbildern (...) sowie allfälligen Auswirkungen der geplanten Massnahmen wie zum Beispiel der Vorauserkundung, des Ausbruchs, und der Gebirgssicherung und Stützung."*
- b) *"Als zentrales Element der bautechnischen Risikoanalyse ist eine abdeckende Erarbeitung und Beschreibung der Gefährdungsbilder und Gefährdungsszenarien vorzusehen."*
- c) *"Die in bautechnischen Risikoanalysen verwendete Eintretenswahrscheinlichkeit bezieht sich in der Regel auf die Gefährdungsszenarien unter Berücksichtigung der geplanten Massnahmen, (...)"*

- d) *"Anhand der aus den Baugrundmodellen abgeleiteten geologischen Gefährdungsszenarien sollen für den Bau und Betrieb der Zugangsbauwerke und des Tiefenlagers Gefährdungsbilder und Eintretenshäufigkeiten sowie Massnahmen zu deren Verhinderung, Früherkennung bzw. Beherrschung aufgezeigt werden (...)"*
- e) *"Die Analysen basieren in der Regel auf standortspezifischen Gefährdungsbildanalysen und den geplanten bautechnischen Massnahmen für die Zugangsbauwerke (...)"*
- f) *"Für die Risikobetrachtungen müssen neben den Gefährdungsbildern auch die geplanten oder berücksichtigten Massnahmen (zum Beispiel Ausbruchsmethoden, Vorauserkundungsmassnahmen, Sicherungs- und Stützmittel) beschrieben werden."*
- g) *"Die Resultate der bautechnischen Risikoanalysen müssen in die Bewertung der verschiedenen Standorte und in den sicherheits-technischen Vergleich einfließen."*
- h) In den Risikoanalysen sind die jeweiligen Einstufungen der Gefährdungen in einer Risikomatrix mit Bewertung einer Eintretenswahrscheinlichkeit und einem Schadensausmass nachvollziehbar zu begründen.

Beschränkung auf
Zugangsbauwerke

Der Projektant hat seine bautechnische Risikoanalyse in [1] auf die Zugangsbauwerke nach Untertag beschränkt. Die sicherheitsrelevanten Bauwerke auf Lagerebene sind dabei nicht in die bautechnische Risikoanalyse eingeflossen.

Langzeitsicherheit

Mögliche Einflüsse auf die Langzeitsicherheit nach Verschluss des Lagers werden in [1] nur am Rande behandelt. Es werden Hinweise zu Bauwerken auf Lagerebene mit Relevanz für die Langzeitsicherheit gegeben, welche die Phase Bau betreffen. Für die Bauwerksabschnitte oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs werden Gefährdungen mit Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit der sicherheitsrelevanten Bauwerke auf Lagerebene aufgezeigt und Massnahmen zur Verhinderung von Auswirkungen entsprechender Gefährdungen genannt (z.B. Verhinderung von Wasserwegsamkeiten entlang der Zugangsbauwerke in den einschlusswirksamen Gebirgsbereich auf Lagerebene). Für die Bauwerksabschnitte oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs selbst stellen sich darüber hinaus keine spezifischen Anforderungen aus der Langzeitsicherheit. In [17] wird zudem auf eine mögliche, unterhalb der Lagerebene liegende, hypogene Verkarstung im Muschelkalk hingewiesen, welche zu grossen Hohlräumen führen könnte. Deckeneinstürze derartiger potentieller Hohlräume könnten die Langzeitsicherheit der Lagerebene gefährden, sind aber nicht Bestandteil der BTRA für die Zugangsbauwerke.

Baugrundmodelle der
Standortgebiete

Die Baugrundmodelle der Standortgebiete aus [3], welche der Gefährdungsanalyse des Projektanten zu Grunde liegen, umfassen in Anlehnung an die SIA 197 und SIA 199 eine geologische Prognose mit einer detaillierten Beschreibung aller für den Bau und Betrieb relevanten strukturgeologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Eigenschaften für die Abschnitte der Zugangsbauwerke unterhalb der Lockergesteinsstrecke bis auf Lagerebene. Die Bandbreite der geologischen Eigenschaften ist darin gemäss dem aktuellen Stand des Wissens zur Geologie in den Standortgebieten aufgezeigt.

Die Baugrundmodelle in [3] sind bei der gewählten Vorgehensweise des Projektanten in [1] die massgebende Grundlage für die Analyse und Bewertung der Hauptgefährdungen der Zugangsbauwerke.

Leitfrage 2	2.2 Leitfrage 2: Massnahmen zur Risikoverminderung und –beherrschung <i>"Sind die vorgesehenen Massnahmen zur Risikoverminderung bzw. Risikobeherrschung für den Bau und Betrieb der Zugänge nach Untertage (Schacht/Rampe) geeignet und ausreichend?"</i>
Hauptanforderungen	2.2.1 Vorgehen und Beurteilung des Projektanten In Kap. 4 von [1] beschreibt der Projektant die vorgesehenen und in der Risikobeurteilung berücksichtigten Massnahmen zur Sicherstellung der Hauptanforderungen an die Zugangsbauwerke in der Bau- und Betriebsphase. Als zwei Hauptanforderungen definiert der Projektant den sicheren Betrieb der Zugangsbauwerke in der ihnen zgedachten Funktion und die sichere Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit und der Tragsicherheit des Bauwerks in jeder Bau- und Betriebsphase, ohne dass ein nicht akzeptierbares Risiko eingegangen wird. Für verschiedene mögliche Zugangskonfigurationen aus Rampe und Schacht werden bei der Risikobeurteilung berücksichtigte Massnahmen vorgestellt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Zuverlässigkeit diskutiert.
Unterscheidung von Massnahmen	Dabei werden die Massnahmen zur Risikobewältigung einerseits hinsichtlich ihres Wirkungszeitpunktes in ereignisverhindernde präventive Massnahmen und in Massnahmen bei und nach dem Eintritt eines Ereignisses (Störfalls) unterschieden. Des Weiteren erfolgt eine Gruppierung nach Typ und Art der Massnahmen.
Präventive Massnahmen	Als wesentliche präventive Massnahmengruppen zur Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen für die Zugangsbauwerke werden definiert: _ Standortwahl, Trassierungsregeln aus Bau bzw. Betrieb für Zugangsbauwerke, Zugangskonfiguration _ Massnahmen zur Aufrechterhaltung der Hohlraumstabilität und Begrenzung der Wasserzutritte (z.B. Querschnittswahl, Sicherung/Ausbau, Bauvorgang, Vorauserkundung, Injektionen) _ Überwachung und Unterhalt
Massnahmen der Störfallbewältigung	Folgende Massnahmengruppen zur Störfallbewältigung respektive Vorsorgemassnahmen zur Minderung der Auswirkungen bei Eintritt eines Ereignisses werden vom Projektanten berücksichtigt: _ Notmassnahmen (z.B. Ableiten, Fassen und Pumpen bei Wassereinbruch) _ Massnahmen zur Wiederherstellung der Zugänglichkeit/Verfügbarkeit der Bauwerke (z.B. Leerpumpen gefluteter Bauwerksabschnitte)
Standard- und Zusatzmassnahmen	Alle Massnahmen werden zunächst als Standard- und Zusatzmassnahmen zur Abdeckung relevanter standortunabhängiger Gefährdungen nach Schadenstypen und aus der Geologie unabhängig von den standortspezifischen Bedingungen und der Wahl der Zugangskonfiguration vorgesehen und später hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht und bewertet (siehe nachfolgende Kapitel). Als Standard- und Zusatzmassnahmen sind gemäss der Definition des Projektanten Massnahmen zu verstehen, mit welchen im Rahmen der standort- und konfigurationsunabhängigen

Relevanzprüfung (Vorgehensschritte 1 bis 3, vgl. Kap. 2.1.1 Abb. 3 in diesem Bericht) identifizierte Gefährdungen zuverlässig auf ein akzeptiertes Sicherheitsniveau beschränkt werden können.

verbleibende Gefährdungen

Die unter Berücksichtigung von Standard- und Zusatzmassnahmen verbleibenden potenziell relevanten Gefährdungen werden anschliessend unter Berücksichtigung standortspezifischer, weitergehender Massnahmen vertieft analysiert, diskutiert und bewertet (vgl. Kap. 2.3 und 2.4 in diesem Bericht).

spezifische Hauptmassnahmen

Zur Risikominderung sieht er im Wesentlichen folgende spezifische Hauptmassnahmen für die Bau- und Betriebsphase vor:

- _ vortriebsbegleitende Vorauserkundung (VEK)
- _ Vorausinjektion des Gebirges
- _ Verplombung (plug) der Ortsbrust, der Schachtsohle oder der rückwärtigen Tunnel- bzw. Schachtlaibung
- _ Nach- und Ertüchtigungsinjektionen
- _ Wasserhaltung mit Auslegung auf Bau- und Betriebsphase
- _ Anpassung der Linienführung
- _ Überwachung der den Zugangsbauwerken zusickernden Restwassermengen
- _ Messung des Bergwasserspiegelniveaus

Initialer Wassereinbruch

Gemäss [1] und ergänzenden Erläuterungen in [14] sieht der Projektant vor, in Gebirgsbereichen, in denen Gefährdungen aus initialen Wassereinbrüchen sowie grösseren stationären Wasserzuflüssen aus angefahrenem verkarstetem Gebirge oder Klüften und Störungen auftreten können, eine systematische vortriebsbegleitende indirekte Vorauserkundung mit geophysikalischen redundanten Erkundungsverfahren aus dem aufgefahrenen und gesicherten Hohlraum durchzuführen. Die indirekte Erkundung soll durch direkte Aufschlüsse mit ergänzenden Vorausbohrungen ergänzt werden.

Vorausende Injektionen

Bei Erkundung relevanter Karst- oder Kluftstrukturen und daraus abgeleiteten oder bereits zuvor bekannten Gefährdungen aus Kluft- bzw. Bergwasser und sedimentverfüllten Karsthohlräumen sieht der Projektant dann vor, mit systematischen vorausende Injektionen von der Ortsbrust aus eine Abdichtung des Gebirges um den vorgesehenen Hohlraum zu erzielen. Damit möchte er ein sicheres Auffahren der Zugangsbauwerke in Gebirgsabschnitten mit unter Druck stehenden, wasser- oder schlammgefüllten Karststrukturen ermöglichen. Die so im Voraus injizierten Vortriebsabschnitte sollen bei Undichtigkeiten in der Bauphase oder im Rahmen von Unterhaltsarbeiten in der Betriebsphase durch Nach- und Ertüchtigungsinjektionen abgedichtet werden. Der Projektant definiert in [1] und [14] ein Abdichtungsziel für die Zugangsbauwerke von 5 l/sec. pro km Bauwerkslänge für die Bau- und Betriebsphase. Dieses Abdichtungsziel basiert auf Auswertungen und Erfahrungswerten von Experten aus vergleichbaren Projekten in [3], [5] und soll mit den o.g. Massnahmen erreicht werden.

Konkrete Massnahmen zur Verfüllung oder Injektion von schlammgefüllten Karsthohlräumen hat der Projektant in der aktuellen Projektphase nicht spezifiziert.

Erfahrungswerte dazu aus anderen Projekten mit vergleichbaren hydrologischen Rahmenbedingungen liegen dem Projektanten nicht vor.

Einfluss Bergwasserdruck, Injektionsdrücke, weitere Spezifikationen

Weitere Spezifikationen der Abdichtungsmassnahmen mit Bezugnahme zum Druckniveau und allfällige Rückfallebenen für den Fall, dass die planmässigen Abdichtungsmassnahmen nicht den vorgesehenen Abdichtungserfolg gewährleisten, hat der Projektant in dieser Planungsphase noch nicht definiert. Einen massgebenden Einfluss der Bergwasserdruckverhältnisse auf die Wirksamkeit der Massnahmen zur Risikominderung sieht der Projektant in [15] nicht. Die aus Gebirgsinjektionen bei vergleichbaren Bergwasserdrücken gewonnene Erfahrungen aus anderen Projekten (z.B. Gotthard Basistunnel) sind nach Ansicht des Projektanten auf die geplanten Abdichtungsinjektionen an den Standortgebieten in verkarsteten Gebirgsbereichen übertragbar und werden als beherrschbare Erfahrungswerte eingestuft. Die verfahrenstechnischen Parameter der Injektionsarbeiten sollen standortspezifisch mit Vorversuchen festgelegt werden.

Verplombung

Als Rückfallebene für den Fall einer nicht erfolversprechenden oder nicht ausreichend wirksamen Vorausinjektion sowie zur Sanierung einer Einbruchstelle nach erfolgtem Wasser- oder Schlammereinbruch, sieht der Projektant eine Verplombung von Karsthohlräumen als zusätzliche Massnahme vor. Dafür ist gemäss [15] ein druckwasserhaltender örtlicher Betonabschluss zur vollständigen Abdichtung in der Schachtsohle bzw. in der Ortsbrust oder an der Ausbruchlaibung im rückwärtigen Bereich eines Zugangsbauwerkes vorgesehen. Die Machbarkeit einer vorsorglichen Verplombung eines vor der Ortsbrust detektierten grösseren Hohlraums erfordert ein vorgängiges Ableiten des Bergwassers aus dem Hohlraum in die aufgefahrene Zugangsrampe. Im Falle eines Wassereintruchs muss die Einbruchstelle eines Rampenbauwerkes für das Setzen einer Plombe zunächst wieder zugänglich gemacht werden. Nach Verplombung kann der abgeschlossene Hohlraum dann verfüllt bzw. zur Ertüchtigung ausinjiziert und der Vortrieb durch die Plombe fortgesetzt werden. Der Projektant sieht in [15] keine Gründe, die gegen die technische Machbarkeit einer Verplombung sprechen. In dem Zusammenhang verweist er auf Erfahrungen aus Projekten im Tunnel- und Bergbau unter vergleichbaren und ungünstigeren Randbedingungen.

Wasserhaltung

Die Auslegung der Wasserhaltung für die Bau- und Betriebsphase wird vom Projektanten basierend auf den angenommenen Mengen für initiale Wasserzutritte bei im Vortrieb angefahrenen Karst- oder Kluffstrukturen festgelegt. Dabei sind zudem Restsickerwassermengen sowie Überlegungen zu möglichen Flutungsgeschwindigkeiten der Zugangsbauwerke berücksichtigt.

2.2.2 Beurteilung durch den Prüfenieur

Der Projektant definiert und erörtert zahlreiche Massnahmen zur Verhinderung, Früherkennung und Beherrschung von allgemeinen, im Tunnel- und Bergbau üblichen, standortunabhängigen und standort- sowie konfigurationsspezifischen Gefährdungen, welche während dem Bau und Betrieb der Zugangsbauwerke auftreten können bzw. zu erwarten sind.

Standard- und Zusatzmassnahmen	Die vom Projektanten vorgesehenen Standard- und Zusatzmassnahmen zur Beherrschung der im Zuge der Relevanzprüfung ausgeschlossenen Risiken für den sicheren Bau und Betrieb respektive für die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Zugangsbauwerke entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die Massnahmen sind hinsichtlich ihrer Auslegung, Eignung und Wirksamkeit stufengerecht analysiert und beschrieben und werden vom Prüfenieur auf Basis von vergleichbaren allgemeinen Projektanforderungen und vorhandenen Erfahrungen als im Tunnel- und Bergbau üblich und erfolgversprechend beurteilt. Die vom Projektanten vorgesehenen Standard- und Zusatzmassnahmen führen zu einer ausreichenden Vermeidung bzw. Minderung der zugeordneten standortunabhängigen Risiken.
Massnahmen zu Beherrschung der Hauptgefährdungen	Die vom Projektanten vorgesehenen standortspezifischen Massnahmen zur Beherrschung der Hauptgefährdungen aus dem Auffahren der Zugangsbauwerke in verkarstetem oder potentiell verkarstungsgefährdeten und klüftigen Gebirgsabschnitten sind stufengerecht und nachvollziehbar gewählt und beschrieben. Die vorgesehenen Massnahmen basieren auf dem vorhandenen Erkenntnisstand zur Geologie und den in [3] auf Basis der geologischen Längsschnitte geschätzten Belastungen. Die vorgesehenen Verfahren zur Detektion und Abdichtung von Gebirgszonen mit wasserführenden Kluft- und Karststrukturen entsprechen grundsätzlich dem aktuellen Stand der Technik, wurden aber noch nie unter vergleichbaren komplexen Randbedingungen (wasser- oder schlammgefüllte Karststrukturen mit sehr hohen Wasserdrücken) realisiert.
Vorauselende Erkundung	Um ein hohes Sicherheitsniveau zu erreichen, wird in [17] als Zielsetzung empfohlen, alle Karströhren zu detektieren, die innerhalb eines "Karstsicherheitsperimeters" um das Zugangsbauwerk (z.B. 1 Stollen- bzw. Schachtdurchmesser) liegen. Ein vergleichbares Vorgehen wurde bereits im Verkehrswegebau bei Tunnelbauwerken erfolgreich angewendet und ist beispielsweise in [21] beschrieben. Es ist aber zu beachten, dass Hohlräume und/oder Füllungen erst ab einer gewissen Grösse mit geophysikalischen Methoden identifiziert werden können (Randbedingungen und Anwendungsbereiche werden in [17] diskutiert).
Erfolg von vorauselenden Abdichtungs- und Verfestigungsinjektionen	Der Erfolg von vorauselenden Abdichtungs- und Verfestigungsinjektionen hängt einerseits massgebend vom vorgängigen Erkenntnisumfang konzeptueller Karstmodelle ab. Andererseits ist die Wahrscheinlichkeit der frühzeitigen Detektion während des Baus mittels direkten und indirekten Erkundungsverfahren von Karststrukturen im Einflussbereich des Vortriebs bzw. des Bauwerks relevant. Ziel muss es sein, Hohlräume effizient zu behandeln, bevor sie mit dem Bauwerk angeschnitten werden.
Kombination von verschiedenen Erkundungsverfahren	Wie vom Projektanten vorgesehen, ist der Einsatz von geeigneten kombinierten geophysikalischen und direkten Erkundungsverfahren zwingend erforderlich. Die Aufschlüsse müssen aufgrund der grossen Tiefenlage der Zugangsbauwerke weitgehend aus dem bereits aufgefahrenen oder einem benachbarten Bauwerk heraus ausgeführt werden. Die Eignung der Verfahren muss im Vorfeld der Baudurchführung

unter vergleichbaren Bedingungen nachgewiesen werden. Insbesondere die Erkundung und Unterscheidung von schlamm- und/oder wassergefüllten Karsthohlräumen ist unter den gegebenen Randbedingungen (Messung vom Tunnel oder Bohrloch aus) mit den derzeit zur Verfügung stehenden geophysikalischen Verfahren (Seismik, Gravitation, Georadar und geoelektrische Tomographie) nach Einschätzung des Prüflingenieurs und des Verfassers zu [17] nicht ohne Einschränkungen gesichert.

In [17] sieht der Verfasser einen Vorteil bei der Effektivität einer Kombination von geophysikalischen Verfahren und Erkundungsbohrungen aus einer spiralförmigen Zugangsrampe heraus.

Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit
Gebirgstragring

Die technische Machbarkeit eines Vortriebs in stark verkarsteten oder zerklüfteten wasserführenden tiefliegenden Gebirgsbereichen ist massgeblich von Qualität und Funktionalität (Stabilität und Dichtigkeit) des injizierten Gebirgstragrings abhängig. Für eine ausreichende und dauerhafte Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Zugangsbauwerke (Hohlraumstabilität, Dichtigkeit, resp. Begrenzung Wasserzutritte) in der Betriebsphase ist der Erfolg der Injektionsmassnahmen in den betreffenden abzudichtenden Bauwerksabschnitten entscheidend. In der weiteren Planung ist diesen Massnahmen deshalb im besonderen Masse Aufmerksamkeit zu schenken.

technische Machbarkeit
Injektionen im Karst

Der Erfolg von vorausseilenden und nachträglichen Abdichtungs- und Verfestigungsinjektionen ist in dem unter hohen bis sehr hohen Wasserdrücken stehenden verkarsteten Gebirge auf Basis des heutigen Wissensstands und des Stands der Technik nicht ohne Einschränkung gewährleistet. Insbesondere die dem Vortrieb vorausseilende Abdichtung bzw. Verfüllung von nicht rechtzeitig detektierten kleineren unter hohem Wasserdruck stehenden weitverzweigenden Karströhren wird als technisch äusserst anspruchsvoll eingestuft und liegt hinsichtlich des Abdichtungserfolgs im Grenzbereich der technischen Machbarkeit. Ein signifikantes Restrisiko sieht der Prüflingenieur zudem bei der Abdichtung bzw. Injektion von schlammgefüllten Karsthohlräumen unter hohen Wasserdrücken sowie beim Antreffen eines weit verzweigten Karstsystems mit ergiebiger Wasserspeisung. Referenzierbare Erfahrungswerte zur Injektion und Abdichtung von sediment- oder schlammgefüllten Karsthohlräumen unter vergleichbaren hydrologischen Randbedingungen sind dem Prüflingenieur und dem Projektanten gemäss [15] nicht bekannt.

Verplombung

Die vom Projektanten vorgesehene nachträgliche Verplombung von Wasser- oder Schlammleinbruchstellen aus angefahrenen, nicht bei der Vorauserkundung detektierten, Karsthohlräumen wird vom Prüflingenieur als äusserst anspruchsvoll eingestuft und ist mit nicht unerheblichen Restrisiken verbunden. Einerseits sind die zuvor in die Rampe oder den Schacht abzuführenden Wasser- und/oder Schlammengen im Voraus schwer abschätzbar und andererseits ist die Wiederherstellung der Zugänglichkeit eines möglicherweise bis auf Bergwasserdruckniveau gefluteten Zugangsbauwerks mit erheblichen Aufwendungen und Unsicherheiten hinsichtlich des erfolgreichen Abpumpens verbunden.

Änderung der Linienführung	Die Wirksamkeit der Massnahme 'Änderung der Linienführung' hängt stark von der Eintretenswahrscheinlichkeit und der Ausprägung von Karststrukturen im betreffenden Gebirgsabschnitt ab. Grundsätzlich kann bei einer geänderten Linienführung nicht ausgeschlossen werden, dass mit dieser erneut Gebirgsbereiche angefahren werden, bei denen die geplanten Massnahmen zur Risikominderung oder -beherrschung nicht erfolgreich sind.
Vorbehalt Hauptmassnahmen Karst	Im Rahmen der Etappe 2 des Sachplanverfahrens kann der Eignung der vorgesehenen Hauptmassnahmen (Vorauserkundung und Injektionen) zur Beherrschung der Hauptrisiken aus Karst deshalb nur unter dem Vorbehalt zugestimmt werden, dass eine sichere bautechnische Umsetzung und die Wirksamkeit der Massnahmen in der Etappe 3 weiter vertieft untersucht und belegt werden müssen.
Eignung und technische Machbarkeit Hauptmassnahmen	Empfehlungen zu SGT-Etappe 3 Die Eignung und die technische Machbarkeit der vorgesehenen Hauptmassnahmen 'Vorauserkundung und Abdichtungsinjektionen' müssen in der Etappe 3 des Sachplanverfahrens vertieft untersucht und standortabhängig bewertet werden. In [17] wird empfohlen die Ausprägung der Karstbereiche im Hinblick auf die gezieltere Auslegung der Massnahmen vertiefter zu charakterisieren. In Anlehnung dazu empfiehlt der Prüfenieur insbesondere folgende Fragestellungen zu untersuchen: <ul style="list-style-type: none">_ Grössenordnung der zu beherrschenden Wassermengen aus angefahrenem und injiziertem Karst (initialer Wassereinbruch, stationärer Wasserzufluss)_ Maximale Druckhöhe im Karstgebirge_ Maximales Wasservolumen im Karstgebirge_ Maximale Volumen, Eigenschaften und Zusammensetzung von Lockersedimenten in Karsthohlräumen_ Maximale und mittlere Hohlraumdurchmesser_ Flächendeckungsgrad und Konnektivität der Hohlräume_ Morphologie und Orientierung der Hohlräume_ vorauseilende Detektierbarkeit und Injizierbarkeit von Karststrukturen_ Detektierbarkeit und Abdichtbarkeit (schlammgefüllter) grosser Hohlräume_ Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit der Injektionskörper infolge Durchströmung (höherer Strömungsgradient bei höherem Druck)_ Nachinjizierbarkeit Gebirge/Injektionskörper bei hohen Wasserdrücken und Wassermengen_ Tiefenabhängigkeit der Wirksamkeit der vorgenannten Massnahmen
Szenarien zur spezifischen Massnahmendefinition	Im Expertenbericht Karst [17] wird empfohlen mögliche Szenarien des Auftretens von Karstphänomenen detaillierter zu untersuchen, um entsprechende darauf abgestimmte Massnahmen zur Behandlung gezielter festlegen zu können.
Zusätzliche Massnahme Pilotstollen	Für die Erschliessung des Felslabors wird vor dem eigentlichen Lagerbau das erste Zugangsbauwerk nach Untertag als Rampe oder Schacht gebaut. Der Prüfenieur empfiehlt im Rahmen der Errichtung dieses ersten Zugangsbauwerks bereits die Eignung und Effizienz der vorgesehenen bautechnischen Verfahren und Massnahmen

zu prüfen und zu bewerten. Ferner sollte die geologische und geotechnische Datenbasis mit neuen Daten ergänzt werden.

Vor dem Bau einer Rampe als Zugangsbauwerk zum Endlager könnte ein Pilotstollen parallel zu der geplanten Trassierung der Rampe gebaut werden, um ergänzende geologische und geotechnische Daten zu erhalten sowie die Eignung der geplanten vortriebsbegleitenden Bauhilfsmassnahmen, wie z.B. Injektionsmassnahmen, zu überprüfen. Dieser Pilotstollen könnte später eventuell als Sicherheitsstollen während des Betriebs des Lagers genutzt werden. Alternativ wäre auch ein Pilotstollen mit kleinem Durchmesser denkbar, der nach der Erprobung von Bauverfahren und Massnahmen auf den regulären Querschnitt der Zugangsrampen aufgeweitet würde.

Im Falle eines Schachtes als Zugangsbauwerk zum Endlager wäre ein analoges Vorgehen mit einem abgeteuften Pilotschacht ebenfalls denkbar. Dieser könnte anschliessend ebenfalls auf den planmässigen Durchmesser des Zugangsschachtes aufgeweitet werden.

Leitfrage 3

2.3 Leitfrage 3: Gefährdungen und Gefährdungsrelevanz

"Ist die Evaluation der Gefährdungen nach Schadenstypen plausibel? Sind die Gefährdungsbilder vollständig? Kann der Beurteilung der Gefährdungsrelevanz zugestimmt werden?"

Evaluation / Relevanzprüfung
in 3 Schritten

2.3.1 Vorgehen und Beurteilung des Projektanten

Die Evaluation der Gefährdungen und deren Relevanzprüfung erfolgt in drei Schritten:

1. Schritt: Evaluation Gefährdungen nach Schadenstypen und deren Relevanzprüfung
2. Schritt: Relevanzprüfung der Gefährdungen aus der Geologie unter Berücksichtigung von Standardmassnahmen
3. Schritt: Relevanzprüfung der Gefährdungen aus der Geologie unter Berücksichtigung von Zusatzmassnahmen

Schadenstypen P, U, F

Im Schritt 1 werden Schadenstypen definiert, Gefährdungsregister generiert und deren Relevanz unter dem Gesichtspunkt geprüft, ob mit Standardmassnahmen ein akzeptierbares Risiko für Bau und Betrieb erreicht werden kann. Gefährdungen induzieren Belastungen, die Schäden zur Folge haben können. Die Schäden werden unterschiedlichen Schadenstypen zugeordnet. Für die bautechnische Risikoanalyse der Zugangsbauwerke legt der Projektant folgende drei Schadenstypen zugrunde:

- _ P: Personensicherheit (Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz)
- _ U: Auswirkungen auf Umwelt (Bau-, Betriebsphase)
- _ F: Erhalt der Funktionalität

Die auch nach der Umsetzung von Standardmassnahmen für Bau und Betrieb verbleibenden sechs risikorelevanten Gefährdungen werden vom Projektanten wie folgt zusammengefasst:

Code	Gefährdung (Belastungsart)
P6	Wassereinbruch/Schlammereinbruch/Feststoffe (hydraulisch, mechanisch)
P7	Gas (thermisch, chemisch, gasförmig)
P8	Brand & Explosion (thermisch)
U1	Verbindung von Grundwasserstockwerken, Entwässerung von Tiefengrundwässern (hydraulisch, chemisch)
U7	Kurzfristige und dauerhafte Drainage des Gebirges (hydraulisch)
F3	Die Dauerhaftigkeit der Zugänge ist nicht gegeben (mit Auswirkung auf die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit, sofern nicht rechtzeitig entsprechende Sanierungsmassnahmen ergriffen werden)

Abb. 6 Zusammenfassung der "potentiell relevanten Gefährdungen" für die Schadenstypen Personensicherheit (P), Auswirkungen auf die Umwelt (U) und Funktionalität der Zugangsbauwerke (F), aus [1], Tab. 5-4

Die in Abb. 6 zusammengefassten verbleibenden Gefährdungen werden im Kap. 6 von [1] weiter behandelt und dort um weitere Gefährdungsbilder aus der Geologie ergänzt.

Thematische Verknüpfung der Leitfragen Nr. 3 und 4	2.3.2 Beurteilung durch den Prüferingenieur Die Leitfragen Nr. 3 und 4 sind thematisch eng miteinander verknüpft und erstrecken sich in [1] im Wesentlichen auf die Kapitel 5 und 6. Beide Leitfragen implizieren die Begriffe 'Gefährdungen' und deren 'Beurteilung'. Die Beantwortung der Leitfrage Nr. 4 baut dabei auf den Erkenntnissen aus Leitfrage Nr. 3 auf und ergänzt diese.
Stufengerechte Dokumentationen	Entsprechend den Ausführungen im Kapitel 1.6 ist bei der Prüfung des Berichtes [1] zu berücksichtigen, dass sich die Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager gemäss SIA 103 im Rahmen einer Vorstudie (Phase 2) bewegt. Diverse wichtige Zusatzuntersuchungen und Abklärungen (z.B. erweitertes hydrogeologisches Erkundungsprogramm, 3D-Karstmodelle oder Versiegelungsdetails) sind in Etappe 3 des Sachplans geologische Tiefenlager vorzunehmen respektive vertieft zu untersuchen. Die SGT-Etappe 3 entspricht dabei einer Projektierung (Phase 3) gemäss SIA 103 [12].
Relevante Aspekte	Ein Grossteil der für die Bautechnische Risikoanalyse in dieser Erkundungsetappe relevanten Aspekte wurde in [1] erkannt und stufengerecht abgehandelt. Die Wasser- und Schlammengen sind vom Projektanten ebenfalls abgeschätzt worden. Diese sind jedoch nach Meinung der Karstexperten [17] nicht mit den hydrogeologischen Modellen abgestimmt, eine Diskussion von Unsicherheiten findet nur teilweise statt.
Fazit zur Leitfrage Nr. 3	Bei Berücksichtigung vorstehender Ausführungen kommt der Prüferingenieur zu folgendem Fazit: <ul style="list-style-type: none">_ Die Evaluation der Gefährdungen nach Schadensbildern ist grösstenteils plausibel._ Die Schadensbilder sind in Etappe 2 des SGT stufengerecht vollständig._ Der Beurteilung der (Einzel-)Gefährdungsrelevanz kann auf Basis der in Etappe 2 des SGT vorliegenden Erkenntnislage zugestimmt werden._ In der folgenden Etappe des SGT sind die nachstehenden Empfehlungen in einer vertieften Gefährdungsanalyse umzusetzen.
	Empfehlungen zu SGT-Etappe 3 Für die weitere Bearbeitung der Risikoanalyse in der Etappe 3 des Sachplans macht der Prüferingenieur verschiedene Hinweise und Empfehlungen. Diese sind in den untenstehenden Abschnitten erläutert.
Risikoaggregation	Unter Risikoaggregation ist das kollektive Eintreten von Einzelgefährdungen wie z.B. einem Brand und einem daraus resultierenden Versagen des Ausbaus in einer verkarsteten Geologie zu verstehen. Die in [1] untersuchten Schadensbilder für die Schadenstypen P, U, F berücksichtigen Einzelgefährdungen wie Steinfall, Setzungen oder Erdbeben. Das Spektrum der Risikoaggregation resp. der Schadensaggregation sowie deren Handhabung ist noch in Etappe 3 zu analysieren.
Umläufigkeiten / Hinterläufigkeiten	In [1] Tab. 4-6, S. 34 und Tab. 5-2 wird auf Hinterläufigkeiten, Umläufigkeiten und Dammringe hingewiesen. In Etappe 3 sind diese Gefährdungen und zugehörigen Massnahmen in Abhängigkeit der Lage und der konstruktiven Durchbildung genauer zu verifizieren und zu untersuchen. Der Fokus in geringeren Tiefen liegt dabei auf der

Vermeidung von hydraulischen Verbindungen am Übergang Lockergestein zu Festgestein und der Trennung von Grundwasserstockwerken sowie in grösseren Tiefen auf der Vermeidung von Wasserzuflüssen und Umläufigkeiten in den einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Dabei ist auch den mit der Tiefe zunehmenden möglichen Gebirgswasserdrücken Rechnung zu tragen.

Tiefenabhängigkeit
(Wasserdruck)

In [1] berücksichtigen die Tab. 5-1 bis 5-3 sowie die Tab. 6-1 verschiedene Gefährdungen, welche mit Wasser (z.B. Kluft-, Karst-, Bergwasser) in Verbindung stehen. Gemäss Tab. 9-1 können dabei bis zu 60 bar (Standort Nördlich Lägern) Wasserdruck auf die Zugangsbauwerke einwirken. Entsprechend Tab. 6-4 sind als Standard- und Zusatzmassnahmen Abdichtungsinjektionen, Restwasserableitung, Karstverfüllungen oder Druckentlastung vorgesehen. In der folgenden Etappe ist detailliert aufzuzeigen, wie sich diese Standard- und Zusatzmassnahmen bei dem mit der Tiefe zunehmendem Wasserdruck, insbesondere in den Karstformationen während des Bauzustandes, erfolgreich realisieren lassen, und was der unterschiedliche Wasserdruck allenfalls für Konsequenzen hat.

Schlammereinbruch

In [1] Tab. 6-4 wird korrekterweise der 'Schlammereinbruch durch sedimentverfüllte Karsthohlräume' als potentiell relevante Gefährdung erkannt, die nicht mit Standard- und Zusatzmassnahmen alleine beherrscht werden kann. Der Projektant hat erkannt, dass hierbei zwischen den verschiedenen Karsttypen (rezent, eozäner Paläokarst etc.) unterschieden werden muss [15]. Bei rezentem Karst können Schlammereinbrüche nicht ausgeschlossen werden. Beim eozänen Karst bestehen Ungewissheiten hinsichtlich der Mobilisierbarkeit von tonigen Füllungen. Der Materialaufbau (Körnigkeit, Festigkeit etc.) und die räumliche Ausdehnung solcher Füllungen ist generell nicht bekannt. In Etappe 3 des SGT sind diese Rahmenbedingungen eingehend zu analysieren.

Flutung und Überflutung

Flutungs- und Überflutungsszenarien für die Zugangsbauwerke sind mannigfaltig im Arbeitsbericht abgehandelt. Dabei steht die Überflutung von aussen durch eindringendes Wasser beim Portal (Gefährdung P10) oder durch initialen Wassereintritt (z.B. Gefährdung 2b-1) im Vordergrund. Neben den berücksichtigten Auswirkungen auf Personen und Sachwerte sind die Auswirkungen einer Flutung auf die Umwelt (z.B. Absenkung Grundwasserspiegelniveau oder Oberflächengewässer durch neue Wasserwegsamkeiten im Karst) vertiefter zu untersuchen.

Welche Auswirkungen sind beispielsweise bei einer plötzlichen Flutung eines bereits bis auf die Lagerebene abgeteufte(n) Zugangsbauwerkes auf Oberflächengewässer oder Quellen denkbar? Wie sind solche Szenarien beherrschbar? Solche Worst-Case-Szenarien sind ergänzend zu untersuchen.

Abdichtung / Abschottung
--> Aufstau

Es besteht die Möglichkeit, dass durch grossflächige Injektionen, Betonplomben oder Karstinjektionen die bestehenden Wasserwegsamkeiten von Karströhren und -systemen unterbrochen werden. Dies könnte durch Aufstau zu einer deutlichen Erhöhung der Bergwasserspiegel (und somit der gesamten Wasserdruckhöhe) von Dutzenden Metern führen und damit unter Umständen zur Neubildung von Quellen an der Oberfläche oder im Bauwerk selbst. Solche Worst-Case-Szenarien sind ergänzend zu betrachten.

Grundlegend ist hierbei die derzeit nicht ausreichend bekannte Ausbreitungstiefe der Karstsysteme und die Karstwasserableitung unterhalb des Vorfluterniveaus. Die erforderlichen Beurteilungsgrundlagen und resultierenden Massnahmen sind in Etappe 3 standortspezifisch genau zu generieren und zu analysieren.

Hochliegende Karst- Kluftsysteme
--> Absenkung

In [1] Kap. 8.2.3 (Risikobewertung SR-4) erkennt der Projektant, dass die bleibende und unumkehrbare Entleerung (hangendes Grundwasser) von oberflächennahen 'Hohlräumen' (z.B. Moore, Seen, Hydrogeologie) und Kluft-/Karstsystemen beim Anfahren durch einen Tunnel oder Schacht aus Sicht der Umweltverträglichkeit als grosser Nachteil betrachtet werden kann. Diesbezüglich verweist der Projektant in [15] auf das Projekt 'Galgenbucktunnel'.

In Etappe 3 ist standortspezifisch vertieft zu analysieren, ob und in welcher Form derartige Schadensbilder möglich sind und wie sie sicher beherrscht werden können. Auch ist die Vergleichbarkeit von Beispielprojekten zu verifizieren. Falls beispielsweise beim Standort ZNO tiefe aktive Verkarstungen bestehen sollten und ein Vorfluter mit dem Malm-Karst hydraulisch verbunden sein sollte, ist ein ergiebiger und länger andauernder Wasserzufluss in die Erschliessungsbauwerke nicht auszuschliessen [15].

Lockergestein

In [1] werden die oberflächennahen Lockergesteinsabschnitte (z.B. oberflächennahe Tunnel und Schächte) und Felsbereiche generisch als 'nicht risikorelevant', 'vernachlässigbar' oder 'nicht standortentscheidend' beurteilt und finden keinen Eingang in die standortspezifische Risikobewertung. Für die aktuelle Projektphase (Vorstudie) ist diese generische Betrachtung hinreichend und korrekt, da es in der Etappe 2 des Sachplans um den Vorschlag resp. Vergleich weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete auf Lagerebene geht und nicht um die Positionierung der Oberflächenanlage. Hätte die Wahl der Lage der Oberflächenanlage (OFA) unakzeptable Risiken aus der lokalen Geologie der Lockergesteinsstrecken für ein Standortgebiet zur Folge, könnte diesen, unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen (z.B. Gewässerschutz), durch die Verlegung der Oberflächenanlage begegnet werden. In Etappe 3 sind die oberflächennahen Lockergesteinsabschnitte jedoch zu betrachten und die entsprechenden Risiken standortspezifisch zu bewerten.

Vertiefte Bautechnische
Risikoanalyse in Etappe 3

In Etappe 3 ist die Risikoanalyse zu vertiefen und zu ergänzen, so dass alle Anforderungen des ENSI in [7] vollständig erfüllt sind. Dafür sind die Standorte der vorgeschlagenen Oberflächenanlagen und die Lockergesteinsabschnitte mit Lockergesteinsaquiferen sowie die einschlusswirksamen Gebirgsbereiche der Zugangsbauwerke miteinzubeziehen. Zudem sind sicherheitsrelevante Bauwerke des Tiefenlagers auf Lagerebene und die darunter liegenden relevanten Gebirgsbereiche in der bautechnische Risikoanalyse vollumfänglich gemäss den Anforderungen in [7] zu behandeln.

Interdisziplinäre Gefährdungen

Diverse mögliche Schadensbilder, die vor allem der Hydrogeologie zuzuordnen sind, sind in der SGT-Etappe 3 zu vertiefen. Entsprechende Empfehlungen sind auch in [17] enthalten.

Leitfrage 4

2.4 Leitfrage 4: Vollständigkeit und Beurteilung der Gefährdungen

"Sind die aus der schrittweisen Einengung verbleibenden Gefährdungen vollständig? Kann der Beurteilung zugestimmt werden?"

Evaluation / Relevanzprüfung
in 3 Schritten

2.4.1 Vorgehen und Beurteilung des Projektanten

Die Evaluation der Gefährdungen und deren Relevanzprüfung erfolgt in drei Schritten:

1. Schritt: Evaluation Gefährdungen nach Schadenstypen und deren Relevanzprüfung (siehe Ausführungen im Kap. 2.3.1.)
2. Schritt: Relevanzprüfung der Gefährdungen aus der Geologie unter Berücksichtigung von Standardmassnahmen
3. Schritt: Relevanzprüfung der Gefährdungen aus der Geologie unter Berücksichtigung von Zusatzmassnahmen

Schritt 2: Gefährdungen aus
Geologie - Standardmassnahmen

Die in Schritt 1 evaluierten und auf ihre Relevanz geprüften Gefährdungen bezüglich Personensicherheit, Umwelt und Funktionalität werden im Schritt 2 um mögliche weitere Gefährdungen aus der Hydrogeologie ergänzt. Diese weiteren identifizierten Gefährdungen basieren auf normativen Grundlagen ([10] Anhang 5), eigenen projektbezogenen Analysen des Projektanten und auf der Beschreibung der Geologie [3]. Die ergänzend evaluierten Gefährdungen aus der Geologie werden anschliessend auf ihre Relevanz geprüft.

Auf Grund der Umsetzung möglicher Massnahmen, die in Massnahmengruppen unterteilt sind, werden im Folgenden nicht potentiell relevante Gefährdungen aus der Geologie wie z.B. Asbest, hoher Quarzgehalt, Erschütterungen oder Trennflächengefüge für alle Standortgebiete ausgeschlossen und somit nicht weiter betrachtet.

Basierend auf der Relevanzprüfung werden diejenigen Gefährdungen, die mit Standardmassnahmen beherrschbar bzw. auf ein akzeptierbares Risiko reduziert werden können, für den nächsten Schritt 3 nicht mehr berücksichtigt.

Über eine Matrix in [1] Tab. 6-2 werden die im Kap. 2.1.1 (Schritt 1; Gefährdungscode P, U, F) verbleibenden Gefährdungen den im Schritt 2 aufgelisteten auslösenden Ereignissen/Gefährdungen zugeordnet und somit in der weiteren Überprüfung mitberücksichtigt. Beispielsweise werden dem Gefährdungscode P6 'Wassereintrich / Schlammeneintrich / Feststoffe' nun die Gefährdungsnummern 2b-1 'Initialer Wassereintrich (Kluft/Störung)', 2c-1 'Initialer Wassereintrich (Karst)' und 3 'Schlammeneintrich (Karst)' zugeordnet.

Am Ende von Schritt 2 verbleiben nur die Gefährdungen aus dem erweiterten Gefährdungsregister, die im Hinblick auf die geologische Situation nicht zuverlässig mit Standardmassnahmen beherrschbar sind und unter Umständen Zusatzmassnahmen bedürfen. Diese Gefährdungen können massgeblich zur Unterscheidung von alternativen Zugangskonfigurationen beitragen.

Herkunft	Nr. Gefährdung	Gefährdung (Belastungsart)
Wasser und Wasser + Gebirge	2b-1	Initialer Wassereintrich aus einer Kluft/Störung
	2b-2	Stationär zufließendes Wasser aus einer Kluft/Störung
	2d	Aggressivität des Wassers (Einwirkung auf Beton, Metall, Kunststoff etc.)
	2c-1	Initialer oder wiederkehrender Wassereintrich aus angefahrenem Karst
	2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst
	3	Schlammereinbruch durch Sedimentverfüllte Karsthohlräume

Abb. 7 Zusammenfassung "potentiell relevanter Gefährdungen" nach Schritt 2 aus [1].

Schritt 3: Gefährdungen aus
Geologie – Zusatzmassnahmen

Zu den in Abb. 7 dargestellten Gefährdungen werden die zugehörigen Belastungen, Standardmassnahmen, Konsequenzen und Zusatzmassnahmen erläutert und deren Relevanz auf die Schadenstypen P / U / F analysiert. Dabei wird zwischen kurzfristigen Massnahmen während des Baus und mittelfristigen Massnahmen während des Betriebes unterschieden.

Nach vorstehender Analyse resümiert der Projektant, dass die Gefährdungen gemäss Abb. 7 trotz Standard- und Zusatzmassnahmen immer noch kritische und risikorelevante Auswirkungen auf Zugangsbauwerke haben können. Diese Risiken werden daher in [1] vertiefter untersucht.

Fazit zur Leitfrage Nr. 4

2.4.2 Beurteilung durch den Prüfenieur

Bei Berücksichtigung vorstehender Ausführungen kommt der Prüfenieur zu folgendem Fazit:

- _ Die aus der schrittweisen Einengung verbleibenden Gefährdungen sind stufengerecht vollständig.
- _ Der Beurteilung kann zugestimmt werden. Sie ist stufengerecht.

Empfehlungen zu SGT-Etappe 3

Für die weitere Bearbeitung der Risikoanalyse in der Etappe 3 des Sachplans macht der Prüfenieur verschiedene Hinweise und Empfehlungen. Diese sind in den untenstehenden Abschnitten erläutert.

Gebirgsfestigkeit / Nachbruch

Gemäss [1] Kap. 4.4 (Massnahmengruppe 2) sind in Lockergesteinsabschnitten und in tonreichen Schichten bei geringer Gebirgsfestigkeit und grosser Überlagerung Normalprofile mit Sohlgewölbe vorgesehen. In SGT-Etappe 3 ist der Gewölbeausbau standortspezifisch und vor allem im Hinblick auf die Hydrogeologie und Geotechnik detailliert zu analysieren.

Auch die mit Schadenscode P4 'Steinfall / einbrechendes Gestein (mechanisch)' als mit herkömmlichen Stützmassnahmen wie z.B. Anker, Spritzbeton, Stahlbögen oder Tübbingen beherrschbar deklarierte Gefährdung inkl. dazugehöriger Massnahmen sind in der SGT-Etappe 3 standortspezifisch detaillierter zu überprüfen.

Karsterkundung

Der Prüfingenieur beurteilt die Gefährdungen im Zusammenhang mit Karst als äusserst systemrelevant. Die ausstehenden hydrogeologischen und geotechnischen Zusatzuntersuchungen an den Standorten sollen Aufschluss über die Grösse, räumliche Ausdehnung, Füllung (z.B. Schlamm, Wasser), Lage, Wasseranfall und damit verbundene Unsicherheiten sowie der Charakteristik der Karststrukturen liefern. Die Auswirkungen und Massnahmen sind anschliessend vertieft zu untersuchen.

Leitfrage 5

2.5 Leitfrage 5: Plausibilität der Risikobeurteilung und –bewertung

"Sind die standortspezifische Risikobeurteilung und Risikobewertung für alle gemäss Planungsstudien möglichen Zugangskonfigurationen in den Bau- und Betriebsphasen plausibel?"

2.5.1 Vorgehen und Beurteilung des Projektanten

In Kapitel 8 in [1] erläutert der Projektant sein Vorgehen und die Ergebnisse der durchgeführten "standort- und konfigurationsspezifischen Risikobewertung". Demnach bewertet er das Risiko der verbleibenden potenziell relevanten 6 Gefährdungen (siehe auch Kap. 2.4 in diesem Bericht) der Zugangsbauwerke an den Standortgebieten für die Betrachtungszustände

Betrachtungszustände

- _ A: Bauphase (Vortrieb) der Zugangsbauwerke ohne Berücksichtigung von Massnahmen,
- _ B: Bauphase (Vortrieb) der Zugangsbauwerke mit Berücksichtigung von Massnahmen,
- _ C: Betriebsphase (Rohbau) der Zugangsbauwerke mit Berücksichtigung von Massnahmen.

In den Betrachtungszuständen A und B geht er im Regelfall vom zeitgleichen Bau von zwei Zugangsbauwerken (Schacht und Rampe je nach angenommener Zugangskonfiguration) aus. An den Standorten JO-3 und WLB-1 ist in der Bauphase bereits eine Erschliessung mit 3 Zugangsbauwerken (2 Rampen und 1 Schacht) vorgesehen und in der Risikoanalyse berücksichtigt. Grundlage der Bewertung sind die in den geologischen Längensprofilen in [3] pro Belastungsstufe (z.B. Wassermengen) für die Gefährdungen prognostizierten Eintretenshäufigkeiten H_{gLP} je Homogenbereich bezogen auf 100 m Bauwerkslänge. Mit der Summe der Eintretenshäufigkeiten, aufsummiert über die gesamte Bauwerkslänge, ermittelt der Projektant die Eintretenswahrscheinlichkeit für jede Gefährdung und Belastungsstufe (BS) pro Zugangsbauwerk. Bei Berücksichtigung einer mittleren erwarteten Vortriebsgeschwindigkeit respektive Vortriebsdauer je Homogenbereich, berechnet er daraus die Eintretenswahrscheinlichkeit pro Jahr H_{EW}^1 . Die so ermittelten Eintretenswahrscheinlichkeiten der Gefährdungen je Belastungsstufe bilden das Risikoprofil eines Standortes und der untersuchten Zugangskonfiguration für die Bauphase ohne Berücksichtigung der vorgesehenen Massnahmen (vgl. Anhang A). Nicht akzeptierte Risiken in den Risikoprofilen sind daher möglich und zulässig.

Reduktionsfaktoren

Für die Bewertung der Eintretenswahrscheinlichkeiten der Gefährdungen mit Berücksichtigung der Massnahmen zur Risikominderung im Bauzustand (Betrachtungszustand B) und in der Betriebsphase (Betrachtungszustand C) führt der Projektant Reduktionsfaktoren ein, mit denen er die Wirksamkeit der Massnahmen für jede Gefährdung und jede Belastungsstufe abschätzt (siehe Tabelle 8-1 in [1]). Dabei wird zudem zwischen der Wirkung der Massnahmen bei einer Rampe oder einem Schacht unterschieden. Mit den Reduktionsfaktoren erfolgt dann in einem ersten Schritt eine Abminderung der für den Zustand A berechneten Eintretenswahrscheinlichkeiten der Gefährdungen für die Phase Bau der Zugangsbauwerke (Vortrieb - entspricht

¹ Der Projektant verwendet den Begriff Eintretenshäufigkeit pro Jahr (H_{EW}) gleichbedeutend mit der (jährlichen) Eintretenswahrscheinlichkeit (EW)

Betrachtungszustand B). Anschliessend erfolgt in einem nächsten Schritt eine zusätzliche Reduzierung für die Phase Betrieb der Zugangsbauwerke (Rohbau Zugang vollendet, Betrieb bis Ende Bauphase Lager - entspricht Betrachtungszustand C).

Bei der Risikobewertung für die Phase Bau mit Massnahmen (Betrachtungszustand B) berücksichtigt der Projektant, dass die vorgesehenen Massnahmen umgesetzt sind, um das vom Projektanten angestrebte Abdichtungsziel von 5 l/s pro km Länge der Zugangsbauwerke während und nach dem Vortrieb zu erreichen. Bei der Risikobewertung für die Phase Betrieb (Betrachtungszustand C) geht er davon aus, dass zusätzlich zu den Abdichtungssystemen und Innengewölben auch allfällige Zusatzuntersuchungen am Bauwerk und am umgebenden (vergüteten) Baugrund sowie die Unterhalts- und Überwachungsmassnahmen umgesetzt sind.

Beispielhaft sind in Abb. 8 die vom Projektanten abgeschätzten Reduktionsfaktoren für die Eintretenswahrscheinlichkeiten der Gefährdungen aus verkarsteten Gebirgsbereichen (2c-1, 2c-2 und 3) dargestellt. Die vollständige Aufstellung der Reduktionsfaktoren ist in Anhang B dieses Berichts enthalten.

Gefährdungsnummer	Gefährdungs- beschreibung	Belastungsstufe (BS)	Phase Bau (KF)		Phase Betrieb (MF)			
			Schritt B: Reduktion H_{EW} pro BS durch Massnahmen im Vortrieb in <u>massgebenden einzelnen Homogenbereichen</u>				Schritt C: Zusätzliche Reduktion H_{EW} pro BS gegenüber Schritt B durch Massnahmen bis Rohbauvollendung über <u>alle Homogenbereiche</u>	
			Rampe: Faktor ¹ Wirksamkeit Massnahme	Schacht: Faktor ¹ Wirksamkeit Massnahme	Rampe: Faktor ² Wirksamkeit Massnahme	Schacht: Faktor ² Wirksamkeit Massnahme		
2c-1	Initialer Wassereinbruch aus angefahrenem Karst	I	1	1	10	10		
		II	2	5	100	100		
		III	5	10	> 100	> 100		
		IV	5	10	> 100	> 100		
		V	10	25	> 100	> 100		
2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst	I	1	1	1	1		
		II	10	20	50	50		
		III	50	50	50	50		
		IV	100	100	50	50		
		V	100	100	100	100		
3	Schlammereinbruch durch sedimentverfüllte Karsthohlräume	I	5	5	1000	1000		
		II	10	25	1000	1000		
		III	150	200	1000	1000		
		IV	150	200	1000	1000		
		V	200	250	1000	1000		

Abb. 8 Reduktionsfaktoren der EW für Gefährdungen aus Karst, Auszug Tab. 8.1 aus [1]

Der Projektant berücksichtigt die Wirksamkeit der Massnahmen zur Begegnung einer Gefährdung ausschliesslich mit der Reduktion der standort- und konfigurationsspezifisch ermittelten Eintretenswahrscheinlichkeiten je Belastungsstufe. Dies entspricht einer Horizontalverschiebung der Eintretenswahrscheinlichkeit innerhalb der Risikomatrix (vgl. Abb. 9). Eine Berücksichtigung der Wirkung der Massnahmen auf die Grössenordnung der Belastung (vertikale Verschiebung innerhalb der Risikomatrix) auf der Auswirkungsachse der Risikomatrix sieht der Projektant nicht vor.

		Eintretenswahrscheinlichkeit (E _W) bzw. Häufigkeit (H _{FW}) pro Jahr gemäss Stufendefinition nach Tab. 2-2 und deren Zuordnung zu Risikobereichen				
		A (nicht möglich)	0 (extrem unwahrscheinlich)	1 (unwahrscheinlich)	2 (möglich)	3 (wahrscheinlich)
Belastungsstufen (BS) nach Tab. 2-3	V (extrem gross)	0	1	2	3	
	IV (sehr gross)	0	1	2	3	
	III (gross)	0	1	2	3	
	II (mittel)	0	1	2	3	
	I (gering)	0	1	2	3	

Abb. 9 Bewertung Wirksamkeit Massnahmen in Risikomatrix aus [1]

Risikoprofile

Die Resultate der Risikobewertung stellt der Projektant für die Standortgebiete in tabellarischen Risikoprofilen zusammengefasst dar. Jede Bewertung einer Gefährdung je Belastungsstufe entspricht einer Zelle in den Risikoprofilen. Jede Bewertung basiert dabei auf der berechneten Summe der Eintretenswahrscheinlichkeit und repräsentiert über die Farbgebung und die Angabe des Risikobereichs die Lage innerhalb der Risikomatrix (vgl. Kap. 2.1.1 in diesem Bericht).

Eine Übersicht aller Risikoprofile ist in Anhang A dieses Berichts enthalten. Beispielhaft sind in Abb. 10 die Risikoprofile der Standortgebiete Jura-Ost und Zürich Nord-Ost dargestellt.

		JO-3+						ZNO-6b					
Gefährdungsnummer	Gefährdungsbeschreibung	OHNE MASSNAHMEN Basis Einschätzung GLP: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)		MIT MASSNAHMEN während Bau: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)		MIT MASSNAHMEN: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Betriebszeit (LF)		OHNE MASSNAHMEN Basis Einschätzung GLP: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)		MIT MASSNAHMEN während Bau: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)		MIT MASSNAHMEN: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Betriebszeit (LF)	
		Massgebend: Phase Bau Feklabor (2 resp. 3 Zugänge)		Massgebend: Phase Bau Feklabor (2 resp. 3 Zugänge)		Massgebend: Phase Betrieb (3 resp. 4 Zugänge)		Massgebend: Phase Bau Feklabor (2 Zugänge)		Massgebend: Phase Bau Feklabor (2 Zugänge)		Massgebend: Phase Betrieb (3 Zugänge)	
		K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K2
		2 Rampen 1 Schacht	2 Schächte	2 Rampen 1 Schacht	2 Schächte	2 Rampen 1 Schacht	2 Schächte	1 Rampe 1 Schacht	2 Schächte	1 Rampe 1 Schacht	2 Schächte	1 Rampe 2 Schächte	3 Schächte
		H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig	H/a/Konfig
2b-1	initiator Wasserbruch aus einer Kluft / Störung	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2b-2	Stationär zufließendes Wasser aus einer Kluft / Störung	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2d	Aggressivität der langfristig zuzückernenden Bergwassermenge aus Klüften, Störungen, Poren ("Matrix") oder Karststrukturen	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2c-1	initiator Wasserbruch aus angefahrenem Karst	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	Schlammbruch durch Sedimentverfälle Karsthohlräume	3	3	2	2	0	0	3	3	2	2	1	0

Abb. 10 Beispiel Risikoprofile Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nord-Ost aus [1]

Vorauserkundung massgebend	Als wichtigste Massnahme während der Bauphase gibt der Projektant in [1] die Vorauserkundung an, auf deren Erkenntnisse dann die Massnahmen (insbesondere Abdichtungsinjektionen) standortspezifisch wirkungsvoll während dem Vortrieb getroffen werden können. Er kommt in [14] zu der Einschätzung, dass der Reduktionsfaktor für die Gefährdung initialer Wassereintritt durch die Wahrscheinlichkeit bestimmt wird, die verursachende wasserführende Struktur mit den Vorauserkundungen zu erkennen. Eine Tiefenabhängigkeit der Massnahmen hat der Projektant gemäss Angabe in [15] in der Risikobewertung nicht berücksichtigt, da diese seiner Ansicht nach keinen massgebenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Massnahmen hat.
Tiefenlage und Art Karstformationen	Der Projektant gibt in [15] an, dass er bei der standortbezogenen Risikobewertung die Kenntnisse bezüglich (Tiefen-)Lage und weitere Faktoren wie z.B. Art der potenziellen Karstformationen berücksichtigt hat.
Wirksamkeit Massnahmen Bauphase	Der Projektant geht bei der Abschätzung der Abstufung der Reduktionsfaktoren zudem davon aus, dass die vortriebsbegleitenden Massnahmen Vorauserkundung und Abdichtungsinjektionen bei Gefährdungen mit hoher Risikobewertung (hohe Belastungsstufe und hohe Eintretenswahrscheinlichkeit) am wirksamsten sind. Er begründet dies damit, dass bei kleinen Belastungsstufen (also z.B. geringen Schlammengen oder geringen initialen Wassermengen) Gefährdungen mittels Vorauserkundung schwieriger zu erkennen sind und damit auch angepasste, dem Vortrieb vorausseilende, Massnahmen weniger wirkungsvoll eingesetzt werden können als bei grösseren Belastungsstufen.
Vergleich Schacht / Rampe	Die Wirkung der Hauptmassnahmen beurteilt er bei Schächten gegenüber Rampen als günstiger und begründet dies mit der effizienter möglichen Ausführung von Vorauserkundungen und Abdichtungsmassnahmen in einem Schacht. Dabei weist er in [14] und [15] auf einen möglichen Einsatz des Gefrierverfahrens als Alternative zu Injektionen bei Schachtbauwerken hin.
Wirksamkeit Massnahmen Betriebsphase	Bei der Abschätzung der Reduktionsfaktoren für die Betriebsphase berücksichtigt der Projektant noch in der Bauphase ausgeführte Massnahmen (wie z.B. Anpassung Linienführung, Nachinjektionen im rückwärtigen Raum, Einbau Abdichtungssystem und Innengewölbe) zur Sicherstellung der Hohlraumstabilität und Gebrauchstauglichkeit der Zugangsbauwerke, deren Wirkung er der Betriebsphase zuordnet. Die Wirksamkeit dieser präventiven Massnahmen schätzt er dabei über die Gesamtlänge der Zugangsbauwerke in allen massgebenden Homogenbereichen mit gleich grossen Reduktionsfaktoren ab. Die Wirkung von während der Betriebsphase ausgeführten Erhaltungsmassnahmen berücksichtigt er hierbei nicht. Die Wirkung der berücksichtigten Massnahmen schätzt der Projektant für Schacht und Rampe gleichwertig ein. Eine Effektivität der Massnahmen in Abhängigkeit der Belastungsstufen sieht er in der Betriebsphase als untergeordnet.

Fazit zur Leitfrage 5	<p>2.5.2 Beurteilung durch den Prüflingenieur</p> <p>Nach Einschätzung des Prüflingenieurs ist die standortspezifische Risikobewertung aller Zugangskonfiguration unter Berücksichtigung der Sensitivität der Berechnungsergebnisse und des aktuellen Kenntnisstandes zur Geologie, der vorgesehenen Bauverfahren und der Wirksamkeit der berücksichtigten Massnahmen gesamthaft betrachtet stufengerecht und ausreichend plausibel. Die vom Projektanten gewählte Vorgehensweise zur Bewertung der Wirksamkeit von Massnahmen ist stufengerecht und plausibel. Die Bewertungen der Wirksamkeit der Massnahmen selbst sind jedoch nur bedingt nachvollziehbar.</p>
Eintretenswahrscheinlichkeit / Belastungsstufen	<p>Die in den geologischen Längenprofilen für die BTRA grundlegend getroffene Bewertung der Gefährdungen in 4 Stufen (extrem unwahrscheinlich bis wahrscheinlich) und die in der Risikobewertung für 5 Belastungsstufen getrennt abgeschätzte Wirksamkeit der Massnahmen signalisiert eine in dieser Stufe noch nicht vorhandene respektive noch nicht mögliche Genauigkeit. Dies gilt insbesondere für die Bewertung der Wirkung der Vorauserkundungen und der Abdichtungsinjektionen in verkarsteten Gebirgsformationen.</p> <p>Die vom Projektant bei der Risikobewertung berücksichtigten Kenntnisse zu potenziellen Karstformationen sind in [1] und [15] nicht erläutert. Gemäss nachträglichen Angaben des Projektanten in [15] ist die Ausprägung der Karstformationen in der Einschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit ohne Massnahmen in den geologischen Längenprofilen [3] berücksichtigt.</p>
Reduktionsfaktoren, Bewertung Wirksamkeit Massnahmen	<p>Eine detaillierte Herleitung der Reduktionsfaktoren ist in [1] und den ergänzenden Erläuterungen des Projektanten [14] nicht aufgezeigt und deshalb für den Prüflingenieur nicht überprüfbar und nachvollziehbar. Die vom Projektanten bei der Festlegung der Reduktionsfaktoren angedeuteten Zusammenhänge und berücksichtigten Kriterien sind in der Etappe 3 nachvollziehbar aufzuzeigen.</p> <p>Auf Grundlage der in [1] und [14] enthaltenen Angaben und der ergänzenden Erläuterungen des Projektanten in [15] hat der Projektant die Reduktionsfaktoren für die Phase Bau primär durch die Einschätzung der Wirksamkeit der Vorauserkundung bestimmt und die Wirksamkeit der Massnahmen in der Bauphase unabhängig von der effektiven Tiefenlage der relevanten Homogenbereiche der Zugangsbauwerke bewertet. Der Prüflingenieur beurteilt die tiefenabhängige Einwirkung des Wasserdrucks, insbesondere in verkarsteten Gebirgsformationen, als massgebend für die Wirksamkeit und den Erfolg der vorauserkündenden Abdichtungsinjektionen beim Vortrieb bzw. Schachtaushub. Diesem Sachverhalt wird bei der Abschätzung der Reduktionsfaktoren für die Gefährdungen aus Wasser und Schlamm in verkarsteten Gebirgsbereichen in der Bauphase nicht ausreichend Rechnung getragen. Bei der Wirksamkeit der Massnahmen hat der Projektant allfällige standortspezifische Unterschiede bei den Karstphänomenen gemäss [15] nicht berücksichtigt.</p>
Restrisiko Wirksamkeit Vorauserkundung / Injektionen	<p>Eine Bewertung des Massnahmenerfolgs in der Bauphase primär über die Wirksamkeit der Vorauserkundung ist zu hinterfragen. Der vom Projektanten vorausgesetzte Erfolg der vorauserkündenden Injektionen ist ebenfalls mit Risiken behaftet. Demnach wäre zu</p>

prüfen, inwieweit vorauseilende Injektionen und Abdichtungsmassnahmen von verkarsteten Gebirgsbereichen (Karströhren und schlammgefüllte Karsthohlräume) unter 5 - 10 bzw. 30 - 50 bar Wasserdruck hinsichtlich des Massnahmenerfolgs bzw. der Restrisiken vergleichbar sind. Auf diesen Zusammenhang weist der Projektant insofern hin (siehe Kapitel 4.5 in [1]), dass er das Restrisiko zur Wirksamkeit der Massnahmen umso geringer bewertet, je kleiner der anstehende Wasserdruck ist, gegen den der Fels im Vortrieb abgedichtet werden muss.

Nachvollziehbarkeit Sensitivität Risikoprofile

Die vom Projektanten ermittelten standort- und konfigurationsspezifischen Risikoprofile wurden durch den Prüferingenieur mit eigenen Vergleichsberechnungen hinsichtlich Nachvollziehbarkeit und Sensitivität stichprobenhaft geprüft. Dabei wurden zunächst die Risikoprofile der Gefährdungen initialer Wassereinbruch und stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst auf Basis der Gefährdungseinschätzungen in den geologischen Längensprofilen für den Bauzustand nachgerechnet. Dafür wurde der auf einen Meter Bauwerkslänge bezogene Risikowert auf Basis der in den Längensprofilen angegebenen Gefährdungseinschätzungen mit den zugehörigen Risikowerten über alle Homogenbereiche der Zugangsbauwerke einer Zugangskonfiguration aufsummiert. Die jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit erhält man mit Ansatz einer mittleren Vortriebsgeschwindigkeit.

Vergleich Risikoprofile ohne Massnahmen

Es wurden Risikoprofile mit Ansatz der Mittelwerte und der oberen sowie unteren Grenzwerte der Eintretenswahrscheinlichkeitsintervalle der Belastungsstufen ermittelt. In Abb. 11 sind die vom Prüferingenieur berechneten Risikoprofilausschnitte (rechts) den zugehörigen des Projektanten (links) am Beispiel der Standorte ZNO und JO für den Bauzustand ohne Massnahmen gegenübergestellt.

					ZNO-6b			
Gefährdungsnummer	Gefährungsbeschreibung	Belastungsstufen Bau (KF) für Rampe und Schacht	Belastungsstufe	OHNE MASSNAHMEN während Bau Bewertung NAGRA: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)		OHNE MASSNAHMEN während Bau Bewertung B&H: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)		
				Massgebend Phase Bau Felslabor (2 Zugänge)		Massgebend Phase Bau Felslabor (2 Zugänge)		
				K1 1Rampe 1Schacht	K2 2 Schächte	K1 1Rampe 1Schacht	K2 2 Schächte	
2c-1	Initialer Wassereinbruch aus angefahrenem Karst	< 10 I/s	I	3	3	3	3	
		10 - 100 I/s	II	3	3	3	3	
		100 - 1000 I/s	III	2	2	1	1	
		1000 - 2000 I/s	IV	1	1	1	1	
		> 2000 I/s	V	0	0	1	0	
2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst	< 0.5 I/s	I	3	3	3	3	
		0.5 - 5 I/s	II	3	3	3	2	
		5 - 50 I/s	III	2	2	1	1	
		50 - 100 I/s	IV	1	1	1	1	
		> 100 I/s	V	0	0	1	0	

JO-3+							
Gefährdungsnummer	Gefährungsbeschreibung	Belastungsstufen Bau (KF) für Rampe und Schacht	Belastungsstufe	OHNE MASSNAHMEN während Bau Bewertung NAGRA: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)		OHNE MASSNAHMEN während Bau Bewertung B&H: Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)	
				Massgebend Phase Bau Felslabor (2 resp. 3 Zugänge)		Massgebend Phase Bau Felslabor (2 resp. 3 Zugänge)	
				K1 2 Rampen 1 Schacht	K2 2 Schächte	K1 2 Rampen 1 Schacht	K2 2 Schächte
2c-1	Initialer Wassereintritt aus angefahrenem Karst	< 10 l/s	I	3	3	3	3
			II	3	3	3	3
			III	3	3	3	3
			IV	3	2	3	1
			V	2	1	2	1
2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst	< 0.5 l/s	I	3	3	3	3
			II	3	3	3	3
			III	3	3	3	3
			IV	3	2	3	2
			V	2	1	2	1

Abb. 11 Risikoprofile Projektant – Prüferingenieur (Mittelwerte EW ohne Massnahmen) für ZNO und JO

Nachvollziehbarkeit Risikoprofile
ohne Massnahmen

Der stichprobenhafte Vergleich aller Risikoprofile zeigt, dass die Risikobewertung des Projektanten mit Ansatz von Mittelwerten oder oberen Grenzwerten der Eintretenswahrscheinlichkeits-Intervalle stufengerecht ist und grossmehheitlich durch den Prüferingenieur nachvollzogen werden kann. Beim Standort ZNO kommt der Projektant beispielsweise bei einigen Belastungsstufen zu einer ungünstigeren Bewertung als der Prüferingenieur, die rechnerisch nur mit Ansatz von oberen Grenzwerten der zugehörigen Intervalle der Eintretenswahrscheinlichkeit im Betrachtungszustand A (Bauphase ohne Berücksichtigung von Massnahmen) nachvollzogen werden kann.

Sensitivität Risikoprofile ohne
Massnahmen

Die Resultate einer Sensitivitätsanalyse des Prüferingenieurs lassen darauf schliessen, dass der Projektant die in der Risikoberechnung angesetzten Eintretenswahrscheinlichkeiten im Betrachtungszustand A (Bauphase ohne Massnahmen) innerhalb der vorgegebenen Intervalle der Risikomatrix (vgl. Abb. 4) auf der sicheren Seite liegend mit Mittelwerten oder oberen Mittelwerten einheitlich gewählt hat. Die Gegenüberstellung der vom Prüferingenieur mit Ansatz der unteren (grün) und oberen (rot) Intervallwerte der Eintretenswahrscheinlichkeit berechneten Risikoprofile der Standorte JO und ZNO in Abb. 12 zeigt zudem, dass die Sensitivität des vom Projektanten gewählten Bewertungsverfahrens je Standort unterschiedlich starke Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse hat.

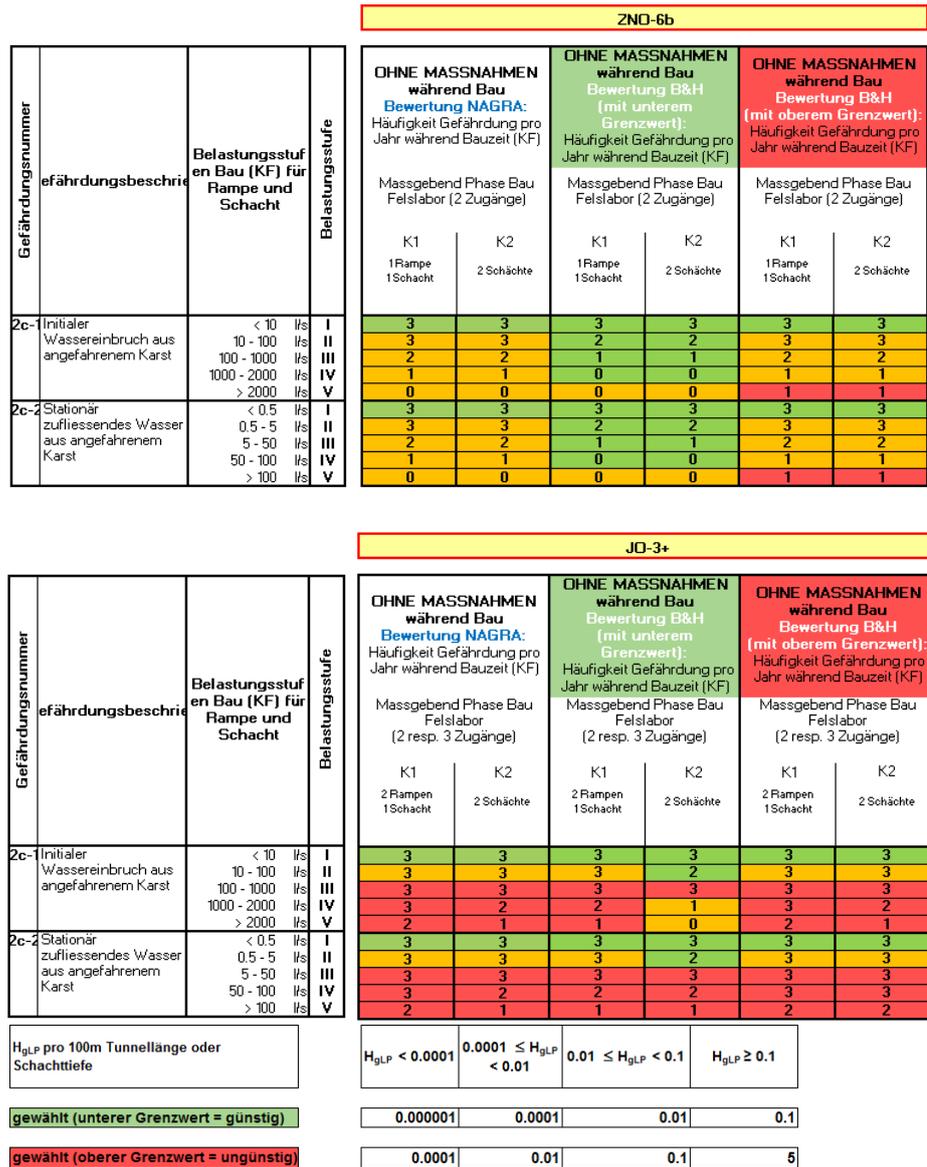


Abb. 12 Risikoprofile Projektant – Prüflingenieur mit oberen / unteren Grenzwerten EW (ZNO u. JO)

Nachvollziehbarkeit Risikoprofile mit Massnahmen

In Abb. 13 sind die für den Bauzustand mit Berücksichtigung von Massnahmen vom Prüflingenieur (rechts) auszugsweise bewerteten Risikoprofile denen des Projektanten (Mitte) gegenübergestellt. Dafür wurden die Risikowerte ohne Massnahmen mit den je Gefährdung und Belastungsstufe gewählten Reduktionsfaktoren (vgl. Anhang B) des Projektanten zur Berücksichtigung der Wirksamkeit abgemindert.

		ZNO-6b						
Gefährdungsnummer	Gefährdungsbeschriftung	Belastungsstufe	OHNE MASSNAHMEN während Bau Bewertung NAGRA		MIT MASSNAHMEN während Bau Bewertung NAGRA		MIT MASSNAHMEN während Bau Bewertung B&H	
			Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)					
			Massgebend Phase Bau Felslabor (2 Zugänge)		Massgebend Phase Bau Felslabor (2 Zugänge)		Massgebend Phase Bau Felslabor (2 Zugänge)	
			K1 1 Rampe 1 Schacht	K2 2 Schächte	K1 1 Rampe 1 Schacht	K2 2 Schächte	K1 1 Rampe 1 Schacht	K2 2 Schächte
2c-1	Initialer Wassereintrich aus angefahrenem Karst	I	3	3	3	3	3	3
		II	3	3	2	2	3	2
		III	2	2	1	1	1	1
		IV	1	1	1	1	1	0
		V	0	0	0	0	0	0
2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst	I	3	3	3	3	3	3
		II	3	3	2	2	2	1
		III	2	2	1	1	1	0
		IV	1	1	1	1	0	0
		V	0	0	0	0	0	0

		JO-3+						
Gefährdungsnummer	Gefährdungsbeschriftung	Belastungsstufe	OHNE MASSNAHMEN während Bau Bewertung NAGRA		MIT MASSNAHMEN während Bau Bewertung NAGRA		MIT MASSNAHMEN während Bau Bewertung B&H	
			Häufigkeit Gefährdung pro Jahr während Bauzeit (KF)					
			Massgebend Phase Bau Felslabor (2 resp. 3 Zugänge)		Massgebend Phase Bau Felslabor (2 resp. 3 Zugänge)		Massgebend Phase Bau Felslabor (2 resp. 3 Zugänge)	
			K1 2 Rampen 1 Schacht	K2 2 Schächte	K1 2 Rampen 1 Schacht	K2 2 Schächte	K1 2 Rampen 1 Schacht	K2 2 Schächte
2c-1	Initialer Wassereintrich aus angefahrenem Karst	I	3	3	3	3	3	3
		II	3	3	3	2	3	2
		III	3	3	2	2	3	2
		IV	3	2	1	1	2	1
		V	2	1	0	0	1	0
2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst	I	3	3	3	3	3	3
		II	3	3	2	2	2	2
		III	3	3	2	2	2	2
		IV	3	2	1	1	1	1
		V	2	1	0	0	1	0

Abb. 13 Risikoprofile Projektant – Prüferingenieur mit Massnahmen für ZNO und JO

Der Vergleich der Risikoprofile des Projektanten mit denjenigen des Prüferingenieurs zeigt, dass bei manchen Standorten (siehe z.B. JO-3+ in Abb. 13) die vom Prüferingenieur bewerteten Risikowerte für die Zugangskonfigurationen aus Rampe und Schacht ungünstiger sind als diejenigen gemäss Einschätzungen des Projektanten. Teilweise kommt der Prüferingenieur auch zu günstigeren Risikowerten als dies der Projektant tut (siehe z.B. ZNO-6b in Abb. 13). Dies lässt auf eine Berücksichtigung zusätzlicher Kriterien schliessen, die der Projektant bei der Einschätzung der Wirksamkeit der Massnahmen (Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit) berücksichtigt hat. Auf diese wird im Bericht des Projektanten nicht detailliert eingegangen,

Empfehlungen zu SGT-Etappe 3

Nach eingehender Bewertung aller bautechnischen Risiken und möglichen Massnahmen stuft der Projektant die Risiken aus Karst als besonders wichtig ein. Der Prüferingenieur teilt diese Einschätzung. Entsprechend ist der vertieften Analyse dieser Risiken und deren Beherrschung in der Etappe 3 des SGT ein besonderes Augenmerk

Karstrisiken

geschuldet, auch wenn die Eintretenswahrscheinlichkeit dieser Risiken auf überschaubare, begrenzte Bauabschnitte entlang der Zugangsbauwerke beschränkt ist.

Weitere Untersuchung
Machbarkeit
Injektionsmassnahmen

Nach dem Kenntnisstand des Prüfeningenieurs liegen keine dokumentierten Erfahrungswerte für Abdichtungsinjektionen in verkarstetem Gebirge unter sehr hohen Wasserdrücken (grösser als 20 bar) oder schlammgefüllten Hohlräumen unter vergleichbaren hydrogeologischen Randbedingungen vor. Die vom Projektanten vorgesehenen weiterführenden Abklärungen zur Untersuchung der Eignung und der bautechnischen Machbarkeit der geplanten Injektionsmassnahmen sind deshalb zwingend erforderlich.

Berücksichtigung Erfolg
Abdichtungsinjektionen im
Karstgebirge

Für die Bewertung des Risikos in der Bauphase der Zugangsbauwerke soll die Zuverlässigkeit des Erfolgs der vorauseilenden Abdichtungsinjektionen in verkarsteten Homogenbereichen des Gebirges in der Etappe 3 des Sachplanverfahrens vertieft berücksichtigt und bewertet werden. Hierbei sind die folgenden tiefen- und damit druckabhängigen Risikofaktoren zu berücksichtigen:

- _ Erfolgsaussichten der Vorauserkundung, Injizierbarkeit und Abdichtung des Karstgebirge in Abhängigkeit der Karstphänomene
- _ Strömungsgradient und Einwirkungen auf den Injektionskörper
- _ Machbarkeit und Wirksamkeit von Nachinjektionen
- _ Dauerhaftigkeit der Abdichtungswirkung des Injektionskörpers
- _ Dauerhaftigkeit der Drainage zur Druckentlastung auf das Innengewölbe

Vertiefung Kenntnisstand Karst

Der Kenntnisstand zur Tiefenlage, Auftretenshäufigkeit und Ausprägung verkarsteter Gebirgsbereiche muss in Etappe 3 mit weiteren direkten und indirekten Baugrunderkundungen untersucht und so vertieft werden, dass eine standortabhängige und konfigurationsabhängige Risikobewertung mit Berücksichtigung der spezifischen Karstrisiken auf Basis einer belastbaren Erkenntnislage möglich ist.

Festlegung Belastungsstufen

Die quantitative Festlegung einiger Belastungsstufen der nachstehenden Gefährdungen ist in Etappe 3 des SGT zu verifizieren. Gemäss Einschätzungen des Karstexperten basierend auf effektiven Ereignissen (z.B. Schlammereinbruch Tunnel Vue des Alpes, siehe [17]) ist ein Auftreten der nachfolgend genannten Grössenordnungen in Karststrukturen möglich:

- _ Stationäre Karstwassermengen (Bau) ≥ 100 l/s $\rightarrow \geq 1'000$ l/s
- _ Initiale Karstwassermengen (Bau) $\geq 2'000$ l/s $\rightarrow \geq 5'000$ l/s
- _ Karstwasserzuströmdauer = Stunden \rightarrow mehrere Wochen
- _ Schlammvolumen Karst ≥ 500 m³ $\rightarrow \geq 30'000$ m³

In den weiteren standortspezifischen Untersuchungen ist aufzuzeigen, ob solche Grössenordnungen in den weiter zu untersuchenden Standortgebieten auftreten können und welche angepassten Belastungsstufen dann festzulegen wären.

Vergleich möglicher
Zugangskonfigurationen

Für einen Vergleich der möglichen Zugangskonfigurationen an einem Standort ist in der Etappe 3 zudem die Wirksamkeit der vorgesehenen Massnahmen vertieft bauwerksspezifisch (Schacht / Rampe) zu prüfen und zu bewerten. Hierbei soll die

kombinierte Wirkung der Massnahmen und die Rückfallebenen, falls einzelne Massnahmen nicht erfolgreich sind, stärker berücksichtigt werden.

Vergleich Risiken Schacht /
Rampe

Die Risiken eines Zugangs mittels Rampe oder Schacht in verkarsteten Gebirgsbereichen und Gebirgsbereichen mit zu erwartender Verkarstung ist in Etappe 3 standortabhängig vertieft hinsichtlich der hydrogeologischen Randbedingungen und der Eignung der vorgesehenen Explorationsverfahren, Bauverfahren bzw. Massnahmen zu untersuchen und zu bewerten.

Wirksamkeit der Massnahmen

Die Wirksamkeit der gewählten Massnahmen bezogen auf die Auswirkungen der zu erwartenden Gefährdungen ist bei der Überarbeitung der bautechnischen Risikoanalyse in Etappe 3 SGT zu berücksichtigen. Dabei sollte die Bewertung der Wirksamkeit nachvollziehbar und standortspezifisch für die weiterzuverfolgenden Zugangskonfigurationen hergeleitet werden.

Leitfrage 6	2.6 Leitfrage 6: Vergleich der Standortgebiete und Schlussfolgerung <i>"Ist der Vergleich zwischen den Standortgebieten anhand der dargestellten Risikoprofile für die Bau- und Betriebsphasen nachvollziehbar, und kann der Schlussfolgerung zugestimmt werden?"</i>
Standortvergleich / Risikoprofile	2.6.1 Vorgehen und Beurteilung des Projektanten Der Projektant vergleicht die Standortgebiete hinsichtlich der bautechnischen Risiken beim Bau und Betrieb der Zugangsbauwerke auf Basis der Ergebnisse seiner standort- und konfigurationsspezifischen Risikobewertung (vgl. Kap. 2.5 in diesem Bericht) und den daraus abgeleiteten Risikoprofilen. Dabei basiert sein Vergleich auf den Bewertungszuständen Bauphase und Betriebsphase jeweils unter Berücksichtigung der bewerteten Massnahmen zur Minderung der verbleibenden relevanten Gefährdungen. Diese hat er zuvor unter Berücksichtigung von standortunabhängigen Standard- und Zusatzmassnahmen herausgearbeitet (vgl. Anhang A in diesem Bericht). Eine Übersicht der Risikoprofile für alle Standortgebiete und die berücksichtigten Zugangskonfigurationen ist in Anhang A dieses Berichts enthalten.
Standortunabhängige Gefährdungen	Auf Basis der Ergebnisse der bautechnischen Risikoanalyse kommt der Projektant zum Schluss, dass ein Grossteil der identifizierten Gefährdungen standortunabhängig und mit Standard- und Zusatzmassnahmen zuverlässig beherrschbar ist. Er stellt fest, dass alle danach verbleibenden risikorelevanten vertieft zu betrachtenden Gefährdungen für die Zugangsbauwerke durch Einwirkungen aus Wasser und Schlamm in Verbindung mit verkarstem oder zerklüftetem Gebirge resultieren.
Verbleibende standortabhängige Gefährdungen	Der Projektant stuft die verbleibenden Gefährdungen mit den standortspezifischen weiterführenden Massnahmen (z.B. Vorauserkundung und Gebirgsinjektionen) an nahezu allen Standorten als zuverlässig beherrschbar ein. Lediglich am Standort Jura-Südfuss stuft er das Restrisiko aus initialem Wassereinbruch aus angefahrenem Karst für die Zugangskonfiguration K1 (2 Rampen) in der Phase Bau in zwei Belastungsstufen als nicht zuverlässig beherrschbar ein. Die betreffende Zugangskonfiguration wäre daher auf Basis des heutigen Kenntnisstandes zur Geologie/Hydrogeologie unter Vorbehalt zurückzustellen. Eine erneute Überprüfung der Risiken zu einem späteren Zeitpunkt wäre angezeigt, sofern dieser Standort weiter verfolgt würde.
Bautechnische Machbarkeit an den Standorten	Der Projektant bewertet die bautechnische Machbarkeit der Zugangsbauwerke mit Ausnahme der Zugangskonfiguration K1 (2 Rampen) am Standort Jura-Südfuss an allen Standortgebieten als gegeben. Die Risikoprofile der Standortgebiete weisen auch nach Berücksichtigung der Umsetzung von Massnahmen für die Bau- und Betriebsphase Unterschiede auf. Der Projektant stuft die Standortgebiete in [14] bei Berücksichtigung von Massnahmen, also deren verbleibende bautechnische Restrisiken, zusammenfassend als grob vergleichbar ein. Er sieht in [1] keinen Standort mit einem eindeutigen Nachteil. Er zeigt Unterschiede in der Bewertung auf, die aber für die Standorteingrenzung in der Etappe 2 des Sachplanverfahrens keine Relevanz haben. Er kommt zudem zur Schlussfolgerung, dass abgesehen vom Standort Jura Südfuss (siehe oben) die Gegenüberstellung der standort- und

konfigurationsspezifischen Risikobewertung keine Rückschlüsse auf einen Vorzugsstandort und eine Vorzugskonfiguration der Zugangsbauwerke zulässt.

2.6.2 Beurteilung durch den Prüflingenieur

Fazit zu Leitfrage 6:
keine Eingrenzung der Standortgebiete durch die bautechnische Risikoanalyse

Der Prüflingenieur stimmt der Schlussfolgerung des Projektanten zu, dass auf Basis des heutigen Erkenntnisstandes die mit Berücksichtigung von Massnahmen verbleibenden potenziell relevanten bautechnischen Risiken der Zugangsbauwerke an allen Standortgebieten vergleichbar sind und keine standortrelevante Einschränkung darstellen.

Eignung / Wirksamkeit von Massnahmen

Die Eignung sowie die Wirksamkeit der für den sicheren Bau und Betrieb der Zugangsbauwerke erforderlichen Massnahmen müssen in der folgenden Etappe 3 des Sachplanverfahrens jedoch weiterführend und vertieft untersucht werden, um die uneingeschränkte bautechnische Machbarkeit der Zugangsbauwerke standortspezifisch nachzuweisen.

Tiefenabhängige Kriterien

Folgende von der Tiefenlage respektive dem Wasserdruck im verkarsteten Gebirge abhängigen Kriterien könnten nach Einschätzung des Prüflingenieurs einen standort- oder konfigurationsrelevanten Einfluss auf eine spätere Risikobewertung in der Etappe 3 des Sachplanverfahrens haben:

- _ Grössenordnung der Wassermengen (initialer Wassereintritt, stationärer Wasserzufluss) ist druckabhängig
- _ Abdichtbarkeit wasser- oder schlammgefüllter Karststrukturen
- _ Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit der Injektionskörper infolge Durchströmung (höherer Strömungsgradient bei höherem Druck)
- _ Nachinjizierbarkeit von nicht ausreichend abgedichtetem Gebirge/Injektionskörper unter hohem Druck

Empfehlungen zu SGT-Etappe 3

Bewertung Restrisiko Massnahmenerfolg

Der Prüflingenieur empfiehlt, in der Etappe 3 die Restrisiken des Erfolgs von Abdichtungsmassnahmen standort- und tiefenabhängig zu bewerten und dabei die standortspezifischen Karstphänomene und Hinweise dazu in [17] zu berücksichtigen.

Überprüfung Eignung und Zuverlässigkeit Massnahmen

Dies bedingt einerseits eine vertiefte Betrachtung und Prüfung der Eignung und Zuverlässigkeit der vorgesehenen Massnahmen zur Vorauserkundung des Gebirges. Die beim Vortrieb einzusetzenden geophysikalischen und direkten Erkundungsverfahren müssen so aufeinander abgestimmt werden, dass damit redundante und sich ergänzende zuverlässige Messergebnisse zur Ausprägung des aufzufahrenden und ggf. abzudichtenden Gebirges gewährleistet werden können. Andererseits empfehlen wir die Eignung und Wirksamkeit von vorauseilenden Injektions- und Abdichtungsmassnahmen bei zu erwartenden tief liegenden wasser- oder sedimentgefüllten Gebirgsformationen mit geeigneten Untersuchungen zu prüfen, um die bautechnische Machbarkeit der Zugangsbauwerke in verkarsteten Gebirgsbereichen mit möglichst geringen Restrisiken gewährleisten zu können.

Vertiefung Bewertung
Zugangskonfigurationen
Schacht / Rampe

An den Standorten ist vertieft zu prüfen, welche Konfigurationen für Zugänge zum Lagerbereich möglich sind. Dabei ist auf eine breite Auswahl von möglichen Varianten zu achten und diese sind mittels quantifizierter Risikoanalyse zu bewerten und zu vergleichen.

3. Schlussfolgerung

Der Prüfer hat in den Kapiteln 2.1.2, 2.2.2, 2.3.2, 2.4.2, 2.5.2 sowie 2.6.2 seine Beurteilungen zu den in [1] dokumentierten Untersuchungen des Projektanten festgehalten. Diese Detailbetrachtungen sind in der nachfolgenden Gesamtbeurteilung zusammenfassend eingeflossen.

3.1 Gesamtbeurteilung des Prüfers

Aufgabenstellung für den Projektanten – Ziel erreicht

Ziel der vom Projektanten durchzuführenden bautechnischen Risikoanalyse war die Identifikation, Analyse und Bewertung der bautechnischen Risiken zur Realisierung der Zugangsbauwerke nach Untertage in den sechs Standortgebieten. Dabei war primär zu prüfen, ob und in wieweit potenzielle bautechnische Gefährdungen der Zugangsbauwerke in der Bau- und Betriebsphase einen Einfluss auf die Standorteinengung der Etappe 2 des Sachplanverfahrens haben. Mit den in [1] dokumentierten Untersuchungen hat der Projektant dieses Ziel gemäss Beurteilung des Prüfers erreicht.

Fazit

Der grundlegenden Kernaussage des Projektanten, dass nach heutigem Erkenntnisstand aus der bautechnischen Risikoanalyse keine standortrelevanten Einschränkungen bestehen, stimmt der Prüfer zu. Der Prüfer ist ausserdem der Ansicht, dass die aktuelle Wissensbasis auch nicht ausreichen würde, um eine Eingrenzung der Standortgebiete basierend auf der vorliegenden bautechnischen Risikoanalyse vorzunehmen.

Stufengerechte Risikoanalyse Methode entspricht Stand der Technik⁴

Die vom Projektanten gewählte Methodik zur Analyse der bautechnischen Risiken entspricht grundsätzlich dem Stand von Wissenschaft und Technik. Der mit dem schrittweisen Vorgehen gewählte Detaillierungsgrad der Gefährdungsanalyse wird für den gegenwärtigen Projektstand einer 'Vorstudie' gemäss SIA 103 als hoch beurteilt. Die Bearbeitungstiefe der Risikobewertung der vom Projektanten ermittelten verbleibenden potenziell relevanten Gefährdungen unter Einbezug der berücksichtigten Massnahmen zur Risikobeherrschung ist stufengerecht.

Kein relevanter Einfluss der bautechnischen Risikoanalyse auf Einengung der Standortgebiete

Die in der Etappe 2 erfolgte Einengung auf zwei weiter zu untersuchende Standortgebiete wurde nicht massgeblich durch die Resultate der hier beurteilten bautechnischen Risikoanalyse für die Zugangsbauwerke beeinflusst. Auch die vom Prüfer geforderte tiefenabhängige Betrachtung der Einwirkungen und Gefährdungen speziell in verkarsteten oder karstgefährdeten Gebirgsbereichen (z.B. in Verbindung mit Wasserdruck, Wasser- und Schlammengen) hat keinen relevanten Einfluss auf die Einengung der Standortgebiete, da an beiden vorgeschlagenen Standorten die möglichen verkarsteten Gebirgszonen eine mittlere Tiefenlage aufweisen und damit die Risiken nicht höher bewertet würden. Hingegen wäre das Standortgebiet Nördlich Lägern auf Grund der dort signifikant grösseren Tiefenlage potentieller Karstphänomene möglicherweise ungünstiger zu beurteilen als in [1] dargestellt. Allgemein ist aber der Kenntnisstand bezüglich der Auftretenswahrscheinlichkeit von Karstphänomenen an allen Standortgebieten in der Nordschweiz ähnlich rudimentär.

Zurückstellung einer
Zugangskonfiguration am
Standort Jura-Ost

Einzig am Standort Jura-Südfuss wird die bautechnische Machbarkeit der Zugangskonfiguration K1 mit 2 Rampen in der Phase Bau in zwei Belastungsstufen auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes als nicht zuverlässig beherrschbar bewertet. Die betreffende Zugangskonfiguration des Standortes ist daher auf Basis des heutigen Kenntnisstandes zur Geologie/Hydrogeologie unter Vorbehalt zurückzustellen. Eine erneute Überprüfung der Risiken zu einem späteren Zeitpunkt wäre angezeigt, sofern dieser Standort weiter verfolgt würde.

Keine Präferenz Schacht/Rampe
vs. nur Schächte begründbar

Der Projektant kommt im Fazit von [1] zum Schluss, dass die Risikoprofile innerhalb der verschiedenen Standortgebiete für die Betriebsphase für die beiden Zugangskonfigurationen i) Schacht/Rampe oder ii) nur Schächte keine signifikanten Unterschiede zeigen. Der Prüferingenieur stimmt dieser Einschätzung zu und ist der Ansicht, dass auf Basis des aktuellen Wissens auch keine Präferenzen bezüglich Schacht/Rampe oder nur Schächte ausreichend belastbar begründet werden können.

3.2 Empfehlungen

In den Kapiteln 2.2.2, 2.3.2, 2.4.2, 2.5.2 sowie 2.6.2 dieses Berichts sind die Empfehlungen des Prüferingenieurs detailliert aufgeführt. Die wichtigsten Empfehlungen daraus sind untenstehend zusammenfassend aufgelistet.

vertiefte Untersuchungen in
Etappe 3 SGT

Wie vom Projektanten vorgesehen, sind in SGT-Etappe 3 zusätzliche und vertiefte Untersuchungen zu den bautechnischen Risiken der Zugangsbauwerke vorzunehmen. Die sicherheitsrelevanten Bauwerke auf Lagerebene sind in der vertieften bautechnischen Risikoanalyse zu integrieren und insbesondere hinsichtlich der Langzeitsicherheit zu untersuchen und zu bewerten.

Aufgrund des vorliegenden Prüfergebnisses sind insbesondere die untenstehenden Aspekte vertieft zu untersuchen:

- _ Die zu erwartenden Karstphänomene (Auftrittswahrscheinlichkeit, Ausprägung und Erstreckung) in den als Standorte zu untersuchenden Regionen sollten mit kohärenten Modellen vertieft untersucht werden, um die Risiken aus Karst standortspezifisch besser bewerten und um eine bessere Prognose des Wasserandrangs und der Hohlraumfüllungen ermöglichen zu können. Die daraus resultierende Gefahr von Wasser- oder Schlammbrüchen ist standortspezifisch (tiefenabhängig und karstphänomenologisch) und bauwerkspezifisch (Schacht / Rampe) vertieft zu beurteilen. Die Modelle liefern zudem wesentliche Beiträge zur Erfordernis und Definition von Umfang und Art zusätzlicher geologischer Erkundungen (Geophysik und Bohrungen). Die Kombination von konzeptuellen Modellen, direkten Methoden und geophysikalischen Messverfahren sollte es ermöglichen die lokalen Karstphänomene gut zu beschreiben.
- _ Die Wirksamkeit der vorgesehenen Hauptmassnahmen Vorauserkundung und Abdichtungsinjektionen sind tiefenabhängig und standortspezifisch vertieft zu untersuchen und nachvollziehbar zu bewerten.
- _ Gefährdungen aus Hinterläufigkeit oder Umläufigkeit der Zugangsbauwerke und die konstruktive Ausbildung der möglichen Gegenmassnahmen sind für die komplette Länge der Zugangsbauwerke weiter zu vertiefen.

- _ Der kombinierte Einfluss von verschiedenen Gefährdungen (Risikoaggregation), die kombinierte Wirkung von Massnahmen und die Rückfallebenen, falls einzelne Massnahmen nicht erfolgreich wären, sind zu berücksichtigen und die entsprechenden Überlegungen zu dokumentieren.
- _ Die Einflüsse der vorgesehenen Gewölbeausbau- und Stützmassnahmen sowie der Abdichtungs- und Drainagemassnahmen unter anderem auf die Umwelt und die Auflockerung des Gebirges sind standortspezifisch zu diskutieren und zu berücksichtigen.
- _ Verifizierung und ggf. Anpassung der quantitativen Festlegung der Belastungsstufen.
- _ Worst-Case-Szenarien sind standort- und bauwerkspezifisch zu erarbeiten und in der Risikoanalyse zu berücksichtigen.
- _ Mögliche Auswirkungen auf die Umwelt durch die Beeinflussung von Karstsystemen wie Bergwasseraufstau oder die Entleerung von oberflächennahen Hohlräumen sind zu untersuchen und zu bewerten.
- _ Als zusätzliche Massnahme ist der Bau eines Pilotstollens oder Pilotschachts beim Bau der Zugangsbauwerke zu prüfen. Dies ist insbesondere bei der Erschliessung des Felslabors (vorgängig zum Auffahren der eigentlichen Zugangsbauwerke für das Tiefenlager) zur Überprüfung der Eignung der geplanten bautechnischen Verfahren und Massnahmen in Betracht zu ziehen.

Abgrenzung und Methodik der bautechnischen Risikoanalyse

Für die in der Etappe 3 weiter zu vertiefende bautechnische Risikoanalyse werden folgende Empfehlungen zur Abgrenzung und Methodik gegeben:

- _ Die Risikoanalyse soll alle Schächte und Rampen beginnend von der Geländeoberkante (inkl. Lockergestein und Lockergesteinsaquiferen) bis zur Lagerebene umfassen und auch das Tiefenlager selbst beinhalten.
- _ Die bei der Analyse der Massnahmen gewonnenen Erkenntnisse sind, sowohl bei der Bewertung der Eintretenswahrscheinlichkeit, als auch beim Ausmass einer Gefährdung (Belastungsstufen) nachvollziehbar standortabhängig und konfigurationsspezifisch zu berücksichtigen.
- _ Die Bewertung des Massnahmenerfolgs in der Bauphase soll nicht ausschliesslich über die Wirksamkeit der Vorauserkundung erfolgen, sondern hat alle relevanten Aspekte wie zum Beispiel die technische Machbarkeit und Wirksamkeit der Massnahme in der konkreten Situation zu berücksichtigen.

weitere Konfigurationsvarianten in die Untersuchungen der Etappe 3 einbeziehen

Ergänzend zu den in [1] analysierten Zugangskonfigurationen empfiehlt der Prüferingenieur, die folgenden Konfigurationsvarianten in die Untersuchungen der Etappe 3 einzubeziehen:

- _ Gestaltung der Schächte als Varianten mit horizontalem Versatz ('abgesetzter Schacht') nach dem Durchfahren der potentiell wasserführenden Schichten.
- _ Im Standortgebiet Jura-Ost eine zusätzlich Konfiguration ausschliesslich mit in den potentiell wasserführenden Schichten steigend geführten Rampenbauwerken als Zugangs-, Betriebs- oder Lüftungsbauwerke, so dass die Auswirkungen eines Wassereintruchs im Zugangsbauwerk auf die Lagerebene minimiert werden können. Die aktuell betrachteten Zugangskonfigurationen weisen alle mindestens einen Lüftungsschacht auf. Ein Wassereintruch in einem solchen Schacht während der Betriebsphase könnte zu einem direkten Zutritt von grossen Wassermengen in die Lagerebene führen, was mit steigenden Rampen verhindert werden könnte.

Anhänge

Anhang B Reduktionsfaktoren der EW für Bau- und Betrieb

(Langtext: Massnahmenbezogene Reduktionsfaktoren der Eintretenswahrscheinlichkeit für Bau- und Betriebsphase aus [1])

Tab. 8-1: Abgeschätzte Reduktionsfaktoren der Eintretenswahrscheinlichkeit (Reduktion der jährlichen Eintretenshäufigkeit) von Massnahmen gemäss Abschnitt 7.3.1.

Gefährdungsnummer	Gefährdungs- beschreibung	Belastungsstufe (BS)	Phase Bau (KF)		Phase Betrieb (MF)			
			Schritt B: Reduktion H_{EW} pro BS durch Massnahmen im Vortrieb in <u>massgebenden einzelnen Homogenbereichen</u>				Schritt C: Zusätzliche Reduktion H_{EW} pro BS gegenüber Schritt B durch Massnahmen bis Rohbauvollendung über <u>alle Homogenbereiche</u>	
			Rampe: Faktor ¹ Wirksamkeit Massnahme	Schacht: Faktor ¹ Wirksamkeit Massnahme	Rampe: Faktor ² Wirksamkeit Massnahme	Schacht: Faktor ² Wirksamkeit Massnahme		
2b-1	Initialer Wassereinbruch aus einer Kluft/Störung	I	1	1	10	10		
		II	5	10	100	100		
		III	50	100	> 100	> 100		
		IV	50	100	> 100	> 100		
		V	100	200	> 100	> 100		
2b-2	Stationär zufließendes Wasser aus einer Kluft/Störung	I	1	1	1	1		
		II	10	20	50	50		
		III	50	50	50	50		
		IV	100	100	50	50		
		V	100	100	100	100		
2c-1	Initialer Wassereinbruch aus angefahrenem Karst	I	1	1	10	10		
		II	2	5	100	100		
		III	5	10	> 100	> 100		
		IV	5	10	> 100	> 100		
		V	10	25	> 100	> 100		
2c-2	Stationär zufließendes Wasser aus angefahrenem Karst	I	1	1	1	1		
		II	10	20	50	50		
		III	50	50	50	50		
		IV	100	100	50	50		
		V	100	100	100	100		
3	Schlammereinbruch durch sedimentverfüllte Karsthohlräume	I	5	5	1000	1000		
		II	10	25	1000	1000		
		III	150	200	1000	1000		
		IV	150	200	1000	1000		
		V	200	250	1000	1000		

Anhang C Möglichkeiten für Zugangskonfigurationen aus [1]

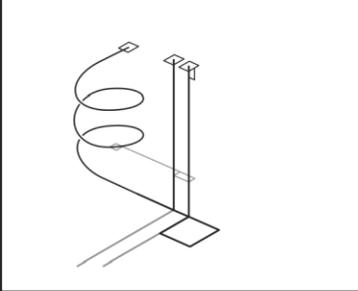
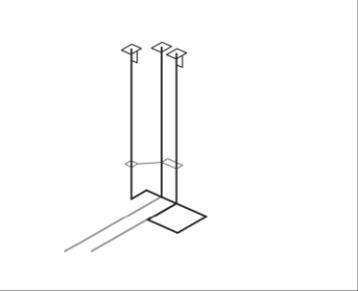
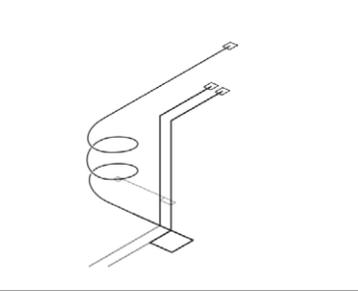
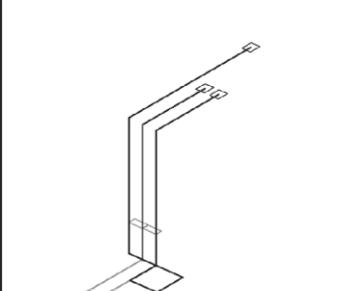
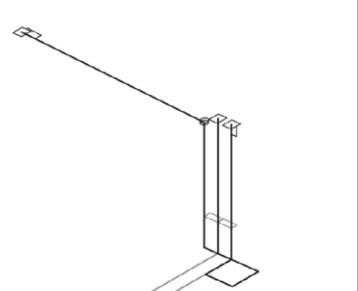
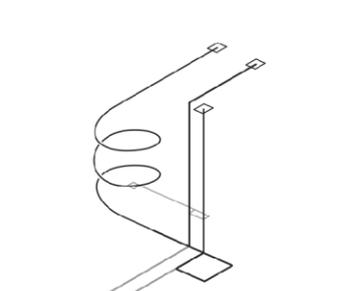
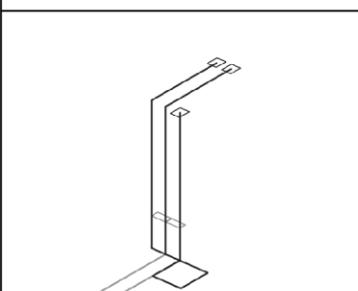
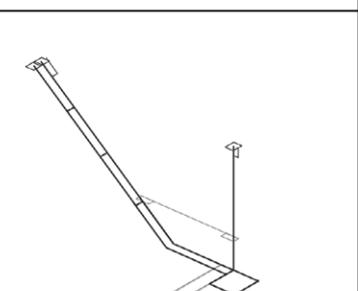
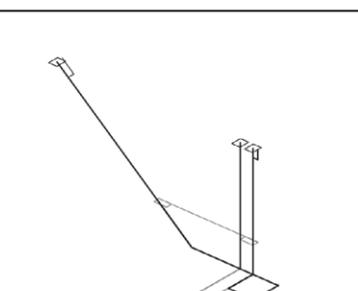
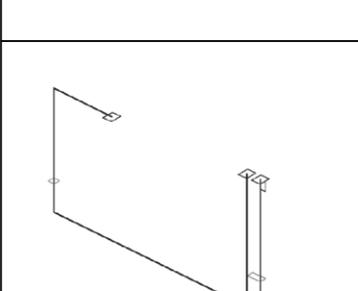
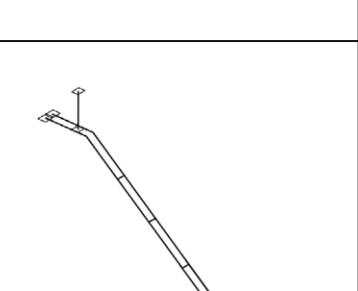
		
Hauptzugangsbauwerk Befahrbare Wendelrampe	Hauptzugangsbauwerk Vertikalschacht	Hauptzugangsbauwerk Befahrbare Wendelrampe
		
Hauptzugangsbauwerk Blindschacht	Hauptzugangsbauwerk Blindschacht	Hauptzugangsbauwerk Befahrbare Wendelrampe
		
Hauptzugangsbauwerk Blindschacht	Hauptzugangsbauwerk Langgestreckte befahrbare Rampe	Hauptzugangsbauwerk Langgestreckte befahrbare Rampe
		<p>* Alle dargestellten Konfigurationen zeigen potenziell mögliche Zugänge zu einem Haupterschließungspunkt (HEP) im Wirtgestein. Nicht dargestellt ist die Erschließung eines Pilotlagers ab Top EG oder ab HEP (in Abhängigkeit Geologie und der Auslegung einer hydraulischen Trennung zwischen dem Haupt- und dem Pilotlager, vgl. Fig. 4-1).</p>
Hauptzugangsbauwerk Blindschacht	Hauptzugangsbauwerk Befahrbare Rampe	

Fig. 4-3: Alternative Möglichkeiten für Zugangskonfigurationen*

Dargestellt sind alle Zugangskonfigurationen basierend auf Nagra (2013/2014).

Anhang D Definition Belastungsstufen potenziell verbleibender Gefährdungen

(Quelle: aus [1])

Tab. 7-5: Belastungsstufen für die "verbleibenden, potenziell relevanten Gefährdungen" im Bau (kurzfristig KF) für Rampe und Schacht.

Allgemeine Definition der Belastungsstufen 0 bis V vgl. Tab. 2-3.

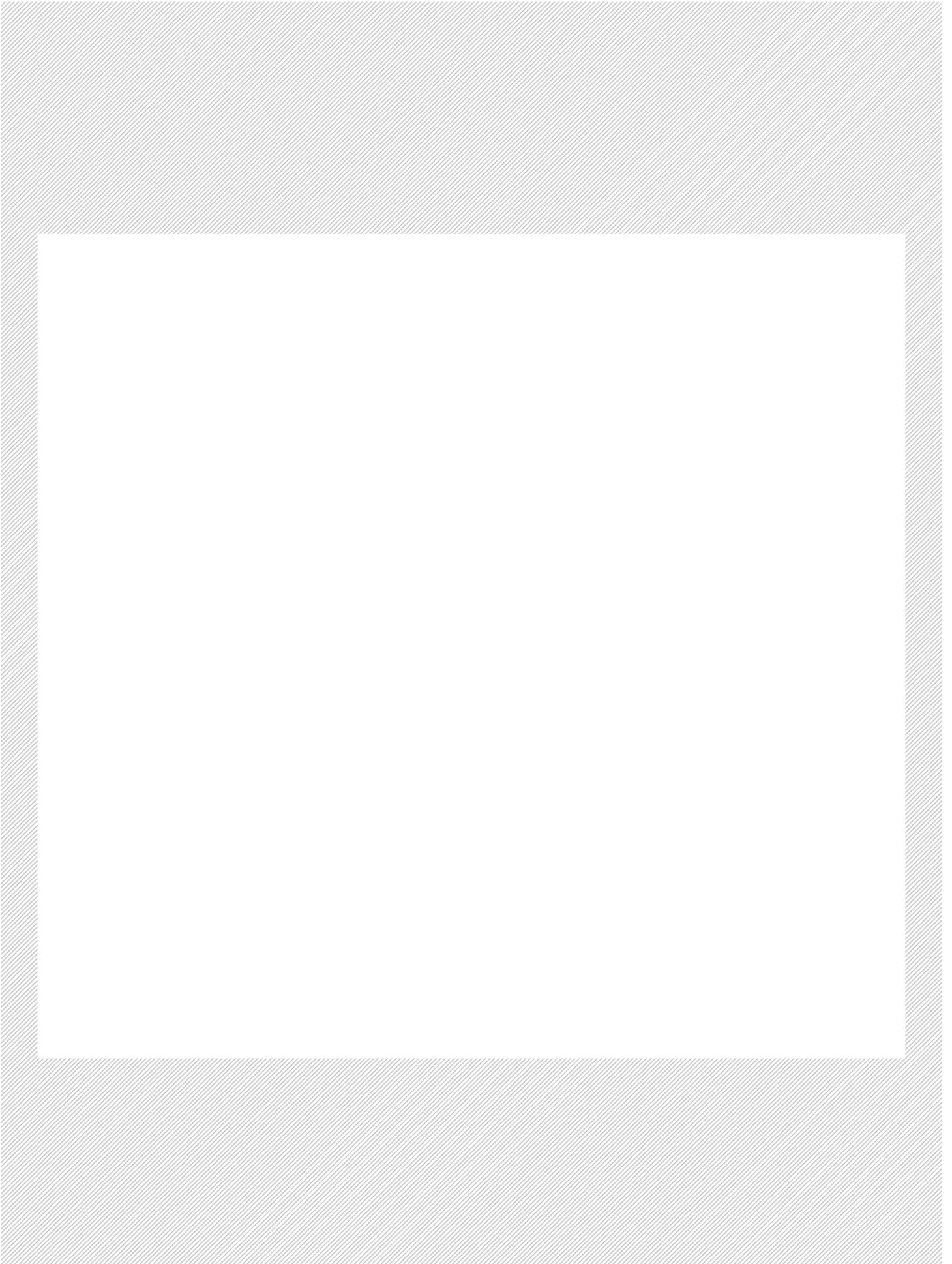
Nr.	Gefährdung (Belastungsart)	0/I (unbedeutend/ gering)	II (mittel)	III (gross)	IV (sehr gross)	V (extrem gross)
2b-1	Initialer lokalisierter Wasserzutritt aus Klüften/Störungszonen (hydraulisch: Wassermenge in l/s während ≤ 24 Std)	< 10 l/s	$10 \leq Q < 100$ l/s	$100 \leq Q < 1000$ l/s	$1000 \leq Q \leq 2000$ l/s	> 2000 l/s
2c-1	Initialer Wassereintritt aus Karststrukturen (hydraulisch: Wassermenge in l/s während ≤ 24 Std)					
2b-2	Stationärer lokalisierter Wasserzutritt aus Klüften oder Störungszonen (hydraulisch: dauerhaft zusickernde Bergwassermenge über 100 m Tunnellänge / Schachttiefe in l/s)	< 0.5 l/s	$0.5 \leq Q < 5$ l/s	$5 \leq Q < 50$ l/s	$50 \leq Q \leq 100$ l/s	> 100 l/s
2c-2	Stationärer lokalisierter Wasserzutritt aus Karststrukturen (hydraulisch: dauerhaft zusickernde Bergwassermenge über 100 m Tunnellänge/Schachttiefe in l/s)					
2d	Aggressivität des zusickehenden Bergwassers (chemisch: Grad der Mineralisierung) aus Klüften, Störungen, Poren ("Matrix") oder Karststrukturen (hydraulisch, chemisch: chemische Aggressivität des dauerhaft zusickehenden Bergwassers Q in l/s)	Aggressivität niedrig / moderat und $Q \leq 100$ l/s oder Aggressivität mittel / hoch und $Q \leq 5$ l/s	Aggressivität mittel / hoch und $5 < Q \leq 20$ l/s	Aggressivität mittel / hoch und $20 < Q \leq 50$ l/s	Aggressivität mittel / hoch und $Q > 50$ l/s	Aggressivität hoch und $Q > 50$ l/s
3	Schlammcinbruch durch sedimentverfüllte Karsthohlräume (hydraulisch-mechanisch: angefallene Schlamm-/Bodenmenge in m^3)	< 1 m^3	$1 \leq Q < 50$ m^3	$50 \leq Q < 250$ m^3	$250 \leq Q \leq 500$ m^3	> 500 m^3

Tab. 7-6: Belastungsstufen für die "verbleibenden, potenziell relevanten Gefährdungen" während des Betriebs (MF) für Rampe und Schacht.

Allgemeine Definition der Belastungsstufen vgl. Tab. 2-3.

Bei vergleichbaren Belastungsstufen sind die Belastungen im Betrieb (MF) gleich streng oder strenger festgelegt als im Bau (KF) wegen ihrer langandauernden Wirkung.

Nr.	Gefährdung (Belastungsart)	0/I (unbedeutend/ gering)	II (mittel)	III (gross)	IV (sehr gross)	V (extrem gross)
2b-1	Initialer lokalisierter Wasserzutritt aus Klüften/Störungszonen (hydraulisch: Wassermenge in l/s während ≤ 24 Std)	< 0.5 l/s	$0.5 \text{ l/s} \leq Q < 10 \text{ l/s}$	$10 \leq Q < 100 \text{ l/s}$	$100 \leq Q \leq 1000 \text{ l/s}$	> 1000 l/s
2c-1	Initialer Wassereinbruch aus Karststrukturen (hydraulisch: Wassermenge in l/s während ≤ 24 Std)					
2b-2	Stationärer lokalisierter Wasserzutritt aus Klüften oder Störungszonen (hydraulisch: dauerhaft zusickernde Bergwassermenge über 100 m Tunnellänge/Schachttiefe in l/s)	< 0.5 l/s	$0.5 \leq Q < 5 \text{ l/s}$	$5 \leq Q < 20 \text{ l/s}$	$20 \leq Q \leq 50 \text{ l/s}$	> 50 l/s
2c-2	Stationärer lokalisierter Wasserzutritt aus Karststrukturen (hydraulisch: dauerhaft zusickernde Bergwassermenge über 100 m Tunnellänge/Schachttiefe in l/s)					
2d	Aggressivität des zusickehenden Bergwassers aus Klüften, Störungen, Poren ("Matrix") oder Karststrukturen (hydraulisch, chemisch: chemische Aggressivität des dauerhaft zusickehenden Bergwassers)	Aggressivität niedrig / moderat und $Q \leq 100 \text{ l/s}$ oder Aggressivität mittel / hoch und $Q \leq 5 \text{ l/s}$	Aggressivität mittel / hoch und $5 < Q \leq 20 \text{ l/s}$	Aggressivität mittel / hoch und $20 < Q \leq 50 \text{ l/s}$	Aggressivität mittel / hoch und $Q > 50 \text{ l/s}$	Aggressivität hoch und $Q > 50 \text{ l/s}$
3	Schlammereinbruch durch sedimentverfüllte Karsthohlräume (hydraulisch-mechanisch: angefallene Schlamm-/Bodenmenge in m^3)	kein Feststoffeintrag	< 1 m^3	$1 \leq Q < 5 \text{ m}^3$	$5 \leq Q \leq 50 \text{ m}^3$	> 50 m^3



ENSI 33/457

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 56 460 84 00, E-Mail Info@ensi.ch, www.ensi.ch