



Aktennotiz

Datum: 18.04.2017 Seiten: 122 Anhänge: - Beilagen: -
Verteiler intern: SGTPT, [REDACTED], Archiv
Verteiler extern:
Sachbearbeiter: GEOL, TISA / [REDACTED]
Visum
Visum Vorgesetzte [REDACTED]

Klassifizierung keine
Aktenzeichen 33KGX.SGTE2
Referenz ENSI 33/539

Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten

Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT

Inhalt

Einleitung	4
1 Kriteriengruppe 1 «Eigenschaften des WG/EG»	8
1.1 Kriterium «Räumliche Ausdehnung»	8
1.1.1 I5 «Mächtigkeit»	8
1.1.2 I8 «Platzangebot untertags»	12
1.2 Kriterium «Hydraulische Barrierenwirkung»	17
1.2.1 I9 «Hydraulische Durchlässigkeit»	17
1.2.2 I2 «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion»	19
1.2.3 I10 «Grundwasserstockwerke»	23
1.3 Kriterium «Geochemische Bedingungen»	25
1.3.1 I11 «Mineralogie»	26
1.3.2 I12 «pH»	27
1.3.3 I13 «Redox-Bedingungen»	28
1.3.4 I14 «Salinität»	29
1.3.5 I15 «Mikrobielle Prozesse»	30



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

1.3.6	I16 «Kolloide»	31
1.4	Kriterium «Freisetzungspfade»	32
1.4.1	I17 «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums»	32
1.4.2	I20 «Transmissivität präferenzialer Freisetzungspfade»	34
1.4.3	I22 «Selbstabdichtungsvermögen»	36
1.4.4	I18 «Homogenität des Gesteinsaufbaus»	38
1.4.5	I19 «Länge der massgebenden Freisetzungspfade»	39
2	Kriteriengruppe «Langzeitstabilität»	43
2.1	Kriterium «Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften»	43
2.1.1	I23 «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)»	43
2.1.2	I24 «Seismizität»	48
2.1.3	I27 «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)»	50
2.2	Kriterium «Erosion»	53
2.2.1	I28 «Erosion im Betrachtungszeitraum»	53
2.2.2	I3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen»	55
2.2.3	I4 «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion»	66
2.3	Kriterium «Lagerbedingte Einflüsse»	73
2.3.1	I30 «Chemische Wechselwirkung (Hoch-pH Fahne)»	73
2.3.2	I32 «Verhalten des WG bezüglich Temperatur (Wärmeeintrag)»	75
2.3.3	I31 «Verhalten des WG bezüglich Gas (Gasbildung/Gastransport) (SMA und HAA)»	76
2.3.4	I29 «Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten (AUZ)»	77
2.4	Kriterium «Nutzungskonflikte»	83
2.4.1	I33 «Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins»	83
2.4.2	I34 «Rohstoffvorkommen unterhalb des Wirtgesteins»	83
2.4.3	I35 «Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins»	84
2.4.4	I36 «Mineral- und Thermalwassernutzungen»	85
2.4.5	I37 «Geothermie und weitere energiebezogene Nutzungen des Untergrundes»	87
3	Kriteriengruppe 3 «Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen»	89
3.1	Kriterium «Charakterisierbarkeit der Gesteine»	89
3.1.1	I39 «Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit»	89
3.1.2	I40 «Erfahrungen»	91
3.2	Kriterium «Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse»	93
3.2.1	I43 «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund»	93
3.2.2	I44 «Explorationsbedingungen an Oberfläche»	94
3.3	Kriterium «Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen»	98



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

3.3.1	I23 «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)»	98
3.3.2	I46 «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation»	98
4	Kriteriengruppe 4 «Bautechnische Eignung»	102
4.1	Kriterium «Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen»	102
4.1.1	I1 «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u. B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)»	102
4.2	Kriterium «Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung»	107
4.2.1	I48 «Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen»	107
4.2.2	I49 «Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)»	110
5	Referenzen	113



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Referenz:
Titel:
Datum / Sachbearbeiter:

keine
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
18.04.2017 / GEOL, TISA

Einleitung

Der Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) ist das Auswahlverfahren der Schweiz zur Festlegung von Standortgebieten für die geologische Tiefenlagerung der radioaktiven Abfälle. Das schrittweise Verfahren umfasst drei Etappen und wurde 2008 in einem Konzeptteil festgelegt (BFE 2011). Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) schlug in Etappe 1 SGT sechs Standortgebiete vor (Abbildung 1): die Standortgebiete Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern, Jura Ost, Jura-Südfuss und Wellenberg für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA), sowie die Standortgebiete Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost für hochaktive Abfälle (HAA). Das ENSI hat dem Vorschlag der Nagra in seinem Gutachten zu Etappe 1 SGT (ENSI 33/070) zugestimmt. Am 1. Dezember 2011 hat der Bundesrat diesen Vorschlag der Nagra gutgeheissen. Diese sechs bzw. drei Standortgebiete waren der Ausgangspunkt für die seit 2011 laufende Etappe 2 SGT.

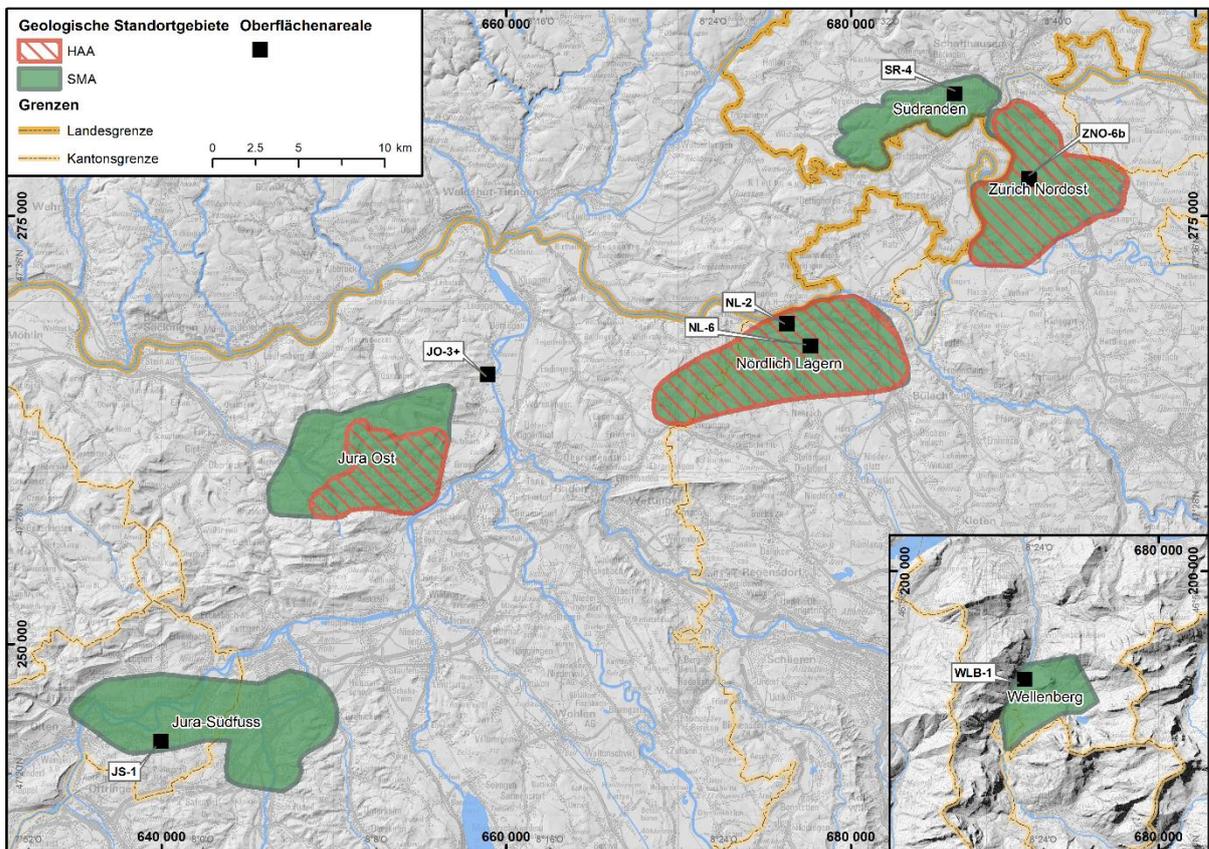


Abbildung 1: Übersicht über die sechs Standortgebiete aus Etappe 1 SGT.

Im Januar 2015 wurde der Vorschlag der Nagra durch das Bundesamt für Energie BFE veröffentlicht. Gemäss diesem Vorschlag sind sowohl für SMA- als auch HAA-Lager die beiden Standortgebiete Zürich Nordost (Kanton Zürich) und Jura Ost (Kanton Aargau) (Abbildung 1) in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchen. Für die Nagra ist in diesen geologischen Standortgebieten der Opalinuston sowohl für das HAA-Lager als auch für das SMA-Lager das weiter zu verfolgende Wirtgestein. Die Nagra schlägt damit vor, die in Etappe 1 SGT aufgenommenen vier SMA-Standortgebiete Nördlich Lägern, Südranden, Jura-Südfuss und Wellenberg und das HAA-Standortgebiet Nördlich Lägern in Etappe 2 SGT zurückzustellen.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Im Rahmen des Sachplans trägt das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) als zuständige Aufsichtsbehörde des Bundes die Gesamtverantwortung für die sicherheitstechnische Beurteilung der geologischen Standortgebiete bzw. Standorte. In dieser Rolle hat das ENSI den von der Nagra eingereichten Vorschlag geprüft und das Ergebnis in einem sicherheitstechnischen Gutachten zu Etappe 2 SGT dokumentiert (ENSI 33/540). Im Unterschied zur Nagra beurteilt das ENSI die vorgeschlagene Zurückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern als nicht belastbar. Aus Sicht des ENSI sind damit die drei geologischen Standortgebiete Zürich Nordost, Jura Ost und Nördlich Lägern jeweils für ein SMA-Lager und ein HAA-Lager in Etappe 3 SGT, vertieft weiter zu untersuchen.

In seinem Gutachten prüfte das ENSI insbesondere die verwendeten geologischen Grundlagen, die Resultate der quantitativen provisorischen Sicherheitsanalysen, die qualitative Beurteilung der 13 Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit gemäss Konzeptteil SGT (BFE 2011), sowie die Belastbarkeit der von der Nagra identifizierten eindeutigen Nachteile.

Um den Umfang des Gutachtens (ENSI 33/540) zu begrenzen, wurde die qualitative Beurteilung der 13 Kriterien zu Sicherheit und technischer Machbarkeit im Kapitel 5.3 des Gutachtens zusammenfassend dargestellt. Darin werden insbesondere unterschiedliche Beurteilungen des ENSI im Vergleich zur Nagra knapp erläutert. In der vorliegenden Aktennotiz erfolgt eine ausführliche Diskussion der Bewertung aller Indikatoren sowie der jeweilig verwendeten Bewertungsobjekte und Bewertungsskalen. Tabelle 1 zeigt den Vergleich der Bewertungen von Nagra und ENSI für die einzelnen Indikatoren sowie deren Aggregation zu Kriterien, zu Kriteriengruppen und zur Gesamtbewertung.



Klassifizierung: keine
 Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Tabelle 1: Tabellarische Zusammenstellung der Bewertungen von Nagra (N) und ENSI (E) für die Kriteriengruppen und die dazugehörigen Kriterien und Indikatoren sowie die Gesamtbewertung. *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.

Kriteriengruppe / Kriterium	SMA-SR-OPA		SMA-ZNO-OPA		SMA-NL-OPA		SMA-JO-OPA		SMA-JS-OPA		SMA-ZNO-BD		SMA-NL-BD		SMA-JS-EFF		SMA-WLB-MGL		HAA-ZNO*		HAA-NL		HAA-JO		
	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N
KG1 Eigenschaften des WG/EG	3.9	4.2	4.4	4.5	4.2	4.3	4.3	4.3	4.0	4.0	4.1	4.2	3.9	4.1	3.3	3.2	3.7	3.3	4.3	4.3	4.2	4.3	4.1	4.3	
1.1 Räumliche Ausdehnung	3.3	3.5	4.3	4.5	3.3	4.0	4.1	4.0	2.9	2.5	4.3	4.5	3.3	4.0	2.9	2.5	3.8	4.0	4.0	4.0	3.5	4.0	3.8	4.0	
5 Mächtigkeit	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	2.5	0.5	4.1	4.5	4.5	4.5	2.5	0.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	
8 Platzangebot untertags	3.1	3.5	4.1	4.5	2.1	3.5	4.7	4.5	3.3	4.5	4.5	4.5	2.1	3.5	3.3	4.5	3.1	3.5	3.5	3.5	2.5	3.5	4.1	4.5	
1.2 Hydraulische Barrierenwirkung	3.7	4.5	4.5	4.5	4.6	4.5	4.2	4.5	4.2	4.5	4.4	4.5	4.5	4.5	4.0	4.2	4.1	2.5	4.5	4.5	4.6	4.5	3.9	4.5	
9 Hydraulische Durchlässigkeit	4.3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	3.7	3.5	3.7	2.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
2 Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion	2.7	4.5	4.5	4.5	4.7	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.5	4.5	4.7	4.5	4.3	4.5	4.1	2.5	4.5	4.5	4.7	4.5	3.1	4.5	
10 Grundwasserstockwerke	4.1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	4.5	4.5	2.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	4.5	
1.3 Geochemische Bedingungen	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.3	4.2	3.6	3.3	3.6	3.5	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	
11 Mineralogie	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5		
12 pH	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5		
13 Redox-Bedingungen	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5		
14 Salinität	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5		
15 Mikrobielle Prozesse	4.1	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	3.3	2.5	3.3	2.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	
16 Kolloide	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.5	2.5	2.5	2.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
1.4 Freisetzungspfade	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.4	3.7	3.4	3.7	2.7	2.7	3.2	3.1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
17 Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	3.3	2.5	3.1	2.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
20 Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	3.1	3.5	3.1	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
22 Selbstabdichtungsvermögen	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	3.1	3.5	2.5	2.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
18 Homogenität des Gesteinsaufbaus	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	2.5	2.7	2.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
19 Länge der massgebenden Freisetzungspfade	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
KG2 Langzeitstabilität	3.6	3.9	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	4.0	3.9	4.0	4.1	3.9	4.0	3.8	3.8	3.7	3.6	3.9	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	
2.1 Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften	3.7	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.0	3.8	4.2	4.2	4.1	4.2	3.3	3.2	3.3	2.8	4.1	4.2	3.8	3.8	3.7	3.8	
23 Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik)	2.9	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	3.7	3.5	4.5	4.5	4.3	4.5	3.7	3.5	2.9	2.5	4.3	4.5	3.5	3.5	3.1	3.5	
24 Seismizität	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.5	2.7	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	
27 Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	2.5	2.5	4.3	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
2.2 Erosion	3.4	3.8	4.5	4.5	4.6	4.5	4.5	4.2	4.4	4.5	4.5	4.5	4.6	4.5	4.5	4.5	4.0	3.5	4.0	3.8	4.4	4.2	3.8	3.8	
28 Erosion im Betrachtungszeitraum	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	4.3	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	
3 Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen	3.1	3.5	4.5	4.5	4.7	4.5	4.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.7	4.5	4.5	4.5	4.1	2.5	4.1	3.5	4.7	4.5	3.1	3.5	
4 Hinblick auf glaziale Tiefenerosion	2.5	3.5	4.5	4.5	4.7	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.5	4.5	4.7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	4.3	3.5	4.1	3.5	



Klassifizierung:
 Aktenzeichen/Referenz:
 Titel:
 Datum / Sachbearbeiter:

keine
 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 18.04.2017 / GEOL, TISA

Kriteriengruppe / Kriterium	SMA-SR-OPA		SMA-ZNO-OPA		SMA-NL-OPA		SMA-JO-OPA		SMA-JS-OPA		SMA-ZNO-BD		SMA-NL-BD		SMA-JS-EFF		SMA-WLB-MGL		HAA-ZNO*		HAA-NL		HAA-JO	
	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E	N	E
2.3 Lagerbedingte Einflüsse	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.8	3.5	3.8	3.2	3.5	3.3	3.8	3.5	3.3	3.5	3.3	3.5	3.3
29 Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.1	3.5	3.1	3.5	4.3	3.5	4.3	3.5	4.3	3.5
30 Chemische Wechselwirkungen	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
31 Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Gas	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	2.5	3.5	3.1	3.5	3.3	4.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
32 Verhalten des Wirtgesteins bzgl. Temperatur																			2.7	2.5	2.7	2.5	2.7	2.5
2.4 Nutzungskonflikte	3.9	3.9	3.8	3.9	3.5	3.5	3.5	3.5	4.1	3.9	3.8	3.9	3.5	3.5	4.1	3.9	4.2	4.3	4.0	4.1	3.5	3.5	3.7	3.7
33 Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
34 Rohstoffvorkommen unterhalb des Wirtgesteins	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	4.5	4.5	2.5	2.5	2.5	2.5
35 Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.1	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
36 Mineral- und Thermalwassernutzungen	3.7	3.5	3.1	3.5	3.1	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.1	3.5	3.1	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.1	3.5	3.1	3.5	4.5	4.5
37 Geothermie und weitere energiebezogene Nutzungen des Untergrunds	3.3	3.5	3.3	3.5	2.7	2.5	2.7	2.5	3.3	2.5	3.3	3.5	2.7	2.5	3.3	2.5	4.1	4.5	3.3	3.5	2.7	2.5	2.7	2.5
KG3 Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen	4.1	4.3	4.4	4.3	4.3	4.3	4.4	4.3	4.2	4.2	3.7	3.5	3.7	3.5	3.3	3.3	2.9	2.8	4.4	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2
3.1 Charakterisierbarkeit der Gesteine	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.6	3.0	3.6	3.0	2.8	3.0	3.3	3.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
39 Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	2.5	4.1	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
40 Erfahrungen	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.1	3.5	3.1	3.5	3.1	3.5	4.1	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
3.2 Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse	4.1	4.0	4.1	4.0	4.1	4.0	4.3	4.0	4.0	4.0	3.2	3.0	3.2	3.0	3.2	3.0	1.8	2.0	4.2	4.0	4.1	4.0	4.3	4.0
43 Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund	4.1	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	4.1	4.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	4.3	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5
44 Explorationsbedingungen an Oberfläche	4.1	3.5	3.9	3.5	3.9	3.5	4.3	3.5	3.9	3.5	3.9	3.5	3.9	3.5	3.9	3.5	2.1	2.5	4.1	3.5	3.9	3.5	4.3	3.5
3.3 Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen	3.7	4.5	4.5	4.5	4.4	4.5	4.4	4.5	4.1	4.0	4.3	4.5	4.2	4.5	3.9	4.0	3.6	3.5	4.4	4.5	4.0	4.0	3.8	4.0
23 Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik)	2.9	4.5	4.5	4.5	4.3	4.5	4.3	4.5	3.7	3.5	4.5	4.5	4.3	4.5	3.7	3.5	2.9	2.5	4.3	4.5	3.5	3.5	3.1	3.5
46 Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.1	4.5	4.3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
KG4 Bautechnische Eignung	4.1	2.8	3.8	2.8	3.2	2.8	3.9	3.0	3.6	2.8	3.8	2.8	3.4	2.8	3.8	2.8	3.5	2.3	3.8	2.8	3.2	2.8	4.1	3.0
4.1 Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen	4.1	2.5	3.5	2.5	2.3	2.5	3.4	2.5	3.4	2.5	3.5	2.5	2.8	2.5	3.9	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	2.4	2.5	3.7	2.5
47 Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften	3.5		3.5		3.3		3.3		3.3		3.5		3.5		4.3		4.3		3.5		3.3		3.3	
1 Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u.B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)	4.7	2.5	3.5	2.5	1.3	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	2.1	2.5	3.5	2.5	2.7	2.5	3.5	2.5	1.5	2.5	4.1	2.5
4.2 Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung	4.0	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0	4.4	3.5	3.7	3.0	4.0	3.0	4.0	3.0	3.7	3.0	3.4	2.0	4.0	3.0	4.0	3.0	4.4	3.5
48 Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen	3.5	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	4.3	3.5	2.9	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	2.9	2.5	4.1	2.5	3.5	2.5	3.5	2.5	4.3	3.5
49 Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)	4.5	3.5	4.5	3.5	4.5	3.5	4.5	3.5	4.5	3.5	4.5	3.5	4.5	3.5	4.5	3.5	2.7	1.5	4.5	3.5	4.5	3.5	4.5	3.5
KG1-4 Gesamtbewertung	3.9	3.8	4.1	3.9	3.9	3.8	4.1	3.9	3.9	3.7	3.9	3.6	3.7	3.6	3.5	3.3	3.4	3.0	4.1	3.8	3.9	3.7	4.0	3.8

sehr günstig (4 ≤ x ≤ 5)
 günstig (3 ≤ x ≤ 4)
 bedingt günstig (2 ≤ x ≤ 3)
 ungünstig (1 ≤ x ≤ 2)
 ungenügend (0 ≤ x ≤ 1)



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

1 Kriteriengruppe 1 «Eigenschaften des WG/EG»

1.1 Kriterium «Räumliche Ausdehnung»

1.1.1 I5 «Mächtigkeit»

Angaben der Nagra

Beim Indikator «Mächtigkeit» bezieht sich die qualitative Bewertung auf den nutzbaren einschlusswirksamen Gebirgsbereich (EG), d. h. hier werden diejenigen Beiträge der Rahmengesteine berücksichtigt, welche eine ausreichende Überdeckung aufweisen (kein Einfluss der Gesteins-Dekompaktion) und trotz vorhandener «harter Bänke» als barriierenwirksam beurteilt werden (grüne vertikale Doppelpfeile in Fig. 3.1-3 von NTB 14-01). Dabei wird in den Standortgebieten Nördlich Lägern, Jura Ost und Jura-Südfuss unterschieden zwischen dem «massgebenden Fall» bzw. der Referenz-Konzeptualisierung (ausgezogene grüne Doppelpfeile) und alternativen Konzeptualisierungen (gestrichelte grüne Doppelpfeile, NTB 14-01).

Beim Indikator «Mächtigkeit» wird die Bewertungsskala im Hinblick auf die nutzbare Mächtigkeit der oberen Rahmengesteine (d. h. mit ausreichender Gesteinsüberdeckung) im Sinne der Optimierung modifiziert (im Gegensatz dazu wird der Indikator «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» auf die massgebenden vertikalen Beiträge zur Transportpfadlänge, d. h. nur innerhalb des Wirtgesteins sensu stricto, beschränkt). Zur Erreichung der Bewertungsstufe «sehr günstig» muss in Etappe 2 SGT die nutzbare Mächtigkeit des Opalinuston ≥ 100 m bzw. der oberen Rahmengesteine neu ≥ 50 m (in Etappe 1 SGT ≥ 25 m) und der unteren Rahmengesteine ≥ 25 m betragen. Der Indikator «Mächtigkeit» wird als entscheiderelevanter Indikator eingestuft (NTB 14-01).

Es zeigt sich, dass die Mindest- und verschärften Anforderungen an die nutzbare Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs weiterhin erfüllt sind. Dies gilt auch für das Standortgebiet Jura-Südfuss, wo die geforderte nutzbare Mächtigkeit von 100 m unter Einbezug der nutzbaren Mächtigkeit der Rahmengesteine formal erfüllt wird, obschon der Opalinuston dort eine Mächtigkeit von lediglich ca. 90 m (Referenzwert aus NTB 14-01, Tab. 3.1-5) aufweist (NTB 14-01).

Der Opalinuston weist in allen Lagerperimetern der Standortgebiete Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost eine nutzbare Mächtigkeit von 105 – 110 m auf (Referenzwerte); im Liegenden befindet sich der Tonige Lias mit einer Mächtigkeit von ca. 30 m, welcher sich bezüglich seiner transportrelevanten Eigenschaften kaum vom Opalinuston unterscheidet (NTB 14-01).

Die nutzbare Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs vom Tonigen Lias bis zu den Effinger Schichten variiert in diesen Standortgebieten zwischen ca. 190 m (Standortgebiet Jura Ost) und ca. 300 m (Standortgebiet Nördlich Lägern). Die nutzbare Mächtigkeit der oberen Rahmengesteine beträgt im Standortgebiet Zürich Nordost mindestens ca. 105 m, in Nördlich Lägern ca. 160 m und in Jura Ost ca. 50 m; im Standortgebiet Südranden können die oberen Rahmengesteine aufgrund der geringeren Überdeckung ihre Barrierenwirkung nicht in vollem Umfang entfalten (keine nutzbare Mächtigkeit mit einer Überdeckung von mind. 300 m) (NTB 14-01).

Im Standortgebiet Jura-Südfuss weist der Opalinuston eine nutzbare Mächtigkeit von ca. 90 m auf (Referenzwert, Tab. 3.1-5); die nutzbare Mächtigkeit des potenziellen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs beträgt hier ca. 175 m, zu der die oberen Rahmengesteine ca. 85 m beitragen (NTB 14-01).

In den Standortgebieten Jura Ost und Jura-Südfuss wird zusätzlich erwartet, dass die oberen Rahmengesteine im Vergleich zum Faziesraum Ost eher von schlechterer Qualität sind (erhöhte Durchlässigkeit



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

innerhalb der Passwang-Formation und der Unteren Acuminata-Schichten). Deshalb wird ihr Beitrag zur Mächtigkeit für die Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» im «massgebenden Fall» vernachlässigt (NTB 14-01).

Die Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» fällt deshalb für das Wirtgestein Opalinuston in den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern «sehr günstig», in den Standortgebieten Südranden und Jura Ost «günstig» und im Standortgebiet Jura-Südfuss «bedingt günstig» aus (NTB 14-01).

Die Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' weist im Standortgebiet Zürich Nordost eine Mächtigkeit von ca. 90 m (Referenzwert, vgl. Tab. 3.1-2) und im Standortgebiet Nördlich Lägern von ca. 75 m auf (Referenzwert, vgl. Tab. 3.1-3). Die nutzbare Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (Basis Toniger Lias bis Top Effinger Schichten) beträgt im Standortgebiet Zürich Nordost ca. 250 m und im Standortgebiet Nördlich Lägern ca. 300 m. Die nutzbare Mächtigkeit der oberen Rahmengesteine (Effinger Schichten) beträgt im Standortgebiet Zürich Nordost ca. 15 m und im Standortgebiet Nördlich Lägern ca. 90 m. Aus diesen Gründen fällt die Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» für den 'Braunen Dogger' in den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern «sehr günstig» aus. Für das Standortgebiet Nördlich Lägern gibt es jedoch Ungewissheiten bezüglich des untersten Teils des 'Braunen Doggers' und damit auch bezüglich der Barrierenwirkung der unteren Rahmengesteine (NTB 14-01).

Die Effinger Schichten weisen im Standortgebiet Jura-Südfuss eine nutzbare Mächtigkeit von ca. 225 m auf (Referenzwert, vgl. NTB 14-01, Tab. 3.1-5). Es gibt keine Rahmengesteine mit nennenswerten Barriereigenschaften, d. h. der einschlusswirksame Gebirgsbereich besteht ausschliesslich aus den Effinger Schichten. Entsprechend der Konzeptualisierung der Effinger Schichten bezüglich Barrierenwirkung (Berücksichtigung der «harten Bänke», vgl. grüne Doppelpfeile im NTB 14-01, Fig. 3.1-3) wird jedoch die Wirksamkeit dieser Mächtigkeit reduziert; die Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» fällt für die Effinger Schichten im Standortgebiet Jura-Südfuss deshalb nur «bedingt günstig» aus (NTB 14-01).

Für die Mergel-Formationen des Helvetikums im Standortgebiet Wellenberg sind keine Rahmengesteine vorhanden. Die Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» fällt wegen der grossen Ausdehnung des Wirtgesteinsblocks (Tabelle 2) trotzdem «sehr günstig» aus (NTB 14-01).

Für den Indikator «Mächtigkeit» werden geeignete Rechenfälle herangezogen, um in einem Vergleich der Dosismaxima die Bedeutung der Mächtigkeit der Wirt- und Rahmengesteine für die berechneten Dosen zu erfassen und damit Hinweise für die qualitative Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» abzuleiten (NTB 14-01). Die Nagra identifiziert hinsichtlich des Indikators «Mächtigkeit» nur für das Wirtgestein Opalinuston im Standortgebiet Jura-Südfuss aufgrund der klar geringeren Mächtigkeit im Vergleich mit den bestbewerteten Standortgebieten einen eindeutigen Nachteil.

Beurteilung des ENSI

Im Rahmen der Betrachtung des Indikators 5 «Mächtigkeit» (I5) erachtet es das ENSI als notwendig, die Unterschiede zum Indikator 19 «Länge des massgebenden Freisetzungspfades» (I19) zu erläutern, da sich beide grundsätzlich auf die Mächtigkeit der Wirtgesteine, bzw. der Rahmengesteine stützen, jedoch abweichende Bewertungen haben. Grund dafür sind die unterschiedlichen Bewertungsobjekte. Während bei I19 durch das Bewertungsobjekt WG-ss die Distanz bis zum ersten potenziellen Freisetzungspunkt und somit ein konservativer Fall betrachtet wird, erfolgt bei I5 eine Betrachtung des gesamten einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (Bewertungsobjekt EG) und damit die Betrachtung der plausibelsten Situation.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Das ENSI ist mit diesem Vorgehen einverstanden, weil für die Bewertung von I5 die potenziellen Rahmengesteine als natürliche Barrieren mitberücksichtigt werden und damit die Nagra entsprechende Anforderungen des ENSI (ENSI 33/075; ENSI 33/154) erfüllt. Da sich die Angaben zu den Mächtigkeiten im weiteren Verlauf des Projektes (z. B. durch 3D-Seismik und Bohrungen in den Standortgebieten) genauer erfassen lassen, verwendet das ENSI für seine Beurteilung im Rahmen des sicherheitstechnischen Vergleichs jeweils die Referenzwerte für die Mächtigkeiten. Die Bewertung der Mächtigkeit des Wirtgesteins und seiner Rahmengesteine (I5) fliesst in die Beurteilung des Kriteriums «Räumliche Ausdehnung» ein. Das ENSI stimmt der Einstufung als entscheidrelevanter Indikator aufgrund der Relevanz der Rahmengesteine für die Barrierenwirkung zu.

Die Anforderungen an die Mächtigkeit hat das ENSI bereits in Etappe 1 SGT geprüft und als vernünftig beurteilt (ENSI 33/070). Die von der Nagra vorgenommenen Anpassungen der Bewertungsskala für die Bewertungsstufe «sehr günstig» mit einer Verdoppelung der Mächtigkeit der nutzbaren oberen Rahmengesteine für das Wirtgestein Opalinuston ermöglicht nach Ansicht des ENSI eine Differenzierung der Standortgebiete mit diesem Wirtgestein. Die von der Nagra erarbeitete Bewertungsskala umfasst keine Definition der Bewertungsstufen «ungünstig» bis «bedingt günstig» (NTB 08-05, bzw. NAB 17-01, Frage 44), obwohl die Nagra die Bewertungsstufe «bedingt günstig» explizit zuordnet (vgl. Tab. 3.3-1, NTB 14-01). Bis auf diese Ausnahme ist das ENSI mit der gewählten Bewertungsskala einverstanden. Die von der Nagra als «bedingt günstig» eingestuften Lagerperimeter bewertet das ENSI aufgrund der nicht erfüllten Mindestanforderungen abweichend von der Nagra mit «ungenügend».

Für die Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» ist die Einschätzung der Barrierenwirksamkeit der «harten Bänke» von entscheidender Bedeutung. Das ENSI verwendet für seine Bewertung des Indikators analog zur Nagra die Referenzkonzeptualisierung des EG, womit die «harten Bänke» des 'Braunen Doggers' im Faziesraum Ost (d. h. in den Standortgebieten Südranden, Zürich Nordost und Nördlich Lägern) als barrierenwirksam und im Faziesraum West (in den Standortgebieten Jura Ost und Jura-Südfuss) als nicht barrierenwirksam angenommen werden. Im mFE stuft das ENSI die «harten Bänke» des 'Braunen Doggers' in allen Standortgebieten der Nordschweiz als nicht barrierenwirksam ein. Gemäss Beurteilung der geologischen Konzeptualisierung durch das ENSI sind die «harten Bänke» in den Effinger Schichten sowohl im Referenzfall als auch im mFE als nicht barrierenwirksam zu betrachten. Der Tonige Lias wird aufgrund des eher kalkreichen oberen Teils im mFE als nicht barrierenwirksam und im Referenzfall als barrierenwirksam eingestuft (mit Ausnahme des Standortgebiets Jura-Südfuss, in dem der Tonige Lias als Kalkiger Lias zu bezeichnen ist). Auf dieser Basis bewertet das ENSI den Indikator I5 «Mächtigkeit» (Tabelle 2). Die geologische Konzeptualisierung wird in ENSI 33/540, Kapitel 3.1 und 3.2, ausführlich begründet.

Um die vorhandenen Ungewissheiten hinsichtlich der Barrierenwirksamkeit der «harten Bänke» innerhalb der Wirtgesteine 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten aufzuzeigen, bewertet das ENSI zusätzlich den mFE (Tabelle 2). Das ENSI begründet die Wahl der Referenzkonzeptualisierung des EG damit, dass einerseits bei der Betrachtung des mFE, die Rahmengesteine nicht in die Bewertung mit einbezogen werden, andererseits mit einer Betrachtung des mFE die Mächtigkeit des Wirtgesteins über I5 und I19 doppelt gewichtet werden würde. Da das ENSI die Berücksichtigung der Barrierenwirksamkeit der Rahmengesteine fordert (ENSI 33/154 und ENSI 33/075), folgt es deshalb dem Referenzfall für die Bewertung von I5, bewertet jedoch ebenfalls den massgebenden Fall für die Einengung, um vorhandene Ungewissheiten hinsichtlich der Barrierenwirksamkeit der «harten Bänke» innerhalb der Wirtgesteine 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten aufzuzeigen.



Klassifizierung: keine
 Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Tabelle 2: Zusammenfassung der Mächtigkeiten der Wirtgesteine (WG) und der Rahmengesteine (RG) für verschiedene Konzeptualisierungen (Referenzfall, RF, und massgebender Fall für die Einengung, mFE) sowie Gegenüberstellung der Bewertungen durch das ENSI (für RF und mFE) und Nagra (RF). *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.

Standortgebiet und Wirtgestein	Mächtigkeit WG, RF (mFE) [m]	Untere RG RF (mFE) [m]	Nutzbare Obere RG RF (mFE) [m]	Bewertungsobjekt: Nutzbare Mächtigkeit RF (mFE) [m]	Bewertung Nagra für RF	Bewertung ENSI	
						RF	(mFE)
SMA							
SMA-SR- OPA	105 – 110	30 (0)	0 (mind. 300 m Überdeckung)	140 (110)	3.5	3.5	3.5
SMA-ZNO- OPA	105 – 110	30 (0)	105 (0)	240 (110)	4.5	4.5	3.5
SMA-NL- OPA	105 – 110	30 (0)	160 (0)	300 (110)	4.5	4.5	3.5
SMA-JO- OPA	105 – 110	30 (0)	0	140 (110)	3.5	3.5	3.5
SMA-JS- OPA	90	0 (0)	0	90	2.5	0.5	0.5
SMA-ZNO- BD	90 (40)	142 (0)	15 (0)	247 (40)	4.1	4.5	0.5
SMA-NL- BD	75 (37)	137 (0)	90 (0)	302 (37)	4.5	4.5	0.5
SMA-JS-EFF	44	0	0	44	2.5	0.5	0.5
SMA-WLB-MGL	340 (1700) ¹	0	0	340 (1700)	4.5	4.5	4.5
HAA							
HAA-ZNO-OPA*	105 – 110	30 (0)	105 (0)	240 (110)	4.5	4.5	3.5
HAA-NL-OPA	105 – 110	30 (0)	160 (0)	300 (110)	4.5	4.5	3.5
HAA-JO-OPA	105 – 110	30 (0)	0	190 (140)	3.5	3.5	3.5

sehr günstig (4 ≤ x ≤ 5)
 günstig (3 ≤ x ≤ 4)
 bedingt günstig (2 ≤ x ≤ 3)
 ungünstig (1 ≤ x ≤ 2)
 ungenügend (0 ≤ x ≤ 1)

Das ENSI stimmt den Bewertungen der Nagra mit Ausnahme der beiden Lagerperimeter SMA-JS-EFF und SMA-JS-OPA zu. Die Berücksichtigung der «harten Bänke» als potenzielle Wasserfließpfade durch das ENSI (sowie im Falle von SMA-JS-EFF durch die Nagra) sowie die Betrachtungen von mFE oder RF führen dazu, dass teilweise die im NTB 08-05 definierten und seitens ENSI akzeptierten MA (≥ 100 m für Sedimentgesteine) nicht mehr erfüllt werden. Im geologischen Standortgebiet Jura-Südfuss erreicht die Mächtigkeit des Opalinustons nach Auffassung des ENSI die Mindestanforderung aus Etappe 1 SGT nicht, da das ENSI für den plausiblen Fall (Referenzfall) die Barrierenwirkung des 'Brauner Doggers' in seinem westlichen Faziesraum anders als die Nagra einschätzt, d. h. die «harten Bänke» als potenzielle Wasserfließpfade einstuft. Das ENSI sieht die oberen Rahmengesteine nicht als barriierenwirksam an, weil die Äquivalente des 'Brauner Doggers' in der kalkreichen «Fazies West» liegen (ENSI 33/540, Kapitel 3). Entsprechend stuft das ENSI die Mächtigkeit des Opalinustons in Jura-Südfuss (90 m, NAB 14-101), der Effinger Schichten (KMA-5, 44 m, NTB 14-01 bzw. 47 m, NAB 14-101) im Referenzfall und im mFE als «ungenügend» ein.

Das ENSI folgt der Einschätzung der Nagra, dass im Standortgebiet Südranden infolge der relativ geringen Tiefenlage des SMA-Lagers und der dadurch anzunehmenden Gesteinsdekompektion, die oberen Rahmengesteine des Opalinustons nicht vollumfänglich barriierenwirksam sind. Entsprechend beschränkt sich die heutige Mächtigkeit des EG auf den Opalinuston sowie Tonigen Lias, d. h. 130 m.

¹ 20% MGL, 80% KBA = 1/5 der Mächtigkeit sind wirksam (entspricht der «Variante» für den mFE)



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Über einen Betrachtungszeitraum von 100 000 Jahren wird sich diese Mächtigkeit mit fortschreitender Erosion weiter verringern. Auch unter Berücksichtigung der gesamten, von der Nagra ausgewiesenen Ungewissheiten in der Tiefenlage erachtet das ENSI den 'Braunen Dogger' im Standortgebiet Südranden nicht als Rahmengestein, da nur dessen untere tonarme Abfolge ausserhalb der Dekompaktionszone liegt und deshalb nur beschränkt barriierenwirksam ist. Die nur teilweise barriierenwirksamen Rahmengesteine wertet das ENSI als eindeutigen Nachteil gegenüber anderen Standortgebieten.

Im Vergleich dazu bieten die Rahmengesteine im Standortgebiet Jura Ost grundsätzlich das Potenzial für eine Barriierenwirksamkeit, da sie unterhalb der Dekompaktionszone von 300 m u. T. liegen. Zwar werden sie derzeit nicht als barriierenwirksam angesehen, weil in der Fazies West die Äquivalente des 'Brauner Doggers' kalkreicher ausgeprägt sind als in der Fazies Ost. Es ist aber aufgrund der zusätzlichen Untersuchungen in Etappe 3 SGT zu erwarten, dass die Ungewissheiten bezüglich der faziellen Ausprägung weiter reduziert werden können.

Die Beurteilungsergebnisse des ENSI zeigen, dass die geologische Konzeptualisierung des Wirtgesteins 'Brauner Dogger' von entscheidender Bedeutung ist, da im Referenzfall die Mächtigkeit mit «sehr günstig» beurteilt wird und im mFE als «ungenügend» einzustufen ist (da der 'Braune Dogger' in Nördlich Lägern und Zürich Nordost im mFE auf die tonige Abfolge TA-1 reduziert ist und diese jeweils rund 40 m mächtig ist). Die Unterschiede in der Bewertung des Wirtgesteins Opalinuston im Standortgebiet Jura-Südfuss zwischen der Nagra und dem ENSI sind ebenfalls auf die unterschiedlichen Annahmen bei der geologischen Konzeptualisierung der oberen Rahmengesteine ('Brauner Dogger') zurückzuführen. Ferner zeigen Bewertungen des ENSI, dass der Opalinuston aufgrund seiner konstanten ausreichenden Mächtigkeit (ausser im Standortgebiet Jura-Südfuss) immer mit «günstig» bzw. «sehr günstig» bewertet wird.

Nach Ansicht des ENSI werden aus den Ergebnissen der Dosisberechnungen Hinweise für die qualitative Bewertung herangezogen. Die von der Nagra verwendeten Längen der Freisetzungspfade stützen sich je nach Betrachtung auf den Referenzfall oder den massgebenden Fall mit unteren Eckwerten. Das ENSI erachtet den qualitativen Quervergleich für die Barriierenwirkung der Wirt- und Rahmengesteine anhand der vorliegenden Dosisberechnungen als stufengerecht.

1.1.2 18 «Platzangebot untertags»

Angaben der Nagra

Die Bewertung des Indikators «Platzangebot untertags» erfolgt anhand des Vergleichs zwischen der zur Verfügung stehenden Fläche des massgebenden Lagerperimeters für die Einengung (NTB 14-01, Kapitel 4 und Tab. 4.2-3) und dem standortspezifischen Platzbedarf (NAB 14-99). Die zur Verfügung stehende Fläche des massgebenden Lagerperimeters für die Einengung wird durch folgende Elemente begrenzt:

- die regionalen Störungszonen;
- die zu meidenden tektonischen Zonen;
- die minimale Tiefenlage (Dekompaktion, Erosion) und
- die maximale Tiefenlage (geotechnische Aspekte).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Die Ermittlung des standortspezifischen Platzbedarfs (NAB 14-99) erfolgt auf Basis der wichtigsten Einflussfaktoren:

- der Ausdehnung und Form (Breite, Länge) der Lagerperimeter;
- der Anzahl anordnungsbestimmender geologischer Elemente (Störungszonen);
- der räumlichen Verhältnisse innerhalb der Lagerperimeter wie z. B. Mächtigkeit des Wirtgesteins bzw. der Rahmengesteine, Welligkeit oder Neigung;
- den geotechnischen Bedingungen und
- der Geometrie der Lagerkammern wie z. B. Querschnitt, Länge.

Für jedes geologische Standortgebiet wird aufgrund der standortspezifischen geologischen Charakteristika die Bandbreite des Platzbedarfs abgeschätzt.

Die Bewertungsskala für den Indikator 8 «Platzangebot untertags» wurde gegenüber Etappe 1 SGT (NTB 08-05) nicht verändert. Zur Erreichung der Bewertungsstufe «sehr günstig» ist mindestens das 2-fache, für die Bewertungsstufe «günstig» mindestens das 1-fache und für «bedingt günstig» 0,8-fache des «umhüllenden Inventars» notwendig. Ein geringeres Platzangebot als das 0,8-fache des «umhüllenden Inventars» wird als «ungünstig» bewertet. Indikator 8 «Platzangebot untertags» wird als entscheidend relevant eingestuft.

Für die Festlegung des Platzbedarfs des SMA- und des HAA-Lagers wird vom «umhüllenden Inventar» (200 000 m³ SMA, 7500 m³ LMA und 20 000 m³ BE/HAA) ausgegangen, welches vom Bundesrat in Etappe 1 SGT genehmigt wurde (BFE 2011). Das umhüllende Inventar in Etappe 2 SGT enthält diverse Volumenreserven hinsichtlich Realisierung des Lagers (NAB 16-41) und entspricht zahlenmässig jenem aus Etappe 1 SGT mit den damaligen Volumenreserven für neue KKW (NTB 14-01). Die erforderliche nutzbare Einlagerungslänge wird unter Berücksichtigung des verwendeten Lagerkammertyps abgeleitet. Bei der Anordnung der Lagerkammern werden Abstände untereinander, zu den übrigen untertägigen Anlagen, zu anordnungsbestimmenden geologischen Elementen und zu den Rändern der Lagerperimeter berücksichtigt. Der Platzbedarf für zusätzliche erforderliche Anlagen in der Lagerzone wird einbezogen (NAB 14-99). Die Ausdehnung und Geometrie der nutzbaren Lagerzonen bzw. der Teillagerzonen innerhalb der Lagerperimeter werden durch die Form des Lagerperimeters und anordnungsbestimmenden geologischen Elementen bestimmt.

Die standortspezifische Abschätzung der Anzahl von anordnungsbestimmenden Störungen erfolgt auf Basis der im NAB 14-88 beschriebenen Charakterisierung von Störungssystemen in den Nordschweizer Standortgebieten. Um eine Unterschätzung der Tektonisierung aufgrund der Abgrenzung des Standortgebietes in Etappe 1 SGT (Ausweichen von bekannten Störungen) entgegenzuwirken, werden ebenfalls Daten aus der Umgebung des Standortgebietes berücksichtigt. Unter Berücksichtigung der Länge der seismischen Profile und der Anzahl anordnungsbestimmender Störungen in der Umgebung des Standortgebietes wird für jedes Standortgebiet der mittlere Störungsabstand ermittelt. Unter Einbezug von Feldbeobachtungen zum Streichen von Störungszonen in geologischen Aufschlüssen in der Nordschweiz wurde anschliessend die Anzahl von anordnungsbestimmenden Störungen in Streich- und Fallrichtung für die Lagerperimeter abgeschätzt.

Die Lagerkonzepte sind so gewählt, dass das vorhandene Platzangebot optimal genutzt werden kann. Dies wird dadurch erreicht, dass die Lagerfelder (mit den Lagerkammern) sich innerhalb gewisser Grenzen optimal an die standortspezifischen Bedingungen (d. h. an die tatsächlich vorhandenen nutzbaren Lagerzonen) anpassen lassen. Die verwendeten Konzepte mit den über den ganzen Lagerperimeter reichenden linearen anordnungsbestimmenden geologischen Elementen stellen allerdings eine starke



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Vereinfachung der komplexen Realität dar. Die gemachten Abschätzungen geben deshalb nur einen groben Anhaltspunkt (NAB 14-99).

In der Zusatzdokumentation zu den Nachforderungen (NAB 16-41) werden für den Vergleich der Standortgebiete neu die Lagerperimeter HAA-NL-aL1-r und SMA-NL-aL1-r verwendet, welche im Gegensatz zu den im NTB 14-01 für den Standortgebietsvergleich verwendeten Lagerperimeter HAA-NL-mLE-r und SMA-NL-mLE-r über ein grösseres Platzangebot verfügen, aber bezüglich maximaler Tiefenlage ungünstiger sind.

Die Nagra bewertet den Indikator «Platzangebot untertags» (NTB 14-01; NAB 17-01; NAB 16-41) für die SMA-Standortgebiete Zürich Nordost (beide WG-Optionen) und Jura Ost mit «sehr günstig», Südanden, Jura-Südfuss (beide WG-Optionen) und Wellenberg mit «günstig», und für Nördlich Lägern die beiden Lagerperimeter für Opalinuston und 'Braunen Dogger' mit «bedingt günstig». Der HAA-Lagerperimeter in Jura Ost wird mit «sehr günstig», jener in Zürich Nordost mit «günstig» und jener in Nördlich Lägern mit «bedingt günstig» bewertet.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI erachtet die erneute Verwendung des «umhüllenden Inventars» aus Etappe 1 SGT zur Bestimmung des Indikators «Platzangebot untertags» hinsichtlich der Lagerrealisierung als sicherheitsgerichtet, um die vorhandenen Ungewissheiten, z. B. auf Seite Abfallmengen, Störungsdichte und Lagerkonzepte etc., aufnehmen zu können. In Etappe 2 SGT hat sich das Abfallinventar reduziert (keine Abfälle aus neuen KKW), jedoch berücksichtigt die Nagra neu zusätzliche Volumenreserven, beispielsweise für die Zunahme der Abfallmengen (durch Reduktion des Abbrandes), Anpassungen bei den Behälterbeladungen, Abstände zwischen den einzulagernden Behältern und Zwischensiegeln. Das ENSI ist mit der Berücksichtigung dieser Reserven einverstanden.

Für die Bewertung des Indikators «Platzangebot untertags» wird die zur Verfügung stehende Fläche des massgebenden Lagerperimeters dem standortspezifischen Platzbedarf gegenübergestellt. Nicht zielführend erschien dem ENSI, dass vor der Nachforderung aufgrund von Optimierungsanforderungen für das SMA- und das HAA-Standortgebiet Nördlich Lägern ein ungenügendes Platzangebot ausgewiesen wurde. Aus Sicht des ENSI ist im Falle eines Optimierungsschrittes mindestens ein genügendes Platzangebot vorauszusetzen.

Das ENSI erachtet die für die Abgrenzung des massgebenden Lagerperimeters verwendeten regionalen Störungszonen und die zu meidenden tektonischen Zonen mit einer Ausnahme als belastbar. Die Abgrenzung der zu meidenden tektonischen Zone im Standortgebiet Nördlich Lägern durch die Nagra stellt nach Ansicht des ENSI eine mögliche, jedoch keine zwingende Abgrenzung dar. Für dieses Standortgebiet kommt das ENSI zum Schluss, dass die von der Nagra definierte zu meidende tektonische Zone im Norden des Standortgebiets und somit die nördliche Grenze des Lagerperimeters aufgrund der in Etappe 2 SGT zur Verfügung stehenden Datenlage nicht belastbar nachgewiesen ist (ENSI 33/540, Kapitel 2.4 und 6.1.4). Das ENSI vermutet wie die Nagra, dass dieser Bereich aufgrund des langsam gegen Norden aufsteigenden Schichtpakets hin zur Siglistorf-Antiklinale stärker geneigte Schichten verursacht und vermutlich in stärkerer Masse tektonisiert ist. Eine 3D-Seismik in Etappe 3 SGT könnte bezüglich dem Grad und der räumlichen Ausdehnung der Tektonisierung in Nördlich Lägern erlauben, die vorhandenen Modellvorstellungen analog dem Vorgehen im Zürich Nordost zu präzisieren (ENSI 33/540, Kapitel 2.4). Auch sieht das ENSI die südliche Abgrenzung des massgebenden Lagerperimeters hinsichtlich der Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u. B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften) als nicht belastbar an (Indikator 1, ENSI 33/540, Kapitel 6.1.4). Unter entsprechender Ausweitung der zur Verfügung stehenden Fläche ergibt sich für das ENSI daher für das



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Standortgebiet Nördlich Lägern für beide SMA-Wirtgesteinsoptionen und das HAA-Wirtgestein eine «günstige» Bewertung des Indikators «Platzangebot untertags».

Das ENSI begrüsst die durch die Nagra in Etappe 2 SGT vorgenommene standortspezifische Abschätzung des Platzbedarfs. Die Berücksichtigung des verwendeten Lagerkonzepts, der geotechnischen und der standortspezifischen geologischen Bedingungen erscheint grundsätzlich zielführend, sofern die Eingangsparameter wissenschaftlich belastbar sind. Die Bandbreiten bezüglich Platzbedarf werden im NAB 14-99 standortspezifisch abgeschätzt. Stichproben der Ergebnisse zu den Bandbreiten hinsichtlich des Platzbedarfs (NAB 14-99) durch das ENSI ergeben, dass der abgeschätzte Platzbedarf stark von der Anzahl der anordnungsbestimmenden Störungen in Fall- als auch in Streichrichtung abhängt, da mit jeder neuen anordnungsbestimmenden Störung die Lagerzonen in weitere Teillagerzonen aufgeteilt werden müssen, was zu einem überproportional grösseren Platzbedarf führt.

Die Datenbasis und die Herleitung der Anzahl anordnungsbestimmender Störungen in den Standortgebieten, in welchen noch keine 3D-Seismik vorliegt, geht aus den vorliegenden Unterlagen nicht nachvollziehbar hervor. Das ENSI hält fest, dass mit den 2D-seismischen Linien die anordnungsbestimmenden Störungen weder vollständig, noch vergleichbar zwischen den Standortregionen erfasst werden können. Das ENSI erachtet die Herleitung der Anzahl anordnungsbestimmender Störungen aus zwei Gründen für nicht belastbar an: Einerseits erlauben die vorliegenden 2D-seismischen Daten sowie Beobachtungen des Streichens von Störungszonen in Aufschlüssen in der Nordschweiz (NAB 12-41) keine qualitativ belastbare Abschätzung der standortspezifischen Anzahl der anordnungsbestimmenden Störungen. Andererseits wird zur Abschätzung der anordnungsbestimmenden Störungen die Frequenz von anordnungsbestimmenden Störungen basierend auf sogenannten «LDF counting box» («Layout Determining Faults») und der totalen Länge an seismischen Profillinien in einem Standortgebiet betrachtet (NAB 14-88). Dabei geht die «LDF counting box» über die Abgrenzung des Standortgebietes hinaus, um die regionale Tektonik besser abzubilden. Das ENSI sieht diese regionale Mittelung der tektonischen Verhältnisse nicht per se als repräsentativ für den Lagerperimeter an, welcher bewusst tektonisch ruhiger gelagerte Zonen des Standortgebietes umfasst und explizit von tektonisch gestörten Zonen abgegrenzt wird (ENSI 33/540, Kapitel 2.4).

3D-seismische Untersuchungen würden erlauben, das Störungsinventar mit Vertikalversätzen (anordnungsbestimmenden Störungen) im Lagerperimeter und seiner Umgebung weitgehend zu vervollständigen (eine entsprechende Zielsetzung wurde im NAB 14-83 formuliert und basiert auf Erfahrungen aus der 3D-Seismik im Rahmen des Entsorgungsnachweises im Zürcher Weinland) und somit die Anzahl anordnungsbestimmender Störungen belastbar und zwischen den Standortgebieten vergleichbar zu bestimmen.

Aufgrund der grossen Bedeutung der geschätzten Anzahl von Störungen (Zürich Nordost: 0 in Fall- und 0 bis 1 in Streichrichtung; Nördlich Lägern: 2 bis 3 in Fall- und 0 bis 1 in Streichrichtung, Jura Ost: 0 bis 2 in Fall- und 0 bis 1 in Streichrichtung) unterscheidet sich der Platzbedarf für ein HAA-Lager in Zürich Nordost (ca. 6 km²), Nördlich Lägern (8 bis 12 km²) und Jura Ost (6 bis 9 km²) deutlich (NAB 14-99), was einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung des Indikators «Platzangebot untertags» hat. Für die SMA-Standortgebiete führt die Nagra analoge Argumente auf. Das ENSI erachtet es als zielführend, aufgrund der aktuellen Datenlage für die Standortgebiete Südranden, Nördlich Lägern, Jura Ost und Jura-Südfuss keine entscheidungsrelevante Differenzierung hinsichtlich des Platzbedarfs vorzunehmen. Aufgrund von qualitativen Überlegungen könnte der Schluss gezogen werden, dass für den ungestörten Tafeljura (Zürich Nordost) gegenüber der Vorfaltenzone (Nördlich Lägern) mit weniger Trennflächen zu rechnen ist. Dies ist jedoch zurzeit eine konzeptuelle Annahme. Mit einer 3D-Seismik in Etappe 3 SGT könnte die Anzahl der anordnungsbestimmenden Störungen quantitativ erfasst werden, wie es heute auf Basis 2D-seismischer Linien noch nicht belastbar möglich ist. Entsprechend nimmt das ENSI für die



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

qualitative Bewertung im massgebenden Fall für HAA- und SMA-Lager jeweils einen einheitlichen Platzbedarf von 6 km² für HAA und 3 – 4 km² für SMA an.

Die Notwendigkeit von Platzreserven ergeben sich über die vorhandenen Ungewissheiten hinaus dadurch, dass im Rahmen der Rahmenbewilligung sinnvolle Eignungskriterien (Art. 63 KEV) definiert werden können, anhand derer aus einem Lagerperimeter mit einer Ausdehnung grösser als dem minimalen Platzbedarf der geeignetste untertägige Standort für ein Tiefenlager bestimmt werden kann. Für die Betrachtung des Referenzfalls wäre mit einem leicht erhöhten Platzbedarf für die Standortgebiete Nördlich Lägern, Jura Ost für die HAA- und für Nördlich Lägern, Jura Ost, und Jura-Südfuss für SMA-Standorte zu rechnen.

Um die Optimierungsanforderungen hinsichtlich «Platzangebot untertags» zu erfüllen (Ziel der Optimierung ist ein mindestens genügendes «Platzangebot untertags»), bezieht sich das ENSI bis zur Festlegung der maximalen Tiefenlage hinsichtlich Bautechnik im Standortgebiet Nördlich Lägern auf jene alternativen Lagerperimeter, welche unter Berücksichtigung der Referenzwerte für die Tiefenlage des Wirtgesteins, ein genügendes Platzangebot bieten. Dies sind die Lagerperimeter HAA-NL-aL1-r und SMA-NL-aL1-r für die Wirtgesteine 'Brauner Dogger' und Opalinuston.

Für das SMA-Standortgebiet Südranden liegt aufgrund der seitens ENSI geforderten 3 – 4 km² ein knapp nicht ausreichendes Platzangebot vor, was seitens ENSI mit «bedingt günstig» bewertet wird. Die Betrachtung alternativer Lagerperimeter (auf der Suche nach einer besseren Bewertung) würde dazu führen, dass einerseits eine untiefere Lage des Lagerperimeters zu einem eindeutigen Nachteil des Indikators «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» führen würde. Andererseits könnte die zusätzliche Berücksichtigung der östlichen Teillagerfläche aber ausreichende Platzreserven schaffen. Gleichzeitig würde der Schritt jedoch auch eine Reduktion der Langzeitsicherheit (zusätzliche Schädigung der natürlichen Barrieren) und Betriebssicherheit (erhöhtes Risikopotenzial während der Bau- und Betriebsphase) verursachen, da dazu zusätzliche Zugangsbauwerke und/oder eine zusätzliche Tunnelstrecke (Verbindung beider Lagerperimeter unterhalb der erosiven Rinne und im Bereich einer vermuteten Störung) notwendig wären. Die Berücksichtigung mehrerer Teilflächen im Standortgebiet Südranden im Vergleich zur Betrachtungsweise in den anderen Standortgebieten wird seitens ENSI als inkonsistent angesehen und der entsprechende Weg nicht weiter verfolgt.

Entsprechend bewertet das ENSI den Indikator «Platzangebot untertags» (Tabelle 3) im massgebenden Fall für die Einengung für die Standortgebiete SMA-SR-OPA, SMA-NL-BD, SMA-NL-OPA, SMA-WLB-MGL, HAA-ZNO-OPA und HAA-NL-OPA mit «günstig» und für SMA-ZNO-OPA, SMA-ZNO-BD, SMA-JO-OPA, SMA-JS-EFF, SMA-JS-OPA und HAA-JO-OPA mit «sehr günstig». Nach Ansicht des ENSI erfüllen in Etappe 2 SGT alle Lagerperimeter die verschärften Anforderungen gemäss NTB 08-05.

Die Bewertung des Indikators «Platzangebot untertags» für das Wirtgestein 'Brauner Dogger' in den Standortgebieten Nördlich Lägern (SMA-NL-BD) und Zürich Nordost (SMA-ZNO-BD) und für das Wirtgestein Effinger Schichten (SMA-JS-EFF) wird hier unabhängig von der Bewertung des Indikators «Mächtigkeit» – alternative Varianten für die Konzeptualisierung hinsichtlich der «harten Bänke» – (ENSI 33/540, Kapitel 3.1.) als «sehr günstig» eingestuft. Im Falle einer alternativen Konzeptualisierung für den Indikator «Mächtigkeit» müssten diese Wirtgesteinsoptionen in diesen Standortgebieten als «ungenügend» eingestuft werden, da sie bezüglich Mächtigkeit die Mindestanforderungen nicht erfüllen.



Klassifizierung: keine
 Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Bewertungsgrundlagen für den Indikator 8 «Platzangebot untertags» und Bewertungen des ENSI und der Nagra. Für das Standortgebiet Nördlich Lägern bezieht sich das ENSI im Gegensatz zur Nagra auf einen tiefer liegenden Lagerperimeter, um ein genügendes Platzangebot zur Verfügung zu stellen. Unter Berücksichtigung einer genügenden Mächtigkeit wäre die Bewertung der Lagerperimeter in den Wirtgesteinen 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten sowie im Opalinuston des Standortgebiets Jura-Südfuss aufgrund der geringen Mächtigkeit als «ungenügend» einzu-stufen. *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.

Standort-/ Wirtge- steinsoption	Platzverfügbarkeit Lagerperimeter [km ²]	Platzbedarf ENSI [km ²]	Bewertung ENSI	Platzbedarf Nagra [km ²]	Bewertung Nagra
SMA					
SMA-SR-OPA	3.7	3 - 4	3.5	3 bis 4	3.1
SMA-ZNO-BD	7.3	3 - 4	4.5	ca. 3	4.5
SMA-ZNO-OPA	6.5	3 - 4	4.5	ca. 3	4.1
SMA-NL-BD	4.5 (SMA-NL-aL1-r)	3 - 4	3.5	4 bis 5	2.1
SMA-NL-OPA	4.5 (SMA-NL-aL1-r)	3 - 4	3.5	4 bis 5	2.1
SMA-JO-OPA	23.4	3 - 4	4.5	3 bis 4	4.7
SMA-JS-EFF	9.3	3 - 4	4.5	6 bis 8	3.3
SMA-JS-OPA	12.6	3 - 4	4.5	6 bis 8	3.3
SMA-WLB-MGL	4.5	3 - 4	3.5	ca. 3	3.1
HAA					
HAA-ZNO-OPA*	7.3	6	3.5	ca. 6	3.5
HAA-NL-OPA	7.5 (HAA-NL-aL1-r)	6	3.5	8 bis 12	2.5
HAA-JO-OPA	15	6	4.5	6 bis 9	4.1

sehr günstig (4 ≤ x ≤ 5)
 günstig (3 ≤ x ≤ 4)
 bedingt günstig (2 ≤ x ≤ 3)
 ungünstig (1 ≤ x ≤ 2)
 ungenügend (0 ≤ x ≤ 1)

1.2 Kriterium «Hydraulische Barrierenwirkung»

1.2.1 I9 «Hydraulische Durchlässigkeit»

Angaben der Nagra

Bei der Festlegung der hydraulischen Durchlässigkeitswerte wird berücksichtigt, ob sich deren parametrische Ungewissheiten mit zukünftigen Untersuchungen in Etappe 3 SGT zuverlässig reduzieren lassen (NTB 14-01, S. 39). Falls nicht, werden vorsichtige, die Ungewissheiten berücksichtigende Werte (d. h. im Falle der hydraulischen Durchlässigkeit die oberen Eckwerte) verwendet (NTB 14-01, S. 40). Die Charakterisierung und Bewertung erfolgen primär für den massgebenden Fall für die Einengung (mFE), die Belastbarkeit der Ergebnisse wird aber jeweils anhand der alternativen Konzeptualisierungen und Parameter-Bandbreiten überprüft (NTB 14-01, S. 42). Bei der qualitativen Bewertung der hydraulischen Durchlässigkeit werden auch die Resultate von Dosisberechnungen zur Barrierenwirksamkeit der Wirtgesteine berücksichtigt (NTB 14-01, S. 42). Die hydraulischen Durchlässigkeiten entsprechen im mFE, welcher der Bewertung der Nagra zugrunde liegt, den Referenzwerten (NTB 14-03, Tab. 5.1-1 bis 5.1-6, Tab. 6.1-1 bis 6.1-6, und Tab. 6.2-1 bis 6.2-3).

Die Bewertungsskala für den Indikator «hydraulische Durchlässigkeit» bezieht sich auf die heutige Situation (NTB 08-05, S. A1-34). Die Bewertungsskala wurde in Etappe 2 SGT für SMA-Lager verschärft



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

(NTB 14-01, S. 103, Fussnote 74), indem für die SMA-Lager der gleiche Massstab wie für die HAA-Lager angewendet wird, um eine bessere Differenzierung der Bewertungen zu erzielen und die Qualität des Opalinustons voll zum Tragen zu bringen (NAB 17-01, Frage 44). Bei der Bewertung der Lagerperimeter, welche sich auf das WG-ss als Bewertungsobjekt bezieht, werden auch konfigurationsspezifische Aspekte mitberücksichtigt (NTB 14-01, Tab. 2.3-2 und 2.3-7), insbesondere die hydraulischen Gradienten und die tektonische Überprägung (NTB 08-05, S. A1-34; NTB 14-03, S. 28 – 29).

Der Indikator «hydraulische Durchlässigkeit» wird in allen Standortgebieten für Opalinuston und 'Brauner Dogger' (TA-1) mit «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, OPA: S. 107, BD: S. 114). Die Effinger Schichten (KMA-5) werden anhand der gemessenen Daten und unter Berücksichtigung der Erfahrungen mit Gesteinen mit Tonmineralgehalten im Bereich von 20 – 40 Gew.-% und der Ungewissheiten bezüglich des Einflusses von Diskontinuitäten als «günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 132). Bei einem Wert von 10^{-11} m/s und unter Berücksichtigung möglicher kleinerer spröde reaktiver Kluft- und Störungszonen fällt die Bewertung für den Indikator «Hydraulische Durchlässigkeit» für die Mergel-Formationen des Helvetikums ebenfalls «günstig» aus (NTB 14-01, S. 130).

Bewertung des ENSI

Die hydraulischen Durchlässigkeiten entsprechen im mFE, welcher den Bewertungstabellen der Nagra (NTB 14-01, Tab. 3.3-1, 4.4-2, 4.4-3, 5.2-1, und 5.2-2) zugrunde liegt, den Referenzwerten. Dies geht aus einem Vergleich der Angaben im NTB 14-03, Tab. 5.1-1 bis 5.1-6, 6.1-1 bis 6.1-6 und 6.2-1 bis 6.2-3 mit den im NTB 14-02-VI, Kapitel 4.7.2 dokumentierten Werten hervor. Für das Standortgebiet Wellenberg wird allerdings der von der Nagra angenommene obere Eckwert von 10^{-11} m/s explizit erwähnt (NTB 14-01, S. 120). Für die Bewertung werden von der Nagra darüber hinaus auch weitere Charakteristika der Wirtgesteine und das gesamte Spektrum an hydraulischen Durchlässigkeiten berücksichtigt (NAB 17-01, Frage 75).

Aus Sicht des ENSI ist methodisch zu kritisieren, dass durch die Berücksichtigung des gesamten Spektrums hydraulischer Durchlässigkeiten auch die Ungewissheiten aufgrund des Kenntnisstands eine Rolle spielen. Diese Ungewissheiten sind mit dem Kenntnisstand in Etappe 2 SGT für die homogenen und damit einfacher zu charakterisierenden Wirtgesteine Opalinuston und 'Brauner Dogger' kleiner als für die heterogenen und damit schwieriger zu charakterisierenden Wirtgesteine Effinger Schichten und Mergel-Formationen des Helvetikums. Die Bandbreite der hydraulischen Durchlässigkeit kann auch für die heterogenen Wirtgesteine durch zusätzliche Untersuchungen in Etappe 3 SGT nur wenig reduziert werden. Erst später, wenn im Bereich der Lagerebenen innerhalb des auszubrechenden Gesteinsvolumens umfangreiche und lateral kontinuierliche Untersuchungen durchgeführt werden können, ohne das umliegende Wirtgestein zusätzlich zu schädigen, kann die Bandbreite weiter eingegrenzt werden. Diese Eingrenzung der Bandbreite ist zwar im Hinblick auf den Sicherheitsnachweis, welcher Grundlage für die Betriebsbewilligung der geologischen Tiefenlager sein wird, notwendig und ausreichend, spielt jedoch beim Standortvergleich in Etappe 2 SGT keine Rolle. Das ENSI geht deshalb in seiner Bewertung des Indikators «hydraulische Durchlässigkeit» nicht von den Referenzwerten, sondern von den oberen Eckwerten der hydraulischen Durchlässigkeit aus, wie dies auch von der Nagra postuliert (NTB 14-01, S. 40), jedoch nicht konsequent angewendet wurde. Die intrinsischen, gesteinsbedingten Parameterunsicherheiten, welche skalenabhängig selbst bei theoretisch vollständig bekanntem Parameterfeld bestehen, werden mit dem Indikator 39 «Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit» erfasst.

Für das ENSI ist die von der Nagra formulierte Begründung zur Verschärfung der Bewertungsskalen für das SMA-Lager nicht überzeugend. Die Qualität des Opalinustons sollte sich aus einer neutralen Bewertung ergeben, anstatt die Skala so zu wählen, dass damit andere Wirtgesteine gegenüber dem



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Opalinuston schlechter bewertet werden. Auch erscheint eine strengere Bewertungsskala nur für SMA-Lager vor dem Hintergrund des deutlich geringeren radiologischen Gefährdungspotenzials nicht gerechtfertigt. Das ENSI verwendet abweichend von der Nagra die Bewertungsskalen aus Etappe 1 SGT (NTB 08-05, Anhang A1.9) und berücksichtigt dabei auch standortspezifische Annahmen zu den hydraulischen Gradienten (0,1 m/m im Standortgebiet Jura-Südfuss für die Effinger Schichten, 0,4 m/m im Standortgebiet Wellenberg, sonst 1 m/m).

Das ENSI hält fest, dass die Bewertungen der Lagerperimeter (NTB 14-01, Tab. 4.4-2 und NAB 17-01, Frage 47) mit den Bewertungen der Wirtgesteine (NTB 14-01, Tab. 3.3-1, S. 140) im Hinblick auf den Indikator «hydraulische Durchlässigkeit» seitens Nagra identisch sind, weil die konfigurationsspezifischen Aspekte bei der Bewertung der Wirtgesteine bereits mitberücksichtigt wurden. Dies ist für das ENSI nachvollziehbar, weil das WG-ss (Bewertungsobjekt) in allen Lagerperimetern unterhalb der Dekompaktionszone liegt (NTB 14-01, S. 257 für SMA-SR sowie entsprechende Seiten für die übrigen Lagerperimeter), der Opalinuston und die tonreiche Abfolge TA-1 des 'Braunen Doggers' gegenüber tektonischer Überprägung (z. B. nördlich der Lägern) unempfindlich sind, und für Effinger Schichten und die Mergel-Formationen des Helvetikums jeweils nur ein Lagerperimeter zu betrachten ist.

Das ENSI bestätigt die Bewertungen der Nagra für die Lagerperimeter in Opalinuston (SMA und HAA) und TA-1 des 'Braunen Doggers'. Für diese tonreichen und im Vergleich zur KMA-5 der Effinger Schichten und den Mergel-Formationen des Helvetikums weniger heterogenen Gesteine, sind die Bandbreiten so klein und die Referenzwerte so tief, dass sich auch bei Betrachtung der oberen Eckwerte «sehr günstige» Bewertungen ergeben.

Für die Gesteinsmatrix der KMA-5 der Effinger Schichten geht das ENSI wie die Nagra von einem oberen Eckwert der hydraulischen Durchlässigkeit senkrecht zur Schichtung von 10^{-10} m/s und einer «günstigen» Bewertung aus (ENSI 33/540, Kapitel 3.1). Für die Mergel-Formationen des Helvetikums am Wellenberg kommt das ENSI für einen oberen Eckwert K_{eff} von $5 \cdot 10^{-11}$ m/s (ENSI 33/540, Kapitel 3.1.5) für den Indikator «hydraulische Durchlässigkeit» unter Berücksichtigung des dort angenommenen hydraulischen Gradienten von 0,4 (NTB 14-03, S. 29) zu einer «bedingt günstigen» Bewertung.

1.2.2 I2 «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion»

Angaben der Nagra

Hinsichtlich der Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers sind Dekompaktionseffekte von besonderer Bedeutung, da sie allenfalls mit dem teilweisen Verlust der hydraulischen Barrierenfunktion der Wirtgesteine einhergehen (NTB 14-02-IV, S. 1). Der Indikator «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion» wird zur Abgrenzung optimierter Lagerperimeter (NTB 14-01, S. 31 und 33), zur Bewertung unter dem Kriterium 1.2 «hydraulische Barrierenwirkung» (NTB 14-01, Tab. 2.3-7, S. 57, Tab. 4.4-2 etc.) und zur Identifikation eindeutiger Nachteile unter dem entscheiderelevanten Merkmal «Langzeitstabilität der geologischen Barriere» (NTB 14-01, S. 61) verwendet.

Die Bewertungsskalen wurden gegenüber Etappe 1 SGT geändert (NTB 14-01, Tab. 4.4-1, S. 240 und NAB 17-01, Frage 44). In Etappe 1 SGT bezogen sich die MA und VA für diesen Indikator auf den notwendigen einschlusswirksamen Gebirgsbereich (Wirtgestein und barrierenwirksame Rahmengesteine), wobei die Tiefenlage zum Zeitpunkt des Verschlusses des Lagers zugrunde gelegt und die flächenhafte Erosion durch einen weiteren Indikator gesondert erfasst wurden (NTB 08-05). In Etappe 2 SGT werden Erosionsprozesse bis zum Ende des Betrachtungszeitraums berücksichtigt. Dabei wird im Rahmen der geologischen Langzeitentwicklung aufgrund von Erosionsprozessen (flächenhafte Erosion, NTB 14-01,



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

S. 48, Fussnote 40) bzw. neotektonischen Vorgängen eine Verringerung der Überdeckung des Tiefenlagers in Betracht gezogen, die zur Dekompaktion des Wirtgesteins führen kann.

Für die Standortgebiete der Nordschweiz bezieht sich der Indikator auf die Oberkante des Wirtgesteins, am Wellenberg auf die obere Lagerebene. Bereiche mit sehr geringer Wirtgesteinsüberlagerung werden im Hinblick auf die zukünftige Erosion und die damit verbundene Dekompaktion nach Möglichkeit gemieden (NTB 14-02-III). Der Beurteilung der Dekompaktion dient die heutige Überdeckung (NTB 14-01, S. 204), wobei die für Etappe 2 SGT modifizierten Bewertungsskalen (NTB 14-01, Tab. 4.4-1, S. 240; NAB 17-01, Frage 44) die Langzeitentwicklung berücksichtigen. Im Hinblick auf die zukünftige Erosion wird davon ausgegangen, dass die Abtragung der lokalen Topographie flächenhaft erfolgt und mit der Einschneidung der Hauptflüsse (= Absenkung der lokalen Erosionsbasis) etwa Schritt hält (NTB 14-02-III, S. 46).

Die hydraulische Durchlässigkeit des Opalinustons kann in Oberflächennähe aufgrund von Dekompaktionseffekten und Verwitterungsprozessen K-Werte bis 10^{-4} m/s aufweisen. Im Bereich von 10 bis 30 m Tiefe nimmt sie aber um mehrere Grössenordnungen ab (NTB 14-02-VI, S. 55).

Bezüglich einer dekompressionsbedingten Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit des 'Braunen Doggers' in der Nähe der Erdoberfläche wird davon ausgegangen, dass die tonreichen Abfolgen ein ähnliches Verhalten zeigen wie der Opalinuston. Für die sandig-kalkigen lithofaziellen Elemente muss damit gerechnet werden, dass sich die Dekompaktion bis in grössere Tiefen auswirkt und etwa vergleichbar ist mit derjenigen in den Effinger Schichten (NTB 14-02-VI, S. 61).

Die hohen hydraulischen Durchlässigkeiten in den obersten 200 – 300 m der Effinger Schichten sind durch Dekompaktions-, Verwitterungs- und Verkarstungseffekte bedingt (NTB 14-02-VI, S. 64). Unterhalb sind durchwegs saline Porenwässer vorhanden (NTB 14-02-VI, S. 64), was als Hinweis auf eine geringe hydraulische Durchlässigkeit angesehen wird.

Im Standortgebiet Wellenberg dürften weitgehend spröde verformte Strukturen, in seichten Bereichen (< 600 m) verstärkt durch erosionsbedingte Dekompaktion des gesamten Gesteinspakets (Druckentlastung), für den heutigen Wasserfluss verantwortlich sein (NTB 14-02-II, S. 89-90). Im Bereich der Dekompaktionszone der Mergel-Formationen des Helvetikums bilden die wasserführenden Strukturen ein verbundenes Netzwerk (NTB 14-02-VI, S. 108). Da die Dekompaktionseffekte im Wirtgestein bis in 600 m Tiefe wirksam sind, wirkt sich die Erosion aber auch bei der Wahl einer im Vergleich zur Nordschweiz grossen Tiefenlage negativ auf die hydraulischen Eigenschaften des Wirtgesteins und damit auf den Radionuklidtransport aus (NTB 14-02-III, S. 88). Für die Sicherheitsbetrachtung für SGT Etappe 2 wurde im Standortgebiet Wellenberg die obere Lagerebene 140 m tiefer gelegt als die Lagerebene im früheren Projekt und ist deshalb etwas weiter vom unteren Ende der Dekompaktionszone entfernt (NTB 14-02-V, Fig. 6.4-1). Als Folge von Erosions- und Dekompaktionsvorgängen kann längerfristig eine Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit in dieser Ebene nicht ausgeschlossen werden. In der 200 m tiefer gelegenen unteren Lagerebene werden die Verhältnisse auch langfristig als stabil beurteilt (NTB 14-02-VI, S. 155).

Für das SMA-Lager ist zur Optimierung ein Wert für Top Wirtgestein von mindestens 350 m u. T. (Nordschweiz) bzw. 600 m u. T. (Wellenberg, Bezugsniveau Lagerebene) und für das HAA-Lager ein Wert von mindestens 450 m u. T. anzustreben, damit in der Nordschweiz neben dem Wirtgestein zusätzlich zumindest 50 m der oberen Rahmengesteine als Barriere nutzbar sind. Für diese Optimierungsanforderungen wird eine «sehr günstige» Bewertung erreicht (NTB 14-01, S. 238). Die Nagra kommt damit für den Lagerperimeter SMA-SR-OPA zu einer «bedingt günstigen» und für den Lagerperimeter HAA-JO zu einer «günstigen» Bewertung. Alle anderen Lagerperimeter werden mit «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, Tab. 4.4-2 und 4.4-3).



Klassifizierung: keine
 Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Bewertung des ENSI

Aus Sicht des ENSI ist das Vorgehen der Nagra sinnvoll, den Indikator 2 in die Optimierung der Lagerperimeter einzubeziehen. Dekompaktion kann zu einem weitgehenden Verlust der Barrierenwirkung der Wirtgesteine führen, was nicht durch andere Prozesse kompensiert werden kann.

Das ENSI ist damit einverstanden, die Langzeitentwicklung durch eine Bewertungsskala zu berücksichtigen, welche neu den gesamten Betrachtungszeitraum umfasst. Auch die dabei berücksichtigten Erosionsprozesse sind aus Sicht des ENSI geeignet, um Optimierungsanforderungen und Bewertungsskalen für diesen Indikator zu bestimmen (ENSI 33/540, Kapitel 2.6.3). Im massgebenden Fall für die Einengung (mFE) geht die Nagra davon aus, dass nur das WG-ss und keine weiteren Rahmengesteine barriierenwirksam sind (NTB 14-01, Fig. 3.1-3), womit das ENSI ebenfalls einverstanden ist. Aus Sicht des ENSI sind daher die Auswirkungen entlastungsbedingter Dekompaktion durch Erosion ausschliesslich für das WG-ss zu beurteilen, wofür das ENSI eine eigene Bewertungsskala verwendet (Tabelle 4).

Das ENSI stützt sich dabei auf das vereinfachte Tiefenprofil der Durchlässigkeit für die Sicherheitsanalyse gemäss NTB 14-02-IV, S. 139 und NTB 14-03, Fig. A3.5-1 und A3.5-2, S. A-112 für den Opalinuston, auf die Erosionsraten der verschiedenen mFE (vgl. Kapitel 2.2) und auf grundsätzliche Überlegungen zur zeitlichen Entwicklung der Radiotoxizität der Abfälle, wie sie bereits im NTB 02-05, S. 29-30 beschrieben wurden. Je später das WG-ss durch flächenhafte Erosion in den Einflussbereich der Dekompaktionszone gerät, desto weniger ausgeprägt werden die radiologischen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sein.

Tabelle 4: Bewertungsskala des ENSI für den Indikator «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion»

sehr günstig = Optimierungsanforderung	Das WG-ss/LPmin wird im Betrachtungszeitraum nicht von der Dekompaktion erfasst. Damit werden gleichzeitig die VA aus Etappe 1 SGT auch noch am Ende des Betrachtungszeitraums eingehalten (beim Wellenberg wird dabei die aktuelle Ausdehnung der Dekompaktionszone verwendet (600 m u. T. statt 400 m u. T.))
günstig	Das WG-ss/LPmin gerät nach Ablauf von 20 % des Betrachtungszeitraums in den Einflussbereich der Dekompaktionszone. Die Radioaktivität ist zu diesem Zeitpunkt weitgehend abgeklungen. Die VA aus Etappe 1 SGT werden eingehalten (heutige Situation, beim Wellenberg wird dabei die aktuelle Ausdehnung der Dekompaktionszone verwendet (600 m u. T. statt 400 m u. T.))
bedingt günstig	Die VA aus Etappe 1 SGT werden eingehalten (heutige Situation, beim Wellenberg wird dabei die aktuelle Ausdehnung der Dekompaktionszone verwendet (600 m u. T. statt 400 m u. T.))
ungünstig bzw. ungenügend	Tritt nicht auf, weil die VA aus Etappe 1 SGT eingehalten werden

Die sich für die Lagerperimeter ergebenden Bewertungen mit dem Indikator 2 zeigt Tabelle 5.

Langfristig kann erosionsbedingte Dekompaktion verschiedene Parameter und Prozesse beeinflussen (Reduktion der Mächtigkeit der barriierenwirksamen Gesteinsschichten, Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit, Bildung von Entlastungsklüften, Erhöhung der Transmissivität vorhandener Trennflächen, verstärkte Verkarstung, Verbesserung des Gastransports). Mit den von der Nagra abgeleiteten Werten für die Ausdehnung des Einflussbereichs der Dekompaktion unter Terrain ist das ENSI einverstanden (Tabelle 5).

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Referenz:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539

Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT

18.04.2017 / GEOL, TISA

Das ENSI geht in seiner Bewertung wie die Nagra davon aus, dass eine «sehr günstige» Bewertung erreicht wird, wenn die Optimierungsanforderung eingehalten wird (Tabellen 4 und 5). Jedoch sind dabei Erosionsprozesse (pessimistische Annahmen) zu berücksichtigen, weshalb für eine «sehr günstige» Bewertung die Optimierungsanforderungen am Ende des Betrachtungszeitraums einzuhalten sind.

Tabelle 5: Bewertung der Lagerperimeter für den Indikator 2 «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion». *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.

	Minimale Tiefenlage Top WG-ss bzw. Lagerebene im Lagerperimeter		Ausdehnung der Dekompaktionszone [m]	Erosion im BZ [m]	OA (Etappe 2 SGT)		Beginn der Dekompaktion [a]	Bewertung	
	heute [m u. T.]	am Ende des BZ [m u. T.]			ENSI Top WG-ss [m u. T.]	Nagra Top WG [m u. T.]		Nagra	ENSI
SMA-SR	272	222	200	50	250	350	erst nach BZ	2.5	4.5
SMA-ZNO-OPA	401	351	200	50	250	350	erst nach BZ	4.5	4.5
SMA-ZNO-BD	410	360	300	50	350	350	erst nach BZ	4.5	4.5
SMA-NL-OPA	591	541	200	50	250	350	erst nach BZ	4.5	4.5
SMA-NL-BD	520	470	300	50	350	350	erst nach BZ	4.5	4.5
SMA-JO	350	300	200	50	250	350	erst nach BZ	4.5	4.5
SMA-JS-OPA	365	315	300	50	350	350	erst nach BZ	4.5	4.5
SMA-JS-EFF	380	330	300	50	350	350	erst nach BZ	4.5	4.5
SMA-WLB-MGL-mittlere Ebene	601	307	600	294	894	600	500 (0.5% BZ)	4.5	2.5
SMA-WLB-MGL-tiefe Ebene	601	313	600	888	888	600	500 (0.5% BZ)		2.5
HAA-ZNO*	503	303	200	200	400	450	erst nach BZ	4.5	4.5
HAA-NL	593	393	200	200	400	450	erst nach BZ	4.5	4.5
HAA-JO	400	225	200	175	375	450	erst nach BZ	3.5	4.5

BZ = Betrachtungszeitraum: 100 000 Jahre für SMA-Lager, 1 Million Jahre für HAA-Lager; minimale Tiefenlage Top WG-ss bzw. Lagerebene im Lagerperimeter gemäss NTB 14-01, Tab. 4.2-3 und NAB 17-01, Frage 47; Ausdehnung der Dekompaktionszone, gemäss NTB 14-01, S. 167-168, NTB 14-01, S. 238, NTB 14-01, S. 130, NTB 14-02-II, S. 89-90; Erosion im BZ: pessimistische Annahme, Beurteilung der Zahlenwerte siehe Kapitel 2.2; OA = Optimierungsanforderung; Beginn Dekompaktion: Zeit, ab der die Oberkante des WG-ss in den Einflussbereich der Dekompaktionszone geraten kann, wenn die pessimistischen zeitlichen Entwicklungen für die flächenhafte Erosion gemäss NTB 14-02-II, S. 67-68 für die Nordschweiz und NTB 14-02-III, S. 87 für den Wellenberg zugrunde gelegt werden.

sehr günstig (4 ≤ x ≤ 5)
 günstig (3 ≤ x ≤ 4)
 bedingt günstig (2 ≤ x ≤ 3)
 ungünstig (1 ≤ x ≤ 2)
 ungenügend (0 ≤ x ≤ 1)

Ungewissheiten in der heute vorliegenden Tiefenlage der Gesteinsschichten lassen sich mit zusätzlichen Untersuchungen (Bohrungen, 3D-Seismik) zuverlässig abklären. Es ist daher gerechtfertigt, für die Tiefenlage des mLE vom plausiblen Wert auszugehen (Spalte 2 der Tabelle 5). Hingegen lässt sich die Absenkung der lokalen Erosionsbasis für die nächsten 105 bis 106 Jahre nicht exakt voraussagen (NTB 14-02-III, S. 66). Die Erosionsraten (Spalte 5) sind Gegenstand der Forschung und es ist nicht abzusehen, dass sich die Ungewissheiten bis zum Rahmenbewilligungsgesuch am Ende von Etappe 3 SGT deutlich reduzieren liessen. Es ist daher gerechtfertigt, für die Erosionsraten von pessimistischen (d. h. erhöhten) Werten auszugehen.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Im mFE, den das ENSI konsequent für seine Bewertung heranzieht, werden jeweils nur die WG-ss als barrierenwirksam angesehen (orange Doppelpfeile im NTB 14-01, Fig. 3.1-3) und die oberen Rahmengesteine spielen für die Beurteilung der Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion keine Rolle. Es zeigt sich, dass das WG-ss in allen Nordschweizer Lagerperimetern innerhalb des jeweiligen Betrachtungszeitraums nicht von Dekompaktion erfasst wird (Tabelle 5, Spalte 8). Dies gilt auch, wenn im Lagerperimeter SMA-JS-OPA aufgrund des hier weniger als 100 m mächtigen Opalinustons eine Überdeckung von 300 m verlangt wird, um eine Barrierenwirksamkeit der oberen Rahmengesteine mindestens zu ermöglichen. Am Wellenberg ist auch für die tieferen Lagerebenen (Niveau 200 m ü. NN und 400 m ü. NN) nicht auszuschliessen, dass diese nach kurzer Zeit in den Einflussbereich der Dekompaktionszone geraten. Grund dafür ist zum einen die in den Mergel-Formationen des Helvetikums vergleichsweise grosse Ausdehnung der Dekompaktionszone von 600 m u. T. (in Etappe 1 SGT wurden seitens Nagra noch 400 m u. T. angenommen), und zum anderen die im Vergleich zu Nordschweizer Standortgebieten im pessimistischen Fall anzunehmenden Erosionsraten von 200 m in 100 000 Jahren (NTB 14-02-III, S. 87). Zudem bezieht sich die Tiefenlage hier direkt auf die Lagerebene, sodass im Vergleich mit den Nordschweizer Standortgebieten mit Bezugshorizont Top WG-ss keine Pufferzone bis zum Rand des Wirtgesteins besteht. Das ENSI bewertet somit den von der Nagra dargestellten mFE nur als «bedingt günstig».

Im Standortgebiet Wellenberg liegen aufgrund des ausgeprägten Oberflächenreliefs Teilbereiche der unteren und mittleren Lagerebenen mit bis zu 1139 bzw. 935 m u. T. (ENSI 33/540, Kapitel 6.1.4) z. T. deutlich unterhalb der ausgewiesenen minimalen Überdeckung von 601 m (NTB 14-02-III, S. 87; NTB 14-02-V, S. 84) und der Optimierungsanforderungen des ENSI (Tabelle 5). Mit der vorhandenen Flexibilität bezüglich der Anzahl der Lagerebenen (NTB 14-01, S. 291) und weil die Erstellung der Lagerkammern in den Mergel-Formationen des Helvetikums auch in grösseren Tiefen als 800 m u. T. grundsätzlich bautechnisch machbar ist (ENSI 33/540, Kapitel 2.10), besteht dadurch grundsätzlich die Möglichkeit, die Lagerperimeter im Hinblick auf die Platzverfügbarkeit zu optimieren (Verkleinerung der Lagerperimeter und Einschieben weiterer und tieferer Lagerebenen). Innerhalb des Lagerperimeters ist die minimale Tiefenlage für die Optimierung und Bewertung ausschlaggebend.

Zusammenfassend ergeben sich bezüglich aller Lagerperimeter für HAA- und SMA-Lager «sehr günstige» Bewertungen, auch und im Unterschied zur Nagra bezüglich SMA-SR und SMA-JO. Einzige Ausnahme sind die Mergel-Formationen des Helvetikums, bei der das ENSI deutlich tiefer als die Nagra bewertet (Tabelle 5).

1.2.3 I10 «Grundwasserstockwerke»

Angaben der Nagra

In der Nordschweiz wird aufgrund der stratigraphischen Verhältnisse ein ausgeprägter Stockwerkbau erwartet (SMA-SR, SMA-JO, SMA-JS-OPA, HAA-JO) oder ein solcher wurde nachgewiesen (SMA-ZNO-OPA, SMA-NL-OPA, HAA-ZNO, HAA-NL) (NTB 14-01, S. 257 für SMA-SR sowie entsprechende Seiten für die übrigen Lagerperimeter). Hinweise darauf ergeben sich aus chemischen und isotopischen Wasseranalysen (NTB 14-02-V). Im Lagerperimeter SMA-WLB-MGL liegt kein klassischer Grundwasserstockwerkbau vor. Es gibt allerdings in keiner der Sondierbohrungen am Wellenberg Anzeichen dafür, dass Grundwässer aus den Kalken im Liegenden in die Mergel-Formationen migriert sind, weshalb der Lagerperimeter SMA-WLB-MGL «sehr günstig» eingestuft wird (NTB 14-01, S. 287).

Es wird unterschieden, ob ein Grundwasserstockwerkbau in Sondierbohrungen nachgewiesen («sehr günstig») bzw. zu erwarten ist («günstig») (NTB 08-05, Anhang A1.10).



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Beurteilung des ENSI

Die Ausführungen der Nagra zum Grundwasserstockwerkbau in der Nordschweiz sind für das ENSI nachvollziehbar und korrekt. Das ENSI stellt fest, dass die Nagra ihre Bewertungsskala, die bei zu erwartendem aber nicht nachgewiesenem Grundwasserstockwerkbau eine «günstige» Bewertung vorsieht, nicht korrekt angewendet hat. Die Bewertungsskala wurde seitens ENSI bereits in Etappe 1 SGT kritisiert: «Die Nagra diskriminiert bei der Bewertung zwischen sehr «günstig» bei nachgewiesenem und «günstig» bei aufgrund der stratigraphischen Verhältnisse erwartetem Grundwasserstockwerkbau und bezieht dadurch die Ungewissheit in die Bewertung ein. Weil dadurch keine Gebiete zurückgestellt werden (kein Abschneidekriterium), akzeptiert das ENSI diese Vorgehensweise. In einer späteren Etappe kann ein erwarteter Grundwasserstockwerkbau mittels einer Bohrung verhältnismässig einfach und sicher bestätigt werden.» (ENSI 33/43, S. 23).

In Etappe 2 SGT soll gewährleistet sein, dass eine vorhandene, gute Datenlage (z. B. eine existierende Bohrung) nicht zu einer besseren Beurteilung einzelner Lagerperimeter führt. Grundsätzlich hat die Nagra dies mit ihrem methodischen Ansatz berücksichtigt, im Fall reduzierbarer Ungewissheiten im mFE von der zu erwartenden Situation auszugehen und die Bewertungen entsprechend vorzunehmen. Für den Indikator «Grundwasserstockwerke» stellt das ENSI jedoch fest, dass die aus Etappe 1 SGT unverändert übernommene Bewertungsskala dieses Prinzip verletzt, denn ein bereits nachgewiesener Grundwasserstockwerkbau sollte gleichwertig mit einem zu erwartenden und in Etappe 3 SGT nachweisbaren Grundwasserstockwerkbau betrachtet werden. Das ENSI bewertet den Indikator «Grundwasserstockwerke» daher anhand folgender Bewertungsskala:

Tabelle 6: Bewertungsskala des ENSI für den Indikator «Grundwasserstockwerke».

Sehr günstig	Ausgeprägter Stockwerkbau im Bereich des WG-ss ist zu erwarten oder nachgewiesen: Das WG-ss trennt im Bereich der Lagerperimeter die Grundwasserleiter ober- bzw. unterhalb wirksam ab.
Günstig	Nicht definiert, denn Grundwasserstockwerkbau gibt es ganz oder gar nicht.
Bedingt günstig	Stockwerkbau trifft aufgrund der geologischen Situation nicht zu (tektonische Melange am Wellenberg).
Ungünstig	Verbindungen der Grundwasserleiter ober- und unterhalb des WG-ss sind zu erwarten oder nachgewiesen.
Ungeeignet	Nicht definiert, denn kein Lagerperimeter kann aufgrund des fehlenden Stockwerkbaus als ungeeignet angesehen werden.

Das ENSI kommt damit zu folgenden Bewertungen:



Klassifizierung:
 Aktenzeichen/Referenz:
 Titel:

keine
 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 18.04.2017 / GEOL, TISA

Datum / Sachbearbeiter:

Tabelle 7: Bewertung des ENSI im Vergleich zur Nagra für den Indikator «Grundwasserstockwerke». *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.

	Bewertung Nagra	Bewertung des ENSI gem. Bewertungsskala der Nagra	Bewertung des ENSI gem. Bewertungsskala des ENSI
SMA-SR	sehr günstig	günstig	sehr günstig
SMA-ZNO-OPA	sehr günstig	sehr günstig	sehr günstig
SMA-ZNO-BD	sehr günstig	sehr günstig	sehr günstig
SMA-NL-OPA	sehr günstig	sehr günstig	sehr günstig
SMA-NL-BD	sehr günstig	sehr günstig	sehr günstig
SMA-JO	sehr günstig	günstig	sehr günstig
SMA-JS-OPA	sehr günstig	günstig	sehr günstig
SMA-JS-EFF	sehr günstig	günstig	sehr günstig
SMA-WLB-MGL	sehr günstig	-	bedingt günstig
HAA-ZNO*	sehr günstig	sehr günstig	sehr günstig
HAA-NL	sehr günstig	sehr günstig	sehr günstig
HAA-JO	sehr günstig	günstig	sehr günstig

Im Gegensatz zur Nagra stuft das ENSI die Bewertung des Lagerperimeters am Wellenberg nur als «bedingt günstig» ein. Obwohl am Wellenberg unterschiedliche Grundwasserkörper ausgebildet sind (Geochemie, Unterdruck), spricht das ENSI wie auch die Nagra am Wellenberg nicht von einem klassischen Grundwasserstockwerkbau mit dazwischen liegenden, lateral ausgedehnten, undurchlässigen Trennschichten. Die fehlenden Anzeichen für in die Mergel-Formationen eingedrungene Grundwässer aus den Kalken im Liegenden sieht das ENSI beim Indikator «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation» als ausreichend berücksichtigt.

1.3 Kriterium «Geochemische Bedingungen»

Angaben der Nagra

Das Kriterium «Geochemische Bedingungen» und seine dazugehörigen Indikatoren «Mineralogie», «pH», «Redox-Bedingungen», «Salinität», «Mikrobielle Prozesse» und «Kolloide» werden von der Nagra wirtgesteinspezifisch und nicht lagerperimeterspezifisch beurteilt (vgl. Kapitel 3.3 im NTB 14-01). Die geochemischen Bedingungen wirken sich weder räumlich noch im Vergleich zwischen verschiedenen Wirtgesteinen differenzierend aus. Die Indikatoren zum Kriterium geochemische Bedingungen mit Ausnahme des Indikators Kolloide werden deshalb in Etappe 2 SGT nicht als entscheidend relevant eingestuft. Der Indikator Kolloide wird in Etappe 2 SGT als entscheidend relevant eingestuft, da je nach Porositätsstruktur sich Kolloide unterschiedlich auf die Barrierenwirksamkeit der Wirtgesteine auswirken (NTB 14-01, Anhang A-9).

Die Bewertung der Eigenschaften der Wirtgesteine bezieht sich für die Indikatoren «Mineralogie», «pH», «Redox-Bedingungen», «Salinität», «Mikrobielle Prozesse» und «Kolloide» auf denjenigen Teil des Wirtgesteins, welcher bei der Radionuklidfreisetzung den dominierenden Beitrag zur Barrierenwirkung beisteuert. Dabei handelt es sich in der Regel um die tonmineralreiche Gesteinsabfolge, innerhalb derer die Lagerkammern platziert werden (vgl. Fig. 3.1-3 und Tab. 2.3-3 im NTB 14-01). Bei der Bewertung



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

dieser Indikatoren wird nur das «Wirtgestein sensu stricto» (WG-ss in Tab. 2.3-3, 3.3-1 und 3.3-2 im NTB 14-01) bewertet (NTB 14-01, S. 102).

Bei den geochemischen Bedingungen gibt es für das HAA-Lager gegenüber dem SMA-Lager keine erhöhten Anforderungen. Die Bewertung der einzelnen Indikatoren für das Wirtgestein ist deshalb gleich wie für das SMA-Lager (NTB 14-01, S. 144).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI stimmt der Nagra zu, dass das Kriterium «Geochemische Bedingungen» und seine dazugehörigen Indikatoren wirtgesteinsspezifisch beurteilt werden und dass sich die Indikatoren «Mineralogie», «pH», «Redox-Bedingungen», «Salinität», «Mikrobielle Prozesse» nicht räumlich differenzierend auswirken. Das ENSI stimmt der Nagra zu, dass für das HAA-Lager keine strengeren Anforderungen notwendig sind. Daher werden die einzelnen Indikatoren für das Wirtgestein Opalinuston für das HAA-Lager gleich wie für das SMA-Lager bewertet. Das ENSI bewertet ebenfalls das Wirtgestein sensu stricto.

1.3.1 I11 «Mineralogie»

Angaben der Nagra

Der Opalinuston besteht aus feinkörnigen kontinentalen Verwitterungs- und Erosionsprodukten (vorwiegend Tonminerale und Quarz), marinen Karbonaten und diagenetischen Neubildungen (z. B. Pyrit). Der vergleichsweise hohe Gehalt an Tonmineralen (40 – 80 Gew.-%) verleiht dem Opalinuston sehr gute Radionuklid-Rückhalteeigenschaften (ausgeprägtes Selbstabdichtungsvermögen, sehr niedrige hydraulische Durchlässigkeit, gutes Sorptionsvermögen, Kolloidfiltration, geochemische Pufferkapazität). Die geringe Durchlässigkeit bildet eine sehr gute Voraussetzung für eine fortbestehende geochemische Stabilität innerhalb der Gesteinsformation. Damit wird der Indikator «Mineralogie» in allen Standortgebieten als «sehr günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 107).

Die Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' weist grösstenteils hohe Tonmineralgehalte auf (tonreichste Einheiten vergleichbar mit Opalinuston). Der hohe Gehalt an Tonmineralen verleiht den tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' (TA-1) sehr gute Rückhalteeigenschaften (gutes Sorptionsvermögen, geochemische Pufferkapazität, Kolloidfiltration). Damit wird der Indikator «Mineralogie» insgesamt als «sehr günstig» eingestuft (NTB 14-01, S. 115).

Die geochemischen Bedingungen in den Effinger Schichten in einer geeigneten geologisch-tektonischen Situation können als stabil bezeichnet werden. Sie sind – wie im Opalinuston – weitgehend durch Gleichgewichtsreaktionen mit den Mineralen (v. a. Tonminerale, Karbonate, Pyrit, organische Stoffe) bestimmt. Für das Sorptionsvermögen in der für die Bewertung massgebenden Kalkmergelabfolge werden grundsätzlich günstige Verhältnisse erwartet. Damit wird der Indikator «Mineralogie» für die mächtigste Kalkmergelabfolge der Effinger Schichten (KMA-5) als «günstig» eingestuft (NTB 14-01, S. 123).

Die geochemischen Bedingungen in den Mergel-Formationen des Helvetikums in geeigneter Tiefenlage werden als sehr stabil beurteilt. Sie sind – wie im Opalinuston – weitgehend durch Gleichgewichtsreaktionen mit den Mineralen (v. a. Tonminerale, Karbonate, Pyrit, organische Stoffe) bestimmt. Der Gehalt an Tonmineralen in der Palfris-Formation beträgt ca. 30 Gew.-%. Das Sorptionsvermögen zeigt eine relativ grosse Variabilität, welche direkt mit der Variabilität des Tonmineralgehalts zusammenhängt (hohes Sorptionsvermögen in Tonmergeln, niedrigeres in Kalkbänken). Fliesspfade, welche ausschliesslich in Kalkbänken verlaufen, werden aber wegen der starken tektonischen Zerschering der Kalkbänke nicht



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

erwartet. Damit wird der Indikator «Mineralogie» für die Mergel-Formationen des Helvetikums als «günstig» eingestuft. Die Bewertung gilt unter der Voraussetzung, dass allenfalls vorhandene Fließpfade in Kalkbänken durch mergelige Partien unterbrochen werden (NTB 14-01, S. 130).

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und es bestehen keine Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für den Tonmineralgehalt im Opalinuston ist im NAB 12-39, S. 3 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.1). Die Variation in den einzelnen Bohrungen wird mit den oberen und unteren Eckwerten abgedeckt. Der Referenzwert von 60 Gew.-% und die Eckwerte von 40 und 75 Gew.-% Tonmineralgehalt für den Opalinuston sind nachvollziehbar und plausibel. Das ENSI stimmt der Bewertung der Nagra für den Indikator Mineralogie für Opalinuston in allen Standortgebieten als «sehr günstig» zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für den Tonmineralgehalt in den tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' (TA-1) sind im NAB 12-39, S. 19 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.2). Die Variation in den einzelnen Bohrungen wird mit den oberen und unteren Eckwerten abgedeckt. Der Referenzwert von 46 Gew.-% und die Eckwerte von 20 und 65 Gew.-% Tonmineralgehalt für den 'Braunen Dogger' (TA und STA) sind nachvollziehbar und plausibel. Das ENSI berücksichtigt jedoch bei seiner Bewertung des Indikators Mineralogie auch den unteren Eckwert des Tonmineralgehalts für TA und STA und kommt daher bei Anwendung der Bewertungsskala der Nagra auf eine Bewertung von «günstig» anstatt «sehr günstig» für die tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' in allen Standortgebieten.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für den Tonmineralgehalt im Wirtgestein Effinger Schichten ist in NAB 12-39, S. 53 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.3). Die Variation in den einzelnen Bohrungen wird mit den oberen und unteren Eckwerten weitgehend abgedeckt. Der Referenzwert von 27 Gew.-% und die Eckwerte von 20 und 40 Gew.-% Tonmineralgehalt für die Effinger Schichten (KMA) sind nachvollziehbar und plausibel. Das ENSI stimmt daher der Bewertung der Nagra «günstig» für den Indikator «Mineralogie» für das Wirtgestein sensu stricto der Kalkmergelabfolge (KMA) der Effinger Schichten zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für den Tonmineralgehalt in den Mergel-Formationen des Helvetikums ist im NAB 12-39, S. 83 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.5). Die Variation in den einzelnen Bohrungen wird mit den oberen und unteren Eckwerten weitgehend abgedeckt. Der Referenzwert von 30 Gew.-% und die Eckwerte von 10 und 50 Gew.-% Tonmineralgehalt für das Wirtgestein sensu stricto der Mergel-Formationen (MGL) sind nachvollziehbar und plausibel. Das ENSI stimmt der Bewertung der Nagra «günstig» für den Indikator «Mineralogie» für die Mergel-Formationen (MGL, WG-ss) zu.

1.3.2 I12 «pH»

Angaben der Nagra

Der pH liegt mit Werten um 7,2 im neutralen Bereich, was zur Bewertung des Indikators «pH» für den Opalinuston «sehr günstig» führt (NTB 14-01, S. 107).

Man kann aufgrund der mineralogischen Ähnlichkeit der tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' (TA-1) praktisch den gleichen pH-Wert annehmen wie beim Opalinuston. Dies führt zur Bewertung des Indikators «pH» «sehr günstig» für die Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' (NTB 14-01, S. 115).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Ausgehend von den vorhandenen Messungen (NTB 14-02-VI) und aufgrund mineralogischer Analogien ist es plausibel anzunehmen, dass der pH-Wert wie beim Opalinuston bzw. bei den Mergel-Formationen des Helvetikums im neutralen Bereich in der mächtigsten Kalkmergelabfolge der Effinger Schichten (KMA-5) liegt. Dies führt zur Bewertung des Indikators «pH» «sehr günstig» (NTB 14-01, S. 123).

Der pH-Wert liegt in den Mergel-Formationen des Helvetikums wie beim Opalinuston im neutralen Bereich. Dies führt zur Bewertung «sehr günstig» (NTB 14-01, S. 131).

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und es bestehen keine Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenzporenwasserzusammensetzung und die Varianten des Porenwassers für den Opalinuston sind im NTB 14-02-VI und NAB 09-14 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.1). Der pH-Wert variiert zwischen pH 7,0 und 7,5. Das ENSI stimmt der Bewertung der Nagra für den Indikator «pH» für Opalinuston mit «sehr günstig» zu.

Das ENSI ist mit dem Vorgehen der Nagra die gleiche Porenwasserzusammensetzung und die gleichen Porenwasservarianten für das Wirtgestein 'Brauner Dogger' wie für den Opalinuston aufgrund der mineralogischen Ähnlichkeiten zu nehmen einverstanden und stimmt der Bewertung für den Indikator «pH» für das Wirtgestein 'Brauner Dogger' in allen Standortgebieten mit «sehr günstig» zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenzporenwasserzusammensetzung und die Varianten des Porenwassers sind im NTB 14-02-VI und NTB 12-07 für das Wirtgestein Effinger Schichten nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.3). Der pH-Wert variiert zwischen pH 6,8 und 7,3. Das ENSI berücksichtigt bei seiner Bewertung des Indikators «pH» auch die Porenwasservarianten und bewertet daher diesen Indikator nur als «günstig», da ein pH-Wert zwischen pH 6 und pH 7 basierend auf der Bewertungsskala der Nagra zur Bewertungsstufe «günstig» führt.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenzporenwasserzusammensetzung und die Varianten des Porenwassers in den Mergel-Formationen des Helvetikums sind im NTB 14-02-VI und NAB 09-15 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.5). Der pH-Wert variiert zwischen pH 7,0 und 8,0. Das ENSI stimmt der Bewertung der Nagra für den Indikator «pH» mit «sehr günstig» zu.

1.3.3 I13 «Redox-Bedingungen»

Angaben der Nagra

Dank des Gehalts an Pyrit und Siderit und organischen Substanzen besitzt der Opalinuston eine grosse Redoxpufferkapazität. Die Redox-Bedingungen werden deshalb als «sehr günstig» eingestuft (NTB 14-01, S. 107).

Durch den Gehalt an Pyrit und organischen Substanzen in den tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' (TA-1) sind auch die Redox-Bedingungen sehr günstig (NTB 14-01, S. 115).

Dank des Gehalts an Pyrit und organischen Substanzen Bereich in der mächtigsten Kalkmergelabfolge der Effinger Schichten (KMA-5) sind auch die Redox-Bedingungen «sehr günstig» (NTB 14-01, S. 123).

Durch den Gehalt an Pyrit und organischen Substanzen in den Mergel-Formationen des Helvetikums ist die Redoxpufferkapazität gross und die Redox-Bedingungen werden als «sehr günstig» eingestuft (NTB 14-01, S. 131).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und die Mindestanforderungen sind für alle Wirtgesteine erfüllt.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für die Redoxpotenzial puffernde Minerale wie z. B. Pyrit und Siderit im Opalinuston ist im NAB 12-39, S. 10 nachvollziehbar beschrieben. Das ENSI stimmt der Bewertung des Indikators «Redox-Bedingungen» für Opalinuston in allen Standortgebieten als «sehr günstig» zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für die Redoxpotenzial puffernde Minerale in den tonreichen Abfolgen des 'Braunen Doggers' wie z. B. Pyrit und Siderit ist in NAB 12-39, S. 24, 31 nachvollziehbar beschrieben. Diese enthalten Pyrit und teilweise Siderit. Das ENSI stimmt daher der Bewertung des Indikators für die tonreichen Abfolgen des 'Braunen Doggers' in allen Standortgebieten als «sehr günstig» durch die Nagra zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für die Redoxpotenzial puffernde Minerale im Wirtgestein Effinger Schichten wie z. B. Pyrit und Siderit sind im NAB 12-39, S. 55 nachvollziehbar beschrieben. Die Kalkmergelabfolgen der Effinger Schichten enthalten Pyrit. Das ENSI stimmt daher der Bewertung des Indikators für die Kalkmergelabfolgen der Effinger Schichten als «sehr günstig» durch die Nagra zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenz- und Eckwerte der Nagra für die Redoxpotenzial puffernde Minerale wie z. B. Pyrit in den Mergel-Formationen des Helvetikums ist im NAB 12-39, S. 86, 94 nachvollziehbar beschrieben. Die mergeligen Abfolgen der Mergel-Formationen des Helvetikums enthalten Pyrit. Das ENSI stimmt daher der Bewertung des Indikators «Redox-Bedingungen» für die mergeligen Abfolgen der Mergel-Formationen des Helvetikums als «sehr günstig» durch die Nagra zu.

1.3.4 I14 «Salinität»

Angaben der Nagra

Meerwasser hat eine Salinität von ca. 35 g/L. Dies entspricht einer Ionenstärke von 0,7 mol/L. Der Opalinuston erreicht etwa 30 – 40 % der Meerwassersalinität bzw. eine Ionenstärke von rund 0,2 mol/L. Damit ergibt sich für den Indikator «Salinität» für Opalinuston in allen Standortgebieten die Bewertung «günstig» (NTB 14-01, S. 107).

Die Salinität liegt in den tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' (TA-1) wie im Opalinuston bei Werten von 30 – 40 % der Meerwassersalinität (bzw. Ionenstärken von rund 0,2 mol/L) und führt zur Bewertung des Indikators «Salinität» «günstig» für die Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' (NTB 14-01, S. 115).

Die Salinität liegt bei einer Ionenstärke von ca. 0,7 mol/L in der mächtigsten Kalkmergelabfolge der Effinger Schichten (KMA-5) und führt zu einer «günstigen» Bewertung des Indikators «Salinität» (NTB 14-01, S. 123).

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen wird erwartet, dass in den Tiefenbereichen, die für das SMA-Lager geeignet sind, hauptsächlich saline Grundwässer in den Mergel-Formationen des Helvetikums vorhanden sind, mit Salinitäten, die deutlich unterhalb derjenigen von Meerwasser liegen. Dies führt zur Bewertung des Indikators «Salinität» «günstig» (NTB 14-01, S. 131).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und es bestehen keine Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenzporenwasserzusammensetzung und die Varianten des Porenwassers für Opalinuston sind im NTB 14-02-VI und NAB 09-14 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.1). Die Ionenstärke variiert zwischen 0,23 M und 0,76 M. Die Porenwasservariante Hoch-NaCl wurde auf Basis der Messungen des Porenwassers im Mont Russelin definiert, um die Ungewissheiten abzudecken. Es gibt zurzeit keine Hinweise, dass in den Standortgebieten so hohe Ionenstärken vorkommen, es kann aber auch nicht ausgeschlossen werden (NAB 09-14, S. 21). Das ENSI stimmt daher der Bewertung für den Indikator «Salinität» für Opalinuston als «günstig» zu.

Das ENSI ist mit dem Vorgehen der Nagra, die gleiche Porenwasserzusammensetzung und die gleichen Porenwasservarianten für das Wirtgestein 'Brauner Dogger' wie für den Opalinuston zu nehmen, einverstanden und stimmt der Bewertung für den Indikator «Salinität» in allen Standortgebieten als «günstig» zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenzporenwasserzusammensetzung, die Varianten des Porenwassers und die vorhandenen Ungewissheiten sind im NTB 14-02-VI und NTB 12-07 für das Wirtgestein Effinger Schichten nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.3). Das Referenzporenwasser hat eine Ionenstärke von 0,68 M. Die Ionenstärke variiert zwischen 0,29 M und 0,68 M. Das ENSI stimmt der Bewertung für den Indikator «Salinität» für das Wirtgestein Effinger Schichten als «günstig» zu.

Das Vorgehen und die Herleitung der Referenzporenwasserzusammensetzung, die Varianten des Porenwassers und die vorhandenen Ungewissheiten in den Mergel-Formationen des Helvetikums sind im NTB 14-02-VI und NAB 09-15 nachvollziehbar beschrieben (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.5). Die Ionenstärke variiert zwischen 0,21 mol/kg und 0,52 mol/kg. Das ENSI stimmt daher der Bewertung für den Indikator «Salinität» als «günstig» zu.

1.3.5 I15 «Mikrobielle Prozesse»

Angaben der Nagra

Der Opalinuston besitzt keine grösseren Poren (im Bereich von μm bis mm) und keine offenen Klüfte. Zudem ist der Gehalt an Nährstoffen relativ gering. Somit herrschen keine Bedingungen, die eine hohe mikrobielle Aktivität fördern. Die Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten kann einen gewissen Lebensraum für Mikroorganismen bieten, zumindest in der Anfangsphase nach Verschluss der Lagerkammern. Insgesamt wird der Indikator «Mikrobielle Prozesse» als «sehr günstig» eingestuft (NTB 14-01, S. 108).

Die Porengrößenverteilung in den tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' ist vergleichbar mit dem Opalinuston; der 'Braune Dogger' bietet damit auch vergleichbare Lebensbedingungen für Mikroorganismen wie der Opalinuston. Der Indikator «Mikrobielle Prozesse» wird deshalb mit «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 115).

In den Kalkmergelabfolgen der Effinger Schichten gibt es Poren bzw. Diskontinuitäten von grösserer Abmessung als im Opalinuston; damit bieten die Effinger Schichten vermutlich tendenziell etwas günstigere Lebensbedingungen für Mikroorganismen, insbesondere in der Auflockerungszone in der Anfangsphase nach Verschluss der Lagerkammern. Der Indikator «Mikrobielle Prozesse» wird deshalb etwas weniger positiv bewertet als beim Opalinuston, nämlich «günstig» (NTB 14-01, S. 123).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Im Vergleich zum Opalinuston stehen in den Mergel-Formationen des Helvetikums Poren bzw. Diskontinuitäten mit tendenziell grösseren Abmessungen als Lebensraum für Mikroorganismen zur Verfügung; damit bieten die Mergel-Formationen des Helvetikums vermutlich tendenziell etwas günstigere Lebensbedingungen für Mikroorganismen, insbesondere in der Auflockerungszone in der Anfangsphase nach Verschluss der Lagerkammern. Der Indikator «Mikrobielle Prozesse» wird deshalb etwas weniger positiv bewertet als beim Opalinuston, nämlich «günstig» (NTB 14-01, S. 131).

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und es bestehen keine Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen.

Für die Bewertung verwendet die Nagra vor allem die Porengrösse sowie das Vorhandensein von Diskontinuitäten und Klüften. Das Vorhandensein von grösseren Poren, Diskontinuitäten und Klüften wird auch bei den Indikatoren Kolloide (I16) und Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums (I17) behandelt. Diese Datengrundlage und die dazugehörigen Bewertungen wurden vom ENSI bei der Bewertung des Indikators Mikrobielle Prozesse berücksichtigt. Das Nährstoffangebot für Mikroorganismen wie z. B. Sulfatkonzentration im Porenwasser und Organikagehalt (< 1 Gew.-% in allen WG und geringer Huminstoffkonzentration) ist in den in Etappe 1 SGT vorgeschlagenen Wirtgesteinen relativ ähnlich (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1 und z. B. NTB 14-02-VI, S. 10 sowie Frage 59 im NAB 17-01). Die Datengrundlage zur Bewertung des Indikators «Mikrobielle Prozesse» ist im NTB 14-02-VI nachvollziehbar beschrieben.

Das ENSI stimmt der Bewertung des Indikators «Mikrobielle Prozesse» als «sehr günstig» für den Opalinuston und für die tonreiche Abfolge des 'Braunen Doggers' aufgrund der Porengrösse und des geringen Nährstoffangebots zu.

Das ENSI bewertet den Indikator «Mikrobielle Prozesse» für die Kalkmergelabfolgen der Effinger Schichten aufgrund der grösseren Poren und Diskontinuitäten, denen nicht ausgewichen werden kann, im Unterschied zur Nagra nur mit «bedingt günstig» (vgl. I16 & I17).

Die Datengrundlage zur Porengrösse für die Mergel-Formation des Helvetikums fehlt im NTB 14-02-VI. Auch für dieses Wirtgestein gilt, dass es grössere Poren und Diskontinuitäten gibt, denen nicht ausgewichen werden kann. Daher bewertet das ENSI den Indikator im Unterschied zur Nagra nur mit «bedingt günstig» (vgl. I16 & I17).

1.3.6 I16 «Kolloide»

Angaben der Nagra

Die geringe Porengrösse (vgl. Indikator «Mikrobielle Prozesse»), zusammen mit der vorteilhaften Porenstruktur (hohe Tortuosität), führt dazu, dass der Opalinuston als Kolloidfilter wirkt. Der Indikator «Kolloide» wird deshalb mit «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 108).

Die geringe Porengrösse, zusammen mit der vorteilhaften Porenstruktur (hohe Tortuosität), führt dazu, dass die tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' ähnlich wie der Opalinuston als Kolloidfilter wirken. Der Indikator «Kolloide» wird deshalb mit «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 115).

Kleinere Störungen und Klüfte, denen mit den Lagerkammern nicht ausgewichen werden kann und die als Fliesspfade für Kolloide dienen könnten, sind – im Unterschied zum Opalinuston – in den Effinger Schichten auch in den Kalkmergelabfolgen nicht auszuschliessen, sodass die Kolloidfiltration trotz



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Selbstabdichtung beeinträchtigt sein könnte. Der Indikator «Kolloide» wird deshalb weniger positiv bewertet als beim Opalinuston, nämlich «bedingt günstig» (NTB 14-01, S. 123).

Kleinere Störungen und Klüfte (Spröddeformationen), denen mit den Lagerkammern nicht ausgewichen werden kann und die als Fliesspfade für Kolloide dienen könnten, sind – im Unterschied zum Opalinuston – in den Mergel-Formationen des Helvetikums nicht auszuschliessen; eine Beeinträchtigung der Kolloidfiltration kann trotz Selbstabdichtung nicht ausgeschlossen werden. Der Indikator «Kolloide» wird deshalb weniger positiv bewertet als beim Opalinuston, nämlich «bedingt günstig» (NTB 14-01, S. 131).

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und es bestehen keine Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen.

Für den Indikator «Kolloide» beurteilt die Nagra gemäss Bewertungsskala aus Etappe 1 SGT (NTB 08-05, S. A1-66) die chemische Stabilität der Kolloide im Porenwasser und die physikalische Filtration von Kolloiden im Wirtgestein. Die chemische Stabilität von Kolloiden im Porenwasser ist gering aufgrund der grösseren Ionenstärke als 0,2 mol/kg (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1) und der tiefen Huminstoffkonzentration im jeweiligen Porenwasser der Wirtgesteine (vgl. Antwort zu Frage 59; NAB 17-01). Demnach sind die Kolloidkonzentrationen in allen vorgeschlagenen Wirtgesteinen sehr klein und die Bewertung hinsichtlich Kolloidkonzentration fällt für alle Wirtgesteine sehr ähnlich aus und differenziert nicht. Die Poren sind in der Matrix in allen Wirtgesteinen zu klein, um einen Kolloidtransport zu ermöglichen. Die Bewertung hinsichtlich physikalischer Filtration stützt sich deshalb auf das Vorkommen bzw. Nicht-Vorkommen von hydraulisch wirksamen Klüften bzw. Störungen ab, in denen Kolloide advektiv transportiert werden könnten (Antwort zu Frage 59; NAB 17-01). Bei der qualitativen Bewertung verwendet die Nagra daher vor allem die physikalische Filtration als Argumentation. Das ENSI ist mit diesem Vorgehen der Nagra einverstanden, da in Etappe 2 SGT nur noch tonreiche und mergelige Wirtgesteine vorhanden sind und somit der Einfluss von Störungen und Klüften auf den Radionuklidtransport und geochemische Prozesse differenziert beurteilt werden kann.

Die Datengrundlage zur Bewertung des Indikators «Kolloide» ist im NTB 14-02-VI und NAB 17-01, Frage 59 beschrieben. Das ENSI stimmt der Bewertung aufgrund der geringen Porengrösse «sehr günstig» durch die Nagra für den Opalinuston und für die tonreiche Abfolge des 'Braunen Doggers' zu. Das ENSI stimmt der Bewertung des Indikators «Kolloide» für die Kalkmergelabfolgen der Effinger Schichten und die Mergel-Formationen des Helvetikums «bedingt günstig» durch die Nagra zu, da kleineren Störungen und Klüften mit den Lagerkammern nicht ausgewichen werden kann (vgl. Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums»).

1.4 Kriterium «Freisetzungspfade»

1.4.1 I17 «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums»

Angaben der Nagra

Die Bewertung dieses Indikators bezieht sich auf das WG-ss (NTB 14-01, Tab. 2.3-3 und 2.3-7, welches bei der Radionuklidfreisetzung den dominierenden Beitrag zur Barrierenwirkung beisteuert (NTB 14-01, S. 42). Aufgrund des ausgeprägten Selbstabdichtungsvermögens (hoher Tonmineralgehalt) und der kaum erhöhten Transmissivität allenfalls vorhandener Diskontinuitäten wird der Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» für den Opalinuston (für beide Lagertypen) und den 'Braunen Dogger' (TA-1) in allen Standortgebieten als sehr günstig bewertet (NTB 14-01, S. 108, S. 115).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Die Kalkmergel der Effinger Schichten, inklusive der als WG-ss zu beurteilende Kalkmergelabfolge KMA-5, sind voraussichtlich poröse Medien mit Diskontinuitäten, wobei mit wenig ausgeprägtem lokalisiertem Wasserfluss und günstigen Bedingungen für die Matrixdiffusion gerechnet wird. Daher wird der Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» mit günstig bewertet (NTB 14-01, S. 124).

Die Mergel-Formationen des Helvetikums sind als geklüftetes Medium mit sehr geringdurchlässiger Matrix zu betrachten. Wie bei den Effinger Schichten ist mit wenig ausgeprägtem lokalisiertem Wasserfluss und günstigen Bedingungen für Matrixdiffusion zu rechnen. Daher wird der Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» mit knapp günstig bewertet (NTB 14-01, S. 131).

Das SMA-Standortgebiet Wellenberg weist bezüglich dieses nur knapp günstig bewerteten Indikators einen eindeutigen Nachteil gegenüber allen anderen Standortgebieten auf, da der Opalinuston deutlich besser eingestuft wird als die Mergel-Formationen des Helvetikums (NTB 14-01).

Für die Effinger Schichten im Standortgebiet Jura-Südfuss liegt beim Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» wegen seiner ungünstigen Wirkung auf das Radionuklidrückhaltevermögen eine tiefere Bewertung gegenüber dem Opalinuston im selben Standortgebiet vor, die als eindeutiger Nachteil eingestuft wird (NTB 14-01).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI ist mit der Wahl des Bewertungsobjekts WG-ss einverstanden.

Das ENSI schliesst sich der «sehr günstigen» Bewertung des Indikators «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» für den Opalinuston und den 'Braunen Dogger' (TA-1) an. Durch das ausgeprägte Selbstabdichtungsvermögen ist auch bei tektonischer Überprägung weder mit lokalem Wasserfluss noch mit ausgeprägtem Channeling zu rechnen (ENSI 33/540, Kapitel 3.1.1).

Die seit Etappe 1 SGT zusätzlich durchgeführten Untersuchungen der Nagra haben gezeigt, dass innerhalb der Effinger Schichten auch im Bereich der Kalkmergelabfolgen einzelne Kalkbänke bzw. geringmächtige (bis max. wenige Meter, Mächtigkeit geringer als die erkannten und einzeln definierten Kalkbankabfolgen) Abfolgen solcher Bänke auftreten können und diesen mit den Lagerkammern nicht ausgewichen werden kann. In diesen Kalkbänken ist wegen des Sprödverhaltens langfristig die Entstehung wasserführender Systeme, ähnlich wie in den Kalkbankabfolgen, auch durch weitere Untersuchungen nicht auszuschliessen (der Indikator bewertet das Potenzial für hydraulisch aktive Trennflächen, nicht deren Existenz).

Im mFE ist die KMA-5 richtigerweise als mit Störungen durchsetztes Medium konzeptualisiert (NTB 14-03, S. 67), welches ausgeprägtes Channeling und damit verbunden mässige Bedingungen für die Matrixdiffusion aufweisen kann. Auch gibt es deutliche Hinweise für eine schon heute existierende tektonische Überprägung des Lagerperimeters, der zwischen zwei grossen, nachgewiesenen tektonischen Strukturen liegt (NAB 17-01, Frage 47, Fig. 1): Direkt südlich davon befindet sich die Born-Engelberg-Antiklinale, deren östliche Fortsetzung auch von der Nagra inzwischen als zu meidende tektonische Zone eingestuft wird. Unmittelbar nördlich wurde die Eppenbergs-Struktur als regionale Störungszone erkannt, welche in Etappe 1 SGT noch als Eppenbergs-Flexur eine eher untergeordnete Bedeutung hatte. Auch innerhalb des Lagerperimeters sind einzelne tektonische Elemente zu erkennen, deren Berücksichtigung sich bei der Nagra in einem erhöhten Platzbedarf im Standortgebiet Jura-Südfuss niederschlägt (Tabelle 3). Als weiteres Indiz für tektonische Vorgänge in der Vergangenheit (Zusammenschub) kann die Anhäufung von Evaporiten der Trias im Untergrund angesehen werden (NAB 13-10, S. 67, NAB 14-34, Fig. 4-9). Das ENSI bewertet daher den Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» für den mFE der Effinger Schichten nur als «bedingt günstig».



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Für die Mergel-Formationen des Helvetikums zeigt sich in den lokal auftretenden (HSK 30/13; NTB 96-01) im Vergleich zu den für einen grösseren Gebirgsbereich berechneten sehr niedrigen hydraulischen Durchlässigkeiten die Existenz hydraulisch wirksamer Trennflächen, welche ausgeprägtes Channeling und mässige Bedingungen für die Matrixdiffusion aufweisen können. Das ENSI bewertet daher den Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» für den mFE nur als «bedingt günstig».

Den Indikator «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» bewertet das ENSI für das SMA-Standortgebiet Wellenberg und die Effinger Schichten im Standortgebiet Jura-Südfuss ungünstiger als die Nagra, weil der Stofftransport in diskreten Klüften gegenüber homogen-porösen Medien zu einem deutlich geringeren Radionuklidrückhalt führt (geringere Aufenthaltszeiten, kleinere Kontaktflächen zur Matrix). Da entsprechende Ungewissheiten bezüglich der hydraulisch wirksamen Klüfte in Etappe 3 SGT kaum reduzierbar sind, ist der eindeutige Nachteil bzgl. des Indikators 17 «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» gegenüber den Wirtgesteinen 'Brauner Dogger' und Opalinuston aus Sicht des ENSI ausreichend belastbar. Am Wellenberg wurden lokal hydraulisch wirksame Trennflächen beobachtet (HSK 30/13; NTB 96-01; NTB 14-02-V), während es im Standortgebiet Jura-Südfuss deutliche Hinweise für eine schon heute existierende tektonische Überprägung des Lagerperimeters gibt (ENSI 33/540, Kapitel 3.2).

1.4.2 I20 «Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade»

Angaben der Nagra

Die Bewertungsskala für den Indikator «Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade» bezieht sich auf die über die ganze Struktur (Diskontinuitäten) gemittelte Transmissivität einzelner transmissiver Elemente mit typischen Abständen von einigen Deka- bis einigen Hektometern, denen mit den Lagerkammern nicht ausgewichen werden kann (NTB 08-05, Anhang A1.20; dies sind einlagerungsbestimmende und kleinere geologische Elemente, NTB 14-01, Fig. 2.2-1). Die kleinräumige Klüftung des Wirtgesteins wird im Rahmen der Indikatoren «Hydraulische Durchlässigkeit» und «Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums» berücksichtigt (NTB 08-05, S. A1-79). Die Bewertungsskala bezieht sich auf das WG-ss (NTB 14-01, Tab. 2.3-3, S. 45 und 2.3-7, S. 57) und wurde in Etappe 2 SGT für SMA-Lager verschärft (NTB 14-01, S. 103, Fussnote 75): Für SMA-Lager wird derselbe Massstab wie für HAA-Lager angewendet, um eine bessere Differenzierung der Bewertungen zu erzielen (NAB 17-01, Frage 44). Im Vergleich zum Vorgehen bei der Auswahl des prioritären Wirtgesteins werden bei der Bewertung der Lagerperimeter auch konfigurationsspezifische Aspekte mitberücksichtigt (NTB 14-01, Tab. 2.3-2 und 2.3-7), insbesondere die hydraulischen Gradienten und die tektonische Überprägung (NTB 08-05, Anhang A1.20; NTB 14-03, S. 28-29).

Durch das ausgeprägte Selbstabdichtungsvermögen (hoher Tonmineralgehalt) und die kaum erhöhte Transmissivität allenfalls vorhandener Diskontinuitäten wird der Indikator «Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade» für den Opalinuston und den 'Braunen Dogger' (TA-1) in allen Standortgebieten als «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 108 und 115).

In den Effinger Schichten (KMA-5) werden basierend auf den vorhandenen Messungen Transmissivitätswerte deutlich $< 10^{-10}$ m²/s erwartet. Auch unter Berücksichtigung der erwarteten vertikalen bzw. subvertikalen Diskontinuitäten und der Erfahrungen bei Gesteinen mit ähnlichem Tonmineralgehalt wird der Indikator «Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade» knapp günstig bewertet. Wegen der ungünstigen Wirkung auf das Radionuklidrückhaltevermögen (NTB 14-01) ergibt sich für die Effinger Schichten gegenüber dem Opalinuston ein eindeutiger Nachteil.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Die Untersuchungen am Wellenberg haben gezeigt, dass die transmissiven Elemente im Wirtgestein unterhalb der Dekompaktionszone nur unvollständig vernetzt sind, d. h. die effektiven Transmissivitäten der wasserführenden Systeme wahrscheinlich bedeutend geringer sind als in einzelnen Tests (NTB 14-02-VI, S. 156). Bei der Konzeptualisierung der wasserführenden Systeme der Mergel-Formationen des Helvetikums wird davon ausgegangen, dass die gleichen Systeme, welche in der bis zu 600 m mächtigen Dekompaktionszone hydraulisch wirksam sind, auch in grösserer Tiefe diskrete Transportpfade darstellen, nur mit entsprechend geringeren Transmissivitäten (NTB 14-02-VI, S. 140). Die Transmissivitäten der Mergel-Formationen des Helvetikums unterhalb der Dekompaktionszone sind in der Regel $< 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ (NTB 14-01, S. 131). Aus diesen Überlegungen ergibt sich eine knapp günstige Bewertung. Diese wird als eindeutiger Nachteil bewertet, da der Opalinuston in den anderen Standortgebieten für diesen Indikator deutlich besser eingestuft wird als die Mergel-Formationen des Helvetikums und dieser Indikator für den Radionuklidrückhalt wichtig ist (NTB 14-01).

Die Ergebnisse der Dosisberechnungen zeigen für den Opalinuston und den 'Braunen Dogger' mit ihren sehr kleinen Durchlässigkeiten eine sehr gute Barrierenwirkung, während die Mergel-Formationen des Helvetikums in den Berechnungen mit «geklüfteten Medien» eine etwas weniger gute Barrierenwirkung aufweisen (NTB 14-01, S. 99).

Beurteilung des ENSI

Für das ENSI ist nachvollziehbar, dass sich dieser Indikator auf grossräumig verbundene Freisetzungspfade bezieht und die Bedeutung einzelner, lokal gemessener Werte für die Bewertung anhand dieses Indikators beschränkt ist.

Das ENSI ist mit dem von der Nagra vorgeschlagenen Bewertungsobjekt WG-ss einverstanden. Es hält jedoch die vorgeschlagene strengere Bewertungsskala für SMA-Lager vor dem Hintergrund der deutlich geringeren radiologischen Gefährdung für überkonservativ und verwendet darum nach wie vor die Bewertungsskalen aus Etappe 1 SGT (ENSI 33/43, S. 43). In orientierenden Sicherheitsbetrachtungen hat sich gezeigt, dass die erzielbaren Dosisreduktionen bei einer weiteren Reduktion der Transmissivitäten nur noch marginal sind (NTB 08-05, S. A1-81). Für das ENSI ist nachvollziehbar, dass sich dieser Indikator auf grossräumig verbundene Freisetzungspfade bezieht und die Bedeutung einzelner, lokal gemessener Werte für die Bewertung anhand dieses Indikators gering ist.

Das ENSI hält fest, dass die Bewertungen der Lagerperimeter (NTB 14-01, Tab. 4.4-2 und NAB 17-01, Frage 47) mit den Bewertungen der Wirtgesteine (NTB 14-01, Tab. 3.3-1) im Hinblick auf den Indikator «Transmissivität präferenzialer Freisetzungspfade» seitens Nagra identisch sind, weil die konfigurati-onsspezifischen Aspekte bei der Bewertung der Wirtgesteine bereits mitberücksichtigt wurden. Dies ist für das ENSI nachvollziehbar, weil das WG-ss (Bewertungsobjekt) in allen Lagerperimetern unterhalb der Dekompaktionszone liegt (NTB 14-01, S. 257 und entsprechende Seiten für weitere Lagerperimeter), der Opalinuston und die tonreiche Abfolge TA-1 des 'Braunen Doggers' gegenüber tektonischer Überprägung (z. B. nördlich der Lägern) unempfindlich sind, und für die Effinger Schichten und Mergel-Formationen des Helvetikums jeweils nur ein Lagerperimeter zu betrachten ist.

Das ENSI schliesst sich den Bewertungen der Nagra für die Lagerperimeter an. Im Einzelnen werden dabei abweichende Argumente herangezogen (ENSI 33/540).

Der Indikator «Transmissivität präferenzialer Freisetzungspfade» wird für den Opalinuston und den 'Braunen Dogger' (TA-1) «sehr günstig» bewertet. Selbst im tektonisch stark überprägten und intensiv untersuchten Felslabor Mont Terri wurde nicht beobachtet, dass Störungen innerhalb des Opalinustons wasserführend wären.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Aufgrund der mittleren Tonmineralgehalte zwischen 20 und 37 Gew.-% (Mittelwert 27 Gew.-%) kann in den Effinger Schichten (KMA-5) erwartet werden, dass Störungen durch Selbstabdichtungsprozesse mindestens teilweise abgedichtet werden. Für einzelne Störungen erwartet das ENSI daher auch für den tektonisch überprägten Lagerperimeter SMA-JS-EFF mittlere Transmissivitäten $< 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ und kommt damit zur Bewertung «günstig» für den Indikator «Transmissivität präferentieller Freisetzungspfade».

Das ENSI kann nachvollziehen, dass am Wellenberg die transmissiven Elemente im Wirtgestein unterhalb der Dekompaktionszone nur unvollständig vernetzt sind. Unterhalb der Dekompaktionszone und ausserhalb der Wissbergscholle liegen auch die einzelnen Messwerte der Transmissivitäten der Mergel-Formationen des Helvetikums meist unter $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ (NAB 13-13, S. 89), was zu einer sehr günstigen Bewertung führen würde (Bewertungsskala aus Etappe 1 SGT). Es ist aber zu beachten, dass vertikale wasserführende Trennflächen, die zu erhöhten Werten der grossräumigen hydraulischen Durchlässigkeiten führen können, indem sie die anderen Fliesssysteme miteinander verbinden, in Sondierbohrungen nicht repräsentativ erfasst werden. Auch sieht das ENSI in den Berechnungen mit «geklüfteten Medien» für die Mergel-Formationen des Helvetikums deutliche Hinweise auf eine stark reduzierte Barrierenwirkung, nämlich um 3 Grössenordnungen höhere Dosen ($2 \cdot 10^{-3} \text{ mSv/Jahr}$ gegenüber $3.2 \cdot 10^{-6} \text{ mSv/Jahr}$). Mit dieser Überlegung kommt auch das ENSI nur zur Bewertung «günstig».

Für die Mergel-Formationen des Helvetikums im Standortgebiet Wellenberg und für die Effinger Schichten im Standortgebiet Jura-Südfuss identifiziert das ENSI wie auch die Nagra jeweils einen eindeutigen Nachteil. In diesen Wirtgesteinen mit Tonmineralgehalten unter 40 Gew.-% im Gegensatz zu den tonreicheren Wirtgesteinen (OPA, TA-1 des 'Braunen Doggers') kann eine signifikante Transmissivität von Störungen aufgrund des geringeren Selbstabdichtungsvermögens zukünftig nicht ausgeschlossen werden.

1.4.3 122 «Selbstabdichtungsvermögen»

Angaben der Nagra

Der Indikator «Selbstabdichtungsvermögen» ist bei der Auswahl der prioritären Wirtgesteine (WG) ein entscheiderelevantes Merkmal bezüglich der Wirksamkeit der geologischen Barriere und der Langzeitstabilität der geologischen Barriere (NTB 14-01, Tabs. 2.3-1, 2.3-4). Er nimmt Bezug auf das WG-ss (NTB 14-01, Tab. 2.3-3 und S. 102). Aufgrund seiner grossen Bedeutung für die Barrierenwirksamkeit und für die Langzeitstabilität wird der Indikator «Selbstabdichtungsvermögen» bei zwei Merkmalen als entscheiderelevant zugeordnet. Dadurch erhält er ein grösseres Gewicht (NTB 14-01, S. 42).

Der Indikator «Tonmineralgehalt», der selbst nicht entscheiderelevant ist, fliesst in den entscheiderelevanten Indikator «Selbstabdichtungsvermögen» ein, (NTB 14-01, Tab. 2.3-2). Aufgrund der konzeptuellen Einteilung der lithofaziellen Einheiten in drei Tonmineralgehalt-Kategorien (NTB 14-01, S. 66), werden den lithofaziellen Einheiten drei Stufen (hoch, mässig gut, gering) des Selbstabdichtungsvermögens zugeordnet. Die Selbstabdichtung ist eng verknüpft mit den Indikatoren der hydraulischen Durchlässigkeit des Gesteins und der «Transmissivität präferentieller Freisetzungspfade» (NTB 14-01, S. 107 und 108). Durch ein ausgeprägtes Selbstabdichtungsvermögen erweisen sich selbst deformierte, verfaltete bzw. zerscherte Gesteine als sehr geringdurchlässig (NTB 14-01, S. 108).

Für den Opalinuston (WG = WG-ss) ist das Selbstabdichtungsvermögen ausgeprägt, wie hydraulische Tests an Störungzonen zeigen (NTB 14-01, S. 108, die Bewertung ist «sehr günstig» in allen drei Standortgebieten mit zwei Wirtgesteinen). Für das WG-ss des 'Braunen Doggers' (entsprechend dem stratigraphischen Intervall der Parkinsoni-Württembergica-Schichten und Variansmergel-Formation,



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

TA-1) wird für die Standortgebiete Zürich Nordost und Nördlich Lägern ein dem Opalinuston entsprechendes Selbstabdichtungsvermögen angenommen, es wird ebenfalls als ausgeprägt bezeichnet (NTB 14-01, S. 115, die Bewertung ist in beiden Standortgebieten Nördlich Lägern und Zürich Nordost «sehr günstig»). Das Selbstabdichtungsvermögen in den Effinger Schichten wird aufgrund des reduzierten Tonmineralgehalts als deutlich weniger gut als in Opalinuston und 'Braunem Dogger' eingeschätzt (die Bewertung wird mit knapp «günstig» angegeben, NTB 14-01, S. 124) und damit ein eindeutiger Nachteil der Effinger Schichten gegenüber dem Opalinuston (beide im Standortgebiet Jura-Südfuss) attestiert (NTB 14-01, S. 159 bzw. Tab. 3.4-2).

Dank des Tonmineralgehalts besitzen die Mergel-Formationen des Helvetikums im Bereich der Tonmergelabfolgen bei grösserer Überdeckung ein gewisses Selbstabdichtungsvermögen, welches jedoch deutlich weniger ausgeprägt ist als im Opalinuston und auch etwas ungünstiger ist als dasjenige der Kalkmergelabfolgen der Effinger Schichten. Das Selbstabdichtungsvermögen der Kalkbankabfolgen ist gering, was allerdings wegen der begrenzten Kontinuität der Kalkbänke keinen signifikanten Einfluss auf die Wasserführung hat. Insgesamt ergibt dies für den Indikator «Selbstabdichtungsvermögen» die Bewertung «bedingt günstig» (NTB 14-01, S. 131, bzw. Tab. 3.3-1). Der Indikator «Selbstabdichtung» wird damit gegenüber dem Opalinuston als eindeutiger Nachteil der Mergel-Formationen des Helvetikums bewertet (NTB 14-01, S. 327).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI ist mit der Nagra einverstanden, dass das Selbstabdichtungsvermögen bei tonreichen Wirtgesteinen eine Schlüsseleigenschaft für die Langzeitsicherheit darstellt. Das Selbstabdichtungsvermögen der betrachteten tonigen Gesteine ist eng an den Gehalt quellfähiger Tonminerale geknüpft (NEA 2010). Für diese Gesteine ist dabei die ursprünglich in das Sediment eingebrachte Menge an Tonmineralen und deren ursprüngliche Quellfähigkeit signifikant. Die Quellfähigkeit der Tonminerale nimmt mit steigenden Temperaturen während einer geologischen Überprägung ab (vgl. ENSI 33/070, Fig. 5.1-2), da unter diagenetischen bis tief metamorphen Bedingungen eine Kornvergrösserung, eine Verbesserung der kristallographischen Struktur und chemische Änderungen im Rahmen der Illitisierung stattfinden. Dabei werden die vorher durch eingelagertes Wasser charakterisierten Zwischenschichten sukzessive durch einwertige Ionen (K_a, Na, untergeordnet auch zweiwertiges Ca) chemisch enger gebunden und können daher nicht mehr reversibel Wasser aufnehmen und abgeben. Für Gesteine mit geringen Tonmineralgehalten spielen zunehmend die Gehalte an Quarz und karbonatischen Phasen (Kalzit, Dolomit) eine Rolle, da diese Phasen bei einer diagenetischen Überprägung eine ausgeprägte Zementation des Gesteins und damit eine felsmechanische Versprödung bewirken können. Bei mechanischer Beanspruchung führt dies zur Bildung von Rissen, die ab einer gewissen Grösse der Risse und bei einem begrenzten Tonmineralgehalt durch das Quellen dieser Minerale nicht mehr abgedichtet werden können, d. h. als Wegsamkeiten für den Radionuklidtransport offen bleiben.

Während der 'Braune Dogger' (WG-ss) und der Opalinuston hohe Tonmineralgehalte haben (NAB 12-56) und sich darin kaum voneinander und zwischen den einzelnen Standortgebieten unterscheiden (für den 'Braunen Dogger' sind dies die Standortgebiete Nördlich Lägern und Zürich Nordost, für den Opalinuston alle Nordschweizer Standortgebiete), fallen die Effinger Schichten (Standortgebiet Jura-Südfuss) aufgrund ihres internen Lagenbaus und der in den Kalkmergelabfolgen erhöhten Karbonatgehalte deutlich ab. Das ENSI beurteilt das Selbstabdichtungsvermögen im Opalinuston und im WG-ss des 'Braunen Doggers' aufgrund der ähnlich hohen Tonmineralgehalte ebenfalls wie die Nagra als «sehr günstig». Würde das ENSI beim 'Braunen Dogger' keine auf das WG-ss bezogene Bewertung vornehmen, son-



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

dern das ganze WG bewerten und damit auch die Tonmineral-ärmeren Kalkbänke und Eisenoolithhorizonte («harte Bänke») einbeziehen, würde seine Bewertung des 'Braunen Doggers' nur «günstig» ausfallen.

In Bohrkernen aus den Effinger Schichten (beispielsweise der Bohrung Oftringen, NAB 08-02) lässt sich beobachten, dass in den Kalkbänken häufig Risse auftreten, die teilweise mit später ausgefälltem Kalzit gefüllt sind und daher nachweislich zeigen, dass diese Risse nach ihrer Entstehung nicht wieder abgedichtet, aber aufgrund zirkulierender Fluide gefüllt worden sind. Zu den Kalkmergellagen hin verjüngen sich diese Risse und verschwinden am Übergang ganz, sodass sie in den Kalkmergellagen nicht vorhanden sind. Für das WG-ss der Effinger Schichten fällt daher die Bewertung des ENSI nur «günstig» aus. Würde die Bewertung auf das gesamte WG ausgedehnt (d. h. auch die in den Effinger Schichten vorhandenen Kalkbankabfolgen einbeziehen, denen bei einem Lagerbau nicht ausgewichen werden könnte), wäre aus Sicht des ENSI eine nur «bedingt günstige» Bewertung angemessen. In den Kalkbankabfolgen ohne mergelige Zwischenlagen ist anhand der gemachten Beobachtungen und aufgrund der sehr reduzierten Tonmineralgehalte kaum ein Selbstabdichtungsvermögen vorhanden.

Für die Mergel-Formationen des Helvetikums werden seitens Nagra Tonmineralgehalte ausgewiesen, die höher als bei den Effinger Schichten sind (NAB 12-56). Jedoch ist aufgrund der im Rahmen der tertiären alpinen Gebirgsbildung und damit verbundenen Versenkung erreichten Temperaturen davon auszugehen, dass aufgrund der fortgeschrittenen Illitisierung die Quellbarkeit dieser Tonminerale deutlich reduziert ist und in den helvetischen Mergeln verursachte Risse nur beschränkt ausheilen können und ein ähnliches beschränktes Selbstabdichtungsverhalten wie die Effinger Schichten (gesamtes WG) besitzen. Daher bewertet das ENSI das Selbstabdichtungsvermögen der Mergel-Formationen des Helvetikums wie die Nagra identisch zum gesamten WG der Effinger Schichten als «bedingt günstig».

1.4.4 I18 «Homogenität des Gesteinsaufbaus»

Angaben der Nagra

Der Indikator «Homogenität des Gesteinsaufbaus» (I18) wird von der Nagra zur Bewertung der Barrierenwirkung der Wirt- und Rahmengesteine verwendet. Diese bestimmt die Verzögerung der Radionuklidenausbreitung im einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Über diesen Indikator wird die Art und Häufigkeit von sedimentären und strukturellen Architekturelementen sowie Advektion/Diffusion entlang von allfälligen Transportpfaden charakterisiert (NTB 14-01, S. A-2).

Der Opalinuston besteht im Vergleich zu anderen mesozoischen Formationen der Nordschweiz aus einem homogenen Sedimentpaket mit geringen lateralen Fazieswechseln (NTB 14-02-VIII, S. 6). Im 'Braunen Dogger' treten Sandkalkabfolgen als bis metermächtige Einschaltungen mit teilweise sehr geringer Barrierenwirkung auf, welche lateral nur unzureichend korrelierbar sind (NTB 14-02-VIII, S. 11). Die Effinger Schichten sind aufgrund von Kalkbankabfolgen mit reduzierter Barrierenwirkung und z. T. grossräumigen lateralen Verbreitung gleich einzustufen wie der 'Braune Dogger' (NTB 14-01, S. 124). Die Mergel-Formationen des Helvetikums sind durch tektonische Vorgänge in der Regel stark verfaultet und zerschert. Makroskopisch (10er- bis 100er-Meter-Bereich) ergibt sich dennoch ein homogener Gesteinsaufbau. Fremdgesteinseinschlüsse mit geringeren Rückhalteigenschaften lassen sich jedoch nicht ausschliessen (NTB 14-01, S. 132).

Folglich bewertet die Nagra den Indikator «Homogenität des Gesteinsaufbaus» für den Opalinuston als «sehr günstig» (NTB 14-01, S. 108) und für den 'Braunen Dogger', die Effinger Schichten und die Mergel-Formationen des Helvetikums als «bedingt günstig» (NTB 14-01, S. 116, 124 bzw. 132).



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Beurteilung des ENSI

Die Argumentation der Nagra anhand der dargelegten Informationen (NAB 12-04 Rev.1; NAB 13-16; NTB 14-02-VI; NTB 14-02-VIII) ist aus Sicht des ENSI inhaltlich nachvollziehbar. Die daraus abgeleiteten Bewertungen des Indikators I18 für das Wirtgestein Opalinuston mit «sehr günstig» sowie für die Wirtgesteine Effinger Schichten und Mergel-Formation des Helvetikums mit «bedingt günstig» werden als korrekt beurteilt.

Das Wirtgestein 'Brauner Dogger' wird hingegen abweichend zur Nagra beurteilt: Unter dem Begriff Sandkalkabfolgen fasst die Nagra biodetritische Sandkalkbänke und eisenoolithische Horizonte zusammen, was aus Sicht des ENSI eine bezüglich Langzeitsicherheit konservative, aber in den meisten Fällen nur bedingt korrekte Vereinfachung ist (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.1.2). Gemäss NAB 12-51, S. 22 f. weisen lediglich die Eisenoolithe in den Bohrungen Weiach und Schlättingen eine – für die Bewertung des Indikators I18 relevante – Mächtigkeit im Meter-Bereich auf. Nach Einschätzung des ENSI verfügen diese oolithischen Einschaltungen u. a. aufgrund ihres mittleren Tonmineralgehalts von 20 bis 40 Gew.-% über eine durchschnittlich grössere Barrierenwirksamkeit als die sandig-kalkigen Bänke mit einem Tonmineralgehalt von < 20 Gew.-%. Das ENSI bewertet den Indikator «Homogenität des Gesteinsaufbaus» für das Wirtgestein 'Brauner Dogger' daher mit «günstig», d. h. um eine Bewertungsstufe besser als die Nagra.

1.4.5 I19 «Länge der massgebenden Freisetzungspfade»

Angaben der Nagra

Während sich in Etappe 1 SGT (NTB 08-05, A1.19) der Indikator «Länge der Freisetzungspfade» auf das Wirtgestein und seine Rahmengesteine und berücksichtigte laterale Beiträge zur Transportpfadlänge bezog, bezieht sich dieser Indikator in Etappe 2 SGT ausschliesslich auf die für die Barrierenwirkung massgebenden vertikalen Beiträge zur Transportpfadlänge (im massgebenden Fall nur innerhalb des Wirtgesteins sensu stricto), was durch den modifizierten Namen «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» ausgedrückt wird. Das Bewertungsobjekt ist somit WG-ss. Dabei wird für die vertikale Länge der massgebenden Freisetzungspfade neu die folgende Bewertungsskala verwendet (NAB 17-01, Frage 44): «Sehr günstig» ≥ 30 m (Opalinuston, Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger') bzw. ≥ 40 m (Effinger Schichten, Mergel-Formationen); «günstig» ≥ 20 m (Opalinuston, Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger') bzw. ≥ 30 m (Effinger Schichten, Mergel-Formationen); «bedingt günstig» ≥ 15 m (Opalinuston, Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger') bzw. ≥ 20 m (Effinger Schichten, Mergel-Formationen); wobei die Bewertungsstufen «ungünstig» bis «bedingt günstig» aufgrund der verschärften Anforderungen für den Indikator «Mächtigkeit» nicht erreicht werden. Der Indikator «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» wird als entscheiderelevanter Indikator eingestuft (NTB 14-01).

Im massgebenden Fall für die Einengung und bei Platzierung der Lagerkammern in der Mitte der Wirtgesteine (WG-ss) werden die minimalen Transportpfadlängen durch die Schichtpaketmächtigkeiten bestimmt (ausgezogener oranger Doppelpfeil im NTB 14-01, Fig. 3.1-3). Die Referenzwerte für die Schichtpaketmächtigkeit aller Standortgebiete in der Nordschweiz finden sich im NTB 14-01 Tab. 3.1-1 bis 3.1-4. Für die Mergel-Formationen des Helvetikums ergibt sich die minimale Transportpfadlänge aus der kürzesten Distanz zwischen den Lagerkammern und dem Rand des Wirtgesteinkörpers (NTB 14-01, Fig. 3.1-5). Falls der Transportpfad vollständig in den Kalkmergeln verläuft, beträgt die barrierenwirksame Transportpfadlänge überall mindestens 100 m (Referenzwert im NTB 14-01, Tab. 3.1-6). Die sich ergebende minimale Transportpfadlänge unter Berücksichtigung einer vereinfachten, standortunabhängigen vertikalen Ausdehnung für SMA-Lagerkammern von 20 m bzw. für HAA-Lagerstollen 5 m (jeweils inkl. Auflockerungszone) und einer vertikal mittigen Platzierung der Lagerkammern im WG-ss



Klassifizierung: keine
 Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

führen zu folgenden Bewertungen: Für alle geologischen Standortgebiete (SMA und HAA) mit den Wirtgesteinen Opalinuston und Mergel-Formationen des Helvetikums wird der Indikator «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» als «sehr günstig», für diejenigen mit 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten als «ungünstig» bewertet.

Tabelle 8: Bewertung der Nagra für den Indikator I19 für SMA- und HAA-Standortgebiete. Zusätzlich werden zu Vergleichszwecken ebenfalls die Bewertungen der Nagra für den verwandten Indikator 5 «Mächtigkeit» gezeigt. *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.

Nr.	Indikator	Bewertungsobjekt	SMA-SR-OPA	SMA-ZNO-OPA	SMA-NL-OPA	SMA-JO-OPA	SMA-JS-OPA	SMA-ZNO-BD	SMA-NL-BD	SMA-JS-EFF	SMA-WLB-MGL
19	Länge der massgebenden Freisetzungspfade	WG-ss	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	1.5	1.5	1.5	4.5
5	Mächtigkeit	EG	3.5	4.5	4.5	3.5	2.5	4.1	4.5	2.5	4.5

Nr.	Indikator	Bewertungsobjekt	HAA-ZNO-OPA*	HAA-NL-OPA	HAA-JO-OPA
19	Länge der massgebenden Freisetzungspfade	WG-ss	4.5	4.5	4.5
5	Mächtigkeit	EG	4.5	4.5	3.5

sehr günstig (4 ≤ x ≤ 5)
 günstig (3 ≤ x ≤ 4)
 bedingt günstig (2 ≤ x ≤ 3)
 ungünstig (1 ≤ x ≤ 2)
 ungenügend (0 ≤ x ≤ 1)

Zur Prüfung der Sensitivität der Einengungsentscheide werden auch alternative konzeptuelle Annahmen zur Wasserführung in «harten Bänken» in den Wirtgesteinen geprüft (gestrichelte orange Doppelpfeile im NTB 14-01, Fig. 3.1-3 und 3.1-5). Innerhalb des 'Braunen Doggers' bestehen Ungewissheiten bezüglich der Wasserführung in «harten Bänken». Diese Ungewissheiten werden für die Betrachtung des 'Braunen Doggers' als Wirtgestein (Nördlich Lägern, Zürich Nordost, gestrichelte orange Doppelpfeile) durch eine alternative günstigere Konzeptualisierung erfasst. Für die Mergel-Formationen des Helvetikums wird alternativ eine auf 20 m verkürzte minimale Länge des Freisetzungspfad betrachtet.

Die Charakterisierbarkeit und Explorierbarkeit der «harten Bänke» für den Nachweis, dass sie keine erhöhte Wasserführung aufweisen, ist schwierig und nicht zuverlässig möglich. Die verbleibenden tonreichen barrierenwirksamen Abfolgen des 'Braunen Doggers' und der Effinger Schichten sind deshalb nur von beschränkter Mächtigkeit, sodass die massgebende Länge der Freisetzungspfade klein und die Barrierenwirkung gegenüber dem homogenen, erheblich mächtigeren Opalinuston deutlich eingeschränkt ist (NTB 14-01). Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass den Kalkbankabfolgen innerhalb der Mergel-Formationen des Helvetikums bei der Erstellung der Lagerkavernen ausgewichen werden kann (NAB 17-01, Frage 75).

Bei der qualitativen Bewertung des Indikators «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» werden auch die Resultate von Dosisberechnungen zur Barrierenwirksamkeit der Wirtgesteine berücksichtigt. In Tabelle 3.2-4 vom NTB 14-01 zeigt die Nagra für den Indikator «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» relevante Rechenfälle (auf Basis des WG-ss) mit den dazugehörigen Dosismaxima. Die Ergebnisse der Dosisberechnungen zeigen für den Opalinuston und die Mergel-Formationen des Helvetikums mit ihren längeren Freisetzungspfaden eine sehr gute Barrierenwirkung, während die Effinger Schichten und der 'Braune Dogger' mit ihren auch bei Anwendung alternativer Konzeptualisierungen



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

kürzeren Freisetzungspfaden eine etwas weniger gute Barrierenwirkung aufweisen; dies ist in Übereinstimmung mit der im NTB 14-01 Kapitel 3.3 vorgenommenen qualitativen Bewertung des Indikators «Länge der massgebenden Freisetzungspfade». Dies gilt auch unter Berücksichtigung der alternativen Konzeptualisierungen, weil die Lagerkammern auch bei günstigeren Annahmen zur Wasserführung in den «harten Bänken» in den tonmineralreichen Parkinsoni-Württembergica-Schichten und der Variansmergel-Formation (lithofazielle Einheit TA-1) angeordnet werden und der Freisetzungspfad nach oben gleich (kurz) bleibt wie in der Konzeptualisierung für den massgebenden Fall.

Beurteilung des ENSI

Im Unterschied zum Indikator «Mächtigkeit» wird bei der Bewertung des Indikators «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» davon ausgegangen, dass «harte Bänke» nicht barriierenwirksam sind. Da die Ungewissheit bzgl. der Barriierenwirksamkeit der «harten Bänke» in Etappe 3 SGT auch nach Ansicht des ENSI nicht vollständig reduziert werden kann, wird somit jeweils eine ungünstige Konzeptualisierung (NTB 14-01, Fig. 5.1-3 und 5.1-5; ENSI 33/540, Kapitel 3.2) berücksichtigt. Dies kann zu unterschiedlichen Bewertungen der beiden Indikatoren führen.

In Etappe 1 SGT wurde mit dem Indikator «Länge der Freisetzungspfade» die Transportpfadlänge im Hinblick auf die Barriierenwirkung des Wirtgesteins inklusive allenfalls vorhandener Rahmengesteine bewertet, d. h. der EG war das Bewertungsobjekt. Neu werden mit I19 die Inhomogenitäten innerhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs explizit berücksichtigt und eine inhaltliche Differenz zum Indikator I5 (Mächtigkeit) geschaffen. Auch nach Ansicht des ENSI führen die von der Nagra in Etappe 2 SGT durchgeführten Anpassungen beim Bezugsobjekt (jetzt WG-ss, vorher EG) und bei der Bewertungsskala dazu, dass sich der umbenannte Indikator «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» ausschliesslich auf die für die Barriierenwirkung massgebenden vertikalen Beiträge zur Transportpfadlänge bezieht. Innerhalb des WG-ss (tonreiche Abfolgen) ist auch nach Ansicht des ENSI nicht mit wirksamen horizontalen Freisetzungspfaden («harte Bänke») zu rechnen. Gründe dafür sind, dass ein Abstand von 200 m bis zum nächsten Freisetzungspunkt eingehalten werden kann und die horizontalen hydraulischen Gradienten im Vergleich zu den vertikalen als deutlich kleiner anzunehmen sind. Unter Berücksichtigung dieser Betrachtung kommt das ENSI zum Schluss, dass die Bewertungsskala und das Bewertungsobjekt fachlich nachvollziehbar gewählt und bewertet wurden. Für das ENSI ist in Etappe 2 SGT die Einschätzung der Barriierenwirksamkeit der «harten Bänke» für die Bewertung von I19 (und auch von I5) von entscheidender Bedeutung.

Die Nagra verwendet für die verschiedenen Wirtgesteine, abhängig von deren Barriierenwirksamkeit, zur Erreichung identischer Bewertungsstufen unterschiedliche Anforderungen an die Transportpfadlängen. Die zugrundeliegenden generischen Berechnungen (NTB 08-05, Anhang A5.3), welche das ENSI stichprobenartig überprüft hat, zeigen, dass die erzielbaren Dosisreduktionen im relevanten Wertebereich (Dekameterbereich) vor dem Hintergrund der Ungewissheiten hinsichtlich der Eingangsparameter vergleichsweise gering sind. Die Zuordnung der Transportlängen zu unterschiedlichen Bewertungsstufen könnte durchaus anders erfolgen. Die von der Nagra gewählten Bewertungsskalen verschiedener Wirtgesteine stellen aber eine nachvollziehbare und vertretbare Möglichkeit dar.

Unter Berücksichtigung des Bewertungsobjektes WG-ss kommt das ENSI für den I19 zu einer gegenüber der Nagra identischen Bewertung. Die Bewertungen sowie die entsprechenden «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» sind in Tabelle 9 dargestellt.

Aufgrund der geologischen Konzeptualisierung (ENSI 33/540, Kapitel 3.2) erfolgt bei einer konservativen Annahme, bei der die «harten Bänke» nicht barriierenwirksam sind, die Freisetzung am ersten po-



Klassifizierung: keine
 Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
 Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
 Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
 Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

enziellen Freisetzungspunkt. Bei einer plausiblen Annahme, bei der die «harten Bänke» barrierenwirksam sind, erfolgt sie beim ersten zu erwartenden Freisetzungspunkt (Aquifer). Daher unterscheidet sich die Bewertung des Indikators I19, welcher der konservative Fall (mFE) zugrunde liegt, deutlich von der Bewertung des Indikators I5, welcher der plausible Fall (Referenzfall) zugrunde liegt (Kapitel 1.1). Das ENSI erachtet diese unterschiedliche Bewertung als sicherheitstechnisch konservativ und nachvollziehbar. Diese Betrachtung deckt sich mit der Einschätzung des ENSI hinsichtlich der «harten Bänke» für den 'Braunen Dogger' und die Effinger Schichten. Für die Entscheidung zur Einengung verwendet das ENSI den sicherheitstechnisch konservativen Fall. Entsprechend wird für den 'Braunen Dogger' nur TA-1 und für Effinger Schichten nur KMA-5 betrachtet. Das ENSI kann die Einstufung von I19 zum entscheidungsrelevanten Indikator fachlich nachvollziehen.

Nach Ansicht des ENSI hätte eine Berücksichtigung alternativer Konzeptualisierungen keinen Einfluss auf die Bewertung der Lagerperimeter im Wirtgestein Opalinuston. Die Bewertung der «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» für das Wirtgestein 'Brauner Dogger' wäre bei einer alternativen Konzeptualisierung stark abhängig von der Lage der vertikalen Platzierung der Lagerkammer: Bei einer mittigen Platzierung in der tonreichen Schicht TA-1 würde die Bewertung «ungünstig» bleiben (entspricht dem mFE), bei einer mittigen Platzierung innerhalb des gesamten Wirtgesteins 'Brauner Dogger' würde jedoch die Bewertung für das Standortgebiet Zürich Nordost «sehr günstig» und für Nördlich Lägern «günstig» ausfallen. Unter Berücksichtigung einer SMA-Lagerkammer mit geringerer Höhe (K04), würde sich die vertikale Transportpfadlänge zusätzlich vergrössern. Auch unter diesen Annahmen wäre der Indikator «Länge der massgebenden Freisetzungspfade» für die Lagerperimeter mit dem 'Braunen Dogger' und den Effinger Schichten als Wirtgestein als «ungünstig» einzuschätzen. Das ENSI beurteilt die KBAs in den Effinger Schichten sowohl im Referenzfall als auch im massgebenden Fall für die Einengung als nicht barrierenwirksam, was zu keiner Anpassung der Bewertung führt.

Tabelle 9: Bewertungsgrundlage und Bewertung des ENSI für den Indikator 19 «Länge der massgebenden Freisetzungspfade». *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.

		SMA-SR-OPA	SMA-ZNO-OPA	SMA-ZNO-BD	SMA-NL-OPA	SMA-NL-BF	SMA-JO-OPA	SMA-JS-OPA	SMA-JS-EFF	SMA-WLB-MGL	HAA-ZNO-OPA*	HAA-NL-OPA	HAA-JO-OPA
Mächtigkeit [m]	WG-ss (WG für WLB)	105	110	40 (TA-1)	110	37 (TA-1)	110	90	44 (KMA-5)	>>100	110	110	110
(Mächtigkeit – Höhe LK)/2 [m]	WG-ss (WG für WLB)	42.5	45	10	45	8.5	45	35	12	>40	52.5	52.5	52.5
Bewertung I19	WG-ss	4.5	4.5	1.5	4.5	1.5	4.5	4.5	1.5	4.5	4.5	4.5	4.5

sehr günstig (4 ≤ x ≤ 5)
 günstig (3 ≤ x ≤ 4)
 bedingt günstig (2 ≤ x ≤ 3)
 ungünstig (1 ≤ x ≤ 2)
 ungenügend (0 ≤ x ≤ 1)

Aufgrund der starken Überschneidung der Indikatoren 5 und 19 empfiehlt das ENSI, diese Indikatoren in Etappe 3 SGT zu überarbeiten, um deutlich zwischen dem Beitrag der potenziellen Rahmengesteine und der Länge der massgebenden Freisetzungspfade zu unterscheiden.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

2 Kriteriengruppe «Langzeitstabilität»

2.1 Kriterium «Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften»

2.1.1 I23 «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)»

Angaben der Nagra

Die Gliederung des Grossraums der Standortgebiete in der Nordschweiz in tektonische Regimes sowie die wichtigsten gebietsbegrenzenden geologischen Elemente (regionale Störungszonen und zu meidende tektonische Zonen) sind als Übersicht in Abbildung 2 dargestellt. Diese Figur wird verwendet für die Bewertung des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)» bezüglich Geodynamik, Neotektonik und tektonischem Baustil und auch als Unterlage für die Abschätzung der Platzreserven in Zusammenhang mit dem Indikator «Platzangebot untertags» (NTB 14-01, S. 241/242).

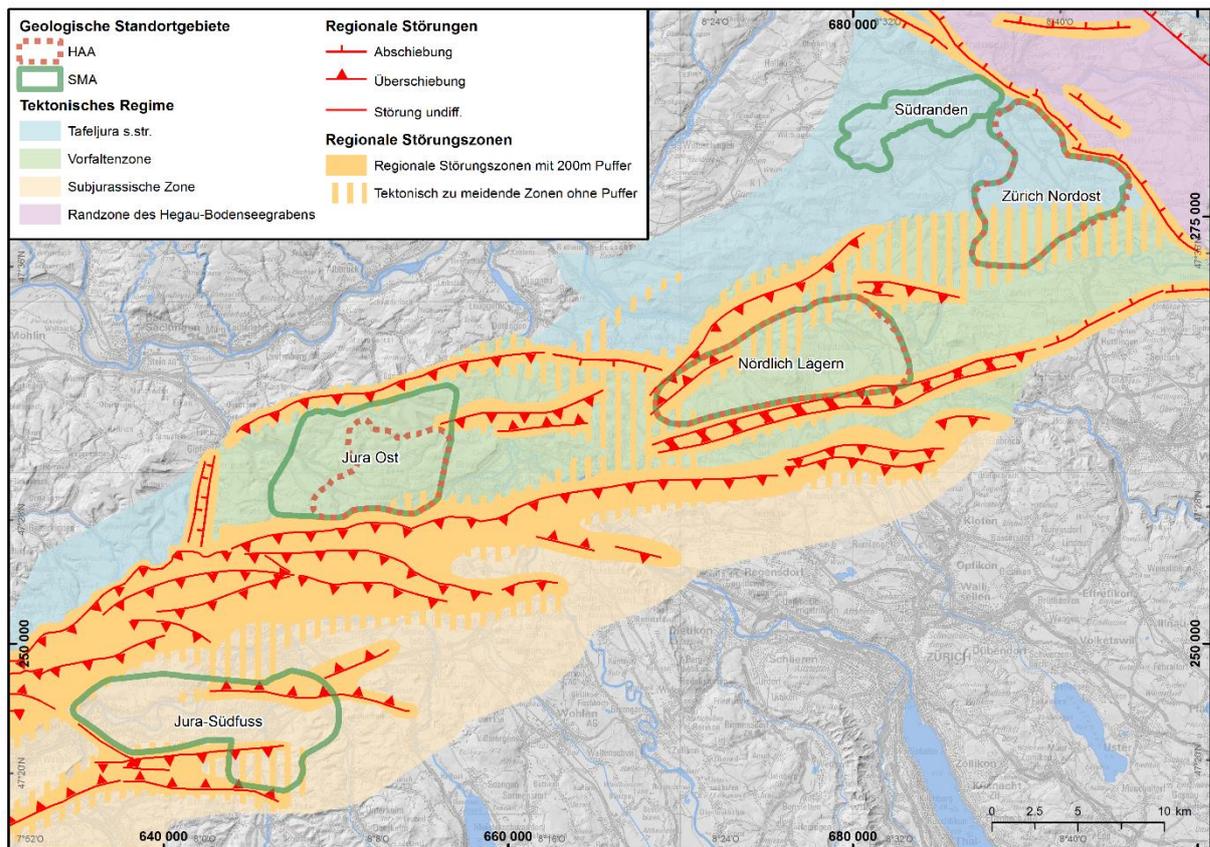


Abbildung 2: Übersicht über die regionalen Störungszonen, zu meidenden tektonischen Zonen und die Dreiteilung des tektonischen Regimes mit den fünf Standortgebieten der Nordschweiz (erstellt auf der Basis der überprüften GIS-Daten der Nagra). Hintergrund: swisstopo Swiss Map Raster 200.

Die Bewertung der verschiedenen tektonischen Regime erfolgt anhand von Abbildung 2 und ergibt bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung und des darin enthaltenen Aspekts Geodynamik und Neotektonik» für die SMA-Lagerperimeter folgendes Bild (NTB 14-01, S. 252/253):

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Referenz:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539

Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten

Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT

18.04.2017 / GEOL, TISA

- Der Tafeljura und das nordöstliche Schweizer Molassebecken mit den zwei SMA-Lagerperimetern Südranden und Zürich Nordost wurden durch den alpinen Fernschub nicht signifikant deformiert. Die Lagerperimeter sind diesbezüglich entsprechend weniger stark tektonisch überprägt. Das grundsätzlich vorstellbare Szenario einer zukünftig fortschreitenden alpinen Kollisionstektonik (bei Anhalten des alpinen Fernschubs und/oder transpressiver/kompressiver Reaktivierung des Nordschweizer Permokarbondrogs) betrifft den Tafeljura und das nordöstliche Schweizer Molassebecken vergleichsweise weniger stark; die SMA-Lagerperimeter von Südranden und Zürich Nordost werden unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Aspekt Geodynamik und Neotektonik)» als «sehr günstig» bewertet.
- Die Vorfaltenzone mit den zwei SMA-Lagerperimetern Nördlich Lägern und Jura Ost liegt bereits im Einflussbereich der alpinen Kollisionstektonik (Abbildung 2) und ist generell stärker tektonisch überprägt als der nördlich davon gelegene Tafeljura und das nordöstliche Schweizer Molassebecken. Die Lagerperimeter Nördlich Lägern und Jura Ost innerhalb der Vorfaltenzone weisen aber keine grösseren Deformationsstrukturen auf. Bei zukünftig fortschreitender alpiner Kollisionstektonik (Anhalten des alpinen Fernschubs und/oder transpressive/kompressive Reaktivierung des Nordschweizer Permokarbondrogs) könnte die Vorfaltenzone insgesamt mässig beansprucht werden. Unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren werden die SMA-Lagerperimeter Nördlich Lägern und Jura Ost bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Aspekt Geodynamik und Neotektonik)» ebenfalls als «sehr günstig» bewertet, jedoch etwas weniger günstig als die Lagerperimeter Südranden und Zürich Nordost im Tafeljura.
- Die Subjurassische Zone mit dem SMA-Lagerperimeter Jura-Südfuss wurde in Zusammenhang mit der Bildung des Faltenjuras nach Norden geschoben und vergleichsweise stark beansprucht; dementsprechend ist der SMA-Lagerperimeter Jura-Südfuss innerhalb der Subjurassischen Zone tektonisch intensiver überprägt und wird von bedeutenden regionalen Störungszonen begrenzt. Bei zukünftig fortschreitender alpiner Kollisionstektonik (Anhalten des alpinen Fernschubs und/oder transpressive/kompressive Reaktivierung des Nordschweizer Permokarbondrogs) könnte die Subjurassische Zone mässig beansprucht werden; unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren wird der SMA-Lagerperimeter Jura-Südfuss bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Aspekt Geodynamik und Neotektonik)» nur als «günstig» bewertet. Mit dieser Bewertung wird der im Vergleich zu den anderen relevanten tektonischen Regimes stärkeren tektonischen Beanspruchung der Subjurassischen Zone generell und des Lagerperimeters Jura-Südfuss besonders Rechnung getragen.
- Die Alpen mit dem SMA-Lagerperimeter Wellenberg sind durch komplexe Überschiebungen und Faltenbau charakterisiert. Dies hat im Standortgebiet Wellenberg einerseits zu einer Akkumulation von Mergel mit erheblicher Mächtigkeit und lateraler Ausdehnung geführt, andererseits haben die tektonischen Deformationen zu einer erheblichen tektonischen Überprägung geführt, welche verschiedene Wirtgesteinseigenschaften (insbesondere eine Zerschering der Kalkbankabfolgen) massgeblich beeinflusst. Die rezenten Hebungsraten und die instrumentelle und historische Seismizität zeigen eine im Vergleich zur Nordschweiz erhöhte neotektonische Aktivität. Hinzu kommt, dass aufgrund der schlechten Explorierbarkeit mit Reflexionsseismik im Unterschied zur Nordschweiz selbst grösseren reaktivierbaren Störungszonen nicht systematisch bzw. zuverlässig ausgewichen werden kann. Bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Aspekt Geodynamik und Neotektonik)» wird der Alpenraum und auch der SMA-Lagerperimeter



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Wellenberg unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren generell als «bedingt günstig» eingestuft.

Für das HAA-Lager ergibt die Bewertung bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Aspekt Geodynamik und Neotektonik)» folgendes Bild:

- Der Tafeljura und das nordöstliche Schweizer Molassebecken mit dem HAA-Lagerperimeter Zürich Nordost (Abbildung 2) wurden durch den Fernschub nicht signifikant deformiert. Der Lagerperimeter ist tektonisch nur wenig überprägt. Auch bei Anhalten des Fernschubs wird der Tafeljura sensu stricto nur wenig beansprucht; der HAA-Lagerperimeter Zürich Nordost wird unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 1 Million Jahren bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Aspekt Geodynamik und Neotektonik)» als «sehr günstig» bewertet.
- Die Vorfaltenzone mit den zwei HAA-Lagerperimetern Nördlich Lägern und Jura Ost liegt bereits im Einflussbereich der alpinen Kollisionstektonik (Abbildung 2) und ist generell stärker deformiert als der Tafeljura und das nordöstliche Schweizer Molassebecken. Die Lagerperimeter innerhalb der Vorfaltenzone weisen aber keine grösseren Deformationsstrukturen auf. Bei zukünftig fortschreitender alpiner Kollisionstektonik (Anhalten des alpinen Fernschubs und/oder transpressiver/kompressiver Reaktivierung des Nordschweizer Permokarbondrogs) könnte die Vorfaltenzone insgesamt mässig beansprucht werden; unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 1 Million Jahren werden die HAA-Lagerperimeter Nördlich Lägern und Jura Ost bezüglich des Indikators «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Aspekt Geodynamik und Neotektonik)» jedoch immer noch als «günstig» bewertet.

Auf eine Darstellung der Bewertungen der Nagra bezüglich des Aspekts «weitere Prozesse», der auch die Möglichkeit der Bildung einer Durchbruchsrinne berücksichtigt, wird hier verzichtet. Der Grund dafür wird im Folgenden in der Beurteilung des ENSI erläutert. Damit sind die oben von der Nagra formulierten Bewertungen für den Vergleich mit der Bewertung des ENSI relevant.

Beurteilung des ENSI

Im Unterschied zu Etappe 1 SGT (vgl. NTB 08-05, Kapitel A1.23) ergänzt die Nagra den Indikator 23 durch den Aspekt «weitere Prozesse». Dieser umfasst die Möglichkeit der Bildung einer glazialen Durchbruchsrinne innerhalb des Lagerperimeters. Das ENSI ist der Meinung, dass damit der Aspekt der glazialen Rinnenbildung doppelt in die Gesamtbewertung einfließt, da der Aspekt bereits mit dem Indikator 3, «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» abgedeckt ist. Daraus können sich Unterschiede in der qualitativen Bewertung von Indikator 23 in den Fällen ergeben, in denen die Bewertung der Nagra durch die Möglichkeit der Bildung einer Durchbruchsrinne beeinflusst ist.

Zur Beurteilung der Geodynamik hat das ENSI die Auswirkungen des alpinen Fernschubs und dessen nachweisliche Reichweite in das nördliche Alpenvorland sowie die von der Nagra aus der 2D-Seismik hergeleiteten regionalen Störungszonen und zu meidenden tektonischen Zonen betrachtet und deren Vollständigkeit auch durch swisstopo prüfen lassen (ENSI 33/470). Die Frage ist zu stellen, ob wir das gegenwärtig vorhandene Muster verstehen (z. B. die Frage nach thin-skin- oder thick-skin-Tektonik) und daraus verlässliche Voraussagen über eine potenzielle Reaktivierung der vorhandenen Systeme in den nächsten 100 000 oder 1 Mio. Jahre machen können.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

Hinsichtlich des Aspekts der Neotektonik hat das ENSI die Aussagen der Nagra auf Vollständigkeit geprüft. Dafür wurden die seismische Aktivität, die vertikalen und horizontalen Bewegungsvektoren und das Spannungsfeld in der Nordschweiz betrachtet und auch hier die Frage gestellt, ob wir das vorhandene Muster verstehen und unter welchen Voraussetzungen sich vorhandene Störungen reaktivieren würden (vgl. auch ENSI 33/470).

Die Nordschweiz ist geprägt durch eine Armut an eindeutigen Evidenzen für Neotektonik. Die Hebung bzw. die im Juragebirge weiter westlich der Standortgebiete vorhandene Senkung umfasst nur geringe Beträge und damit sind auch nur geringe Vertikalgradienten über kurze Distanzen vorhanden. Das Muster entspricht den Verhältnissen im Vorland eines nicht oder kaum aktiven Orogens. Die Seismizität in der Nordschweiz ist gering und lässt sich kaum einzelnen Störungslinien zuordnen. Eine leicht erhöhte Seismizität findet sich nordöstlich der Neuhauser Störung oder weiter westlich in Clustern im Gebiet des Faltenjuras. Die seismische Aktivität beschränkt sich auf Tiefen > 15 km. Das Spannungsfeld, hergeleitet aus Bohrlochrandausbrüchen, zeigt eine Orientierung der grössten horizontalen Spannung S_H senkrecht zum Streichen des Alpenbogens, parallel zur Richtung der Plattenkonvergenz Adria-Eurasien sowie zum Gradienten der Moho (NAB 12-05). Hauptbeiträge des rezenten Spannungsfeldes sind nach Wagner et al. (2011) die Topographie der Alpen und die Variation der Moho (grosräumige Dichtekontraste) und zu einem geringeren Anteil die remanenten Spannungen aus der Plattenkonvergenz. Eine erhöhte Seismizität entlang der Permokarbondroggränder ist nicht nachweisbar. Damit lässt sich hinsichtlich des Aspekts der Neotektonik kein signifikanter Unterschied bei der Bewertung der fünf Standortgebiete in der Nordschweiz ableiten. Es ist mit grosser Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass in den kommenden 1 Mio. Jahre keine signifikanten Änderungen in den tektonischen Randbedingungen auftreten werden. Das bereits vorhandene Muster an Störungen wird sich also mit grosser Wahrscheinlichkeit als solches weiter entwickeln und damit ist für eine differenzierte Bewertung insbesondere der Aspekt der heutigen Geodynamik relevant.

Die Geodynamik aller Standortgebiete wird davon beeinflusst, wie sich die Alpen gegenwärtig und in den nächsten 100 000 bzw. 1 Mio. Jahren entwickeln werden. Der alpine Fernschub, der nicht nur bis zum Alpenrand reicht, sondern darüber hinaus durch Fernschub über einen triassischen Salzhorizont die Bildung des Jura-Gebirges verursacht hat, ist aufgrund eines evaporitischen Abscherhorizonts bis weit nach Norden vorgedrungen. Betrachtungen zum Abscherhorizont der Trias-Evaporite zeigen, dass die im Westen vorhandene durchgängige Salzschiefer gegen Osten nicht mehr durchgehend vorhanden ist (Büchi et al. 1965). Salz fehlt in den Bohrungen Weiach, Herdern und Siblingen (NTB 88-08; NTB 90-34; NAB 06-26). Dies entspricht dem Bild einer sich mit abnehmendem Fernschub gegen Osten komplexer auf die vorhandenen Störungssysteme verteilende Kompressionstektonik in den Standortgebieten, insbesondere beim Vergleich der beiden Standortgebiete Jura Ost und Nördlich Lägern, die beide in der Vorfaltenzone liegen.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die von der Nagra aufgestellte Dreiteilung in Tafeljura, Vorfaltenzone und subjurassische Zone (Abbildung 2) grundsätzlich sinnvoll ist und drei Stufen unterschiedlich starker tektonischer Zergliederung voneinander trennt. Diese Einteilung wird gestützt durch die 2D-seismischen Resultate (NAB 13-10; NAB 12-34), die im Tafeljura einen stark planaren Schichtbau andeuten, wohingegen die Vorfaltenzone im Norden und Süden jeweils von regionalen Störungszonen (Ränder des Permokarbondrogs) begrenzt und im zentralen Bereich durch einzelne regionale Störungszonen und zu meidende tektonische Zonen geprägt ist. Dabei ist aus Sicht des ENSI und seiner Experten durchaus auch eine detailliertere Bewertung möglich, die berücksichtigt, dass das Standortgebiet Nördlich Lägern mehr als das Standortgebiet Jura Ost von kleineren Strukturelementen gekennzeichnet ist (ENSI 33/469; ENSI 33/470). Für das Standortgebiet Jura Ost könnte aus Sicht des ENSI das Westende der Siggenthal-Antiklinale, welches nur grobmaschig durch die vorhandene 2D-Seismik erfasst ist, eine



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

weitere zu meidende tektonische Zone ergeben, die vom Ostrand in das Standortgebiet hineinragen und zu einem modifizierten Verlauf der Zugangsrampe von Norden her führen könnte. Die weitere Abklärung muss hier die Resultate der bereits aufgenommenen 3D-seismischen Messungen in Jura Ost abwarten.

Im Quervergleich der SMA-Standortgebiete werden auch ENSI-seitig die beiden Standortgebiete Südranden und Zürich Nordost als «sehr günstig» bewertet. Es ist zu beachten, dass sich auch in diesen Gebieten Anzeichen tektonischer Komplikationen finden. Insbesondere auf der Basis der erhöhten Dichtendichte der früheren 3D-Seismik, die grössere Teile des heutigen Standortgebiets Zürich Nordost abdeckt, sind mehrere Zonen mit leicht erhöhter tektonischer Zergliederung erkannt worden (NTB 00-03). Eine sorgfältige 3D-seismische Erkundung der verbleibenden Standortgebiete in Etappe 3 SGT ist daher unumgänglich für einen Vergleich in Etappe 3 SGT. Im Vergleich zu den anderen Nordschweizer SMA-Standortgebieten zeigen aber Südranden und Zürich Nordost die geringste Dichte an kleineren Störungen und es finden sich grundsätzlich keine zu meidenden tektonischen Zonen, mit Ausnahme des Südens des Standortgebietes Zürich Nordost, der den Rand des Gebiets unter Fernschub bildet und mit dem Südrand des Kristallinhorsts von Benken zusammenfällt.

Die Standortgebiete Jura Ost und Nördlich Lägern liegen beide in der Vorfaltenzone (Abbildung 2), sind nördlich und südlich begrenzt durch regionale Störungszonen, aber auch von randlich eingrenzenden zu meidenden tektonischen Zonen. Für Nördlich Lägern zeigt die grössere Verbreitung der zu meidenden tektonischen Zonen und die grössere Anzahl kleinerer tektonischer Komplikationen (auf Basis des 2D-seismischen Liniengitters), dass die tektonische Situation unruhiger als in Jura Ost ist. Allerdings ist die Datenlage bzgl. der Störungsdichte im Moment sehr beschränkt (vgl. NAB 14-88) und damit der Unterschied nicht signifikant. Das ENSI beurteilt die beiden Standortgebiete wie die Nagra als «sehr günstig», da sie beide zwar eine leicht erhöhte tektonische Überprägung anzeigen, aber auch grössere Bereiche mit ungestörten Lagerungsverhältnissen aufweisen. Diese Beurteilung stützt sich nicht zuletzt darauf, dass das mesozoische Schichtpaket in beiden Standortgebieten bereits um einen Betrag von wenigen hundert Metern nach Norden transportiert worden ist, aber eine Reaktivierung der vorhandenen Störungszonen bzw. die Bildung einer neuen Störungszone über den Betrachtungszeitraum von 100 000 Jahren wenig wahrscheinlich ist. Die Frage, ob neben den evaporitischen Trias-Schichten weitere inkompetente Horizonte (darunter auch der Opalinuston selbst, vgl. NAB 14-105 und ENSI 33/470) eine Rolle als Abscherhorizonte gespielt haben könnten, ist gegenwärtig kaum geklärt und sollte im Rahmen der für Etappe 3 SGT vorgesehenen Bohrungen in den verbleibenden Standortgebieten vertieft geprüft werden.

Das SMA-Standortgebiet Jura-Südfuss liegt in der subjurassischen Zone (Abbildung 2). Aufgrund der 2D-seismischen Erhebungen der Nagra sind neue regionale Störungszonen eingeführt worden (einschliesslich anschliessender zu meidender tektonischer Zonen) und die östliche Fortsetzung der Born-Engelberg-Antiklinale ist grossflächig durch eine zu meidende tektonische Zone charakterisiert. Der Versatz entlang des Abscherhorizonts dürfte mehrere hundert Meter betragen und die seismischen Datensätze zeigen diverse Stellen unruhig durchlaufender Horizonte (vgl. dazu auch Diskussion im NAB 14-105). Damit kommt auch das ENSI zu einer «bedingt günstigen» Bewertung für das Standortgebiet Jura-Südfuss.

Das SMA-Standortgebiet Wellenberg liegt in einem Gebiet erhöhter vertikaler und horizontaler Bewegungen bzw. Bewegungsgradienten und erhöhter Seismizität (NAB 14-26). Eine genauere Zuordnung der Erdbeben zu geologischen Strukturen ist nicht möglich. In die oberflächennahen Gesteine eindringende Regenwässer können unter besonderen Rahmenbedingungen zu Erdbebenaktivität mit kleinen Magnituden führen, welche den Einfluss einsickernder Fluids bei vorhandenen Spannungen im Unter-



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

grund anzeigen (Husen et al. 2007). Der nördliche Alpenrand ist gegenwärtig ein Ort erhöhter Kompression (Delacou et al. 2004) aber auch Extension, wie die Herdflächenlösungen gemessener Erdbeben zeigen (NAB 14-26). Selbst unter der Annahme einer abebbenden Gebirgsbildung in den Alpen ist damit zu rechnen, dass die seismische und tektonische Aktivität weiter anhält und damit auch der Geodynamik und Neotektonik im Standortgebiet Wellenberg eine erhöhte Relevanz zuordnen. Das Hebungsmuster ist schon diverse Millionen Jahre alt und wird dasselbe über die kommenden 100 000 Jahre bleiben. Das ENSI bewertet daher den Indikator im Einklang mit der Nagra als «bedingt günstig».

Im Unterschied zur Bewertung der SMA-Standortgebiete ist bei der Bewertung der HAA-Standortgebiete zu berücksichtigen, dass der Betrachtungszeitraum zehnmal länger ist und daher Unterschiede in der tektonischen Aktivität langfristig stärker zu gewichten sind. Das ENSI sieht für das Standortgebiet Zürich Nordost dennoch eine «sehr günstige» Bewertung vor, da davon auszugehen ist, dass die sehr günstigen Randbedingungen (Abbildung 2) bzgl. Geodynamik und Neotektonik (deren Spuren über viele Millionen Jahre in die Vergangenheit reichen) auch über die kommenden eine Million Jahre wenig zusätzliche tektonische Zergliederung verursachen werden.

Die in der Vorfaltenzone liegenden HAA-Standortgebiete Nördlich Lägern und Jura Ost sind auf einen Betrachtungszeitraum von einer Million Jahre kritischer zu betrachten, da grundsätzlich im gegenwärtigen Spannungsfeld die vorhandenen regionalen Störungen reaktiviert werden können (ENSI 33/470). Dabei wird der Grad der möglichen Reaktivierbarkeit und der zusätzlichen tektonischen Komplexierung vor allem an dem vorhandenen tektonischen Muster festgemacht. In diesem Sinne ist die Situation im Standortgebiet Nördlich Lägern über die nächsten 1 Million Jahre durchaus auch etwas kritischer zu betrachten als im Standortgebiet Jura Ost. Das ENSI bewertet aber beide als grundsätzlich «günstig», weil der Grad der zusätzlichen tektonischen Komplexierung im Standortgebiet Nördlich Lägern keine zusätzlich tiefere Stufe der Bewertung rechtfertigt und die Unterschiede noch im Bereich der Ungewissheiten liegen. Die Auswertung der 3D-seismischen Erhebungen für Etappe 3 SGT wird hier wichtige Datensätze liefern.

2.1.2 I24 «Seismizität»

Angaben der Nagra

Die instrumentell und historisch dokumentierte Seismizität der Schweiz zeigt sowohl in der Nordostschweiz als auch in der Zentralschweiz eine im Vergleich zu den seismisch aktivsten Schweizer Regionen Wallis, Basel, Graubünden und Churer Rheintal geringere Seismizität. Die Seismizität in der Region Wellenberg ist höher als in der Nordschweiz. Generell liegen die Erdbebenherde im Mittelland in Tiefen von bis zu 30 km und werden im Bereich der Alpenfront gegen Süden un tiefer, wobei die Bebenaktivität zunimmt. Trotz geringerer Erdbebenaktivität gibt es auch im Molassebecken und Faltenjura un tiefe Erdbeben, welche möglicherweise im Deckgebirge stattgefunden haben. Eine Zuordnung der Erdbeben auf Störungszonen ist aufgrund der Ungewissheiten bei der Lokalisierung der Erdbebenherde und der Störungszonen selten machbar (NTB 14-02-III, Kapitel 3.6).

Für die Beurteilung der Erdbebengefährdung müssen neben den instrumentellen und historischen Erdbebendaten Annahmen über die räumliche Verteilung und Magnituden-Häufigkeitsverteilung von Erdbeben gemacht werden. Die Meinung der Experten zur Verteilung der zukünftigen Seismizität variiert stark und die Grenzen der seismotektonischen Zonen sind nicht eindeutig definiert. Dies spricht gegen eine feine Abstufung der Bewertung des Indikators «Seismizität» im Rahmen des sicherheitstechnischen Vergleichs für Etappe 2 SGT (NTB 14-02-III, Kapitel 3.6). Das geologische Standortgebiet Wellenberg liegt als einziges der in Etappe 2 SGT untersuchten Gebiete im nördlichen Alpenrand. Diese Region wies im Vergleich zur Nordschweiz in den letzten ca. 1000 Jahren eine höhere Seismizität auf,



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

insbesondere wenn man die für die vorliegende Fragestellung relevanteren Erdbeben mit einer Herdtiefe < 15 km betrachtet. Der Übergang zwischen dem Bereich der tiefen Erdbeben in der Nordschweiz und der weniger tiefen unter den Alpen erfolgt recht abrupt in der Gegend des Vierwaldstättersees, also an der Grenze zwischen Subalpiner Molasse und Helvetischen Decken. Zudem liegt die Zentralschweiz in einer Zone mit gegen Norden relativ stark abnehmenden Hebungsraten (NAB 14-21). Aufgrund der im Vergleich zur Nordschweiz höheren Seismizität, der geringeren Herdtiefen und der relativ starken Hebungsraten ist eine schlechtere Bewertung für das Standortgebiet Wellenberg gegenüber den Nordostschweizer Gebieten gerechtfertigt.

Das Bewertungsobjekt EG für den Indikator 24, «Seismizität», bezieht sich auf die geologische Situation in und um den Lagerperimeter. Der Indikator 24 wird für alle HAA-Lagerperimeter und für die Nordschweizer SMA-Lagerperimeter als «günstig» und für den SMA-WLB-MGL als «bedingt günstig» bewertet (NTB 14-01).

Beurteilung des ENSI

Aufgrund der potenziellen Auswirkung von Erdbeben auf die Barrierenwirkung des einschliesswirksamen Gebirgsbereichs erachtet das ENSI den Indikator 24, «Seismizität», als sicherheitstechnisch wichtig und damit entscheidend relevant. Das ENSI erachtet die Bewertung des Indikators 24 durch die Nagra anhand der geologisch-tektonischen Grossräume in der Schweiz und der beobachteten Seismizität sowie Hebungsraten als nachvollziehbar und stufengerecht und ist mit dem von der Nagra gewählten Bewertungsobjekt einverstanden. Die Einteilung anhand der geologisch-tektonischen Grossräume stimmt mit den Ergebnissen der aktuellsten Erdbebengefährdungsstudien, z. B. dem Erdbebengefährdungsmodell der Schweiz (Wiemer et al. 2016) und den Ergebnissen des PEGASOS Refinement Project (swissnuclear 2013), überein.

Das ENSI schliesst sich dem Urteil der EGT an (ENSI 33/469), wonach die relative Bewertung des Indikators «Seismizität» innerhalb der SMA-Standorte sinnvoll ist, weil sich der Wellenberg sowohl durch eine höhere Seismizität als auch durch eine geringere Tiefenlage der instrumentell beobachteten Beben auszeichnet. Aufgrund des unterschiedlichen Betrachtungszeitraums erachtet das ENSI eine Differenzierung der Bewertung für SMA- und HAA-Standortgebiete in der Nordschweiz (Bewertung von 3,7 für SMA vs. 3,5 für HAA-Lager) unter Berücksichtigung der vorliegenden Bewertungsskala grundsätzlich als nachvollziehbar, es verzichtet jedoch auf eine Feinabstufung bei seiner Bewertung (ENSI 33/540, Kapitel 4). Die vorliegende Datenlage erlaubt keine weiter differenzierende Bewertung innerhalb der Standortgebiete (SMA und HAA) der Nordschweiz.

Die tiefere Bewertung für das Standortgebiet Wellenberg (SMA-Lager) auf Basis der geologisch-tektonischen Grossräume und des historischen und gemessenen Erdbebeninventars wird nach Ansicht des ENSI mittels der Betrachtung unterschiedlicher Datensätze zusätzlich untermauert. Mit dem Bericht NAB 14-26 ist die Nagra der Forderung 11 aus ENSI 33/115 nachgekommen und hat für das Standortgebiet Wellenberg die aktuellsten Daten zur Hebung, zur Seismizität und zur Neotektonik erfasst und diskutiert. Nach Ansicht des ENSI ergeben die geodätischen Messungen, die Analyse der Spannungszustände und die Interpretation der geologischen Profile sowie die geologische Entwicklungsgeschichte ein schlüssiges Bild zur Seismotektonik im Standortgebiet Wellenberg. Daraus lässt sich auch die erhöhte instrumentell und historisch erfasste Seismizität erklären. Die Ergebnisse zum Standortgebiet Wellenberg werden ebenfalls durch weitere unabhängige Experten bestätigt (Mosar 2010; Jentzsch 2014).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Das ENSI stimmt der relativen Einschätzung durch die Nagra zu, die Standortgebiete in der Nordschweiz mit «günstig» und das Standortgebiet Wellenberg mit «bedingt günstig» zu bewerten. Diese Abstufung bleibt auch bei alternativer Interpretation der vorliegenden Daten bestehen. Im Rahmen der Etappe 3 SGT ist es sinnvoll, u. a. unter Einbezug von neu erfassten Daten aus Schwachbeben-Netzen eine differenziertere Bewertung der Standortgebiete durchzuführen und entsprechende Auswirkungen von Erdbeben auf die Anlagen eines geologischen Tiefenlagers abzuschätzen und bei der zukünftigen Planung der Anlagenteile entsprechend zu berücksichtigen.

2.1.3 I27 «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)»

Angaben der Nagra

Der Indikator 27, «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)» ist entscheidend relevant, er wird von der Nagra bei der Auswahl prioritärer Wirtgesteine auf das Wirtgestein angewendet sowie bei der Identifikation eindeutiger Nachteile auf das Wirtgestein innerhalb des Lagerperimeters. Die Bewertung des Indikators erfolgt bei der Nagra immer bezogen auf das Wirtgestein und bleibt die gleiche, unabhängig vom Standortgebiet und Lagertyp. Daher werden im Folgenden nur die Angaben der Nagra zu den vier Wirtgesteinen wiedergegeben und keine Lagertyp- oder Standortgebiet-spezifischen Angaben gemacht.

Infolge des geringen Karbonatgehalts des Opalinustons und der Abwesenheit karbonatreicher Schichten sind Karsterscheinungen, d. h. die Bildung neuer Wasserwegsamkeiten infolge Karbonatlösung, ausgeschlossen. Der Indikator «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)» wird daher als «sehr günstig» bewertet.

Eine Bildung neuer Wasserwegsamkeiten durch Verkarstung ist in der Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' nicht bekannt und aufgrund des lithologischen Gesamtaufbaus und der mineralogischen Zusammensetzung insbesondere in den tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' auch nicht zu erwarten. Der Indikator «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)» wird daher mit «sehr günstig» bewertet.

Die für die Bewertung massgebenden Kalkbankabfolgen in den Effinger Schichten haben ein nicht vernachlässigbares Potenzial zur Verkarstung (rezenter Karst vor allem im Faltenjura, hypogener Karst im Gebiet des Jura-Südfuss wegen der Möglichkeit der Mischung von Tiefengrundwässern mit unterschiedlicher Chemie). Im geologischen Standortgebiet Jura-Südfuss ist die Bildung neuer Wasserwegsamkeiten in den Effinger Schichten durch Verkarstung zwar wenig wahrscheinlich, unter Berücksichtigung des hypogenen Karsts jedoch nicht auszuschliessen. Deshalb wird der Indikator «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)» als «bedingt günstig» eingestuft.

Von besonderer Bedeutung für die Langzeitstabilität ist die Beständigkeit der Wirtgesteinseigenschaften über lange Zeiträume, insbesondere die Verkarstungsfähigkeit des Wirtgesteins. Aus den Mergel-Formationen des Helvetikums sind keine Hinweise bekannt, dass durch Lösungsvorgänge neue Flusswege entstanden sind, trotz teilweise grosser hydraulischer Gradienten. Dies hängt damit zusammen, dass die Kalkbänke und Kalkbankabfolgen im Allgemeinen so stark tektonisch verfaltet und zerschert sind, dass sich darin kein kontinuierlicher Fließpfad entwickeln kann. Der Indikator «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten (Verkarstung)» wird daher mit «sehr günstig» bewertet.

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Referenz:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539

Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten

Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT

18.04.2017 / GEOL, TISA

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat sich, auch aufgrund des Einflusses von Verkarstungsprozessen auf die Sicherheit in den Zugangsbauwerken zu einem geologischen Tiefenlager (ENSI 33/540, Kapitel 2.9), intensiv mit dem Thema der Verkarstung auseinandergesetzt (ENSI 33/472). Damit sich in einer Gesteinsformation ein Karstsystem entwickeln kann, muss das Gestein bezüglich Wasser eine gewisse Löslichkeit aufweisen. Diese Bedingung ist vor allem bei Karbonatgesteinen (Kalkstein, Dolomit) sowie Evaporiten (Gips, Anhydrit, Steinsalz) erfüllt (ASTRA 2012). In der wissenschaftlichen Literatur werden betreffend Karst drei Typen der Verkarstung unterschieden: epigener, hypogener und Mischwasser «mixing zone»-Karst:

- Die epigene Verkarstung erfolgt unter Einwirkung von meteorischem Wasser, welches mehr oder weniger mit biogenem CO₂ angereichert ist. Sie betrifft hauptsächlich Gesteine, welche heute abgeschlossen sind oder in der Vergangenheit einen Aufschluss an der Erdoberfläche bildeten. Die Karstsysteme entwickeln sich als Entwässerungsnetz mit Hauptleiter und Zuflüssen bis zu einem Austrittspunkt. Es handelt sich dabei um ein selbstregulierendes unterirdisches Entwässerungssystem, das die Abflusskapazität durch Lösung des Umgebungsgesteins anpasst. Mit Ausnahme der Regionen, in welchen der Hauptwasserspiegel im Verlauf der geologischen Entwicklung angehoben wurde, entwickelte sich dieser Karst-Typ nur in geringem Mass unter dem heutigen Quellniveau. Epigener Karst ist vorwiegend durch die Eigenschaften und Veränderungen der Landoberfläche bedingt, insbesondere durch die Lage der Grundwasserbildungszone und des Vorfluters.
- Die hypogene Verkarstung beruht auf der Auflösung von Karbonatgesteinen durch aus der Tiefe diffus aufsteigende Wässer, welche entlang von Diskontinuitäten durch hydraulische Gradienten und erhöhte Temperatur bewegt werden. Tiefenwässer können reich an CO₂ oder H₂S sein. Dieser Typ von Verkarstung ist praktisch unabhängig von der oberflächlichen Neubildung des Grundwassers und entwickelt sich oft in Zonen gespannten Grundwassers unter der Basis der epigenen Verkarstung. Im Gegensatz zur epigenen Verkarstung weist der hypogene Karst kein hierarchisches Entwässerungssystem mit Hauptleiter und Zuflüssen von höheren Lagen in Richtung eines Ausflusses auf. Vielmehr handelt es sich um labyrinthartige Strukturen mit hoher Röhrendichte und starker Verzweigung. Der hypogene Karst ist durch die Eigenschaften des tieferen Untergrundes (Vorhandensein von Gas- oder Wärmequellen) definiert.
- Der «mixing zone»-Karst entsteht in Gebieten, in denen es zur Mischung von Süsswasser epigener Herkunft mit Salzwasser kommt. Das Mischfluid ist aggressiv im Hinblick auf die Kalklösung und erzeugt deshalb Karsthohlräume. Dieser Karst-Typ ist an Küsten gebunden, wo in verkarstungsfähigem Gestein ein Salzwasserkörper mit meteorischen Grundwässern in Kontakt kommt.

Karst kann mittels dreier Prozesse, die teilweise miteinander verknüpft sind, die Langzeitsicherheit eines geologischen Tiefenlagers beeinträchtigen:

- Durch Verkarstung können erweiterte Wasserfliesswege vorliegen und effizienter als angenommen Fluid transportieren (Karströhrenbildung, insbesondere im Malm oder Muschelkalk zu erwarten).
- Durch Verkarstung können unterhalb des Opalinuston grosse Hohlräume vorhanden sein oder entstehen (hypogener Karst im Muschelkalk) und Einsturztrichter auf das Niveau des Lagers durchschlagen.
- Durch Verkarstung können sich während des Beobachtungszeitraums die hydrogeologischen Bedingungen im Umfeld des Lagers verändern.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Das ENSI stellt fest, dass sich die Thematik der Verkarstung (mit einer Darstellung der verschiedenen Prozesse, die zur Verkarstung führen und sich aus einer Verkarstung heraus ergeben können) von der Nagra stark auf das Potenzial der Verkarstung durch den Karbonatgehalt im Wirtgestein beschränkt. Das ENSI ist mit der Nagra einig, dass sich eine rudimentäre Einteilung bei der Bewertung der verschiedenen Wirtgesteine aus den darin vorhandenen potenziell löslichen Mineralphasen (Karbonate, Evaporite) und der Verteilung der löslichen Minerale im Gestein ergibt. Das ENSI ist mit dem Bewertungsobjekt des Wirtgesteins einverstanden. Die Thematik ist jedoch bei der Datenerhebung und Datenverknüpfung (insbesondere durch Verknüpfung zwischen hydrogeologischen und hydrochemischen Daten) für Etappe 3 SGT in grösserer Breite anzugehen. Die Dynamik einer langfristigen Verkarstung dürfte zusätzlich abhängig vom relevanten Tiefenfenster (Wasserdruck und davon abhängige Löslichkeiten) sowie der Länge des Betrachtungszeitraums sein, da längere Zeiträume auch ein grösseres Spektrum an potenziellen Entwicklungen zulassen. Dies muss nicht nur das Wirtgestein direkt betreffen, sondern kann auch die hydraulischen Potenziale in der näheren Umgebung verändern und langfristig den hydraulischen Gradienten auf Lagerebene beeinflussen. Daher ist aus Sicht des ENSI die Bewertung bei einem HAA-Lagerperimeter mit vorhandenem Verkarstungspotenzial tendenziell als weniger günstig anzunehmen als bei einem SMA-Lagerperimeter, auch wenn es sich um das gleiche Wirtgestein (mit den gleichen Rahmengesteinen und der gleichen geologischen Situation) handelt.

Das ENSI verweist darauf, dass die Nagra bei der Betrachtung der Wirtgesteine erhöhtes Gewicht darauf gelegt hat, inwiefern ein Prozess potenziell eintreffen kann und ob ein Eintreffen ausgeschlossen werden kann (beispielsweise bei der Frage der Wasserführung von Sandkalkabfolgen in den Wirtgesteinen 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten). Ein solches Vorgehen ist sicherheitsgerichtet und reduziert die Risiken einer langfristigen Fehleinschätzung. Gleiches gilt aus Sicht des ENSI auch beim Risiko einer langfristigen Verkarstung, insbesondere wenn bei den kalkreichen Schichten nicht ausgeschlossen werden kann, dass eine Wasserführung vorhanden sein (oder sich langfristig ausbilden) könnte. Darüber hinaus müssen im Sinne von Betrachtungen zur Bildung eines hypogenen Karsts die potenziell verkarstbaren Anteile der Gesteine auch aus dem Blickwinkel aufsteigender Tiefenwässer betrachtet werden, d. h. es ist zur Beurteilung eine Verbindung zwischen Verkarstungspotenzial aufgrund Karbonatgehaltes mit dem Vorkommen von Wärmeanomalien (NTB 14-02-VII, Fig. 4.3-1) herzustellen. Hieraus sind mittelfristig standortgebietsspezifische Betrachtungen anzustellen.

Die «sehr günstige» Bewertung des Opalinustons durch die Nagra ist aus Sicht des ENSI korrekt. Der mittlere Karbonatgehalt des Opalinustons liegt bei < 20 Gew.-% (NTB 14-02-VI). Für dieses Wirtgestein fehlen verkarstbare Einheiten fast vollständig. Idealerweise wären auch die Rahmengesteine vollständig frei von potenziell verkarstbaren Einheiten; dieser Fall ist aber für den Opalinuston nicht zutreffend. Bei einer Bewertung des Indikators bezogen auf das Wirtgestein (das ENSI ist mit diesem Bewertungsobjekt einverstanden), bleibt dieser Aspekt aber ausgenommen.

Das stratiforme Vorkommen einzelner verkarstbarer Einheiten (Sandkalkabfolgen, sandig-tonige Abschnitte) im 'Braunen Dogger' führt zu einer potenziellen Verkarstbarkeit dieses Wirtgesteins. Der mittlere Karbonatgehalt des 'Braunen Doggers' liegt bei 30 Gew.-% (NTB 14-02-VI). Die nicht ausschliessbare Wasserführung in den hydraulisch durchlässigeren kalkreicheren Schichten führt in der gleichen Logik auch zu einer nicht ausschliessbaren Verkarstbarkeit und aus Sicht des ENSI nur zu einer «günstigen» Bewertung für den 'Braunen Dogger'. Im reduzierten Betrachtungszeitraum von 100 000 Jahren geht das ENSI davon aus, dass sich das vorliegende hydrogeologische System nur wenig ändern wird.

Das stratiforme und häufige Vorkommen verkarstbarer Elemente (Kalkmergel und Kalkbankabfolgen) in den Effinger Schichten bedeutet ein erhebliches Potenzial an Verkarstbarkeit. Der mittlere Karbonatgehalt der Effinger Schichten ist > 65 Gew.-% (NTB 14-02-VI) und es ist aufgrund der Sedimentations-



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

abfolge davon auszugehen, dass zwischen Kalkbänken und Kalkmergeln eine bimodale Verteilung vorliegt (NAB 12-39, Tab. 4.9). Die nicht ausschliessbare Wasserführung der hydraulisch durchlässigeren Schichten und derer in den Kalkbankabfolgen gehäuftem Auftreten führt langfristig zu einer nicht ausschliessbaren Verkarstbarkeit und aus Sicht des ENSI zu Recht zu einer nur «bedingt günstigen» Bewertung. Innerhalb eines Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren sind die Möglichkeiten einer hypogenen Verkarstung zu beachten, da insbesondere die Geothermiebohrung Oftringen eine benachbarte Wärmeanomalie ergeben hat, die eine solche Verkarstung begünstigen könnte.

Die Argumentation der Nagra, die auf zwar verkarstbare Anteile innerhalb der Mergel-Formationen des Helvetikums hinweist, gleichzeitig aber auch deren durch die Tektonik erwirkte hydraulische Entkopplung aufführt, ist aus Sicht des ENSI richtig. Für das Standortgebiet Wellenberg haben die Untersuchungen gezeigt, dass der Wirtgesteinskörper bei grösserer Überdeckung (> 600 m) hydraulisch dicht und seit der letzten Eisüberfahrung auch dicht geblieben ist. Diese Dichtheit könnte über einen Betrachtungszeitraum von 100 000 Jahren jedoch durch weitere tektonische Bewegungen, flächenhafte und glaziale Erosion beeinträchtigt werden, sodass das ENSI das «Potenzial zur Bildung neuer Wasserwegsamkeiten» abweichend von der Nagra nur als «günstig» bewertet.

Für die drei HAA-Standortgebiete ist mit Blick auf den verlängerten Betrachtungszeitraum im Unterschied zur Bewertung der SMA-Wirtgesteine vor allem zu berücksichtigen, dass die Prognose des Einflusses aufgrund von Verkarstung schwieriger wird. Aufgrund der fast vollständig ausschliessbaren Verkarstbarkeit des Opalinustons, sind langfristig vor allem Prozesse zu betrachten, bei denen Verkarstungen in den umliegenden Gesteinen auftreten können. Das ENSI geht jedoch davon aus, dass diese nur beschränkten Einfluss auf die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers haben, da auch in den vorhandenen Rahmengesteinen die verkarstbaren Einheiten immer von tonreicheren Lagen umgeben sind. Das ENSI beurteilt daher den Opalinuston in allen drei Standortgebieten bezüglich Indikator 27 als «sehr günstig». Für die Möglichkeit einer langfristigen Verkarstung unterhalb des Lagers (z. B. im Muschelkalk) wären insbesondere Zonen aufsteigender Tiefenwässer zu beachten. Diesen wird jedoch auf Basis der regionalen Störungszonen und zu meidenden tektonischen Zonen bereits ausgewichen. Dennoch wird der Nagra empfohlen, für Etappe 3 systematisch auf Anzeiger für Tiefenkarst zu achten, z. B. auf der Basis analysierter Wassermengen, -zusammensetzungen und hydraulischen Durchlässigkeiten der bekannten und potenziellen Aquifere in den verbleibenden Standortgebieten die Wahrscheinlichkeiten von Tiefenkarst abzuschätzen.

2.2 Kriterium «Erosion»

2.2.1 I28 «Erosion im Betrachtungszeitraum»

Angaben der Nagra

Mit dem Indikator «Erosion im Betrachtungszeitraum» (I28) werden analog zu Etappe 1 SGT grossräumige Unterschiede zwischen den Standortgebieten betreffend Erosion (lineare Eintiefung und Denudation) betrachtet. Zur Beurteilung des Indikators werden die rezenten Hebungs- und die langfristigen Einschneidungs- und Denudationsraten der betroffenen Grossräume nördlicher Alpenrand und externes nördliches Alpenvorland verglichen (NTB 14-01, S. 241; NTB 14-02-III, S. 46). Eine wichtige Grundlage hierfür stellen Untersuchungen zu rezenten vertikalen Krustenbewegungen dar. Geodätische Messungen zeigen in der Schweiz Werte zwischen ca. -0,3 mm pro Jahr (Senkung) und +1,5 mm pro Jahr (Hebung) bezüglich des gewählten Referenzpunkts Laufenburg AG. Es bestehen klare grossräumige



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Unterschiede mit markant erhöhten Hebungsraten in den Alpen im Vergleich zur Nordschweiz. Geodätische Messwerte stellen zwar nur eine Momentaufnahme dar, sie sind aber kompatibel mit den allgemeinen geodynamischen Modellvorstellungen, den aus Mineralabkühlungsaltern abgeleiteten Langzeithebungsraten der Alpen der letzten 10 Millionen Jahre und den mit Hilfe von kosmogenen Nukliden in rezenten Flussablagerungen bestimmten grossräumigen Erosionsraten der letzten 500 bis 10 000 Jahre (NTB 14-01, S. 241). Vertiefte Unterlagen zur Hebung finden sich zusammengefasst im NTB 14-02-III, Kap. 4.4.2 und NAB 14-25, Kap. 5 & 6 sowie detailliert u. a. im NAB 12-33, NAB 12-34, NAB 12-35 und NAB 14-38.

Für die SMA-Lagerperimeter der Nordschweiz (SMA-SR-OPA, SMA-ZNO-OPA, SMA-ZNO-BD, SMA-NL-OPA, SMA-NL-BD, SMA-JO-OPA, SMA-JS-OPA und SMA-JS-EFF) ergibt sich bzgl. des Indikators «Erosion im Betrachtungszeitraum» die Einstufung «sehr günstig». In den Alpen (Lagerperimeter SMA-WLB-MGL) werden die Verhältnisse aufgrund der etwas grösseren Hebungs- und Erosionsraten als «günstig» eingestuft. Für die drei HAA-Lagerperimeter HAA-ZNO, HAA-NL und HAA-JO ergibt sich die Einstufung «sehr günstig» (NAB 17-01, Frage 47; NTB 14-01, S. 253ff.).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI und seine Experten haben die Angaben und Bewertungen der Nagra zum Indikator I28 «Erosion im Betrachtungszeitraum» in den Berichten NTB 14-01, NTB 14-02-III, NAB 12-35, NAB 14-25, NAB 14-38, NAB 17-01 sowie in weiteren Detaildokumenten geprüft. Basierend auf den Angaben in ENSI 33/453, EGT (2016) sowie in ENSI 33/469 kommt das ENSI zu folgender Beurteilung: Der Indikator 28 «Erosion im Betrachtungszeitraum» entspricht dem von der Nagra in Etappe 1 SGT verwendeten Indikator «Grossräumige Erosion im Betrachtungszeitraum», wie er im NTB 08-05, Kap. A1.28 definiert worden ist. Gemäss dieser Definition dient er der Beurteilung der Auswirkungen der grossräumigen flächenhaften Erosion auf die Langzeitstabilität, und berücksichtigt auch den Einfluss der Dekompaktion sowie die Freilegung des Tiefenlagers durch langfristige Hebung/Erosion. Aus Sicht des ENSI ergeben sich hieraus Überschneidungen mit den Indikatoren I2 «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion» und I3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen», welche jedoch nicht zu einer überkonservativen Bewertung der Lagerperimeter führen. Die Angaben der Nagra über die Hebung basieren weitgehend auf geodätischen Messungen relativ zum von der Nagra gewählten und seitens ENSI als richtig eingestuften Referenzpunkt in Laufenburg AG (vgl. NAB 14-38), auf Thermochronologie-Studien (Baran et al. 2014; Kuhlemann und Rahn 2013), auf Rekonstruktionen der Basisflächen verschiedener pleistozäner Sedimentkörper (z. B. NAB 12-35) sowie aus Sedimentbudget-Studien (u. a. Hinderer et al. 2013; Wittmann et al. 2007). Die Dokumentation des Indikators 28 mittels den o. g. Berichten beurteilt das ENSI als transparent und inhaltlich nachvollziehbar. Einzig die publizierten Berechnungen der Sedimentbudgets (z. B. zusammengefasst in Hinderer et al. 2013) lassen sich nicht vollständig nachvollziehen. Aus Sicht des ENSI wurden alle verfügbaren Daten über Denudationsraten, Sedimentbudgets usw. vollständig kompiliert und in einen plausiblen Gesamtkontext gestellt. Das ENSI bestätigt den von der Nagra identifizierten Trend von abnehmenden Hebungsraten mit steigender Distanz vom zentralen Alpenraum ebenso wie die ermittelten absoluten Hebungsraten von bis zu 0,3 mm pro Jahr im nördlichen Alpenvorland und bis zu 1,5 mm pro Jahr in den Alpen. Mittels geodätischer Messungen lassen sich dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen den geologischen Standortgebieten der Nordschweiz feststellen. Rückschreitende Erosion unterhalb des Rheinfalls dürfte jedoch lokal auch zu Denudationsraten führen, welche die regionalen Vorlandraten überschreiten. Dies könnte räumlich begrenzt insbesondere für die Zuflüsse des Rheins und die sich angrenzenden Hügellzonen zutreffen. Lokal auftretende höhere Raten können aber mangels vorhandener Daten zurzeit weder belegt noch ausgeschlossen werden. Diese würden nur die Abtragung



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

der lokalen Topographie betreffen und nicht zu einer regionalen Absenkung der lokalen Erosionsbasis führen.

Im geologischen Standortgebiet Wellenberg erfolgt die flächenhafte Erosion hauptsächlich durch glaziale und fluvioglaziale Prozesse während Vergletscherungen und durch grossflächige Rutschungen während der eisfreien Perioden. Die entsprechenden Szenarien sind aus Sicht des ENSI in Umfang und Wirkung abdeckend durchdacht und diskutiert (vgl. Beurteilungen des ENSI bzgl. I3 und I4).

Zusammenfassend beurteilt das ENSI die Dokumentation und Argumentation der Nagra bzgl. des Indikators 28 «Erosion im Betrachtungszeitraum» als inhaltlich nachvollziehbar und stufengerecht bzgl. des Detaillierungsgrads. Aus Sicht des ENSI konnte die Nagra mittels mehrerer, methodisch unabhängiger Untersuchungen (z. B. Thermochronologie, Sedimentbudgetstudien mittels kosmogener Nuklide, Nivellementmessungen, Korrelation von Schotterbasisflächen) übereinstimmende durchschnittliche regionale Hebungsraten plausibel ableiten. Basierend auf diesen Raten (Alpen: < 1,5 mm pro Jahr; nördliches Alpenvorland: < 0,3 mm pro Jahr) und der aus Etappe 1 SGT unveränderten Bewertungsskala (vgl. NTB 08-05, S. A1-100) beurteilt das ENSI – in Übereinstimmung mit der Bewertung der Nagra – die SMA- und HAA-Lagerperimeter in der Nordschweiz als «sehr günstig» bzgl. des Indikators I28 «Erosion im Betrachtungszeitraum». Der Lagerperimeter SMA-WLB-MGL wird aufgrund der dortigen dominanten glazialen und fluvioglazialen Prozesse trotz lokaler Hebungsraten von 0,5 bis 0,6 mm pro Jahr (NTB 96-01, S. 142; NAB 14-38, S. 10) als «günstig» beurteilt.

2.2.2 I3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen»

Angaben der Nagra

Um lokale Erosionsverhältnisse differenzierter zu berücksichtigen, wurde der in Etappe 1 SGT verwendete Indikator «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf flächenhafte Erosion» durch den Indikator 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» ersetzt (NTB 14-01, S. 48, Fussnote 40). Mit dem Indikator 3 wird einerseits die Auswirkung von neu gebildeten Tälern (Durchbruchsrinnen) beurteilt, wobei davon ausgegangen wird, dass die Topographie bis auf das Niveau der abgesenkten lokalen Erosionsbasis am Ende des Betrachtungszeitraums eingeschnitten wird. Andererseits wird mit diesem Indikator auch der Effekt von neu angelegten glazialen Übertiefungen beurteilt, welche unter die zukünftige lokale Erosionsbasis greifen. Der Indikator wurde in erster Linie eingeführt, um die Möglichkeit der Entstehung von neuen Durchbruchsrinnen und übertieften Felsrinnen besser zu berücksichtigen. Er deckt aber auch eine erhöhte Abtragung der lokalen Topographie unter alternativen Klima- und Vegetationsbedingungen ab, da die verwendeten Szenarien zur Beurteilung der zukünftigen Entwicklung der lokalen Erosionsbasis sowohl endogene (Hebung) als auch exogene Effekte (Klimawechsel oder fundamentale Veränderungen des Flussnetzes, z. B. in Zusammenhang mit Vergletscherungen) berücksichtigen (NTB 14-02-III, S. 46 f.).

Um auch nach Bildung einer Durchbruchsrinne noch eine genügende Barrierenwirkung zu haben, wird für das SMA-Lager angestrebt, dass der Top Opalinuston in den geologischen Standortgebieten Südranden und Jura-Südfuss mindestens 100 m unter der heutigen Erosionsbasis liegt (25 m Absenkung der lokalen Erosionsbasis und eine Reserve von 75 m Überdeckung des Top Opalinuston für eine glaziale Übertiefung) und in den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern 150 m unter der heutigen Erosionsbasis (25 m Absenkung der lokalen Erosionsbasis und eine Reserve von 125 m Überdeckung des Top Opalinuston für eine glaziale Übertiefung). Für das Standortgebiet Jura Ost entfällt diese Anforderung für das SMA-Lager, da dort im Betrachtungszeitraum von 100 000 Jahren die Bildung einer Durchbruchsrinne ausgeschlossen werden kann.

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Referenz:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539

Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten

Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT

18.04.2017 / GEOL, TISA

Für das HAA-Lager wird wegen der Unterschiede in der Intensität der erwarteten zukünftigen Vergletscherung zwischen den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern und dem Standortgebiet Jura Ost unterschieden: Für die Standortgebiete Zürich Nordost und Nördlich Lägern wird verlangt, dass der Top Opalinuston rund 350 m unter der heutigen Erosionsbasis liegt (pessimistische Annahme einer Absenkung der Erosionsbasis von 200 m und rund 150 m Überdeckung des Top Opalinuston für eine glaziale Übertiefung bzw. eine realistische Absenkung der Erosionsbasis von 125 m und eine Reserve von rund 225 m Überdeckung für eine glaziale Übertiefung). Für das Standortgebiet Jura Ost soll der Top Opalinuston rund 200 m unter der heutigen Erosionsbasis liegen (pessimistische Annahme einer Absenkung der Erosionsbasis von 175 m und eine Reserve von 25 m Überdeckung für eine glaziale Übertiefung bzw. eine realistische Absenkung der Erosionsbasis von 125 m und eine Reserve von 75 m Überdeckung für eine glaziale Übertiefung). Damit würde sichergestellt, dass auch am Ende des Betrachtungszeitraums eine für das jeweilige Standortgebiet angemessene glaziale Übertiefung möglich ist, bis die Oberkante des Wirtgesteins erreicht wird. Werden diese Anforderungen bzgl. Tiefe unter lokaler Erosionsbasis erfüllt, führt dies für den entsprechenden Lagerperimeter zur Bewertung als «günstig» (NTB 14-01, S. 169 f.). Die aus diesen Zielwerten resultierende Bewertungsskala für den Indikator 3 wird im NTB 14-01, Tab. 4.4-1 aufgeführt (vgl. Tabelle 10).

Die im Rahmen der Nachforderung des ENSI durchgeführte Überprüfung der verwendeten Erosions-szenarien führt nach Ansicht der Nagra zu einer Bestätigung der im NTB 14-01 verwendeten Szenarien, des dargelegten Argumentariums und der daraus abgeleiteten (Optimierungs-)Anforderungen an den Indikator 3 (NAB 16-41, S 48). Zusätzlich wurden im Rahmen der Nachforderung des ENSI vereinfachte Freisetzungs- und Dosisberechnungen durchgeführt, um die Bedeutung einer glazialen Übertiefung in den Rahmen zu stellen. Hierfür wurde angenommen, dass die Erosion von Teilen des HAA-Lagers nach 100 000 Jahren oder mehr in Zusammenhang mit dem unwahrscheinlichen Extremfall der Übertiefung einer Rinne bis auf die Lagerebene erfolgt (NAB 16-41, S. 211).

***Tabelle 10:** Bewertungsskala der Nagra des Indikators 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» für die geologischen Standortgebiete der Nordschweiz. Die Bewertungsstufen beziehen sich auf die minimale Tiefenlage der Oberkante Wirtgestein in Metern unter lokaler Erosionsbasis im Lagerperimeter. Die Bewertungsskala gilt für Situationen mit Bildung einer Durchbruchrinne. Wird keine Bildung einer Durchbruchrinne unterstellt, ergibt sich – unabhängig von der Tiefenlage – die Bewertung «sehr günstig». Inhaltlich unveränderte Angaben nach NTB 14-01, Tab. 4.4-1. *Der Bewertung des ENSI liegt im Unterschied zur Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r zugrunde.*

Lagertyp	Standortgebiet	Bewertungsstufen		
		«beding günstig»	«günstig»	«sehr günstig»
SMA	SR	$x < 100$	$100 \leq x < 150$	$x \geq 150$
	ZNO	$x < 150$	$150 \leq x < 200$	$x \geq 200$
	NL	$x < 150$	$150 \leq x < 200$	$x \geq 200$
	JO	-	-	-
	JS	$x < 100$	$100 \leq x < 150$	$x \geq 150$
HAA	ZNO*	$x < 350$	$350 \leq x < 450$	$x \geq 450$
	NL	$x < 350$	$350 \leq x < 450$	$x \geq 450$
	JO	$x < 200$	$200 \leq x < 250$	$x \geq 250$



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Ähnlich wie in der Nordschweiz spielt auch in den Alpentälern die lokale Erosionsbasis für die Erosion eine wichtige Rolle. Im Fall des Standortgebiets Wellenberg bildet das Talniveau des Engelbergertals die rezente lokale Erosionsbasis. Die gravitativen und fluviatilen Prozesse stellen sich auf dieses Niveau ein, welches seinerseits durch endogene und exogene Prozesse beeinflusst wird. In früheren Phasen der Standortsuche wurde für die Entwicklung der lokalen Erosionsbasis eine Absenkung von 125 m angenommen (vgl. NTB 93-34). Dieser Betrag wird in Anbetracht der vorhandenen Daten als plausible Annahme für die nächsten 100 000 Jahre betrachtet und für die Etappe 2 SGT übernommen. Der Westhang des Wellenbergs wird von einer grossen, tiefgründigen Rutschung (Rutschung von Altzellen) dominiert. Deren Basis liegt etwa im Bereich der glazial übertieften Felsoberfläche, d. h. ca. 60 m unter der rezenten Talsohle. Die Rutschung von Altzellen dürfte sich hauptsächlich unmittelbar nach dem Rückzug der Gletscher aus dem ausgeräumten Tal stattgefunden haben, bevor sie durch Aufschotterung wieder stabilisiert wurde. Mit ähnlichen tiefgründigen Rutschungen und einer damit zusammenhängenden Verbreiterung des Tals muss auch nach einem zukünftigen grossen Gletschervorstoss gerechnet werden. Der totale Betrag einer zukünftigen glazialen Vertiefung der Felsoberfläche im Engelbergertal ist für den Betrachtungszeitraum jedoch schwierig zu quantifizieren. Für die Beurteilung des Effekts von zukünftiger Erosion auf das Standortgebiet Wellenberg werden deshalb drei verschiedene Szenarien betrachtet mit einer glazialen Vertiefung der Felssohle des Engelbergertals um 50 m (Basisfall), 100 m und 200 m (pessimistischer Fall). Alle drei Fälle berücksichtigen neben der glazialen Vertiefung der Felssohle des Engelbergertals eine Absenkung der lokalen Erosionsbasis um 125 m (NTB 14-02-III, S. 84 ff.)

Für den Bereich des Standortgebiets Wellenberg ist die Festlegung einer lokalen Erosionsbasis wie in der Nordschweiz nicht direkt möglich. Bei der Bewertung des Indikators 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» wird deshalb nicht wie in der Nordschweiz vorgegangen sondern von der Terrainoberfläche am Ende des Betrachtungszeitraums ausgegangen und der Einfluss der Dekompaktion bewertet. Dazu wird folgende Bewertungsskala verwendet: Überdeckung in 100 000 Jahren ≥ 400 m: «sehr günstig»; $300 \text{ m} \leq x < 400$ m: «günstig»; $x < 300$ m: «bedingt günstig» (NTB 14-01, S. 288, Fussnote 175).

Für nahezu alle SMA-Lagerperimeter (SMA-ZNO-OPA, SMA-ZNO-BD, SMA-NL-OPA, SMA-NL-BD, SMA-JO-OPA, SMA-JS-OPA, SMA-JS-EFF und SMA-WLB-MGL) ergibt sich bzgl. des Indikators 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» die Bewertung «sehr günstig». Der Lagerperimeter SMA-SR-OPA wird aufgrund seiner massgebenden minimalen Tiefe des Opalinustons unter lokaler Erosionsbasis von 100 m mit «günstig» bewertet. Für die HAA-Lagerperimeter HAA-ZNO-OPA und HAA-NL-OPA ergibt sich die Bewertung «sehr günstig» und für HAA-JO-OPA «günstig». Die Konzeptualisierung ohne Bildung einer Durchbruchrinne im geologischen Standortgebiet Jura Ost wird in einem alternativen Fall (HAA-JO-aL2-r-oRi) als «sehr günstig» bewertet (NAB 17-01, Frage 47; NTB 14-01, S. 258 ff.).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI und seine Experten haben die Angaben und Bewertungen der Nagra zum Indikator 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» in den Berichten NTB 93-34, NTB 14-01, NTB 14-02-III, NAB 09-23, NAB 10-33, NAB 12-20, NAB 13-71, NAB 14-02, NAB 14-25, NAB 17-01, sowie in weiteren Dokuments geprüft. Unter Berücksichtigung der Angaben in ENSI 33/453, EGT (2016) sowie in ENSI 33/469 hält das ENSI Folgendes fest: Der in Etappe 1 SGT verwendete Indikator «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf die flächenhafte Erosion» wurde von der Nagra in Etappe 2 SGT durch den Indikator 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

die Bildung neuer Rinnen» vollständig ersetzt. Mit Hilfe dieses Indikators sollen die lokalen Erosionsverhältnisse berücksichtigt werden. Die notwendigen Grundlagen (v. a. NTB 14-02-III, NAB 12-20, NAB 14-02 und NAB 14-25) sind aus Sicht des ENSI zweckdienlich, entsprechen dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Gesuchstellung und sind nachvollziehbar dokumentiert. Die Entwicklung der Nordschweizer Landschaft wurde ab der Ablagerung der Oberen Süsswassermolasse bis zum heutigen Zeitpunkt analysiert und mit Betrachtungen zur möglichen klimatischen Entwicklung ergänzt. Die Fokussierung auf diesen Zeitraum erachtet das ENSI unter Berücksichtigung des notwendigen Betrachtungszeitraums von 1 Mio. Jahren für HAA und 100 000 Jahren für SMA als sinnvoll.

Es werden neben der zukünftigen Absenkung der lokalen Erosionsbasis auch die Bildung neuer Durchbruchsrinnen sowie neu angelegte glaziale Übertiefungen betrachtet. In Kapitel 4 des NTB 14-02-III werden hierzu Szenarien – von der Nagra als «Basisfall» und «pessimistischer Fall» bezeichnet – für die Bewertung der Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten dargelegt. Diese basieren ihrerseits auf drei Szenarien (Basisfall, optimistisches und pessimistisches Szenario) für die zukünftige Entwicklung der lokalen Erosionsbasis sowie auf Betrachtungen zur Entstehung von Durchbruchsrinnen im Zusammenhang mit Vergletscherungen und zur glazialen Tiefenerosion. Die prozessorientierten Betrachtungen der Nagra führen zu inhaltlich nachvollziehbaren Szenarien der Landschaftsentwicklung. Die Forderung des ENSI nach vergleichenden geomorphologischen Betrachtungen für die HAA-Standortgebiete (vgl. ENSI 33/115, S. 50, Forderung 10 bzw. ENSI 33/378, S. 12) ist damit vollständig erfüllt.

Quantitative Abschätzungen wie beispielsweise bzgl. der Absenkung der lokalen Erosionsbasis oder dem möglichen Tiefgang glazialer Tiefenerosion sind nach Auffassung des ENSI in ihrer Gesamtheit zwar relativ grob; in Anbetracht des heutigen Kenntnisstands, der Betrachtungszeiträume – insbesondere für HAA – sowie der prozessbedingten Ungewissheiten beurteilt das ENSI das Vorgehen der Nagra dennoch als stufengerecht.

Das ENSI teilt die Einschätzung der Nagra, dass eine Freilegung des HAA-Tiefenlagers in den geologischen Standortgebieten der Nordschweiz einer extrem unwahrscheinlichen Entwicklung des Lagersystems entspricht, jedoch bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 1 Mio. Jahren nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

Die Neuausrichtung des Indikators I3 auf das Bezugsniveau der «lokalen Erosionsbasis» bedingt eine Neuerstellung der dazugehörigen Bewertungsskala, welche im NTB 14-01, Tab. 4.4-1 dokumentiert ist. Die Bewertungsskala für die geologischen Standortgebiete der Nordschweiz baut im Kern auf vier Tiefenlagen der Oberkante Wirtgestein unter heutiger lokaler Erosionsbasis auf (vgl. Tabelle 10). Diese vier Tiefenlagen (100 m bzw. 150 m für ein SMA-Lager sowie 200 m bzw. 350 m für ein HAA-Lager) bilden die von der Nagra festgelegte Grenze zwischen den Bewertungsstufen «bedingt günstig» und «günstig». Gleichzeitig finden sie Verwendung als Anforderung bei der Abgrenzung der optimierten Lagerperimeter (ENSI 33/540, Kapitel 5.1.1). Aus Sicht des ENSI sind diese Tiefenangaben im NTB 14-01, S. 169 f. ungenügend nachvollziehbar dokumentiert bzw. stehen im Widerspruch zu den erläuternden Angaben im NTB 14-02-III, S. 66 ff. Gemäss den Präzisierungen resp. Richtigstellungen im NAB 17-01, Frage 71, setzen sich die vier Tiefenangaben standortgebietspezifisch aus den jeweiligen Beiträgen der von der Nagra als «pessimistisch» bezeichneten Szenarien bzgl. Absenkung der lokalen Erosionsbasis und zukünftiger glazialer Tiefenerosion sowie einer operativbedingten Rundung zusammen.

Das ENSI begrüsst die Berücksichtigung der als «pessimistisch» identifizierten Teilbeträge und beurteilt dieses Vorgehen als grundsätzlich sicherheitsgerichtet. Gleichzeitig beurteilt das ENSI die aus praktischen Überlegungen heraus vorgenommenen Abrundungen der Tiefenangaben für die HAA-Standortgebiete um 25 m auf 200 m u. E. für Jura Ost bzw. um 50 m auf 350 m u. E. für Zürich Nordost und



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Nördlich Lägern (Erläuterung hierzu s. NAB 17-01, Frage 71) als nicht gerechtfertigt und nicht sicherheitsgerichtet. Weiterhin kritisiert das ENSI das inhaltlich nicht nachvollziehbare Vorgehen bzgl. des SMA-Standortgebiets Jura Ost bei der Bewertung des Indikators 3: Das SMA-Standortgebiet Jura Ost wird in der Bewertungsskala der Nagra nicht berücksichtigt, da hier seitens der Nagra keine Bildung einer Durchbruchsrinne innerhalb des Betrachtungszeitraums unterstellt wird. Das Standortgebiet wird ohne weitere Betrachtungen mit «sehr günstig» bewertet (s. Tabelle 10 sowie NTB 14-01, Tab. 4.4-1 und Tab. 4.4-2). Das ENSI beurteilt dieses Vorgehen als nicht sicherheitsgerichtet und unzulässig, da die Bewertung bzgl. zukünftiger Absenkung der lokalen Erosionsbasis dabei nicht berücksichtigt wird.

Ein weiterer Kritikpunkt bzgl. der Bewertungsskala betrifft die uneinheitliche Abstufung der Bewertungsstufen für die Standortgebiete HAA-ZNO und HAA-NL im Vergleich mit HAA-JO bzw. mit den SMA-Standortgebieten. Um die nächsthöhere Bewertungsstufe zu erreichen, muss in HAA-ZNO und HAA-NL das Wirtgestein 100 m tiefer unter der lokalen Erosionsbasis liegen, wohingegen in den übrigen Standortgebieten der Nordschweiz bereits eine um 50 m grössere Tiefenlage als ausreichend betrachtet wird. Dieser Unterschied wird von der Nagra weder erwähnt noch begründet. Das ENSI kann keinen plausiblen Grund – beispielsweise aus dem Prozessverständnis heraus – erkennen, der diese unterschiedliche Bewertungssensitivität insbesondere im Vergleich mit dem Standortgebiet HAA-JO rechtfertigen würde.

Aufgrund der dargelegten Aspekte beurteilt das ENSI die von der Nagra verwendete Bewertungsskala zusammenfassend als nur teilweise nachvollziehbar hergeleitet sowie als nicht sicherheitsgerichtet und folglich als nur partiell geeignet für die Bewertung des Indikators I3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» in der Etappe 2 SGT.

Auf Basis eigener Überlegungen hat das ENSI für die qualitative Bewertung des Indikators 3 eine eigene Bewertungsskala hergeleitet (Tabelle 11). Dabei folgt das ENSI dem Vorgehen der Nagra, indem jeweils die Summe aus den Teilbeträgen bzgl. einerseits der Absenkung der lokalen Erosionsbasis und andererseits der zukünftigen glazialen Tiefenerosion zur Festlegung der Grenze zwischen den Bewertungsstufen «bedingt günstig» und «günstig» berücksichtigt wird. Die Bewertungsstufe «bedingt günstig» erfasst analog zum Vorgehen der Nagra Landschaftsentwicklungen, bei denen die Oberkante des Wirtgesteins im massgebenden Lagerperimeter für die Einengung am Ende des jeweiligen Betrachtungszeitraums freigelegt, bzw. erodiert werden würde. Bei zunehmender verbleibender Überlagerung des Wirtgesteins ergeben sich die entsprechend besseren Bewertungsstufen «günstig» bzw. «sehr günstig».

Bezüglich der zukünftigen Absenkung der lokalen Erosionsbasis übernimmt das ENSI den Betrag von 200 m (Zürich Nordost und Nördlich Lägern) bzw. 175 m (Jura Ost) aus den von der Nagra als «pessimistisch» bezeichneten Szenarien 3a bzw. 3b (NTB 14-02-III, S. 67 f.) für die HAA-Standortgebiete. Beide Szenarien basieren auf standortspezifischen Rekonstruktionen der fluviatilen Eintiefung anhand der Höhenlage der Basisflächen von quartären Schotterkörpern. Zentral hierbei ist die Altersbestimmung der Höheren und Tieferen Deckenschotter in der Nordschweiz. Die von der Nagra herangezogene Alterseinstufung basiert massgebend auf biostratigraphischen Untersuchungen der Höheren Deckenschotter des Irchel und auf Altersabschätzungen zu den Höheren und Tieferen Deckenschotter durch Kuhlemann und Rahn (2013). Neuere Forschungsarbeiten im Auftrag bzw. mit finanzieller Unterstützung des ENSI, welche zum Zeitpunkt der Gesuchstellung der Nagra noch nicht vorlagen, bestätigen die biostratigraphische Zuordnung der Deckenschotter des am Irchel in die sogenannte Säugetier-Faunenzone MN17 mit einem Alter von 2,6 bis 1,8 Millionen Jahren (Bolliger et al. 1996; ENSI 33/474). Zusätzlich ergaben physikalische Altersbestimmungen mittels kosmogener Nuklide an den Höheren Deckenschottern des Stadlerberg Ablagerungsalter von $> 1,9 \pm 0,2$ Mio. Jahren und eine über die Zeit



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

seit der Ablagerung gemittelte Eintiefungsrate von $> 0,12$ mm pro Jahr (Claude et al. 2017). Die Ablagerung der Höheren Deckenschotter bei Siglistorf konnte ebenfalls mittels kosmogener Nukliden auf $1,7 \pm 0,2$ Mio. Jahren bestimmt werden (Akçar et al. subm.; Claude 2016), was zu einer gemittelten Eintiefungsrate von $0,12$ mm pro Jahr führt. Ein ebenfalls mittels kosmogener Nuklide ermitteltes Ablagerungsalter der Höheren Deckenschotter des Irchel mit $1,7 \pm 0,2$ Ma bestätigt zum einen die oben genannte biostratigraphische Alterseinstufung, zum anderen implizieren weitere Datierungen am Irchel ($1,1 \pm 0,1$ Ma, $1,1 \pm 0,2$ Ma und $> 0,8 \pm 0,1$ Ma; Claude 2016) eine zweite, deutlich jüngere Ablagerung von Schottern auf vergleichbarem Höhenniveau. Diese neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse stehen je nach Interpretation (vgl. EGT 2016, Kapitel 3.2) nicht im Widerspruch mit den von der Nagra postulierten Erosionsszenarien bzw. verlangen nach konservativeren Betrachtungen bzgl. der zu erwartenden Absenkung der lokalen Erosionsbasis. Aufgrund der gegenwärtig geringen Anzahl absolut datierter Deckenschotter-Vorkommen, ist es jedoch aus Sicht des ENSI im Rahmen von Etappe 2 SGT nicht zweckmässig, robuste Schlussfolgerungen bzgl. der zu erwartenden Entwicklung der lokalen Erosionsbasis zu ziehen.

Aufgrund der oben diskutierten Erkenntnisse beurteilt das ENSI die von der Nagra rekonstruierte fluviatile Eintiefung von 170 m (Zürich Nordost und Nördlich Lägern) bzw. 130 m (Jura Ost) innerhalb der letzten 1 Mio. Jahre (NTB 14-02-III, S. 55 ff.) als plausibel und deren Genauigkeit als stufengerecht für Etappe 2 SGT. Das Szenario 1 («Basisfall» der Eintiefung) mit einer totalen Absenkung der lokalen Erosionsbasis von 125 m in den kommenden 1 Mio. Jahren, welches gemäss Nagra auf den durchschnittlichen Eintiefungsraten der letzten 1 bis 2 Mio. Jahre im Bereich Jura Ost und den letzten 2 Mio. Jahren im Bericht Zürich Nordost und Nördlich Lägern basiert, beurteilt das ENSI als nicht zweckmässig. Basierend auf den Rekonstruktionen der Nagra (NTB 14-02-III, S. 60) unterschätzt der «Basisfall» die zu erwartende Absenkung der lokalen Erosionsbasis. Die aus den gleichen Rekonstruktionen abgeleiteten «pessimistischen» Szenarien 3a und 3b bzw. die Annahme einer zukünftigen Absenkung der lokalen Erosionsbasis um 200 m (Zürich Nordost und Nördlich Lägern) resp. 175 m (Jura Ost) beurteilt das ENSI als im Sinne der Sicherheit konservativ abdeckend und somit als sicherheitsgerichtet. Die Annahme der Nagra, dass ein Grossteil der Erosion früh im Betrachtungszeitraum, d. h. ein Viertel der Absenkung in den ersten 100 000 Jahren erfolgt (vgl. NTB 14-02-III, S. 68, NAB 17-01, Frage 71, NAB 16-41, S. 49), wird seitens ENSI ebenfalls als sicherheitsgerichtet angesehen. Für die SMA-Standortgebiete der Nordschweiz übernimmt das ENSI daher den von der Nagra ermittelten Betrag bzgl. der Absenkung der lokalen Erosionsbasis von 50 m.

Bezüglich der zukünftigen glazialen Tiefenerosion übernimmt das ENSI die im NTB 14-02-III, S. 78. bzw. im NAB 17-01, Frage 71, dargelegten Teilbeträge von 200 m für die HAA-Standortgebiete Zürich Nordost und Nördlich Lägern nicht. Die Annahme der Nagra, dass zukünftige glaziale Übertiefungen in den nächsten 1 Million Jahre bis 200 m u. E. als «pessimistisch» betrachtet werden können, ist aus Sicht des ENSI nicht plausibel, da grössere Übertiefungsbeträge bereits heute bekannt sind. In unmittelbarer Nähe zum Standortgebiet Zürich Nordost ist mit der Aufzeitbohrung AZ-681 eine glaziale Übertiefung der Thurthal-Rinne von mindestens 250 m nachgewiesen. Die Bohrung AZ-681 hat die Felsoberfläche bei einer Endteufe von 75 m ü. M. nicht erreicht (s. NAB 14-02, S. 26 & Beilage 8), sodass eine grössere Übertiefung nicht auszuschliessen ist.

Die Argumentation der Nagra, dass sich die im Untergrund anstehenden mächtigen Kalksteine des Oberen Malms hemmend auf den Tiefgang glazialer Tiefenerosion auswirken können (vgl. NAB 16-41, S. 48), ist nach Ansicht des ENSI möglich. Die Argumentation der Nagra kann aber nicht auf erhobene Kenntnisse über den Mechanismus der glazialen Tiefenerosion in den Malmkalken abgestützt werden und wird daher als nicht ausreichend robust beurteilt. Das ENSI weist darauf hin, dass die Malmkalke



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

und die weiteren Teile des mesozoischen Schichtstapels ein generelles Einfallen nach Südosten aufweisen. Es wäre zu zeigen, dass die Malmkalke an entsprechender Stelle und in geeigneter Tiefenlage als allfälliger Erosionshemmer vorliegen (vgl. geologisches Profil der Seismiklinie 91-NO-68 im NTB 14-02-II, Beilage 4-2). Der Tiefgang der glazialen Tiefenerosion kann in Etappe 3 SGT weiter abgeklärt werden. Daher erachtet das ENSI die Verwendung von 250 m als Teilbetrag für HAA-ZNO bzgl. der Bewertungsskala des Indikators 3 als zweckmässig und stufengerecht.

Die derzeit tiefste bekannte Übertiefung im Bereich des Standortgebiets Nördlich Lägern ist mit mindestens 100 m in der Glattal-Rinne durch die Bohrung SB 5/12 bei Bülach nachgewiesen (NAB 14-02, Beilage 9). Dennoch erachtet das ENSI die Verwendung von 250 m als Teilbetrag für HAA-NL, analog zu HAA-ZNO, als sicherheitsgerichtet, da das Standortgebiet Nördlich Lägern in seinen östlichen Bereichen eine geringe Topographie aufweist (mehrheitlich unter 100 m; s. NAB 14-25, Fig. 4-5) und bezüglich der Fronten der letzten Vereisungen in etwa in gleich distaler Position liegt wie das Standortgebiet Zürich Nordost. Konservativerweise muss daher von der Annahme ausgegangen werden, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums glaziale Übertiefungen in der Grössenordnung bestehender Übertiefungen entstehen könnten.

Das geologische Standortgebiet Jura Ost weicht aufgrund seines Hochplateau-Charakters und den fehlender Anzeichen glazialer Tiefenerosion im Standortgebiet grundsätzlich von den zuvor diskutierten HAA-Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern ab. Die «pessimistische» Annahme der Nagra hinsichtlich einer zukünftigen glazialen Tiefenerosion von 50 m wird mit der bestehenden Übertiefung zwischen Gebenstorf und Stilli, östlich des Standortgebiets begründet. Die Bohrung SB1 Gebenstorf belegt dort eine Übertiefung von mindestens 76 m (NAB 14-25, S. 86 und Fig. 5-11). Nach Auffassung des ENSI ist die Einschätzung der Nagra als überkonservativ zu bewerten. Die Übertiefung Gebenstorf/Stilli befindet sich im Bereich des Aare-Durchbruchs durch den Faltenjura und schneidet sich dort in die Malmkalke ein. Gleiches gilt für die wenige Kilometer weiter südwestlich gelegene lokale Hausertal-Rinne (ENSI 33/453, S. 27 und Figur 6). Beide Rinnen queren die Malmkalke in tektonisch vorgeprägten Bereichen. Das Standortgebiet Jura Ost meidet jedoch bewusst solche Schwächezonen, sodass es aus Sicht des ENSI prozesstechnisch nicht plausibel erscheint, den Wert von 50 m auf das Standortgebiet zu übertragen. Das HAA-Standortgebiet Jura Ost weist grösstenteils eine Topographie zwischen 100 bis 400 m über Erosionsbasis auf (NAB 14-25, Fig. 6-10) und wurde nach aktuellem Kenntnisstand während der Möhlin-Eiszeit (vermutlich zwischen 780 000 und 320 000 Jahren) wahrscheinlich vollständig und während der Beringen-Eiszeit (vor ca. 185 000 bis 130 000 Jahren) teilweise von Eis überfahren. Die letzte Eiszeit, die Birrfeld-Eiszeit vor ca. 115 000 bis 11 500 Jahren, erreichte das Standortgebiet Jura Ost nicht.

Das ENSI stimmt mit der Nagra überein, dass für ein SMA-Lager innerhalb des Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren nicht von der Bildung einer Durchbruchsrinne ausgegangen werden muss, und für ein HAA-Lager innerhalb des Betrachtungszeitraums von 1 Million Jahren eine erneute substanzielle Eisbedeckung unwahrscheinlich, aber im Sinne der Konservativität nicht auszuschliessen ist. Bevor es zur glazialen Tiefenerosion im Gebiet kommen kann, muss aus Sicht des ENSI zuerst die bestehende Topographie durchbrochen und abgetragen werden, beispielsweise mittels einer Durchbruchsrinne bis auf das Niveau der abgesenkten Erosionsbasis. Dies setzt jedoch eine oder mehrere Eiszeiten mit Eisausdehnungen von mindestens der vorletzten Eiszeit voraus. Unter Berücksichtigung einer angenommenen strukturellen Integrität der ggf. erosionshemmenden Malmkalke sowie der weiteren Möglichkeit zur Abklärung bestehender Ungewissheiten betreffend der allfälligen Erosionsresistenz der Malmkalke, erachtet das ENSI einen Teilbetrag von 25 m bzgl. zukünftiger glazialer Tiefenerosion für HAA-JO als zweckmässig.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Betreffend der zukünftigen glazialen Tiefenerosion in den SMA-Standortgebieten stimmt das ENSI mit der Nagra überein, dass im Vergleich mit den HAA-Standortgebieten aufgrund des deutlich kürzeren Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren mit möglicherweise nur einer Vorlandvergletscherung zu rechnen ist und die Wahrscheinlichkeit einer ausgeprägten glazialen Tiefenerosion gering ist. Im «pessimistischen» Fall wird seitens der Nagra von einer zukünftigen glazialen Tiefenerosion von 50 m in SMA-SR und SMA-JS sowie von 100 m in SMA-ZNO und SMA-NL ausgegangen (NTB 14-02-III, S. 78; NAB 17-01, Frage 71). Die grundsätzliche Annahme, dass für SMA-SR und SMA-JS von einer weniger starken glazialen Tiefenerosion als für SMA-ZNO und SMA-NL ausgegangen werden kann, erachtet das ENSI mit Blick auf die jeweilige Lage der Standortgebiete relativ zur Ausdehnung des letzteiszeitlichen Maximums sowie dem geringeren Tiefgang bekannter Übertiefungen im Standortgebiet bzw. in Standortnähe als plausibel.

Den Teilbetrag für die glaziale Tiefenerosion von 100 m für SMA-ZNO und SMA-NL beurteilt das ENSI aufgrund existierender Übertiefungen innerhalb der Standortgebiete von ca. 175 m (Zürich Nordost) bzw. ca. 125 m (Nördlich Lägern) als nicht ausreichend konservativ. Unter Berücksichtigung bestehender, jedoch mittels weiterer Untersuchungen reduzierbarer Ungewissheiten bzgl. des Alters und der Entstehung dieser Übertiefungen, verwendet das ENSI einen Teilbetrag von 150 m für glaziale Tiefenerosion in den Standortgebieten SMA-ZNO und SMA-NL. Das ENSI beurteilt den Teilbetrag für glaziale Tiefenerosion von 50 m für SMA-JS, aufgrund bestehender lokaler Übertiefungen als plausibel und stufengerecht. Im geologischen Standortgebiet Südranden sind aktuell keine Bereiche mit glazialer Tiefenerosion bekannt. Die nächsten übertiefen Felsrinnen befinden sich ca. 3 km östlich des Standortgebiets zwischen Feuerthalen und Diessenhofen sowie ca. 4 km südöstlich bei Rheinau, Marthalen und Rudolfingen (Abbildung 3). Auch die Neuhauserwald-Rinne, welche das Standortgebiet Südranden quert, stellt keine glazial übertiefte Rinne dar, d. h. ihre Basis greift, soweit bekannt, nicht bis unter das Niveau der lokalen Erosionsbasis (vgl. NTB 14-01, S. 382; NTB 14-02-III, Fig. 4.4-11; NAB 17-01, Frage 73). Aufgrund der fehlenden Anzeichen glazialer Tiefenerosion im Standortgebiet und in seiner unmittelbaren Umgebung sowie des im Vergleich zu den HAA-Gebieten deutlich kürzeren Betrachtungszeitraums beurteilt das ENSI das Potenzial für zukünftige glaziale Tiefenerosion im Standortgebiet SMA-SR als äusserst gering. Unter Berücksichtigung der bestehenden Ungewissheiten bzgl. Zeitpunkt und Intensität zukünftiger Vorlandvergletscherungen kann substantielle glaziale Tiefenerosion jedoch nicht ausgeschlossen werden, sodass das ENSI – analog zur Nagra – einen Teilbetrag für glaziale Tiefenerosion von 50 m für SMA-SR in der Bewertungsskala des Indikators 3 berücksichtigt. Die Möglichkeit zu sonstigen glazialen Erosionsprozessen, insbesondere zur Bildung neuer Durchbruchsrinnen beurteilt das ENSI hingegen als grundsätzlich gegeben, da sich das Standortgebiet Südranden in direkter Fliessrichtung der Bodenseelobe des Rheingletschers sowie im potenziellen Einflussbereich der Thurlobe des Rheingletschers befindet (Abbildung 3). Diese Prozesse wirken jedoch ausschliesslich oberhalb der lokalen Erosionsbasis und werden nach Ansicht des ENSI adäquat durch den Teilbetrag zur Absenkung der lokalen Erosionsbasis von 50 m (s. oben) abgedeckt.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

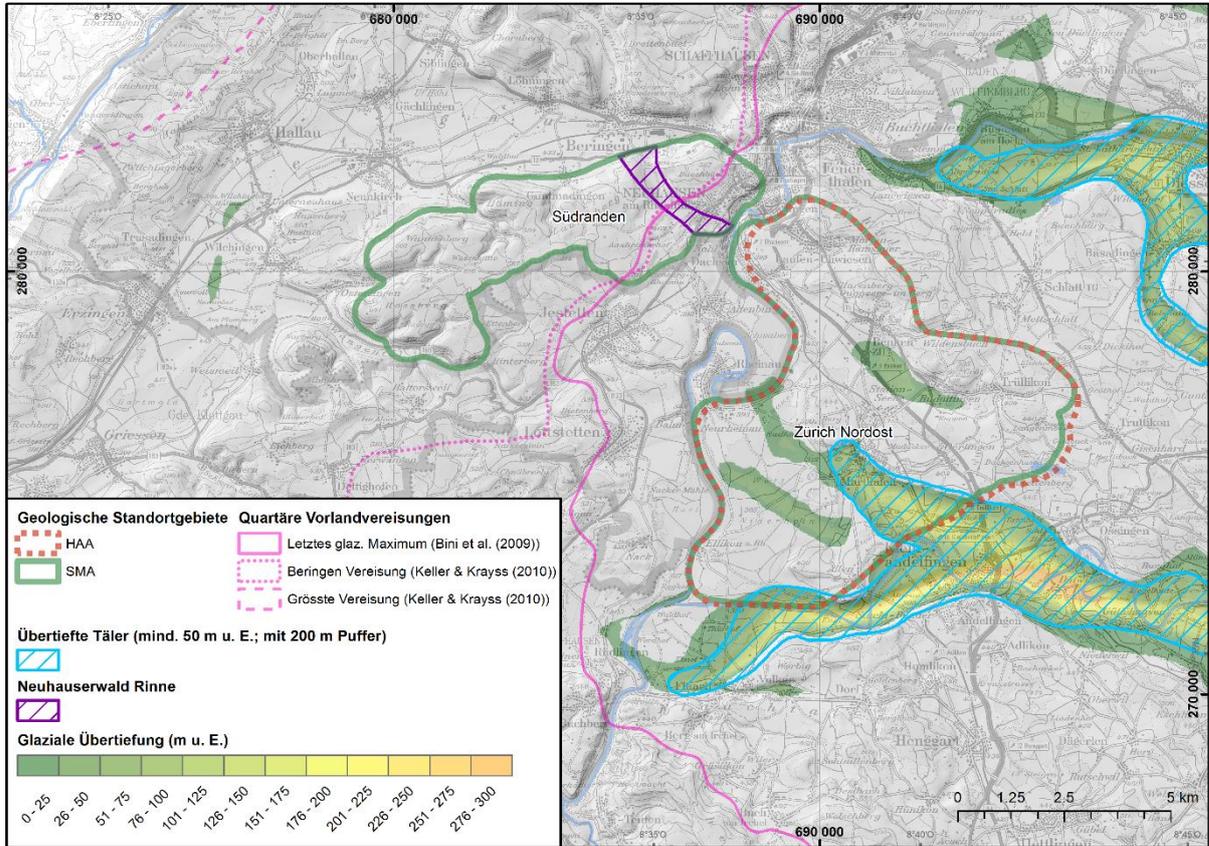


Abbildung 3: Detailausschnitt zur Situation bzgl. bestehender glazialer Tiefenerosion im Bereich der geologischen Standortgebiete Südranden und Zürich Nordost. Die graue Reliefschummerung im Hintergrund gibt das Modell der Felsoberfläche aus NAB 14-02 wieder. Blau schraffiert dargestellt sind Gebiete, welche von der Nagra als glazial übertieft angesehen werden (vgl. NTB 14-02-III, Fussnote 34). Lilafarben ist die Neuhauserwald-Rinne markiert, welche von der Nagra trotz ihrer Lage oberhalb der lokalen Erosionsbasis bei der Bewertung des Indikator 4 als glazial übertieft behandelt wird (NTB 14-01, Fussnote 155).

Zusammengefasst stellt sich die seitens des ENSI angepasste Bewertungsskala des Indikators 3 wie folgt dar:



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Referenz:
Titel:

keine
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
18.04.2017 / GEOL, TISA

Datum / Sachbearbeiter:

Tabelle 11: Angepasste Bewertungsskala des Indikators 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» für die geologischen Standortgebiete in der Nordschweiz. Die Bewertungsstufen beziehen sich auf die minimale Tiefenlage der Oberkante Wirtgestein in Meter unter heutiger lokaler Erosionsbasis im Lagerperimeter. Diese Bewertungsskala bildet die Grundlage der Lagerperimeterbewertung des ENSI. Anpassungen gegenüber der ursprünglichen Bewertungsskala der Nagra (Tabelle 10) sind in der rechten Spalte angegeben. Begründungen für die vorgenommenen Anpassungen finden sich im Text. Die Bewertung des geologischen Standortgebiets Wellenberg, resp. der drei Lagerebenen orientiert sich analog zu Etappe 1 SGT an der minimalen Tiefenlage unter Terrain und ist daher in der Tabelle nicht wiedergegeben. Die Erosionsverhältnisse im Standortgebiet werden adäquat über den Einfluss der Dekompaktion (vgl. Indikator 2 «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf die Gesteins-Dekompaktion») am Ende des Betrachtungszeitraums beurteilt.

Lagerperimeter	Bewertungsstufen			Anpassung
	«beding günstig»	«günstig»	«sehr günstig»	
SMA-SR-OPA	$x < 100$	$100 \leq x < 150$	$x \geq 150$	keine
SMA-ZNO-OPA	$x < 200$	$200 \leq x < 250$	$x \geq 250$	+ 50 m
SMA-ZNO-BD				
SMA-NL-OPA	$x < 200$	$200 \leq x < 150$	$x \geq 150$	+ 50 m
SMA-NL-BD				
SMA-JO-OPA	$x < 50$	$50 \leq x < 100$	$x \geq 100$	neu
SMA-JS-OPA	$x < 100$	$100 \leq x < 150$	$x \geq 150$	keine
SMA-JS-EFF				
HAA-ZNO-OPA	$x < 450$	$450 \leq x < 500$	$x \geq 500$	+ 100 m; 50-m-Klassen
HAA-NL-OPA	$x < 450$	$450 \leq x < 500$	$x \geq 500$	+ 100 m; 50-m-Klassen
HAA-JO-OPA	$x < 200$	$200 \leq x < 250$	$x \geq 250$	keine

Für die einzelnen Standortgebiete ergeben sich folgende Bewertungen:

- Im Lagerperimeter **SMA-SR-OPA** befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins minimal 100 m unter der lokalen Erosionsbasis, was gemäss der angepassten Bewertungsskala (Tabelle 11) der Untergrenze der Bewertungsstufe «sehr günstig» entspricht.
- Im Lagerperimeter **SMA-ZNO-OPA** befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins minimal 297 m und im Lagerperimeter **SMA-ZNO-BD** minimal 360 m unter der lokalen Erosionsbasis, was gemäss der angepassten Bewertungsskala (Tabelle 11) je der Bewertungsstufe «sehr günstig» entspricht.
- Im Lagerperimeter **SMA-NL-OPA** befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins minimal 532 m und im Lagerperimeter **SMA-NL-BD** minimal 460 m unter der lokalen Erosionsbasis, was gemäss der angepassten Bewertungsskala (Tabelle 11) je der Bewertungsstufe «sehr günstig» entspricht.
- Im Lagerperimeter **SMA-JO-OPA** befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins minimal 78 m unter der lokalen Erosionsbasis, was gemäss der angepassten Bewertungsskala (Tabelle 11) der Bewertungsstufe «günstig» entspricht.
- Im Lagerperimeter **SMA-JS-OPA** befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins minimal 288 m und im Lagerperimeter **SMA-JS-EFF** minimal 230 m unter der lokalen Erosionsbasis, was gemäss der angepassten Bewertungsskala (Tabelle 11) je der Bewertungsstufe «sehr günstig» entspricht.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

- In den Lagerperimetern **HAA-ZNO-OPA (HAA-ZNO-aL506-r)** und **HAA-JO-OPA** befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins Opalinuston minimal 451 m (450 m) bzw. 200 m unter der lokalen Erosionsbasis. Gemäss der angepassten Bewertungsskala (Tabelle 11) entspricht dies der Untergrenze der Bewertungsstufe «günstig».
- Der Lagerperimeter **HAA-NL-OPA** wird entsprechend seiner minimalen Tiefenlage von 530 m unter lokaler Erosionsbasis mit «sehr günstig» bewertet.

Im geologischen Standortgebiet Wellenberg erfolgt die Erosion hauptsächlich durch glaziale und fluvioglaziale Prozesse während den Vereisungsperioden sowie durch grossflächige Rutschungen während eisfreier Zeiten. Das ENSI teilt die Auffassung der Nagra, dass quantitative Prognosen für die zukünftige Landschaftsentwicklung bezüglich des geologischen Standortgebiets Wellenberg schwierig sind. Die neu betrachteten Erosionsszenarien von 50 m, 100 m bzw. 200 m glazialer Tiefenerosion im Engelbergertal werden zwar nicht begründet, dennoch beurteilt das ENSI die getroffenen Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Felsoberfläche, zur Absenkung der Talachse durch glaziale Tiefenerosion sowie zur damit verbundenen und durch Hangbewegungen akzentuierten Verbreiterung des Talquerschnitts als inhaltlich nachvollziehbar und angemessen. Bestehende Ungewissheiten lassen sich nach Ansicht des ENSI auch mit weiteren Untersuchungen nicht weiter zweckmässig reduzieren. Daher basiert die Beurteilung des ENSI bzgl. des Indikators 3 auf dem von der Nagra als «pessimistisch» bezeichneten Szenario, respektive dem dazugehörigen Lagerperimeter **SMA-WLB-mLE-re200**. Das Szenario wird vom ENSI als konservative Einschätzungen und somit als sicherheitsgerichtet betrachtet. Es berücksichtigt eine Tieferlegung der Erosionsbasis im Bereich des Engelbergertals um 125 m sowie zusätzlich eine Abtragung der Terrain- bzw. Felsoberfläche von 200 m innerhalb des Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren (NTB 14-02-III, Fig. 4.5-2).

Im Rahmen der Etappe 2 SGT sieht die Nagra vor, das Lager im geologischen Standortgebiet Wellenberg in drei Lagerebenen auf 540, 400 und 200 m ü. M. anzuordnen (NTB 14-01, S. 203). Da diese Niveaus im Rahmen einer späteren Optimierung bei Bedarf angepasst werden können, bezieht sich das ENSI für seine Beurteilung auf die mittlere Lagerebene auf 400 m ü. M. Die Bewertung des Indikators 3 für das Standortgebiet Wellenberg orientiert sich im Gegensatz zu den Standortgebieten der Nordschweiz nicht an der Tiefenlage der Erosionsbasis, sondern analog zur Etappe 1 SGT an der Tiefenlage der Terrainoberfläche. Gemäss NTB 14-01, S. 288, Fussnote 175 wird damit der Einfluss der Gesteinsdekompression am Ende des Betrachtungszeitraums bewertet. Aus Sicht des ENSI ist dieses abweichende Vorgehen gerechtfertigt, da die Festlegung einer zur Nordschweiz vergleichbaren Erosionsbasis kaum zweckmässig möglich ist, zumal die mit dem Indikator 3 zu bewertenden lokalen Erosionsverhältnisse durch dieses Vorgehen adäquat berücksichtigt werden. Das ENSI übernimmt folglich seine Beurteilung des Indikators 2 «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf die Gesteins-Dekompression» bzgl. des Standortgebiets Wellenberg mit «bedingt günstig» für den Indikator 3 (Details zur Bewertung des Indikators 2, siehe dort).

Zusammenfassend hält das ENSI fest, dass es anstelle der von der Nagra erarbeiteten Bewertungsskala eine modifizierte Bewertungsskala erarbeitet hat und zu teilweise abweichenden Beurteilungen der Lagerperimeter für den Indikator 3 «Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis im Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» kommt. Mit «sehr günstig» werden die Lagerperimeter SMA-SR-OPA, SMA-ZNO-OPA, SMA-ZNO-BD, SMA-NL-OPA, SMA-NL-BD, SMA-JS-OPA, SMA-JS-EFF sowie HAA-NL-OPA bewertet, die Lagerperimeter SMA-JO-OPA sowie HAA-ZNO-OPA und HAA-JO-OPA mit «günstig». Für den Lagerperimeter SMA-WLB-MGL wird nicht die Tiefenlage des Wirtgesteins relativ zur Erosionsbasis sondern relativ zur Terrainoberfläche bewertet, was dem Einfluss der Dekompaktion entspricht. Das ENSI übernimmt daher seine Beurteilung des Indikators 2 «Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompression» mit «bedingt günstig».



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Im Hinblick auf Etappe 3 SGT sieht das ENSI weiteren Klärungsbedarf im Bereich der Landschaftsentwicklung und der sicherheitsgerichteten Erosionsszenarien. Der gegenwärtige Kenntnisstand zur Landschaftsgeschichte basiert mehrheitlich auf Analysen eiszeitlicher Ablagerungen (u. a. Deckenschotter-Vorkommen und Sedimentfüllungen einzelner glazial übertiefer Täler). Das ENSI erachtet eine Grundsatzdiskussion, welche Klimaperioden (kaltzeitlich oder warmzeitlich) massgeblich für die Landschaftsentwicklung in der Nordschweiz sind, als notwendig. In diesem Zusammenhang sind auch Verkarstungsprozesse als landschaftsprägender Vorgang zu berücksichtigen. Inwiefern sich diese auf die Erosion (Beschleunigung der Absenkung der lokalen Erosionsbasis oder erosionshemmend in Bezug auf glaziale Tiefenerosion) auswirken, ist nach Ansicht des ENSI in den bisherigen Überlegungen ungenügend eingeflossen. Für die vorliegenden Erosionsszenarien sieht das ENSI weiteres Potenzial, diese detaillierter zu quantifizieren. Hierzu bedarf es einer systematischen Erfassung relevanter Sedimentvorkommen in der Nordschweiz, nicht nur im direkten Umfeld der geologischen Standortgebiete, sondern auch überregional im «An- und Abstrom» der Standortgebiete. Neben der Erfassung der detaillierten Geometrie der Vorkommen ist eine robuste Datierung unerlässlich.

2.2.3 14 «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion»

Angaben der Nagra

Der Indikator «Tiefenlage unter Oberfläche Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» bezieht sich auf die Distanz zwischen der Obergrenze des notwendigen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und der Oberfläche Fels. Er dient der Beurteilung der Auswirkungen der glazialen Tiefenerosion auf die Langzeitsicherheit (Abnahme der Gesteins-Überdeckung, und Freilegung des Tiefenlagers durch glaziale Erosion unter Berücksichtigung der langfristigen Hebung/Erosion) (NTB 08-05, S. A-17). Da sich eine zukünftige glaziale Tiefenerosion nicht zwingend auf die bestehenden übertieften Felsrinnen beschränkt, werden auch Anforderungen an die Gesteinsüberdeckung ausserhalb der übertieften Felsrinnen gestellt. Ferner wird bei der Bewertung der Bereiche berücksichtigt, ob sie ausserhalb der Haupttäler liegen (NTB 08-05, S. 188).

In Etappe 1 SGT wurden übertiefte Felsrinnen aus praktischen Gründen als Rinnen mit einer Quartärmächtigkeit von mindestens 100 m definiert (NTB 08-05, S. A-17). In Etappe 2 SGT besteht eine übertiefte Felsrinne dann, wenn die Felsoberfläche mehr als 50 m unter der lokalen Erosionsbasis liegt. Zur so abgegrenzten Fläche wird lateral ein 200 m breiter Randstreifen hinzugefügt. Damit wird auch ein Hinweis des ENSI bzw. eines seiner Experten zu Etappe 1 SGT berücksichtigt (NTB 14-01, S. 52, Tab. 2.3-6 bzw. NTB 14-01, S. 180, Fussnote 118). Die Bewertungsskala des Indikators wurde mit Ausnahme der Anpassungen an die Definition von übertieften Felsrinnen aus der Etappe 1 SGT übernommen. Für das Standortgebiet Wellenberg wird für die Bewertung des Indikators «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» vom Grundsatz her gleich vorgegangen wie in der Nordschweiz. Im Gegensatz zu den Standortgebieten in der Nordschweiz wird jedoch als Ausgangspunkt nicht die heutige Felsoberfläche verwendet, sondern die Felsoberfläche, wie sie am Ende des Betrachtungszeitraums erwartet wird. Für eine «sehr günstige» Bewertung muss dann die Lagerebene 150 m unter der Felsoberfläche, für eine «günstige» Bewertung 50 m unter der Felsoberfläche liegen (NTB 14-01, S. 288, Fussnote 176).

Im Standortgebiet Südranden grenzt der Lagerperimeter SMA-SR-OPA westlich an die pleistozäne Neuhauserwald-Rinne. Nördlich reicht er teilweise nahe an die Klettgaurinne. Der Indikator 4 «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» wird für den Lagerperimeter SMA-SR-OPA als «bedingt günstig» beurteilt, wobei die Neuhauserwald-Rinne wie eine bestehende glazial übertiefte Rinne behandelt wird (NTB 14-01, S. 259).



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Im Standortgebiet Zürich Nordost befindet sich südlich der Lagerperimeter SMA-ZNO-OPA und SMA-ZNO-BD das glazial übertiefte Thurtal mit einer nach Norden abzweigenden Felsrinne. Die Lagerperimeter liegen nicht direkt im Bereich von übertieften Felsrinnen und die Oberkante Wirtgestein liegt mindestens ca. 380 m (OPA) bzw. 340 m (BD) unter der Felsoberfläche. Der Indikator 4 wird für die Lagerperimeter SMA-ZNO-OPA und SMA-ZNO-BD als «sehr günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 264; NAB 17-01, Frage 47).

Im Standortgebiet Nördlich Lägern liegen die Lagerperimeter SMA-NL-OPA und SMA-NL-BD nicht im Bereich von übertieften Felsrinnen und die Oberkante Wirtgestein liegt mindestens ca. 560 m (OPA) bzw. 495 m (BD) unter der Felsoberfläche. Der Indikator 4 wird für beide Lagerperimeter SMA-NL-OPA und SMA-NL-BD als «sehr günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 270; NAB 17-01, Frage 47).

Im Standortgebiet Jura Ost liegt der Lagerperimeter SMA-JO-OPA ausserhalb der Haupttäler; er hat deshalb kaum Potenzial für glaziale Tiefenerosion im Betrachtungszeitraum für ein SMA-Lager. Der Indikator «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» wird deshalb für den Lagerperimeter SMA-JO-OPA als «sehr günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 276).

Innerhalb und in der Nähe der Lagerperimeter SMA-JS-OPA und SMA-JS-EFF des Standortgebiets Jura-Südfuss gibt es keine glazial übertieften Felsrinnen. Zwar liegen die Lagerperimeter im Aaretal, dieses wurde im Raum Olten in der Vergangenheit aber nicht glazial übertieft. Da die Lagerperimeter nicht im Bereich von übertieften Felsrinnen liegen und die Felsüberdeckung mehr als ca. 325 m (OPA) bzw. 400 m (EFF) beträgt, wird der Indikator 4 für die Lagerperimeter SMA-JS-OP und SMA-JS-EFF als «sehr günstig» eingestuft (NTB 14-01, S. 282; NAB 17-01, Frage 47).

Das Engelbergertal im Standortgebiet Wellenberg wurde in der Vergangenheit mehrfach glazial übertieft, ohne dass der seitlich angrenzende, teils über der Talsohle liegende Wirtgesteinskörper dadurch abgetragen wurde. Für den Lagerperimeter SMA-WLB-MGL ist im Betrachtungszeitraum nicht mit einer Freilegung oder einer signifikanten Beeinträchtigung des Wirtgesteinskörpers und seiner sicherheitsrelevanten Eigenschaften zu rechnen. Der Indikator 4 wird für den Lagerperimeter SMA-WLB deshalb knapp als «sehr günstig» eingestuft. Bezüglich Übertiefung gibt es Ungewissheiten. Diese werden mit einem alternativen Szenarium mit einer Übertiefung von 200 m abgedeckt (SMA-WLB-mLE-re200 bzw. SMA-WLB-aL1-re200). Auch für diese Fälle ergibt sich eine «sehr günstige» Bewertung (NTB 14-01, S. 288).

Für die HAA-Standortgebiete ergeben sich folgende Bewertungen:

Südlich des Lagerperimeters HAA-ZNO-OPA befindet sich das glazial übertiefte Thurtal mit einer nach Norden abzweigenden Felsrinne. Im Lagerperimeter liegt der Top Opalinuston mindestens ca. 430 m unter der Felsoberfläche. Der Indikator «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» wird für den Lagerperimeter HAA-ZNO-OPA als «günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 300).

Der Lagerperimeter HAA-NL-OPA liegt nicht im Bereich von übertieften Felsrinnen und der Top Opalinuston mindestens ca. 570 m unter der Felsoberfläche. Der Indikator 4 wird für den Lagerperimeter HAA-NL-OPA als «sehr günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 306).

Der Lagerperimeter HAA-JO-OPA liegt ausserhalb der Haupttäler; er hat deshalb wenig Potenzial für glaziale Tiefenerosion. Der Indikator «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» wird für den Lagerperimeter HAA-JO-OPA deshalb knapp als «sehr günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 312).

In der Dokumentation der Nachforderung des ENSI weist die Nagra bezüglich glazialer Tiefenerosion noch einmal darauf hin, dass die bestehenden tiefen Felsrinnen im Thur- und im Glatttal, gleich wie die meisten Felsrinnen in der Nordschweiz, in Molassegesteine eingeschnitten sind. Zwischen den Molas-



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

segesteinen und dem Wirtgestein liegen sowohl im Standortgebiet Zürich Nordost als auch im Standortgebiet Nördlich Lägern ca. 200 m mächtige Malmkalke, welche vergleichsweise deutlich besser lithifiziert und aus verschiedenen Gründen schlechter durch subglaziale Prozesse erodierbar sind als Molassegesteine. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass die glaziale Übertiefung deutlich weniger effizient voranschreitet, wenn die Oberkante der Malmkalke erreicht wird. Ein Zusammenhang zwischen der Lithologie des Rinnen-Substrats und der Tiefe und Form der Rinnen (schmalere, weniger tiefe Rinnen in kompetenteren Gesteinen) wird neben der Nordschweiz auch im Bereich des ehemaligen Südrands der fennoskandischen Vereisung in Nord-Deutschland, Dänemark und der Nordsee oder im Bereich des Südrands der laurentidischen Vereisung in den USA in der Fachliteratur beschrieben (NAB 16-41, S. 48). Die im Rahmen der Nachforderung des ENSI durchgeführte Sensitivitätsbetrachtung sowie Betrachtungen bzgl. der Anpassung der Bewertungsskalen führen nach Ansicht der Nagra zu einer Bestätigung des grundsätzlichen Umgangs mit den (Optimierungs-)Anforderungen und der Bewertungsskala des Indikators 4 gegenüber dem NTB 14-01 (NAB 16-41, S. 205 f.).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI und seine Experten haben die Angaben und Bewertungen der Nagra zum Indikator 4 «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» in den Berichten NTB 93-34; NTB 14-01, NTB 14-02-III, NAB 09-23, NAB 10-33, NAB 13-71, NAB 14-02, NAB 14-25, NAB 16-41, NAB 17-01 sowie in weiteren Detaildokumenten geprüft. Unter Berücksichtigung der Angaben in ENSI 33/453, EGT (2016) sowie in ENSI 33/469 hält das ENSI Folgendes fest: Der in Etappe 1 SGT als «Tiefenlage unter Oberfläche Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» bezeichnete Indikator 4 wird von der Nagra in der Etappe 2 SGT vereinfachend als «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» bezeichnet. Die seit Etappe 1 SGT seitens der Nagra hinzugewonnenen Kenntnisse zur glazialen Tiefenerosion sind von grosser Bedeutung. Sie haben einerseits zu einem wesentlich verbesserten Prozessverständnis bei der glazialen Tiefenerosion geführt; andererseits aber auch die Grenzen der heute möglichen Prognostizierbarkeit der Entwicklung der glazialen Tiefenerosion aufgezeigt. Die entsprechenden Dokumente (v. a. NTB 14-02-III, NAB 10-33, NAB 14-02 und NAB 14-25) sind aus Sicht des ENSI zweckdienlich, entsprechen dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Gesuchstellung und sind nachvollziehbar dokumentiert.

Der Indikator 4 bezieht sich gemäss seiner Definition im NTB 08-05 auf den Abstand zwischen der Oberkante des notwendigen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und der Oberkante Fels. Bei der Bewertung wird unterschieden, ob sich der zu bewertende Bereich innerhalb oder ausserhalb von übertiefen Felsrinnen sowie ausserhalb der Haupttäler befindet.

Bezüglich des Bewertungsobjekts stellt das ENSI fest, dass nicht, wie im NTB 14-01 (S. 58) ausgewiesen, die minimale Tiefenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, sondern die minimale Tiefenlage der Oberkante Wirtgestein (tatsächlich wird vereinfachend die Unterkante Wirtgestein plus 100 Meter verwendet) unter Niveau der Felsoberfläche bewertet wird (vgl. NAB 17-01, Frage 20). Mit dem Bewertungsobjekt der minimalen Tiefenlage der Oberkante Wirtgestein unter Niveau der heutigen Felsoberfläche ist das ENSI einverstanden. Das Modell der Felsoberfläche wird in ENSI 33/540, Kapitel 2.6.2, diskutiert.

In Etappe 2 SGT werden der Prozess der glazialen Tiefenerosion sowie die daraus resultierenden übertiefen Felsrinnen mit Hilfe der neu eingeführten Erosionsbasis abgegrenzt, was vom ENSI und seinen Experten allgemein positiv bewertet wird. Das Modell der Erosionsbasis wird in ENSI 33/540, Kapitel 2.6.1, diskutiert. Die zur Anwendung der Mindest- und verschärften Anforderungen sowie zur Bewertung des Indikators vorgenommene Festlegung der Nagra, dass übertiefte Felsrinnen erst ab einer Tiefe von 50 m unter Erosionsbasis berücksichtigt werden (NTB 14-01, S. 180, Fussnote 118), ist aus Sicht



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

des ENSI fachlich nicht begründet. Eine Berücksichtigung kleinerer glazialer Rinnen erachtet das ENSI jedoch als wichtig hinsichtlich der Frage, wo allfällige zukünftige glaziale Tiefenerosion stattfinden könnte. Aus diesem Grund beurteilt das ENSI die eingeschränkte Berücksichtigung bestehender über tiefer Rinnen bei der Beurteilung des Indikators als nicht sicherheitsgerichtet (vgl. NAB 17-01, Frage 45). In Anlehnung an das gegenwärtige Prozessverständnis bzgl. glazialer Tiefenerosion berücksichtigt das ENSI daher für seine Bewertungen sämtliche Felsrinnen, welche unter die lokale Erosionsbasis greifen (vgl. Abbildung 4). Dabei wird von der Nagra und vom ENSI zusätzlich ein 200 m breiter lateraler Randstreifen berücksichtigt, womit seitens Nagra eine Empfehlung aus der Etappe 1 SGT (ENSI 33/063, S. 19) aufgenommen und umgesetzt wurde.

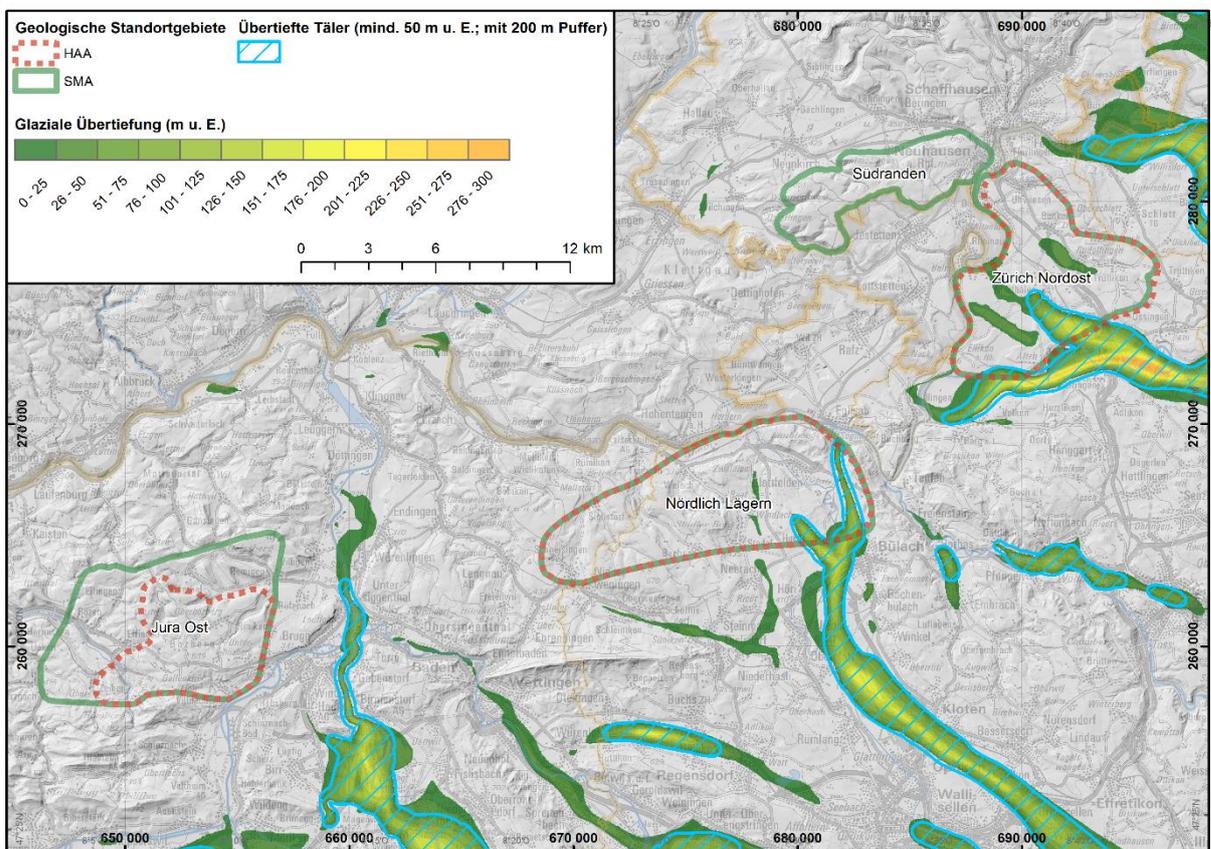


Abbildung 4: Verteilung von glazial übertieften (Fels-)Rinnen in der Nordschweiz mit Fokus auf die HAA-Standortgebiete. Zur Abgrenzung von Lagerperimetern und zur Bewertung von geologischen Standortgebieten berücksichtigt die Nagra ausschliesslich Felsrinnen, welche mindestens 50 m unter die Erosionsbasis reichen (blaue Markierung). Das ENSI hingegen betrachtet Bereiche bereits als glazial über tieft, sofern deren Felsoberfläche unter die heutige Erosionsbasis reicht (Farbverlauf), was insbesondere im geologischen Standortgebiet Zürich Nordost deutliche Differenzen zur Nagra ergibt. Daten aus NTB 14-01 und NAB 14-02.

Die von der Nagra verwendete Bewertungsskala des Indikators 4 (vgl. NTB 08-05, S. A1-17) sieht eine Bewertung mit «sehr günstig» vor, sofern sich der zu bewertende Bereich ausserhalb der Haupttäler befindet. Bereits in Etappe 1 SGT wurde von den Experten des ENSI darauf hingewiesen, dass für die Bezeichnung «Haupttäler» keine klare Definition vorliegt (vgl. ENSI 33/063, S. 17 f.). Aus den Dokumenten zur Etappe 2 SGT lässt sich keine neuere Klärung des Begriffs ableiten, sodass das ENSI die pauschale Bewertungsmöglichkeit aufgrund der Lage ausserhalb von Haupttälern für Etappe 2 SGT als



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

nicht zweckmässig betrachtet. Die Bewertungen des ENSI bzgl. des Indikators 4 basieren daher ausschliesslich auf der minimalen Tiefenlage der Oberkante Wirtgestein unter der Felsoberfläche.

Die quantitativen Anforderungen an den Indikator 4 (Mindest- und verschärfte Anforderungen, Grenzen der Bewertungsstufen) wurden von der Nagra unverändert aus Etappe 1 SGT übernommen, womit das ENSI einverstanden ist. Dennoch erinnert das ENSI an seinen Hinweis aus Etappe 1 SGT, auch die Erodierbarkeit bzw. die Erosionsresistenz des Rinnensubstrats in der Bewertung, respektive in den quantitativen Anforderungen des Indikators zu berücksichtigen (ENSI 33/43, S. 14). Von der Nagra wurde zwar die potenziell erhöhte Erosionsresistenz der im Hangenden des Opalinustons vorkommenden Malmkalke argumentativ aufgenommen (s. o.), ausreichend belastbare Aussagen zum Effekt der Malmkalke auf den Prozess der glazialen Tiefenerosion liegen jedoch gegenwärtig, insbesondere innerhalb der geologischen Standortgebiete, nicht vor. Das ENSI erwartet daher für die Etappe 3 SGT weiterführende Untersuchungen in Bezug auf die Auswirkungen einer bis auf die Malmkalke reichenden glazialen Tiefenerosion (siehe auch ENSI 33/453, S. 4 f., 27 f. und 41 f.).

Unter Berücksichtigung der erläuterten Anpassungen (Felsrinne = Bereiche unterhalb der lokalen Erosionsbasis und keine Berücksichtigung der Lage bzgl. der Haupttäler) und unter Berücksichtigung der quantitativen Anforderung gemäss Bewertungsskala im NTB 08-05, S. A1-17 bewertet das ENSI den Indikator 4 «Tiefenlage unter Fels im Hinblick auf glaziale Tiefenerosion» wie folgt:

Die Neuhauserwald-Rinne wird, abweichend von der Nagra, durch das ENSI als nicht glazial übertieft eingestuft, da sich die Felsoberfläche im geologischen Standortgebiet Südranden vollständig oberhalb der lokalen Erosionsbasis befindet (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5). Die Oberkante des Wirtgesteins befindet sich im Lagerperimeter **SMA-SR-OPA** minimal ca. 221 m unter der Felsoberfläche, was der Bewertungsstufe «günstig» entspricht. Das ENSI bewertet den Indikator 4 für den Lagerperimeter SMA-SR-OPA folglich um eine Stufe besser als die Nagra.

Im geologischen Standortgebiet Zürich Nordost befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins Opalinuston im Lagerperimeter **SMA-ZNO-OPA** minimal ca. 379 m unter der Felsoberfläche. Das Wirtgestein 'Brauner Dogger' befindet sich im zugehörigen Lagerperimeter **SMA-ZNO-BD** minimal ca. 340 m unter der Felsoberfläche. Im Südosten der beiden SMA-Lagerperimeter für Opalinuston und 'Braunen Dogger' befindet sich der nordwestliche Ausläufer der Rudolfingen-Rinne, welcher vom ENSI in seinen Betrachtungen berücksichtigt wird (Abbildung 5). Demnach müssten die strengeren Bewertungsanforderungen im Bereich von glazial übertieften Rinnen zur Anwendung gebracht werden, was das ENSI im Fall der beiden SMA-Lagerperimeter jedoch für nicht angemessen erachtet: Aufgrund der randlichen Lage der Rudolfingen-Rinne relativ zu den SMA-Lagerperimetern und deren ausreichenden Platzangebot von 6,5 km² (SMA-ZNO-OPA) bzw. 7,3 km² (SMA-ZNO-BD) (vgl. Kapitel 1.1, Indikator 8) besteht aus Sicht des ENSI eine genügend hohe Flexibilität, sodass ein Ausweichen der Rinne als machbar beurteilt wird. Folglich werden beide SMA-Lagerperimeter trotz Vorhandensein einer übertieften Felsrinne analog zur Nagra mit «sehr günstig» bewertet.

Der im NTB 14-01 vorgelegte HAA-Lagerperimeter **HAA-ZNO-OPA** (HAA-ZNO-mLE-r) befindet sich minimal ca. 427 m unter der Felsoberfläche, was ausserhalb von glazial übertieften Rinnen einer Bewertung mit «günstig» entsprechen würde, wie sie von der Nagra vergeben wurde. Da das ENSI jedoch jede Felsrinne unterhalb der lokalen Erosionsbasis als glazial übertieft ansieht, befindet sich der ausgewiesene Lagerperimeter HAA-ZNO-OPA im Bereich der Rheinau- sowie insbesondere der Rudolfingen-Rinne (Abbildung 5). Im Bereich glazial übertiefter Rinnen gelten jedoch die verschärften Anforderungen von mindestens 400 m unter Fels, welche der Lagerperimeter HAA-ZNO-OPA (HAA-ZNO-mLE-r) knapp nicht erfüllt und folglich durch das ENSI nur als «bedingt günstig» bewertet wird. Auf Nachfrage des ENSI wurde von der Nagra der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r abgegrenzt und im NAB

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Referenz:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539

Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT

18.04.2017 / GEOL, TISA

17-01, Frage 81, dokumentiert (Abbildung 5). Für diesen Lagerperimeter wurde kein Schwellenwert für die Tiefe unter lokaler Erosionsbasis bei der Abgrenzung glazial übertiefer Felsrinnen verwendet, sodass alle bekannten Felsrinnen berücksichtigt und wenn nötig gemieden wurden. In der Folge erfüllt der Lagerperimeter die verschärften Anforderungen an den Indikator 4 vollständig. Weiterhin erfüllt der alternative Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r sämtliche Anforderungen des ENSI, inkl. der eines genügenden Platzangebots, sodass er vom ENSI – in Abweichung zur Nagra – als massgebend für die qualitative Bewertung und den sicherheitstechnischen Vergleich betrachtet wird. Aufgrund der minimalen Tiefenlage der Oberkante Wirtgestein von 464 m unter der Felsoberfläche bewertet das ENSI den für das HAA-Standortgebiet massgebenden Lagerperimeter HAA-ZNO-aL506-r mit «günstig».

Bei der Abgrenzung der Lagerperimeter im Standortgebiet Zürich Nordost durch die Nagra, reicht die Marthalen-Rinne inkl. ihrer 200-m-Pufferzone in den südöstlichen Teil der Lagerperimeter HAA-ZNO-OPA (HAA-ZNO-mLE-r) und HAA-ZNO-aL506-r hinein (Abbildung 5). Aus Sicht des ENSI ist es nicht nachvollziehbar, weshalb die vollständige Meidung der Marthalen-Rinne technisch nicht korrekt umgesetzt wurde, obwohl dies in der Dokumentation des Abgrenzungsprozesses in Nagra (2015) entsprechend beschrieben wurde.

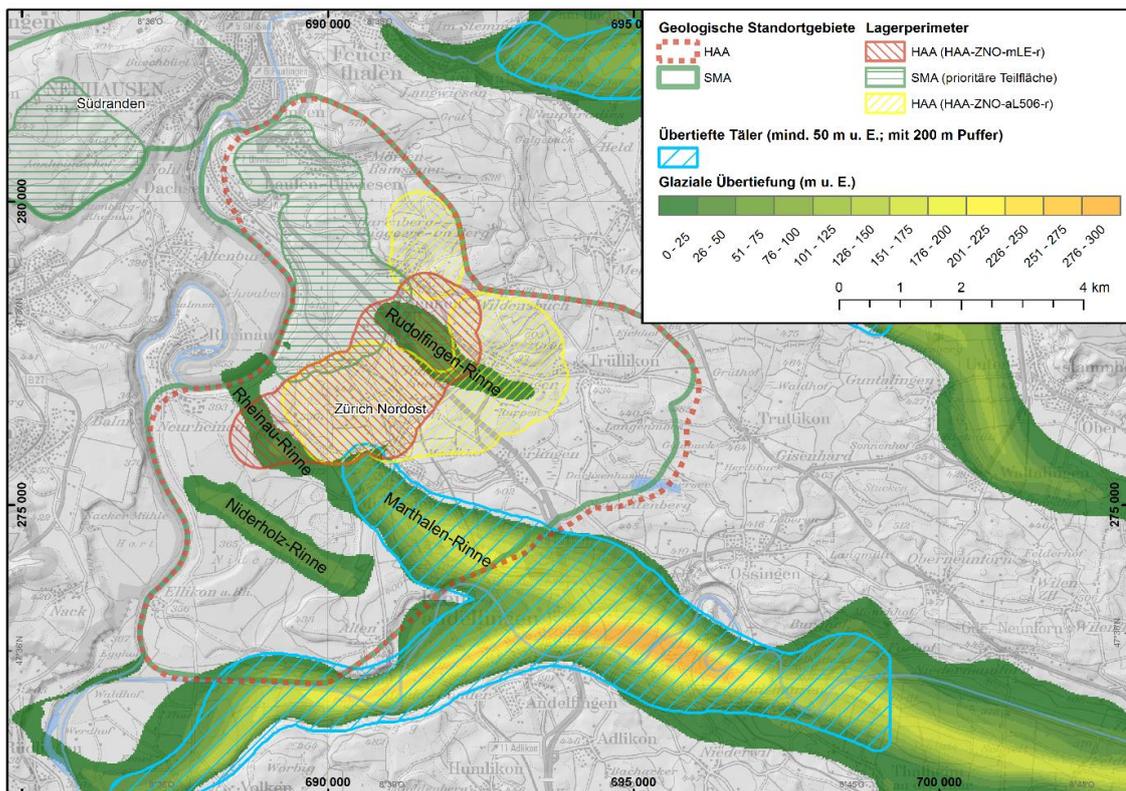


Abbildung 5: Glazial übertiefte Fels-(Rinnen) im Bereich des geologischen Standortgebiets Zürich Nordost. Zur Abgrenzung von Lagerperimetern und zur Bewertung von geologischen Standortgebieten berücksichtigt die Nagra ausschliesslich Felsrinnen, welche mindestens 50 m unter die Erosionsbasis reichen (blaue Markierung). Das ENSI hingegen betrachtet Bereiche bereits als glazial übertieft, sobald die Felsoberfläche unter die heutige Erosionsbasis reicht (Farbverlauf), wodurch auch die Rudolfinger-, die Rheinau- und die Niederholz-Rinne als glaziale Rinnen sichtbar werden. Diese sind insbesondere für die Bewertung des HAA-Lagerperimeters von zentraler Bedeutung. In der Abbildung werden nur die Lagerperimeter für das Wirtgestein Opalinuston dargestellt. Daten aus NTB 14-01, NAB 14-02 und NAB 17-01.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Referenz:
Titel:
Datum / Sachbearbeiter:

keine
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
18.04.2017 / GEOL, TISA

Die Oberkante des Wirtgesteins Opalinuston befindet sich im geologischen Standortgebiet Nördlich Lägern innerhalb der Lagerperimeter **SMA-NL-OPA** und **HAA-NL-OPA** minimal ca. 566 m unter der Felsoberfläche. Das Wirtgestein 'Brauner Dogger' liegt innerhalb des Lagerperimeters **SMA-NL-BD** minimal ca. 495 m unter der Felsoberfläche. Innerhalb der Lagerperimeter befindet sich zwischen den Ortschaften Zweidlen und Windach eine schwache glaziale Übertiefung von wenigen Metern Tiefgang. Die Struktur stellt potenziell die Fortsetzung einer aus Süden kommenden Rinnenstruktur dar (vgl. Abbildung 6). Das ENSI beurteilt diese Rinne trotz ihrer nach heutigem Kenntnisstand geringen Übertiefung als relevant für die Bewertung des Indikators 4. Zum einen kann die mögliche Reaktivierung/Vergrößerung der Rinne aufgrund bestehender, potenziell nicht weiter reduzierbarer Ungewissheiten bzgl. Zeitpunkt, Anzahl und Intensität zukünftiger Vorlandvergletscherungen nicht ausgeschlossen werden, zum anderen befindet sich die Rinne relativ zentral in der westlichen Hälfte der SMA- und HAA-Lagerperimeter. Der Rinne kann aufgrund ihrer zentralen Lage im Lagerperimeter kaum ausgewichen werden, wie für die SMA-Lagerperimeter im Standortgebiet Zürich Nordost diskutiert (s. o.). Aufgrund ihrer grossen minimalen Tiefenlage unter der Felsoberfläche werden beide SMA-Lagerperimeter jedoch trotz der vorhandenen Felsrinne mit «sehr günstig» bewertet. Der HAA-Lagerperimeter wird hingegen vom ENSI um eine Stufe schlechter als von der Nagra mit «günstig» bewertet.

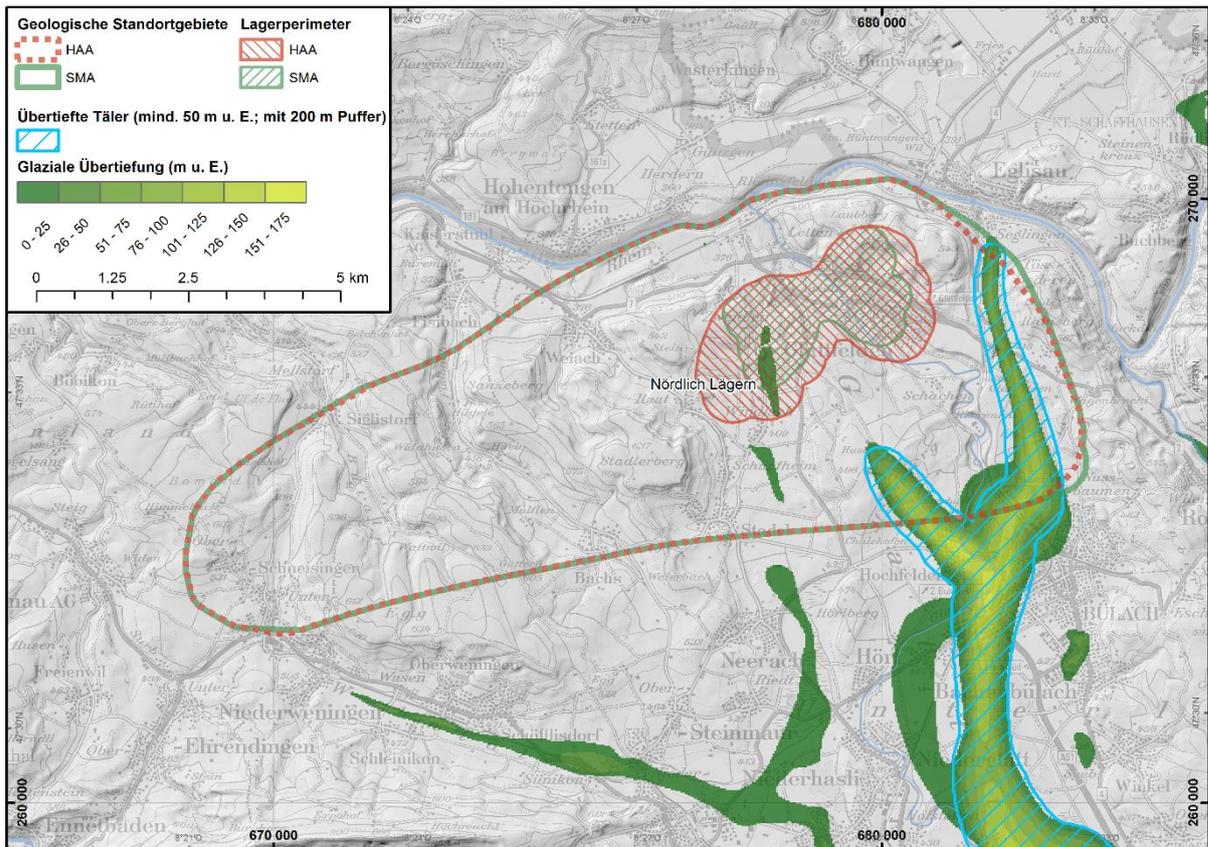


Abbildung 6: Glazial übertiefte (Fels-)Rinnen im Bereich des geologischen Standortgebiets Nördlich Lägern. Zur Abgrenzung von Lagerperimetern und zur Bewertung von geologischen Standortgebieten berücksichtigt die Nagra ausschliesslich Felsrinnen, welche mindestens 50 m unter die Erosionsbasis reichen (blaue Markierung). Das ENSI hingegen betrachtet Bereiche bereits als glazial übertieft, sobald die Felsoberfläche unter die heutige Erosionsbasis reicht (Farbverlauf), sodass bei der Bewertung des Indikators 4 auch innerhalb der SMA- und HAA-Lagerperimeter eine glaziale Rinne zu berücksichtigen ist. Daten aus NTB 14-01 und NAB 14-02.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Der SMA-Lagerperimeter **SMA-JO-OPA** im Standortgebiet Jura Ost wird aufgrund seiner minimalen Tiefenlage der Oberkante Wirtgestein von ca. 319 m unter der Felsoberfläche mit «sehr günstig» bewertet. Der HAA-Lagerperimeter **HAA-JO-OPA** befindet sich minimal ca. 400 m unter der Felsoberfläche. Diese Tiefenlage erfüllt die für den Indikator 4 geltenden verschärften Anforderungen von mindestens 400 m unter Fels im Bereich ausserhalb glazial übertiefer Rinnen nur knapp und entspricht der Bewertungsstufe «günstig». Das ENSI bewertet den Indikator 4 um eine Bewertungsstufe schlechter als die Nagra, da diese mit der Lage des Lagerperimeters, ausserhalb vorhandener Haupttäler argumentiert und so zu einer Bewertung «sehr günstig» gelangt.

Im geologischen Standortgebiet Jura-Südfuss befindet sich die Oberkante des Wirtgesteins Opalinuston im Lagerperimeter **SMA-JS-OPA** minimal ca. 327 m unter der Felsoberfläche. Das Wirtgestein Effinger Schichten befindet sich im zugehörigen Lagerperimeter **SMA-JS-EFF** minimal ca. 400 m unter der Felsoberfläche, was in beiden Fällen der Bewertungsstufe «sehr günstig» für den Indikator 4 entspricht.

Das ENSI stimmt mit der Nagra überein, dass sich im geologischen Standortgebiet Wellenberg die Situation bzgl. glazialer Tiefenerosion grundsätzlich abweichend zur Situation in der Nordschweiz darstellt, da das Engelbergertal als Ganzes glazial übertieft ist. Dies rechtfertigt eine Anpassung der Bewertungsskala des Indikators 4 für den Wellenberg, wie sie im NTB 14-01 (S. 288, Fussnote 176) dargelegt ist. Im Rahmen der Etappe 2 SGT sieht die Nagra vor, das Lager im geologischen Standortgebiet Wellenberg in drei Lagerebenen auf 540, 400 und 200 m ü. M. anzuordnen (NTB 14-01, S. 203). Da diese Niveaus im Rahmen einer späteren Optimierung bei Bedarf angepasst werden können, bezieht sich das ENSI für seine Beurteilung auf die mittlere Lagerebene auf 400 m ü. M. Nach Ansicht des ENSI lassen sich bestehende Ungewissheiten bzgl. glazialer Tiefenerosion auch mit weiteren Untersuchungen nicht zweckmässig weiter reduzieren. Daher basiert die Beurteilung des ENSI bzgl. des Indikators 4 auf dem von der Nagra als «pessimistisch» bezeichneten Szenario, respektive dem dazugehörigen Lagerperimeter **SMA-WLB-mLE-re200**. Das Szenario wird vom ENSI als konservative Einschätzung und als sicherheitsgerichtet betrachtet. Die Lagerebene auf 400 m ü. M. befindet sich am Ende des Betrachtungszeitraums im «pessimistischen» Szenario minimal auf 254 m unter der Felsoberfläche. Das ENSI beurteilt den Indikator 4 daher analog zur Nagra mit «sehr günstig». Weitere Details zur glazialen Tiefenerosion im Standortgebiet Wellenberg finden sich bei den Ausführungen zum Indikator 3.

2.3 Kriterium «Lagerbedingte Einflüsse»

2.3.1 I30 «Chemische Wechselwirkung (Hoch-pH Fahne)»

Angaben der Nagra

Die wichtigsten lagerbedingten geochemischen Effekte für das SMA-Lager sind Langzeitauswirkungen von alkalischen Zementporenwässern auf das Umfeld der Lagerkammern und die Oxidation des Wirtgesteins während der Bau- und Betriebsphase. Die Umwandlungszone als Folge der alkalischen Zementporenwässer ist im Fall des Opalinustons räumlich sehr beschränkt und nicht nachteilig für die Langzeitsicherheit; die gebildeten Sekundärminerale führen allenfalls zu einer erhöhten Sorptionskapazität für Radionuklide. Für den 'Braunen Dogger' bleibt die Hoch-pH-Fahne in den tonreichsten Abfolgen dank seines Verhaltens als mehrheitlich poröses Medium, der guten geochemischen Pufferkapazität und der sehr kleinen Durchlässigkeiten auf die unmittelbare Umgebung der Lagerkammern beschränkt. Für die Effinger Schichten bleibt die Hoch-pH-Fahne in den Kalkmergelabfolgen voraussichtlich, dank der geringen Durchlässigkeit, dem wenig ausgeprägten lokalisierten Wasserfluss sowie der chemischen Pufferkapazität, auf die Umgebung der Lagerkammern beschränkt. Für die Mergel-Formationen des



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Helvetikums im Standortgebiet Wellenberg zeigen Studien zu den Langzeitauswirkungen von Zementporenwässern, dass die diesbezüglichen Effekte die Sicherheit nicht signifikant beeinflussen. Auch die Oxidation (v. a. Pyrit) wird keine signifikanten Auswirkungen auf die Barriereigenschaften der Mergel haben. Dank der geringen Transmissivität und der beschränkten Vernetzung der Diskontinuitäten bleibt die Hoch-pH-Fahne auch in den Mergel-Formationen des Helvetikums auf die nähere Umgebung der Lagerkammern beschränkt, auch wenn im Vergleich zum Opalinuston ein deutlich grösserer Teil des Migrationspfads dadurch beeinflusst wird.

Der bedeutendste Oxidationsprozess für alle Wirtgesteine betrifft die Oxidation von Pyrit. Verschiedene Untersuchungen (Felslabor Mont Terri, Eisenbahntunnel) zeigen, dass auch bei einer langen Betriebsdauer nur ein kleiner Teil des Pyrits oxidiert, mit vernachlässigbaren Auswirkungen auf die Barriereigenschaften der Wirtgesteine.

Der Indikator «Chemische Wechselwirkungen» wird für den Opalinuston und die tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' daher mit «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 109, S. 117). Da die Ausdehnung der Hoch-pH-Fahne für die Effinger Schichten und die Mergel-Formationen des Helvetikums jedoch etwas grösser wäre als beim Opalinuston, wird der Indikator «Chemische Wechselwirkungen» als «günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 125, S. 133).

Für das HAA-Lager sind aufgrund der Verwendung von Spritzbeton für die BE/HAA-Lagerstollen und die LMA-Lagerkammern die wichtigsten geochemischen Effekte – analog zu den SMA-Lagerkammern – Langzeitauswirkungen von alkalischen Zementporenwässern auf das Umfeld und die Oxidation des Wirtgesteins während der Bau- und Betriebsphase (vgl. ENSI 33/540, Kapitel 3.3.1); die Effekte werden als unproblematisch beurteilt. Der Indikator «Chemische Wechselwirkungen» darf deshalb in allen Standortgebieten mit «sehr günstig» bewertet werden (NTB 14-01, S. 145).

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und es bestehen keine Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen.

Für das SMA-Lager beurteilt das ENSI ebenfalls die Degradation des Mörtels/Betons und die daraus resultierende Hoch-pH-Fahne sowie die Oxidation des Wirtgesteins als die wichtigsten lagerbedingten geochemischen Effekte.

Ein wichtiges Indiz für die mögliche Geschwindigkeit der Mörtel/Beton-Degradation und für die Ausbreitung der alkalischen Zementporenwässer ist die Anzahl der zu erwartenden Porenwasseraustauschzyklen. Die Anzahl ist proportional zur hydraulischen Durchlässigkeit und zum hydraulischen Gradient. Über eine Massenbilanzierung lässt sich abschätzen, dass etwa 200 Porenwasseraustauschzyklen notwendig sind, um den im Mörtel/Beton enthaltenen Portlandit vollständig zu lösen. Die im NTB 14-11 dokumentierte Portlanditauflösungsgeschwindigkeit ist dagegen sehr niedrig und weist selbst nach 1000 Porenwasseraustauschzyklen nur eine Verlagerung der Portlanditauflösungsfront von etwa 1 m auf. Das ENSI beurteilt diese Abschätzung als eher optimistisch. Aus dem Referenzwert und dem oberen Eckwert der hydraulischen Durchlässigkeit von Opalinuston und den tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' lässt sich abschätzen, dass das Porenwasser innerhalb von 100 000 Jahren weniger als 1-mal bzw. etwa 1-mal ausgetauscht werden wird. Die Degradation des Portlandits wird daher vermutlich Millionen von Jahren dauern. Die geringe hydraulische Durchlässigkeit begrenzt ausserdem die Ausbreitung der alkalischen Zementporenwässer auf wenige Meter. Aus dem Referenzwert der hydraulischen Durchlässigkeit der Effinger Schichten und der Mergel-Formationen des Helvetikums lässt sich abschätzen, dass das Porenwasser innerhalb von 100 000 Jahren weniger als 1-mal ausgetauscht werden wird, für den oberen Eckwert der Effinger Schichten sind es etwa 2-mal und für den oberen Eckwert



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

der Helvetischen Mergel etwa 35-mal. Damit kommt es zwar zu einer gewissen Degradation des Portlandzements, jedoch ist innerhalb des Betrachtungszeitraums von 100 000 Jahren keine vollständige Degradation zu erwarten. Die Pyritoxidation während der Bau- und Betriebsphase wird für alle Wirtgesteine als gering eingestuft.

Das ENSI bewertet den Indikator «Chemische Wechselwirkungen» im Fall des SMA-Lagers für Opalinuston und für die tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' daher mit «sehr günstig». Für die Effinger Schichten und die Mergel-Formationen des Helvetikums wird der Indikator mit «günstig» beurteilt.

Für das HAA-Lager beurteilt das ENSI ebenfalls die Degradation des Mörtels/Betons und die daraus resultierende Hoch-pH-Fahne sowie die Oxidation des Wirtgesteins als die wichtigsten lagerbedingten geochemischen Effekte. Die Pyritoxidation während der Bau- und Betriebsphase wird als gering eingestuft und die Menge des Spritzbetons ist klein. Daher werden die Auswirkungen durch das ENSI als unproblematisch eingestuft und der Indikator «Chemische Wechselwirkungen» wird im Fall des HAA-Lagers für die Referenzsituation mit «sehr günstig» bewertet.

2.3.2 132 «Verhalten des WG bezüglich Temperatur (Wärmeeintrag)»

Angaben der Nagra

Der Indikator «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Temperatur» ist für das SMA-Lager nicht relevant und wird deshalb nicht beurteilt. Da die BE und HAA über längere Zeit Wärme erzeugen, wurde die Auswirkung des Wärmeeintrags auf das HAA-Lager im Opalinuston untersucht. Die maximale Temperatur an der Stollenwand ist nach einigen hundert Jahren erreicht und beträgt für die BE-Lagerstollen ca. 85° C bis 95° C. Auswirkungen auf die Mineralogie sind bei einer solchen Temperaturerhöhung vernachlässigbar, da der Opalinuston während seiner Versenkungsgeschichte schon ähnlich hohe Temperaturen über sehr viel längere Zeiträume erfahren hat. Hingegen kann der Temperaturanstieg zu einer signifikanten Erhöhung des Porenwasserdrucks führen. Die Einlagerungsdichten bzw. die Wärmeleistungen der Endlagerbehälter werden so gewählt, dass es nicht zu einer inakzeptablen Entwicklung kommt. Die Aussagen in Bezug auf die Auswirkung der thermischen Belastung auf das mechanische Verhalten des Opalinustons sind heute noch mit grösseren Ungewissheiten behaftet. Der Indikator «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich «Temperatur» wird wegen des möglichen signifikanten Einflusses der Temperaturerhöhung auf die Porenwasserdrücke in allen Standortgebieten mit «bedingt günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 146).

Beurteilung des ENSI

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT nicht verändert und es bestehen keine Mindestanforderungen und verschärfte Anforderungen. Das ENSI verwendet als Bewertungsobjekt WG anstatt WG-ss, da die temperaturbedingten Auswirkungen über WG-ss hinausreichen.

Für das SMA-Lager beurteilt das ENSI den Indikator «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Temperatur» auf Grund der geringen Wärmeproduktion als nicht relevant und es erfolgt daher keine Bewertung.

Für das HAA-Lager ist die Temperaturentwicklung dagegen ein wichtiger Einflussfaktor. Die Berechnungen des ENSI zur Wärmeausbreitung bestätigen den von der Nagra erwarteten Temperaturbereich im Opalinuston. Das ENSI stimmt mit der Einschätzung der Nagra überein, dass bei diesen Temperaturen die Auswirkungen der Illitisierung auf die Mineralogie vernachlässigbar sind. Jedoch sollte detaillierter analysiert werden, welche Konsequenzen aus den durch die temperaturbedingte Wasserumlagerung hervorgerufenen Fällungs- und Lösungsreaktionen zu erwarten sind. Erhöhte Temperaturen können in gering permeablen Tongesteinen zu einem erheblichen Anstieg des Porenwasserdrucks führen.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Zu den damit verbundenen Prozessen wird international geforscht und die Nagra geht diesen Aspekten sowohl in Experimenten im Felslabor Mont Terri (z. B. HE-E, FE) als auch in entsprechenden Modellierungsstudien (z. B. NAB 14-53; NAB 14-11) nach. Die Ergebnisse der Simulation von hydraulischen und mechanischen Veränderungen in Folge der Temperaturänderung zeigen, dass die stattfindenden Prozesse prinzipiell abgebildet werden können. Die damit verbundenen Ungewissheiten sind jedoch so gross, dass man derzeit nur bedingt davon ausgehen kann, dass insbesondere die Entwicklung des Porenwasserdrucks und der mechanischen Deformation tatsächlich vorhergesagt werden kann. Das ENSI empfiehlt daher der Nagra, ihre Forschung auf dem Gebiet der gekoppelten Prozesse zu intensivieren.

Das ENSI beurteilt den Indikator «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Temperatur» bezogen auf WG wie die Nagra mit «bedingt günstig».

2.3.3 I31 «Verhalten des WG bezüglich Gas (Gasbildung/Gastransport) (SMA und HAA)»

Angaben der Nagra

Die Nagra hat im NAB 13-83 die für die Gasfreisetzung relevanten gasbezogenen Prozesse und Phänomene sowie Gastransporteigenschaften für alle Wirtgesteinsformationen beschrieben und bewertet (Bewertungsobjekt WG-ss). Die Nagra berücksichtigt bei der Bewertung technische Möglichkeiten zur Beherrschung der Konsequenzen der Gasbildung. Trotzdem wird der Indikator «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Gas» beim Opalinuston sowohl für HAA als auch für SMA nur mit «bedingt günstig» bewertet. Wegen der gegenüber dem Opalinuston insgesamt etwas grösseren Heterogenität (inkl. Diskontinuitäten) wird das Gas voraussichtlich etwas einfacher durch die Wirtgesteine 'Brauner Dogger', Mergel-Formationen des Helvetikums und Effinger Schichten entweichen können. Der Indikator «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Gas» wird bei den Mergel-Formationen des Helvetikums sowie den Effinger Schichten mit «günstig» und für die tonreichsten Abfolgen des 'Braunen Doggers' wie beim Opalinuston mit «bedingt günstig» bewertet (NAB 13-83; NTB 14-01).

Der Indikator «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Gas» wird von der Nagra nicht als entscheidend relevanter Indikator betrachtet. Mit einer geeigneten Auslegung des Lagers kann sichergestellt werden, dass die Freisetzung von im Lager gebildetem Korrosions- und Degradations-Gas keine kritische Beeinträchtigung der Barriereigenschaften der Wirtgesteine zur Folge hat. Eine entscheidende Rolle spielt dabei insbesondere die Wahl von geeigneten Verfüll- und Versiegelungsmaterialien für die Zugangsstollen (Schaffung von untertägigem Speicherraum; kontrollierte Ableitung der Gase über die Versiegelungstrecken), da der Beitrag des Wirtgesteins zur Speicherung und Ableitung der Gase begrenzt ist (NTB 14-01). Die Nagra schlägt im Fall des SMA-Lagers ein Engineered Gas Transport System (EGTS) für die kontrollierte Abführung von im Lager gebildeten Gas vor (NAB 13-92). Weiter besteht auch die Möglichkeit zur Behandlung gewisser radioaktiver Abfälle und im Fall des HAA-Lagers zur Wahl eines anderen Behältermaterials mit geringeren Korrosionsraten (NTB 14-01). Aus Sicht der Nagra ist mithilfe dieser zusätzlichen Massnahmen der Gasdruck in einem geologischen Tiefenlager beherrschbar.

Beurteilung des ENSI

Gasbildung kann in einem Tiefenlager zu hohen Drücken führen, welche die Integrität der Barrieren beeinträchtigen kann. Deswegen sind Wirtgesteine vorteilhaft, die den Abtransport der Gase ermöglichen. Mit dem Hinweis auf verfügbare technische Massnahmen zur Beherrschung der Gasdrücke stuft die Nagra den Indikator als nicht entscheidend relevant ein.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Das ENSI stuft im Unterschied zur Nagra den Indikator als entscheidend relevant ein, da er eine Bedeutung für die Langzeitsicherheit haben kann. In Etappe 2 SGT werden für SMA-Lager unterschiedliche Wirtgesteine betrachtet, deren jeweiligen Gastransporteigenschaften zu einer differenzierten qualitativen Bewertung führen. Für HAA-Lager wird nur das Wirtgestein Opalinuston betrachtet. Technische Massnahmen können notwendig sein, um den Gasdruck in einem SMA- und HAA-Lager zu reduzieren. In diesem Fall erwartet das ENSI im Hinblick auf Etappe 3 SGT, dass die Wirksamkeit der technischen Massnahmen und ihre Konsequenzen für die Langzeitsicherheit mit einem integralen standortspezifischen Lagerkonzept detailliert aufzuzeigen sind. Für eine mögliche Differenzierung der Bedeutung des Gastransports zwischen den HAA-Standortgebieten wären standortspezifische Daten erforderlich, die derzeit nicht vorliegen. Die Bedeutung des Gastransports auf die Langzeitsicherheit ist im Hinblick auf Etappe 3 SGT standortspezifisch abzuklären.

Aus Sicht des ENSI ist Indikator 31 ein entscheidend relevanter Indikator, da unter Berücksichtigung der Ungewissheiten beim Gastransport die Barrierenwirkung des Tiefenlagers ohne technische Massnahmen beeinträchtigt werden kann und sich daraus neue Wegsamkeiten für die Radionuklide bilden können. Das ENSI stützt sich deshalb für die Bewertung des Indikators 31 «Verhalten des Wirtgesteins bezüglich Gas» nur auf die Gastransportkapazitäten der Wirtgesteine ab.

Basierend auf eigenen Berechnungen (ENSI 33/540, Kapitel 3.4) kommt das ENSI zum Schluss, dass für diesen Indikator im Gegensatz zur Nagra die gesamte Abfolge des Wirtgesteins als Bewertungsobjekt zu berücksichtigen ist. Unter Berücksichtigung der Bandbreiten der Gaspermeabilität in der TA können auch die Gaspermeabilitäten in den STA und SKA eine relevante Rolle für den Gastransport im 'Braunen Dogger' spielen.

Generell ist festzuhalten, dass geklüftete Gesteine bessere Gastransporteigenschaften aufweisen als homogen poröse Gesteine. So sind z. B. in den Mergel-Formationen des Helvetikums aufgrund von verschiedenen Typen diskreter wasserführender Strukturen wie Klüfte, Störungen und Scherzonen massgebende Beiträge zum Gastransport möglich (Bewertung «sehr günstig»). Im 'Braunen Dogger' und den Effinger Schichten sind aus Sicht des ENSI die harten Bänke potenzielle wasserführende Strukturen, die das Gas abführen können (Bewertung «günstig»). Die Berechnungen des ENSI für 'Brauner Dogger' zeigen, dass die harten Bänke den Gasdruck erheblich reduzieren können (ENSI 33/540, Kapitel 3.4.3). Der Opalinuston wird im Vergleich zu diesen Wirtgesteinen aufgrund der geringeren Gastransportkapazität mit «bedingt günstig» bewertet.

Generell ist festzuhalten, dass wirtgesteinsunabhängig bei einem Nachweis der Funktionsfähigkeit des EGTS oder anderer technischer Massnahmen die sicherheitstechnische Relevanz des Verhaltens des Wirtgesteins bezüglich Gas reduziert werden kann. Daher identifiziert das ENSI in Etappe 2 SGT für diesen Indikator keinen eindeutigen Nachteil für das Wirtgestein Opalinuston.

2.3.4 I29 «Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten (AUZ)»

Angaben der Nagra

Mit dem Indikator 29 «Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten» werden von der Nagra die Transporteigenschaften im Nahbereich der Lagerkammern im Hinblick auf die Langzeitsicherheit bewertet. Dabei werden die Ausdehnung der durch den Ausbruch gestörten Gebirgsbereiche um die Lagerkammer herum (Auflockerungszone, AUZ), das Selbstabdichtungsvermögen in der AUZ und die Erfolgsaussichten für bauliche Massnahmen zum Ausräumen/Unterbruch der AUZ in Schlüsselzonen berücksichtigt. Als «sehr günstig» wird eine Situation eingestuft, in der die AUZ keinen nennenswerten Einfluss auf die Langzeitsicherheit hat. Dies gilt für eine sehr kleine AUZ oder ein grosses



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Selbstabdichtungsvermögen, die eine durchgehende hydraulische Verbindung entlang der HAA-Lagerstollen oder der Versiegelungsstrecken unterbinden. Damit werden hydraulische Kurzschlüsse zwischen hydraulisch wirksamen Störungszonen vermieden. Eine Situation wird als «ungünstig» bewertet, bei der die AUZ den Radionuklidtransport, unter Berücksichtigung möglicher hydraulischer Kurzschlüsse zwischen hydraulisch wirksamen Störungszonen, massgeblich beeinflusst (NTB 08-05). Zwischen den Bewertungsstufen «sehr günstig» und «ungünstig» erfolgt eine graduelle Abstufung in der Bewertung, je nach Ausdehnung und Selbstabdichtungsvermögen der AUZ sowie der Erfolgsaussichten für bauliche Massnahmen zum Ausräumen/Unterbruch der AUZ in Schlüsselzonen.

Der Indikator 29 wird als nicht entscheiderelevanter Indikator eingestuft, da die Beeinträchtigung des Rückhaltevermögens durch die AUZ mit technischen Massnahmen kontrolliert werden kann. Bei der Bewertung des Indikators 29 wird nur das WG-ss bewertet. Der Indikator 29 wird für die SMA-Standortgebiete Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern, Jura Ost und Jura-Südfuss für alle betrachteten Wirtgesteine jeweils als «günstig», für die HAA-Standortgebiete Zürich Nordost, Nördlich Lägern und Jura Ost für den dort betrachteten Opalinuston als «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01; NAB 16-41).

Für die Untersuchung der Entwicklung der AUZ wurden Laboruntersuchungen, Beobachtungen, In-situ-Versuche in Untertagebauten (Verkehrstunnel im Jura, Felslabore Mont Terri, Bure und Tournemire) und numerische Simulationen durchgeführt. Der Einfluss der langfristigen Eigenschaften der AUZ auf die Langzeitsicherheit wird im NTB 14-10 diskutiert.

Die Langzeitentwicklung der AUZ wird durch die Nagra primär im Rahmen von numerischen Simulationen der Selbstabdichtung, d. h. der langfristigen Reduktion der Porosität und hydraulischen Leitfähigkeit in der Auflockerungszone diskutiert (NAB 13-78; NAB 14-87; NTB 14-02-IV). Für den Zustand nach dem Vortrieb bis zu einer vollständigen Lageraufsättigung werden Porositäten und Durchlässigkeiten einer homogenisierten radialsymmetrischen AUZ entlang der HAA-Lagerstollen (nicht der Zwischensiegel) und Schächte simuliert. Diese radialsymmetrische Konzeptualisierung der AUZ entspricht jener der Lagerdurchfluss- und Radionuklidtransportberechnungen im NTB 14-10. Die hydraulischen Annahmen in diesen Berechnungen zur Langzeitsicherheit gehen von einer hydraulischen Durchlässigkeit der AUZ im Basisfall von 10^{-12} m/s aus. Parametervariationen decken den Bereich bis zu einer hydraulischen Durchlässigkeit von 10^{-6} m/s ab. Aus diesen Parametervariationen ergibt sich, dass bei sehr hohen Durchlässigkeiten der Durchfluss durch die AUZ durch den vertikalen Zufluss aus der intakten geologischen Barriere beschränkt wird, und dass die AUZ um die verfüllten Untertagebauwerke einen unbedeutenden Freisetzungspfad darstellt, solange das hydraulische Leitvermögen kleiner als rund 10^{-7} m³/s ist (NAB 14-81; NTB 14-10).

Im Rahmen der Nachforderung des ENSI (ENSI 33/476) hat die Nagra bei der Beurteilung des Nahfeldverhaltens der BE/HAA-Lagerstollen die Bedingungen an der Stollenkontur bzw. in der AUZ sowie den Einfluss des Ausbruchs der Lagerstollen auf die Eigenschaften des direkt umgebenden Wirtgesteins berücksichtigt. Ungünstige Bedingungen im stollennahen Bereich des Wirtgesteins (BE/HAA-Lagerstollen) können zu ungünstigen Randbedingungen für die Selbstabdichtung des Opalinustons in der AUZ und damit zu einer erhöhten Wasserwegsamkeit längs der Lagerstollen führen. Eine kompaktierte Bentonitverfüllung trägt langfristig zu günstigen mechanischen Bedingungen im Nahfeld der BE/HAA-Lagerstollen bei. Das Quellvermögen von Bentonit unterstützt die Selbstabdichtung in der AUZ (NAB 16-42, S. 31-44).

Bei der Beurteilung des Nahfeldverhaltens der SMA/LMA-Lagerkammern ist der Einfluss der Lagerkammern auf die Barrierenwirkung des Wirtgesteins zu beurteilen. Der Vortrieb und der Ausbau, beeinflusst durch die Tiefenlage der Lagerkammern, haben dabei eine erhebliche Bedeutung. Wichtig ist insbesondere die mögliche Beeinträchtigung der vertikalen Migrationsdistanz im WG. Der Wasserfluss in der



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

AUZ der Lagerkammern für SMA bzw. LMA ist irrelevant, weil der Wasserfluss in axialer Richtung (d. h. längs der Lagerkammern) in jedem Fall durch die hohe hydraulische Durchlässigkeit des Verfüllmaterials bestimmt wird (NAB 16-42, S. 44-54).

An die Erstellung, den Betrieb und den Verschluss (inkl. einer eventuellen Rückholung) der geologischen Tiefenlager sowie den dauerhaften Einschluss der radioaktiven Abfälle werden verschiedene Nutzungsanforderungen (NA) gestellt. Vereinfacht werden zwei Kategorien von Anforderungen (Soll- und Muss-Anforderungen) unterschieden (NAB 16-45, Kapitel 3.4). Bezüglich der Langzeitsicherheit werden die Nutzungsanforderungen NA-6 bis NA-11 gestellt. Mit NA-6 wird die Beschränkung der Wasserwegsamkeit in der Auflockerungszone der BE/HAA-Lagerstollen und der Versiegelungsstrecken der Zugangsbauwerke auf Lagerebene angestrebt (soll-Anforderung). Bleiben nach dem Tunnelvortrieb die Menge an losem Opalinuston und die Grösse der verdeckten Hohlräume hinter dem Ausbau beschränkt, bestehen günstige Randbedingungen für die Selbstabdichtung des Opalinustons, sodass die Durchlässigkeit nach Aufsättigung des Nahfelds wieder sehr klein ist.

Die Primärgebirgsstützung in den Versiegelungsstrecken und Zwischensiegeln (BE/HAA-Lagerstollen) auf Lagerebene wird bevorzugt über Stahlbögen sichergestellt, sodass das Dichtmaterial (Bentonit) direkt an den Opalinuston anliegt. Damit kann eine langfristige Durchlässigkeitserhöhung entlang des Ausbaus unterbunden werden. Zwischen den Stahlbögen soll eine Sekundärsicherung gegen Steinschlag und fortlaufende Auflockerung in Form von Verzugsgitternetzen oder -matten in Kombination mit Felsankern angebracht werden. Um eine Verwitterung und fortlaufende Entfestigung des nicht versiegelten Opalinustons zu vermeiden, ist die Ventilation während der Offenhaltungszeit so auszulegen, dass dem Gebirge Feuchtigkeit entzogen wird. Evtl. ist der Bereich zwischen den Stahlbögen mit einer Spritzbetonversiegelung oder einem temporären Innengewölbe zu verstärken, welcher aber im Zuge des Einbaus der Versiegelung (Dichtmaterial aus Bentonit oder Bentonitsand) entfernt werden muss (NAB 16-45, Kapitel 2.3).

Im NAB 16-45 (Kapitel 5.2) wird das Gebirgsverhalten im Opalinuston anhand der Gebirgskennlinien aus numerischen Berechnungen für die verschiedenen Referenzprofile in Abhängigkeit der Lagertiefe (600 bis 900 m u. T.) und der gewählten Baugrundmodelle, ohne Berücksichtigung des Ausbaus, beurteilt. Gemäss den Berechnungsergebnissen nimmt die Ausdehnung der plastischen Zone (AUZ) bei gleichbleibendem Baugrundmodell mit der Tiefe etwa linear zu.

Im NAB 16-45 (Kapitel 5.3) wird das Systemverhalten anhand von Gebirgskennlinien aus analytischen elastoplastischen Totalspannungsberechnungen (NAB 16-45, Anhang A) und aus gekoppelten numerischen axialsymmetrischen Berechnungen (Anagnostou 2016) unter Berücksichtigung der Tragwirkung des Ausbaus für die verschiedenen Referenzprofile in Abhängigkeit der Lagertiefe (600 bis 900 m u. T.) und des gewählten Baugrundmodells beurteilt. Die gekoppelten axialsymmetrischen Berechnungen, unter Annahme des Baugrundmodells BGM-3a, berücksichtigen die räumliche Tragwirkung im Ortsbrustbereich und die zeitabhängige Belastungszunahme infolge Konsolidation sowie Ausbruchsequenz und Installation der Ausbruchsicherung. Daraus lassen sich relevante Zustandsgrössen, u. a. der Radius der plastischen Zone (AUZ), für die Beurteilung des Systemverhaltens der Lagerkammer herauslesen (NAB 16-45).

Zur Ergänzung der qualitativen Diskussion bezüglich Langzeitsicherheit wurden zur Illustration der Bedeutung der hydraulischen Durchlässigkeit der Auflockerungszone und der Versiegelungsstrecken sowie zur Illustration der Bedeutung der Qualität der Nahfeldbarrieren und der barrierenwirksamen Migrationslänge im Wirtgestein Dosisberechnungen durchgeführt, die teilweise hypothetischen «what if»-Charakter haben (NAB 16-41, Kapitel 5.6.3). Gesamthaft zeigen diese, dass eine erhöhte Durchlässigkeit in der AUZ bzw. in den Versiegelungsstrecken zwar einen Einfluss auf das Systemverhalten hat



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

(zunehmende Bedeutung der Freisetzung entlang Schacht bzw. Tunnel), dass die Dosen aber auch für extreme Annahmen (inkl. «what if»-Berechnungen) deutlich unterhalb des Schutzkriteriums bzw. des Optimierungsziels liegen. Die durchgeführten Dosisberechnungen zeigen auch, dass ungünstige Bedingungen im Nahfeld, wie sie bei Verletzung der Optimierungsanforderung bezüglich maximaler Tiefenlage möglich sind, ein sicheres geologisches Tiefenlager nicht ausschliessen. Die Langzeitsicherheit ist für die verwendeten Ausbaukonzepte und Ausbaumittel bei geeigneten Standortgebieten auch bis in Tiefen von 800 m u. T. (SMA-Lager) bzw. 900 m u. T. (HAA-Lager) grundsätzlich gewährleistet.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI ist mit dem Bewertungsobjekt WG-ss und mit der von der Nagra verwendeten Bewertungsskala einverstanden. Abweichend von der Nagra beurteilt das ENSI den Indikator 29 als entscheidend relevant. Die Langzeitentwicklung der Auflockerungszone kann eine hohe Bedeutung für die Integrität der sicherheitstechnischen Barrieren haben und andere sicherheitsrelevante Aspekte wie Radionuklid- und Gastransport sowie chemische Wechselwirkungen beeinflussen.

Das ENSI bewertet den Indikator 29 für alle Standortgebiete bzw. Lagerperimeter (SMA- und HAA-Lager) unter Berücksichtigung aller Wirtgesteine für das SMA-Lager einheitlich mit «günstig». Dies steht im Einklang mit der Bewertung der Nagra für die SMA-Standortgebiete, weicht aber von jener der Nagra für die HAA-Standortgebiete ab. Bei seiner Bewertung stützt sich das ENSI auf die aktuell vorhandene, beschränkte felsmechanische Datenbasis, welche zurzeit nur qualitative Aussagen über die Ausdehnung der AUZ erlaubt, und auf die Ergebnisse der Dosisberechnungen der Nagra im Rahmen der Nachforderung des ENSI (NAB 16-41).

Die Selbstabdichtung stellt eine phänomenologische Beobachtung der Reduktion der Porosität und hydraulischen Leitfähigkeit in natürlichen (tektonischen Störungen) und künstlichen Schwächezonen (Auflockerungszonen) dar (ENSI 33/460). Die dieser Beobachtung zugrunde liegenden Prozesse (Primär- oder Sekundärkonsolidation, Quellprozesse, Desintegration) sind bis heute nicht genau verstanden. Die Selbstabdichtung wird von der Nagra als fundamental wichtige Eigenschaft des Wirtgesteins betrachtet, mit dem Tonmineralgehalt korreliert und in den Bewertungen zur Standorteinengung in Etappe 2 SGT sehr stark gewichtet. Ebenso erhält der Radionuklidtransport in der Auflockerungszone durch die geplanten Versiegelungszonen und Zwischensiegel (HAA-Lagerstollen) eine sehr grosse Bedeutung (EGT 2016).

Die neuen Konsolidations- und Quellversuche an Proben der Bohrung Schlattingen-1 sind wertvolle Ergänzungen der früheren Datensätze über das Quell- und Konsolidationsverhalten des Opalinustons sowie die Belastungsvorgeschichte in der Nordschweiz. Die Quelldrücke entsprechen den Wertebereichen anderer Langzeitversuche (Langzeitversuche von 900 Tagen an Proben des Belchentunnels durch die ETH Zürich) und In-situ-Messungen. Die im NTB 14-01 ausgewiesenen Quellhebungen des Opalinustons sind im Vergleich zu diesen Langzeitversuchen der ETH sehr tief. Auch nach 900 Tagen sind Quelldrücke und Quellhebungen noch nicht abgeschlossen (EGT 2016).

Die In-situ-Versuche zur Selbstabdichtung bestätigen grundsätzlich, dass Konsolidations- und Quellprozesse zu einer signifikanten Reduktion der anfangs sehr hohen Durchlässigkeit der AUZ führen. Die In-situ-Versuche erlauben es aufgrund der heute vorliegenden Daten aber nicht, die dieser «Selbstabdichtung» zugrunde liegenden Prozesse (Primär- oder Sekundärkonsolidation, Quellprozesse, Desintegration) im Detail zu belegen und zu quantifizieren (EGT 2016).

Die Modellrechnungen zur Selbstabdichtung der AUZ (NAB 13-78; NAB 14-81) tragen keine neuen Erkenntnisse zu dieser Thematik bei und sollten nicht als Grundlage von Sicherheitsanalysen verwendet werden. Die Modellrechnungen basieren auf fragwürdigen konstitutiven Beziehungen (u. a. Skalen-, 3D-



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

und Netzeffekte, fehlende hydromechanische Koppelung im Rissimulator; Kluftschiessgesetz im Fliessmodell). Modellparametrisierungen und Annahmen über Randbedingungen wurden nicht aufgrund von Versuchsergebnissen festgelegt, sondern derart, dass Vorgaben zur maximalen Tunnelkonvergenz oder Selbstabdichtung der AUZ bei vollständiger Aufsättigung erreicht werden. Ebenso sollte die zeitliche Entwicklung der Selbstabdichtung sowie die Geometrie und Ausdehnung der AUZ nicht aus diesen Simulationen abgeleitet werden (EGT 2016).

Die neuen Modellrechnungen zum Radionuklidtransport in der Auflockerungszone bestätigen grundsätzlich frühere Modellresultate der Nagra und auch der Experten des ENSI. Die Berechnungen zeigen, dass die AUZ um die verfüllten Untertagebauwerke einen unbedeutenden Freisetzungspfad darstellt, solange das hydraulische Leitvermögen kleiner als rund 10^{-7} m³/s ist (hydraulische Durchlässigkeit kleiner als 10^{-8} m/s). Diese geforderte langfristige hydraulische Leitfähigkeit von maximal 10^{-7} m³/s sollte bei entsprechenden technischen Massnahmen beim Tunnelvortrieb in allen Standortgebieten eingehalten werden können. Das Einhalten von dieser Anforderung hängt primär davon ab, ob und mit welchen technischen Mitteln Niederbrüche und Mehrausbrüche (Überprofil) beim Vortrieb, insbesondere im Bereich der Versiegelungsstrecken und Zwischensiegel (HAA-Lagerstollen), verhindert und allenfalls wirksam verfüllt werden können (EGT 2016).

Wie die wenigen In-situ-Versuche zur Selbstabdichtung zeigen, sind der Betrag und die räumliche Verteilung der Stützdrücke wesentlich für eine signifikante Reduktion der hydraulischen Leitfähigkeit der Auflockerungszone. Die für eine signifikante Reduktion der Durchlässigkeit notwendigen Stützdrücke können durch herkömmliche vorgesehene Sicherungsmittel vermutlich nicht erreicht werden. Insbesondere in den Versiegelungsstrecken dürften die Stützdrücke nicht durch die vorgesehenen Stahlbögen, sondern erst später durch den quellenden Bentonit erreicht werden. Demzufolge ist mit einer signifikanten Selbstabdichtung erst bei beginnendem Quellen des Bentonits zu rechnen. Während Bau und Betrieb ist demzufolge die Beherrschung von Niederbrüchen, Mehrausbrüche und Schädigungen von zentraler Bedeutung (EGT 2016).

Das ENSI und seine Experten sehen mehrere Punkte in Bezug auf die vorgeschlagene Ausführung der Versiegelungsstrecken und Zwischensiegel aus bautechnischer Sicht als kritisch an. Die linienförmige Stützung durch Stahlbögen stellt einen sehr beschränkten Ausbauwiderstand zur Verfügung, was in weiterer Folge zu grösseren Konvergenzen und erhöhter Gebirgsschädigung führen kann. Es ist durch die nicht flächige Stützung auch nicht auszuschliessen, dass das Gebirge über die Stahlbögen hinaus nachbricht, die Stützung daher gänzlich unwirksam werden kann. Dies ist nicht nur aus geotechnischer und bautechnischer Sicht, sondern auch aus Sicht der Arbeitssicherheit zu hinterfragen. Auch wenn die Bögen den Kontakt mit dem Gebirge nicht verlieren, ist mit einer vermehrten Auflockerung des Gebirges zwischen den Bögen zu rechnen. Nachbrechendes Material würde zwar vom Gitter zwischen den Bögen gehalten, aber der angestrebte satte Kontakt zwischen Versiegelungsmaterial und Gebirge würde entscheidend reduziert und umfangreiche Nacharbeiten vor der Verfüllung erforderlich machen (EGT 2016).

Ein weiterer Punkt, welcher auch von der Nagra kritisch gesehen wird, ist die angestrebte vollständige Verfüllung der Versiegelungsstrecken. Ist eine vollständige Verfüllung mit pumpfähigem Material, wie es im Tunnelbau üblich ist, schon schwer zu erreichen, ist dies mit losem Material (Bentonitgranulat) in Anbetracht der zwangsläufig entstehenden Auflockerung und des damit verbundenen unregelmässigen Profils noch zusätzlich erschwert. Ein satter Kontakt der Versiegelung mit dem Gebirge wird ohne grösseren Aufwand, wie Entfernen des losen Materials, kaum zu erreichen sein (EGT 2016).

Mit der im NAB 16-45 beschriebenen Nutzungsanforderung NA-6 (Soll-Anforderung) strebt die Nagra eine Beschränkung der Wasserwegsamkeit des an die Ausbruchslaibung angrenzenden Gebirges



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

(«Auflockerungszone») im Bereich des HAA-Lagerstollens und der Versiegelungsstrecke auf Lager-ebene an. Für das SMA-Lager stellt sie keine entsprechenden Anforderungen. Eine solche Anforderung wäre jedoch aus Sicht des ENSI zum Schutz der Barrierenwirkung des Wirtgesteins angebracht. Das ENSI und seine Experten sind der Ansicht, dass bei NA-6, wie bei NA-7 (NAB 16-45), auch ein kombiniertes Kriterium definiert werden sollte, d. h. bei Überschreiten einer kritischen Grösse würde die Soll-Anforderung zu einer Muss-Anforderung aufgewertet (ENSI 33/530).

Ferner sollen entsprechende technische Massnahmen beim Tunnelvortrieb (Ausbruch- und Sicherungskonzept) vorgesehen werden, um die Menge von losem Wirtgestein und die Grösse der verdeckten Hohlräume hinter dem Ausbau zu beschränken und dadurch gemäss der Nagra günstige Randbedingungen für die Selbstabdichtung des Opalinustons zu erreichen (NA-6). Das Einhalten von dieser Anforderung (NA-6) hängt primär davon ab, ob und mit welchen technischen Mitteln grosse Ausbrüche oder Niederbrüche im Vortrieb der HAA-Lagerstollen und SMA-Kavernen, insbesondere in den geplanten Zwischensiegeln der HAA-Lagerstollen und Versiegelungsstrecken auf Lagerebene, verhindert und allenfalls wirksam verfüllt werden können. Das geplante Ausbaukonzept der Zwischensiegel und Versiegelungsstrecken auf Lagerebene soll in Etappe 3 SGT überarbeitet werden.

Das ENSI kann aufgrund der vorliegenden felsmechanischen Daten und der überkonservativen Berechnungsannahmen die Aussage der Nagra im NAB 16-41 (Kapitel 7) nicht nachvollziehen, dass das Standortgebiet Nördlich Lägern bezüglich möglicher Veränderungen im konturnahen Wirtgestein (in der AUZ) im Vergleich mit den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost wegen der grösseren Tiefenlage als nachteilig beurteilt wird.

Die gekoppelten numerischen axial-symmetrischen Berechnungen (Anagnostou 2016) zur Beurteilung des Systemverhaltens (Gebirge-Ausbau), welche die räumliche Tragwirkung des Ausbaus der Lagerkammer berücksichtigen, werden ausschliesslich unter der Annahme des Baugrundmodells BGM-3a (NAB 16-45, Tab. 4.2-9) mit dem geomechanischen Parametersatz GMmin durchgeführt (NAB 16-45, Tab. 4.2-3, 4.2-4 und 4.2-5). Dieser gemäss der Nagra massgebende Parametersatz ist nach heutigem Stand der geologischen und geomechanischen Kenntnisse bezüglich der effektiven Festigkeit und Steifigkeit des Gebirges als zu konservativ für den Opalinuston in den Standortgebieten der Nordschweiz zu bezeichnen. Diese Einschätzung stimmt auch weitgehend mit der Einschätzung der Nagra im NAB 16-43 zur effektiven Festigkeit überein. Das ENSI und seine Experten betrachten den Parametersatz GMmax als den mit dem heutigen Kenntnisstand eher übereinstimmenden geomechanischen Datensatz für die Standortgebiete in der Nordschweiz (ENSI 33/540, Kapitel 2.9).

Aufgrund einer Plausibilitätsprüfung zu den Dosisberechnungen teilt das ENSI die Aussagen der Nagra, dass selbst bei einer deutlichen Erhöhung der Durchlässigkeitswerte in der Auflockerungszone des Opalinustons das Schutzkriterium gemäss Richtlinie ENSI-G03 eingehalten wird. Das aktuelle Wissen über die Langzeitentwicklung der AUZ im Opalinuston ist allerdings noch beschränkt. Nach Ansicht des ENSI sollen die kurz- und langfristigen Konsolidations- und Quellprozesse in der AUZ einer Lagerkammer zum besseren Verständnis der Selbstabdichtungsprozesse im Opalinuston in Etappe 3 SGT vertieft untersucht werden. Die Eigenschaften der AUZ sind mit diesen Untersuchungen auch im Hinblick auf ein tiefenoptimiertes Ausbaukonzept neu zu beurteilen.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

2.4 Kriterium «Nutzungskonflikte»

2.4.1 I33 «Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins»

Angaben der Nagra

Der Opalinuston wird in der Nordschweiz in erster Linie als Ziegelei-Rohstoff in verschiedenen Tongruben abgebaut. Diese Nutzung dürfte auch in Zukunft auf die Erdoberfläche beschränkt bleiben, sodass im tieferen Untergrund diesbezüglich kein Nutzungskonflikt besteht. Im Opalinuston werden ferner keine Gasvorkommen erwartet, da der Gehalt an organischem Material niedrig und die Maturität zu gering ist. Der Indikator «Rohstoffvorkommen innerhalb des Wirtgesteins» wird für den Opalinuston in allen Standortgebieten daher insgesamt als «sehr günstig» beurteilt.

Innerhalb der Tongesteinsabfolge des 'Braunen Doggers' sind in der Nordschweiz keine nutzbaren Rohstoffe bekannt. Die im Süddeutschen Raum als Aquifere resp. Kohlenwasserstoff-Speichergesteine ausgebildeten Dogger- β -Sandsteine sind in dieser Form im Raum der Standortgebiete nicht bekannt. Der Indikator I33 wird daher in den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern insgesamt als «sehr günstig» beurteilt.

Die Effinger Schichten sind als Rohstoff für die Zementherstellung gut geeignet und werden deshalb in der Nordschweiz in verschiedenen Steinbrüchen abgebaut. Der untertägige Abbau in Tiefenlagen von 200 – 800 m ist wirtschaftlich nicht sinnvoll, da genügend oberflächennahe Vorkommen bestehen. Die Bewertung des Indikators 33 wird für die Effinger Schichten im Standortgebiet Jura-Südfuss daher als «sehr günstig» beurteilt.

Die Mergel-Formationen des Helvetikums werden lokal zusammen mit angrenzenden Kalk-Formationen als Rohstoff für die Zementherstellung abgebaut. Aus wirtschaftlichen Gründen wird diese Nutzung aber auch in Zukunft auf die Oberfläche beschränkt bleiben. Weitere nutzbare Rohstoffe sind innerhalb der Mergelvorkommen nicht bekannt. Die Bewertung des Indikators 33 fällt deshalb für die Mergel-Formationen im Standortgebiet Wellenberg insgesamt als «sehr günstig» aus.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt die Darstellung der Rohstoffvorkommen innerhalb der Wirtgesteine in den dargelegten Standortgebieten als vollständig und plausibel und kann die Bewertung der Nagra nachvollziehen. In den Mergel-Formationen im Standortgebiet Wellenberg ist wie im Seelisbergtunnel mit dem Auftreten von nicht nutzbaren lokalen Methangasvorkommen (Bläser) zu rechnen, was bei der Auslegung und dem Bau der Untertageanlagen zu berücksichtigen wäre.

2.4.2 I34 «Rohstoffvorkommen unterhalb des Wirtgesteins»

Angaben der Nagra

Als potenziell nutzbare Rohstoffe unterhalb des Wirtgesteins identifiziert die Nagra Kohlenwasserstoffe/Kohlevorkommen im Permokarbon sowie Salzvorkommen in der Anhydritgruppe des Mittleren Muschelkalkes. Die Salzvorkommen liegen im Bereich der Standortgebiete meist so tief, dass sie für eine wirtschaftliche Nutzung aus heutiger Sicht nicht in Betracht kommen, oder es gibt Hinweise auf eine sehr geringe Mächtigkeit bzw. auf das Nichtvorhandensein (Weiach) von Salzschiefern. Der Indikator I34 wird deshalb bezüglich Salzvorkommen für alle Standortgebiete als «sehr günstig» beurteilt.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Im Permokarbon der Nordschweiz besteht aufgrund von Bohrbefunden (Riniken, Weiach I und II) und Hinweisen aus seismischen Daten grundsätzlich ein Potenzial für Kohlevorkommen und damit zusammenhängende mögliche Gas-Nutzungen (Kohleflözgas, In-situ-Kohlevergasung, konventionelle und unkonventionelle Erdöl-/Erdgaslagerstätten, Schieferöl und Schiefergas). Aus diesen Gründen wird der Indikator 34 für die beiden Standortgebiete Jura Ost und Nördlich Lägern als «bedingt günstig» beurteilt. In den Standortgebieten Südranden und Jura-Südfuss werden Permokarbontröge vermutet, es liegen jedoch keine durch Bohrungen gesicherten Erkenntnisse vor, sodass ein spekulatives Potenzial für Kohleflözgas und Erdgas angenommen wird (Bewertung «günstig»). Im Standortgebiet Zürich Nordost besteht nur in Randbereichen ein spekulatives Potenzial für Kohlenwasserstoffe, weil im Lagerperimeter das Grundgebirge grösstenteils aus Kristallingesteinen besteht (Bewertung «günstig»).

Beurteilung des ENSI

Das Nutzungspotenzial von Kohlenwasserstoffen/Kohle des Permokarbons wurde von der Nagra eingehend untersucht und standortspezifisch beurteilt, die Ausführungen und Beurteilungen der Nagra sind plausibel und stufengerecht. Das ENSI stimmt den Bewertungen der Nagra zu.

Die Nutzung unkonventioneller Kohlewasserstofflagerstätten (u. a. tight gas, Schiefergas) erfordert den Einsatz von «Fracking»-Techniken. Damit verbunden ist das Risiko induzierter Seismizität und unkontrollierter Rissausbreitung, was eine quantitative Abschätzung der Reichweiten solcher Auswirkungen und die Festlegung eines Schutzbereiches im Rahmen der Etappe 3 SGT erfordert. Nicht explizit erwähnt werden durch die Nagra mögliche mittelfristige Auswirkungen der Nutzungen, insbesondere mögliche Subsidenzen infolge grosser Gasentnahmen oder Seismizität bei der Gasentnahme oder bei der Fluid-Verpressung. Diese Aspekte sollten bei der Festlegung des Schutzbereiches auch untersucht werden.

Die Verbreitung von Steinsalz in der Nordschweiz wurde von der Nagra umfassend und plausibel dargestellt, die Nagra-Bewertungen dieses Nutzungskonfliktes sind nachvollziehbar. Hinsichtlich Etappe 3 SGT sollte die Erschliessung und Nutzung von Salzlagerstätten unter dem Lagerperimeter mit der Festlegung des Schutzbereiches ausgeschlossen werden.

2.4.3 135 «Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins»

Angaben der Nagra

Der Indikator 35 «Rohstoffvorkommen oberhalb des Wirtgesteins» wird bestimmt durch die mögliche Nutzung von Steinen und Erden oberhalb des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches und kann grundsätzlich Steinbrüche und Materialgewinnung für die Zement- bzw. Ziegelindustrie sowie Natursteine bzw. Hartschotter umfassen. Im Grossraum der Nordschweizer Standortgebiete liegt der Schwerpunkt einer möglichen Nutzung auf den Effinger Schichten von ausreichender Mächtigkeit für die Zementindustrie. Die Nagra bewertet diesen Indikator 35 für alle Standortgebiete als «sehr günstig», mit Ausnahme des Standortgebietes Jura Ost im Bereich des SMA-Lagerperimeters, der wegen der dort im nördlichen Bereich des Lagerperimeters vorkommenden mächtigen Effinger Schichten nur als «günstig» beurteilt wird.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt die Darstellung der Vorkommen von nutzbaren Steinen und Erden oberhalb des Wirtgesteins als nachvollziehbar und teilt die Bewertungen der Nagra für die Nordschweizer Standortgebiete. Im Falle eines gross dimensionierten Rohstoffabbaus an der Oberfläche in den Standortgebiete



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

ten der Nordschweiz müsste der Einfluss der Dekompaktion des Gebirges (inkl. der induzierten Seismizität) im konkreten Fall geprüft werden. Das Projekt Kalk/Mergelabbau Homberg im Standortgebiet Jura Ost mit möglicherweise kritischen Dimensionen wurde von der Industrie aus verschiedenen Gründen zurückgezogen und aus dem kantonalen Richtplan gestrichen. Nicht betrachtet hat die Nagra mögliche Erzvorkommen in der Nordschweiz, wie sie lokal im Dogger (Herznach) sowie in eozänen Bolustonvorkommen im Top der verkarsteten Malmkalke ausgebeutet wurden. Ein wirtschaftlicher Abbau ist aus heutiger Sicht unwahrscheinlich, weshalb die Nichtbetrachtung dieses Nutzungskonfliktes durch die Nagra aus Sicht des ENSI keinen Einfluss auf die Bewertung hat.

2.4.4 136 «Mineral- und Thermalwassernutzungen»

Angaben der Nagra

In der Nordschweiz existieren an verschiedenen Orten Mineral- und Thermalwassernutzungen. Die genutzten Grundwässer stammen dabei typischerweise aus tiefreichenden Fliesssystemen. Es muss deshalb beurteilt werden, ob durch die Zugangsbauwerke ins Tiefenlager (Wirtgestein) eine Beeinflussung dieser Nutzungen zu erwarten ist. Eine Beeinflussung durch Bauwerke im Wirtgestein selbst kann aufgrund der sehr geringen hydraulischen Durchlässigkeit dieser Gesteine ausgeschlossen werden. Mineral- und Thermalwassernutzungen können während der Bau- oder Betriebsphase der Zugangsbauwerke beeinflusst werden, wenn eine hydraulische Verbindung zwischen diesen Nutzungen und den von den Zugängen durchfahrenen Gesteinsschichten besteht. Die Nagra hat deshalb alle Standortgebiete hinsichtlich ihrer hydrogeologischen und räumlichen Beziehung zu verschiedenen Nutzungen von Mineral- und Thermalwässern charakterisiert. Der Datensatz betrifft natürliche Quellen und Bohrungen (Brunnen) der Nordschweiz und angrenzender Gebiete, die für balneologische Zwecke und/oder als Mineralwässer oder für andere Zwecke wie Geothermie und als Trink-/Brauchwasser genutzt werden und eine entsprechende wirtschaftliche Bedeutung aufweisen. Die Nagra beurteilt potenzielle Nutzungskonflikte in erster Linie hinsichtlich der Möglichkeit, ob Aquifere oder Störungszonen in relevanter Distanz zur Fassung durch die Zugangsbauwerke tangiert werden.

Im Standortgebiet Südranden sind keine bedeutenden Mineral- und Thermalwassernutzungen vorhanden. In Lottstetten-Nack, rund 6 km vom Lagerperimeter SMA-SR entfernt, befindet sich eine Bohrung, die thermales Wasser im Malm-Aquifer fasst. Das Wasser besitzt eine hohe Verweilzeit und fliesst artesisch in einen Brunnen aus und wird zurzeit nicht genutzt. Je nach Linienführung könnte der Zugangstunnel die hydraulisch verbundenen Malmkalke in einem Abstand von 6 km durchfahren. Eine qualitative Beeinflussung wird praktisch ausgeschlossen, und eine quantitative Beeinflussung als unwahrscheinlich erachtet. In Trasadingen ca. 4,5 km westlich des Standortgebietes Südranden wurde in einer Bohrung mineralisiertes Wasser im Muschelkalk-Aquifer erschlossen. Eine hydraulische Verbindung mit dem Malm-Aquifer wird ausgeschlossen, somit auch eine Beeinflussung durch die Zugangsbauwerke. Entsprechend fällt die Beurteilung des Indikators 36 für den Lagerperimeter SMA-SR «günstig» aus.

Im Standortgebiet Zürich Nordost existieren wie im Standortgebiet Südranden keine bedeutenden Mineral- oder Thermalwassernutzungen. Die oben erwähnte Bohrung Lottstetten-Nack liegt ca. 1 km westlich des Standortgebietes und ca. 5 km westlich des Standortareals. Aufgrund der Notwendigkeit einer effektiven Reduktion der Zuflüsse in die Zugangsbauwerke durch eine optimierte Linienführung und Abdichtungsmassnahmen geht die Nagra davon aus, dass eine Beeinflussung des Thermalwasserbrunnens Lottstetten-Nack zwar nicht ausgeschlossen aber wenig wahrscheinlich ist. Weitere Nutzungen bestehen in den aktuell nicht mehr benutzten Mineralquellen von Eglisau, die rund 6 km vom Südwestrand des Standortgebietes entfernt liegen und Mineralwasser mittels Bohrungen aus durchlässigen Abschnitten der Unteren Süsswassermolasse (USM) förderten. Aufgrund der Distanz zum Standortgebiet



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

wird eine quantitative und qualitative Beeinflussung ausgeschlossen. Im rund 5 km nordöstlich des Standortgebietes gelegenen Schlattingen wurden zwei Bohrungen in den Muschelkalk-Aquifer abgeteuft, um Gewächshäuser mit Thermalwasser zu beheizen. Da der Muschelkalk von den Zugangsbauwerken nicht durchquert wird, wird eine Beeinflussung ausgeschlossen. Insgesamt beurteilt die Nagra den Indikator I36 für den Lagerperimeter Zürich Nordost knapp als «günstig».

In der Umgebung des Standortgebietes Nördlich Lägern befinden sich die bedeutenden Thermalkurorte Baden und Bad Zurzach. In Baden ca. 4 km südwestlich des Standortgebietes Nördlich Lägern tritt vorwiegend aus dem Muschelkalk stammendes thermales Wasser natürlich aus. Das Thermalwasser strömt wahrscheinlich aus dem Südosten zu und enthält auch aus dem Grundgebirge stammende Komponenten. In Bad Zurzach 7 km nordwestlich des Standortgebietes wurde mittels Tiefbohrungen Thermalwasser im kristallinen Grundgebirge erschlossen. Auch im Muschelkalk/Buntsandstein wurde schon Thermalwasser erbohrt. 18 km nordwestlich des Standortgebietes besteht in Waldshut-Tiengen eine weitere Thermalwasserbohrung, mit welcher ebenfalls kristallines Wasser erschlossen wurde. Da die Zugangsbauwerke keinen der genannten Aquifere und auch keine der potenziell wasserführenden Hauptstörungen durchdringen, wird eine Gefährdung der genannten Thermalwasser-Nutzungen durch die Nagra ausgeschlossen. Die aktuell nicht mehr genutzten Mineralquellen von Eglisau, wo Mineralwasser aus der USM gefördert wurde, liegen am Nordostrand des geologischen Standortgebietes. Eine mögliche Beeinflussung kann die Nagra aktuell nicht ausschliessen. Für den Lagerperimeter Nördlich Lägern beurteilt die Nagra den Indikator I36 insgesamt knapp als «günstig».

In der weiteren Umgebung des Standortgebietes Jura Ost befinden sich rund 10 km weit weg die Thermalquellen von Baden und die Thermalwasserbohrungen von Zurzach. Bereits deutlich weiter weg liegt Bad Säkingen. Die Thermalwasserfassungen im Muschelkalk-Aquifer von Bad Schinznach liegen weniger als 2 km südöstlich des Standortgebietes Jura Ost. Die Zugangsbauwerke, ausgehend vom Standortareal JO-3+, durchfahren mit Ausnahme des randlichen Bereichs des Hauptrogenstein-Aquifers nur geringdurchlässige Einheiten und keine der Aquifere, aus denen Mineral- und Thermalwasser gefördert werden. Die Jura-Hauptüberschiebung wird nicht durchquert, sodass eine Gefährdung der genannten Nutzungen durch die Nagra ausgeschlossen wird. Der Indikator 36 wird für das Standortgebiet Jura Ost deshalb als «sehr günstig» beurteilt.

In der Umgebung des Standortgebietes Jura-Südfuss bestehen verschiedene genutzte Mineral- und Thermalwasservorkommen, wobei insbesondere der Muschelkalk-Aquifer von Bedeutung ist (Bad Lostorf, Bad Ramsach, Bad Schinznach). Mit den Zugangsbauwerken werden nur hydrogeologische Einheiten oberhalb des Opalinustons durchfahren, darunterliegende Nutzungshorizonte sind nicht betroffen (auch keine Hauptüberschiebungsstörungen). Der Indikator I36 wird für das Standortgebiet Jura-Südfuss deshalb als «sehr günstig» beurteilt.

Im Standortgebiet Wellenberg gibt es keine Mineral- oder Thermalwassernutzungen, weshalb der Indikator 36 als «sehr günstig» beurteilt wird.

Beurteilung des ENSI

Die Nagra hat eine detaillierte und sorgfältige Erfassung der Mineral- und Thermalwassernutzungen in den geologischen Standortgebieten und in deren weiterer Umgebung durchgeführt. Das ENSI beurteilt den Datensatz für Etappe 2 SGT als stufengerecht und umfassend. Bezüglich Vollständigkeit gibt das ENSI zu bedenken, dass allenfalls die Möglichkeit besteht, dass verborgene Austritte thermaler Wässer noch unbekannt sind. Solche Austritte könnten analog zu den bekannten Austritten von Thermalwasser direkt in die Limmat bei Baden oder aus dem Fels in die Lockergesteine bei Bad Schinznach vorhanden sein. Solche heute unbekannt, an sich nutzbaren Thermalwasseraustritte sind zwar denkbar, aber es



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

ist wenig wahrscheinlich, dass diese eine grosse Bedeutung aufweisen würden. Entsprechend wurden sie bei den Betrachtungen der Nagra nicht berücksichtigt.

Die standortspezifischen Beurteilungen und Bewertungen der Nagra bezüglich möglicher Beeinflussungen von Mineral- und Thermalwassernutzungen durch Bau und Betrieb von Zugangsbauwerken und Tiefenlager sind für das ENSI nachvollziehbar und für Etappe 2 SGT stufengerecht. In Etappe 3 SGT wird im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung die Betrachtung der Umweltauswirkungen von Zugangsbauwerken auf bestehende Mineral- und Thermalwassernutzungen weiter zu vertiefen sein. Dazu gehören auch rechnerische Nachweise allfälliger Auswirkungen grosser Wasserzuflüsse in die Zugangsbauwerke (worst case) auf die Mineral- und Thermalwassernutzungen und auf die Verteilung der hydraulischen Potenziale in den verschiedenen Grundwasserstockwerken.

Im Zusammenhang mit der Festlegung des provisorischen Schutzbereiches für das Tiefenlager ist andererseits in Etappe 3 SGT (Rahmenbewilligung) auch zu prüfen, inwieweit neue Erschliessungen und Nutzungen von tiefen Aquiferen unterhalb des Tiefenlagers (z. B. Muschelkalk) einen Einfluss auf die Sicherheit des Tiefenlagers haben können (z. B. hypogene Verkarstung des Muschelkalkes in Bereichen über den Permokarbondrog-Rändern, wo Thermalwässer aus grosser Tiefe aufsteigen können und Auswirkungen von Subrosionsprozessen auf den einschlusswirksamen Gebirgsbereich des Tiefenlagers möglich sind). Die hydrochemischen Charakteristika (u. a. CO₂, H₂S) der bekannten Thermalwasservorkommen von Baden und Bad Schinznach passen gut mit einer potenziellen hypogenen Verkarstung zusammen.

2.4.5 137 «Geothermie und weitere energiebezogene Nutzungen des Untergrundes»

Angaben der Nagra

Bei der geothermischen Nutzung könnte es zu Nutzungskonflikten kommen, wenn vorhandene Ressourcen wegen eines Tiefenlagers nicht genutzt werden könnten oder die Integrität der geologischen Barriere durch menschliche Aktivitäten (Exploration, Erschliessung, Nutzung) beeinträchtigt würde. Die Nagra hat für Etappe 2 SGT deshalb das Potenzial für geothermische Nutzungen in der Nordschweiz im Detail analysiert und im NTB 14-02-VII die Bewertungen dokumentiert. Wesentliche Grundlage war dabei ein numerisches konduktives Temperaturmodell. Es wurden Temperaturfelder für die verschiedenen potenziellen Nutzhorizonte errechnet und Produktivitätskarten erstellt, welche die mittlere geothermische Leistung bei einer Dubletten-Nutzung der einzelnen nutzbaren Aquifere zeigt. Regionale Störungszonen und jene an den Rändern der Permokarbondröge sowie das Top des kristallinen Grundgebirges wurden dabei als relativ durchlässig angenommen.

Basierend auf die normierte geothermische Produktivität im Grossraum der Standortgebiete in der Nordschweiz sind deutliche positive Wärmeanomalien vor allem im unteren Aaretal und in den Störungszonen im Bereich der Ränder des Nordschweizer Permokarbondrog festzustellen. Die Lagerperimeter der geologischen Standortgebiete liegen nicht direkt über diesen Trograndstörungen, da diese wegen ihrer postpaläozoischen Reaktivierung als «zu meidende tektonische Zonen» eingestuft werden. Die Standortgebiete Nördlich Lägern und Jura Ost werden aber durch solche Zonen begrenzt. Falls Trograndstörungen des Permokarbons zukünftig geothermisch genutzt werden sollten (z. B. hydrothermale Anlagen zur Stromproduktion), müssten Sicherheitsabstände zu den Lagerperimetern definiert und eingehalten werden, damit keine unzulässige Beeinträchtigung der Sicherheit des Tiefenlagers auftritt.

Aufgrund dieser Datengrundlagen beurteilt die Nagra den Indikator 37 bezüglich Geothermie für die Standortgebiete Südranden, Zürich Nordost und Jura-Südfuss als «günstig», für die Standortgebiete



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Jura Ost und Nördlich Lägern wegen ihrer Nähe zu den Permokarbontrög-Rändern als «bedingt günstig».

Beurteilung des ENSI

Die Datengrundlagen zu den Temperaturverhältnissen, zur Wärmeflussverteilung und zur geothermischen Produktivität in der Nordschweiz wurden von der Nagra umfassend und vollständig dargelegt. Die standortspezifischen Bewertungen der Nagra sind für das ENSI nachvollziehbar und plausibel. Nach Einschätzung des ENSI liegt das grösste geothermische Nutzungspotenzial in den tiefreichenden Störungszonen im Bereich der Ränder der Permokarbontröge. Während der Nordschweizer Permokarbontrög mit Bohrungen und Seismik in den Standortgebieten Nördlich Lägern und Jura Ost nachgewiesen wurde, sind im Standortgebiet Südranden und Jura-Südfuss die Kenntnisse der Geologie des Grundgebirges noch lückenhaft und die Frage, inwieweit auch hier Permokarbontröge vorliegen, noch unklar. Aufgrund der seismischen Daten wird ein Permokarbon-Vorkommen im Gebiet Aarau – Olten sowie im Gebiet des Klettgaus vermutet bzw. nicht ausgeschlossen. Ein Meiden von Trograndstörungen ist aber bei dem derzeitigen geringen Kenntnisstand nicht möglich. Wegen der in den Bohrungen Gösigen und Oftringen beobachteten ausgeprägten positiven Wärmeanomalie, die nur mit aufsteigenden heissen Tiefenwässern erklärbar ist, relativiert das ENSI die Bewertung «günstig» der Nagra für das Standortgebiet Jura-Südfuss zu «bedingt günstig».

Im Rahmen der Etappe 3 SGT und des darin eingebetteten Rahmenbewilligungsverfahrens muss für den gewählten Standort und Lagerperimeter des Tiefenlagers ein provisorischer Schutzbereich festgelegt werden. Der Schutzbereich umfasst den gesamten Raum im Untergrund, wo Eingriffe die Sicherheit des Tiefenlagers beeinträchtigen könnten. Aufgrund von geothermischen Nutzungen des Untergrundes ist u. a. eine Gefährdung der Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereiches durch induzierte Seismizität und unkontrollierte Rissausbreitung denkbar und bei der Festlegung der Grösse des Schutzbereiches zu berücksichtigen.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Referenz:
Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
18.04.2017 / GEOL, TISA

3 Kriteriengruppe 3 «Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen»

3.1 Kriterium «Charakterisierbarkeit der Gesteine»

3.1.1 I39 «Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit»

Angaben der Nagra

Der Indikator 39, «Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit», wird von der Nagra bei der Bewertung der Standortgebiete als entscheidrelevanter Indikator verwendet (Merkmal «Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet»). Bewertungsobjekt ist das Wirtgestein sensu stricto. Die Beurteilung des Indikators erfolgt anhand der Merkmale Lagerungsverhältnisse, Homogenität bzw. Heterogenität der Gesteinsbeschaffenheit, Variabilität der Gesteinseigenschaften, Existenz und Art von Diskontinuitäten als Folge der tektonischen Überprägung. Die Bewertungen sind jeweils für SMA- und HAA-Standortgebiete gleich (NTB 14-01, S. 110 f.).

Zur Beurteilung des Opalinuston bezüglich dieser Aspekte trägt bei, dass mit keinen präferentiellen Fliesspfaden zu rechnen ist, und dass die Formation einen homogenen Aufbau hat und die laterale Kontinuität der lithologischen Ausbildung eine laterale Extrapolierbarkeit der relevanten Wirtgesteinseigenschaften über grössere Distanzen erlaubt. Der sedimentäre Aufbau des Opalinuston lässt keine lithofaziellen Einheiten und tektonisch-strukturelle Elemente erwarten, die sich ungünstig auf die hydraulischen Eigenschaften und den Stofftransport auswirken könnten; insbesondere sind auch bei tektonischer Überprägung wegen des hohen Selbstabdichtungsvermögens keine präferenziellen Freisetzungspfade mit ungünstigen Rückhalteeigenschaften zu erwarten. Der Indikator 39 wird daher für den Opalinuston in allen Standortgebieten mit «sehr günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 110 f.).

Die für die Bewertung des 'Braunen Doggers' massgebende tonreichste Abfolge (TA-1 = Wirtgestein sensu stricto) ist bezüglich dieser Merkmale etwa ähnlich einzustufen wie der Opalinuston. Insbesondere sind auch bei tektonischer Überprägung wegen des hohen Selbstabdichtungsvermögens keine bevorzugten Fliesspfade mit ungünstigen Rückhalteeigenschaften zu erwarten. Aufgrund der im Dezimeterbereich vorhandenen sandig-kalkigen Bänke wird die Abfolge TA-1 etwas schlechter bewertet als der Opalinuston, aber trotzdem für beide Standortgebiete noch knapp als «sehr günstig» eingestuft. Zur Prüfung der Sensitivität der Einengungsentscheide bezüglich alternativer konzeptueller Annahmen zur Wasserführung in den Wirtgesteinen 'Braunen Dogger' wird auch ein Fall bewertet, der von etwas günstigeren konzeptuellen Annahmen ausgeht. Diese Prüfung erfolgt auch durch eine alternative Bewertung des Indikators 39, welcher die Charakterisierbarkeit der «harten Bänke» betrifft. Dabei wird der Indikator 39 als «bedingt günstig» eingestuft, da in der alternativen Konzeptualisierung nicht nur die Lage der «harten Bänke» erkundet, sondern zusätzlich auch der Nachweis der nicht vorhandenen hydraulischen Kontinuität in diesen Bänken erbracht werden muss (NTB 14-01, S. 118).

Für die Bewertung der Effinger Schichten ist die mächtigste Kalkmergelabfolge (KMA-5 = Wirtgestein sensu stricto) massgebend. Die Kontinuität der Schichten der Kalkmergelabfolge über mehrere Kilometer ist verhältnismässig gut gewährleistet. Die Kalkmergelabfolgen der Effinger Schichten haben ein mässig gutes Selbstabdichtungsvermögen. In diesen Einheiten kann eine gewisse hydraulische Wirksamkeit von allfälligen tektonisch-strukturellen Elementen nicht ausgeschlossen werden. Durch tektoni-



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

sche Überprägung können kleinere, seismisch nicht erfassbare Störungen auftreten, welche nicht zuverlässig lokalisierbar und charakterisierbar sind. Der Indikator 39 wird für die Effinger Schichten deshalb mit «bedingt günstig» bewertet (NTB 14-01, S. 126).

Die Mergel-Formationen des Helvetikums sind wegen ihrer tektonischen Überprägung engräumig zerschert und verfaltet und werden als «homogen in ihrer Heterogenität» betrachtet. Durch die Zerschierung und Verfaltung sind auch die im Mergel vorhandenen Kalkbankabfolgen häufig boudiniert und auseinandergerissen; es bestehen aber auch Hinweise, dass sie stellenweise über grössere Distanzen zusammenhängend sein können. Die Kalkbankabfolgen haben ein geringes Selbstabdichtungsvermögen. Die Lokalisierung von grösseren kalkigen Fremdgesteinseinschlüssen wird durch den Indikator «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» erfasst. Die Charakterisierbarkeit der Mergel-Formationen bezüglich Klüftung und kleinräumiger Strukturen und des damit verbundenen lokalisierten Wasserflusses (Indikator 39) wird wegen ihrer Heterogenität nur als «bedingt günstig» beurteilt (NTB 14-01, S. 134).

Beurteilung des ENSI

Die Argumentation der Nagra anhand der dargelegten geologischen Daten (NTB 14-02-II; NTB 14-02-VIII) ist aus Sicht des ENSI nachvollziehbar und plausibel. Die von der Nagra aufgelisteten Merkmale zur Beurteilung des Indikators werden als vollständig angesehen. Die Beurteilung erfolgt mit Fokus auf der Betrachtung von präferenziellen Freisetzungspfaden mit ungünstigen Rückhalteeigenschaften. Dieses Vorgehen ist aus Sicht des ENSI sicherheitsgerichtet. Die zusätzliche Verwendung der Bewertungsstufe «bedingt günstig» entspricht einer Anpassung der im NTB 08-05, S. A1-129 dargelegten Bewertungsskala. Diese Anpassung der Skala ist aus Sicht des ENSI sinnvoll, da die damals definierten verschärften Anforderungen hier mit der Ausschliessbarkeit gewisser Eigenschaften im Sinne einer erhöhten Sicherheit verknüpft werden. Das ENSI sieht wie die Nagra keine Unterschiede bei der Bewertung eines Standortgebiets bei einem SMA- oder HAA-Lager, da die Bewertung sich an der stratigraphischen Abfolge im Standortgebiet orientiert.

Nicht einverstanden ist das ENSI mit dem Bewertungsobjekt der Nagra (WG-ss). Mit Ausnahme des Wirtgesteins Opalinuston (WG = WG-ss) ist bei allen anderen Wirtgesteinen mit sicherheitsrelevanten Heterogenitäten innerhalb des WG zu rechnen. Die Wahl des WG-ss beruht darauf, dass die innerhalb des WG vorhandenen Heterogenitäten überhaupt erkannt und charakterisiert werden können. Deshalb muss sich die Bewertung aus Sicht des ENSI auch auf das gesamte Wirtgestein beziehen und nicht nur auf einen Teilbereich, dessen Abgrenzung sich auf die zu charakterisierenden Heterogenitäten abstützt. Im Unterschied zur Nagra wird daher vom ENSI das gesamte WG als Bewertungsobjekt verwendet. Das ENSI weist ergänzend darauf hin, dass gegebenenfalls auch die Platzierung des Lagers innerhalb des WG-ss (ob mittig oder alternativ dezentral) von den Heterogenitäten ausserhalb des WG-ss beeinflusst werden kann. Auch deshalb ist für das ENSI die Charakterisierbarkeit des gesamten Wirtgesteins relevant und das Bewertungsobjekt WG zu wählen.

Aufgrund der lateral über grosse Distanzen prognostizierbaren Zusammensetzung, dem Fehlen hydraulisch wirksamer Bänke und der daher vorhandenen vertikalen Homogenität sowie der gut explorierbaren oberen und unteren Grenzen ist das ENSI mit der «sehr günstigen» Bewertung für den Opalinuston in allen Standortgebieten einverstanden. Wenn für den 'Braunen Dogger' nur das von der Nagra definierte Wirtgestein sensu stricto (TA-1) betrachtet würde, würde das ENSI die aus den vorhandenen Bohrungen sichtbare leicht erhöhte vertikale Heterogenität mit dem Auftreten einzelner sandigerer Bänke (STA) innerhalb des tonreichen Intervalls TA-1 gegenüber dem Opalinuston als «günstig» bewerten. Bei der Betrachtung des gesamten Wirtgesteins sind zusätzlich hingegen die lateral schlecht korrelierbaren harten Bänke und deren kaum nachweisbare hydraulische Dichtheit über lateral grössere



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Distanzen zu berücksichtigen, sodass nur eine «bedingt günstige» Bewertung für den 'Braunen Dogger' resultiert.

Die Bewertung «bedingt günstig» für das von der Nagra definierte Wirtgestein sensu stricto (KMA-5) der Effinger Schichten ist auch für das ENSI nachvollziehbar, da die Effinger Schichten vergleichbar zum 'Braunen Dogger' eine erhöhte interne Variabilität aufweisen. Sie bestehen mehrheitlich aus zwei alternierenden Lithologien, die Abfolge zeigt aber zusätzlich Diskontinuitäten in der Ablagerung, innerhalb derer die Kalkbänke abschnittsweise stark zunehmen können (Kalkbankabfolgen). Alle diese Elemente sind für die Langzeitsicherheit relevant und müssen für Betrachtungen des Radionuklidtransports im Detail und über die KMA-5 hinaus bekannt sein, um eine optimierte Lagerplatzierung zuzulassen. Das ENSI bewertet den Indikator 39 daher für das gesamte Wirtgestein Effinger Schichten, analog zum WG-ss, als «bedingt günstig».

Für die Mergel-Formationen des Helvetikums wird seitens ENSI die von der Nagra vorgeschlagene Bewertung «bedingt günstig» mitgetragen. Das geologische Standortgebiet Wellenberg ist durch sehr komplexe tektonische Verhältnisse charakterisiert. Der Wirtgesteinskörper umfasst nicht nur mehrere stratigraphische Einheiten, sondern ist auch lithologisch sowohl im dm- als auch km-Massstab als heterogen anzusehen. Dazu kommen tektonisch stärker beanspruchte Zonen. Eine Prognose der Geometrie des Faltenbaus (und damit der Ränder des Wirtgesteinskörpers) wird immer zu einem grösseren Grad konzeptuell bleiben und damit nur beschränkt verlässlich sein. Eine seismische Erkundung (z. B. zum Auffinden von Fremdgesteinskörpern) ist mit den aktuell verfügbaren Techniken nur sehr beschränkt möglich.

Das ENSI hatte in seinem sicherheitstechnischen Gutachten zur Etappe 1 SGT (ENSI 33/070, S. 129) empfohlen, die Bedeutung von allenfalls durchlässigeren Kalk- und Sandsteinlagen innerhalb des 'Braunen Doggers' im Hinblick auf den Indikator 'Variabilität der Gesteinseigenschaften im Hinblick auf ihre Charakterisierbarkeit' stufengerecht detaillierter abzuklären. Das ENSI ist der Meinung, dass die Nagra die Basisarbeit aufgrund bestehender Bohrungen und Oberflächenaufschlüsse vorgenommen hat (NAB 13-22; NAB 12-51; NAB 14-59) und diese Empfehlung somit umgesetzt wurde.

3.1.2 I40 «Erfahrungen»

Angaben der Nagra

Der Indikator 40, «Erfahrungen», wird von der Nagra bei der Bewertung der Standortgebiete nicht als entscheiderelevanter Indikator verwendet (daher liegen für den 'Braunen Dogger' und die Effinger Schichten seitens Nagra keine qualitativen Bewertungen vor). Bewertungsobjekt ist das Wirtgestein (WG). Die Bewertungen sind jeweils für alle SMA- und HAA-Standortgebiete gleich.

Im Rahmen von Entsorgungsprojekten mit dem Wirtgestein Opalinuston im Inland (Etappe 1 SGT, Projekt Entsorgungsnachweis, Felslabor Mont Terri) sowie mit vergleichbaren Tongesteinen im Ausland konnten umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden. Weitere Erfahrungen liegen aus mehr als 100 Jahren Tunnelbau vor. Der Indikator 40 wird für den Opalinuston mit «sehr günstig» bewertet.

Tonformationen mit sandig-kalkigen Einschaltungen werden international nur selten als mögliche Wirtgesteine für radioaktive Abfälle in Betracht gezogen. In der Schweiz wurden in jüngerer Zeit verschiedene Untersuchungen zur Charakterisierung des 'Braunen Doggers' durchgeführt (NTB 14-02-II). Grosse Bereiche der Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' weisen ähnliche Eigenschaften wie der Opalinuston auf, weshalb man diesbezüglich von den vorhandenen Erfahrungen zu diesem Wirtgestein profitieren kann. Bis zu einem gewissen Grad kann auf Erfahrungen mit verwandten Gesteinen und auf



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Analogieschlüsse zurückgegriffen werden. Aus diesen Gründen wird der Indikator 40 für die Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' trotzdem noch knapp als «günstig» eingestuft.

Auch Formationen aus Kalkmergeln mit kalkigen Einschaltungen werden international nur selten als mögliche Wirtgesteine für radioaktive Abfälle in Betracht gezogen. Die Effinger Schichten sind als Gesteinsformation im Tafel- und Faltenjura weit verbreitet und werden an der Oberfläche an zahlreichen Abbaustellen v. a. als Rohstoff für die Zement-Industrie genutzt. Über die Vorkommen in grösseren Tiefen kann auf einige Erfahrungen, Kenntnisse und Daten aus Untertagebauten (Eisenbahn- und Strassentunnel, Erdöl- und Erdgasbohrungen, Erdwärmesonden, Sondierbohrungen für Deponie- und Entsorgungsprojekte) zurückgegriffen werden. Ferner bestehen Erfahrungen mit ähnlichen Wirtgesteinen (Mergel-Formationen des Helvetikums am Wellenberg), die jedoch aufgrund des anderen geologisch-tektonischen Umfelds der Alpen nur beschränkt auf die Effinger Schichten übertragbar sind. Insgesamt ergibt sich für den Indikator 40 die Bewertung «günstig».

Tektonische Akkumulationen tonreicher Gesteine wurden international nirgends auf ihre Eignung als Wirtgestein für radioaktive Abfälle betrachtet. Die Erfahrungen mit flach gelagerten tonreichen Sedimentgesteinen und die Untersuchungsmethoden lassen sich zwar teilweise auch auf die Verhältnisse in den Mergel-Akkumulationen im Helvetikum übertragen, es bestehen jedoch bedeutende Unterschiede in der Hydrogeologie und Felsmechanik, welche sich aus der unterschiedlichen geologischen Geschichte (tektonische Deformation) ergeben. Für die Mergel-Formationen des Helvetikums bestehen umfangreiche Erfahrungen aus Projekten am Wellenberg/Oberbauenstock und Löttschberg. Die Erfahrungen sind aber im Vergleich zum Opalinuston deutlich weniger umfangreich. Der Indikator «Erfahrungen» wird deshalb knapp mit «sehr günstig» bewertet.

Beurteilung des ENSI

Die Nagra wendet den Indikator 40 richtigerweise nicht als entscheidend relevant an, was eine Eingrenzung auf bereits gut untersuchte Wirtgesteine gefördert hätte. Die Bewertungsskala entspricht der bereits in Etappe 1 SGT angewendeten Skala, wobei die Nagra richtigerweise auch die ausserhalb von Entsorgungsprojekten gesammelte Erfahrung berücksichtigt. Das ENSI sieht wie die Nagra keine Unterschiede bei der Bewertung eines Standortgebiets bei einem SMA- oder HAA-Lager, da die Bewertung sich an den aktuell vorhandenen Erfahrungen zum Wirtgestein orientiert.

Das ENSI ist mit der Bewertung «sehr günstig» für den Indikator 40 für das Wirtgestein Opalinuston einverstanden. Seit 20 Jahren wird der Opalinuston am Felslabor Mont Terri intensiv und mit internationaler Beteiligung untersucht und es liegen umfangreiche Datensätze zu den relevanten Gesteinsparametern vor (ENSI 33/489).

Die Bewertung «günstig» für den Indikator «Erfahrungen» für das Wirtgestein 'Brauner Dogger' wird aus Sicht des ENSI als korrekt beurteilt. Im Gegensatz zum Opalinuston sind weltweit keine Wirtgesteine mit kalkigeren und damit durchlässigeren Bänken untersucht worden und aufgrund der lateralen Fazieswechsel im 'Braunen Dogger' und der nur sehr beschränkten Anzahl von Aufschlüssen in der Nordschweiz liegen nur beschränkte Vergleichsmöglichkeiten (z. B. Wutachschlucht, NTB 14-02-II) vor.

Das ENSI ist mit der Bewertung «günstig» für den Indikator «Erfahrungen» für die Effinger Schichten einverstanden. Dieses Gestein zeigt eine über grössere Bereiche ähnliche stratigraphische Abfolge und ist in der Nordschweiz an diversen Stellen zur Zementherstellung abgebaut worden, sodass viele Detailbeobachtungen vorliegen.

Aufgrund diverser Entsorgungs- und Tunnelbau-Projekte sind zu den Mergel-Formationen des Helvetikums über viele Jahre Daten gesammelt worden. Da jedoch aufgrund der komplexen tektonischen Verhältnisse im Alpenraum von einer grossen Spannweite von geologischen Möglichkeiten ausgegangen



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

werden muss (vgl. z. B. Wassereinbrüche im Zufahrtstunnel nach Engelberg) und daher die Übertragbarkeit der Erfahrungen von einem Ort auf den anderen beschränkt bleibt, wird der Indikator seitens ENSI abweichend von der Nagra nur mit «günstig» bewertet.

3.2 Kriterium «Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse»

3.2.1 143 «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund»

Angaben der Nagra

Der Indikator «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» ist für die Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse von grosser Bedeutung und wird deshalb als entscheidend relevant eingestuft. Die «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» haben einen entscheidenden Einfluss auf die Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen. Die Bewertung der Wirtgesteine (NTB 14-01, S. 102) erfolgt im Hinblick auf die Explorierbarkeit ihrer Geometrie. Grundsätzlich wird dabei die Explorierbarkeit von der Oberfläche mittels Seismik oder Bohrungen beurteilt – falls notwendig wird auch die «Exploration von Untertag» berücksichtigt. Bei der Bewertung wird ebenfalls die tektonische Überprägung berücksichtigt. Das Bewertungsobjekt ist das Wirtgestein im Lagerperimeter.

Der Indikator «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» wird anhand der Existenz von seismischen Markerhorizonten im Wirtgestein oder in dessen Nähe sowie anhand der Homogenität des Wirtgesteins (inkl. lateraler Korrelationslängen) beurteilt. Günstig ist, wenn die Lagerungsverhältnisse und die Geometrie des Wirtgesteins bzw. des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs (inkl. die Existenz und Lage von sedimentären und tektonischen Architekturelementen) einfach und von der Erdoberfläche aus zuverlässig explorierbar sind (z. B. mit Reflexionsseismik).

Aufgrund der seismischen Impedanzkontraste der Sedimentgesteinsabfolgen unterhalb und in reduzierter Qualität auch oberhalb des Opalinuston können die Untergrenzen und teilweise auch die Obergrenzen der Wirtgesteinskörper und die Lage von Störungszonen mit einem Versatz von 10 bis 20 m mittels 2D- bzw. 3D-Seismik zuverlässig erfasst werden. Der Indikator wird daher für den Opalinuston in allen Lagerperimetern als «sehr günstig» bewertet.

Ziel ist es nachzuweisen, dass innerhalb der Lagerperimeter des Wirtgesteins 'Brauner Dogger' und der Effinger Schichten keine Versätze bestehen, welche in den «harten Bänken» (Sandkalkabfolgen bzw. Kalkbankabfolgen) zu einer erhöhten Wasserführung führen. Schon Versätze im Meterbereich können eine Erhöhung der Wasserführung bewirken. Die Identifikation von kalkigen und sandigen Untereinheiten ist mit reflexionsseismischen Methoden wegen der variablen und relativ geringen Mächtigkeiten und der relativ geringen Impedanzkontraste nur ansatzweise oder gar nicht möglich (NAB 14-57 und NAB 14-58).

Die für die Barrierenwirkung des 'Braunen Doggers' und der Effinger Schichten wichtigen Explorationsziele, nämlich die zuverlässige Erkundung der Lage und der Nachweis der fehlenden Kontinuität von «harten Bänken» sowie die Abwesenheit auch von kleinen Versätzen in den «harten Bänken», können mit reflexionsseismischen Methoden wegen der variablen und relativ geringen Mächtigkeiten und den relativ geringen Impedanzkontrasten nicht zuverlässig erreicht werden. Deshalb wird der Indikator für den 'Braunen Dogger' und die Effinger Schichten jeweils mit «bedingt günstig» bewertet.

Praktische Erfahrungen mit reflexionsseismischen Untersuchungen von Mergel-Vorkommen im Gebiet Wellenberg zeigen klar, dass die grundlegenden Randbedingungen (seismischer Impedanzkontrast zum Nebengestein) für eine erfolgreiche seismische Exploration (schichtförmiger Aufbau mit deutlichen



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Sprüngen der seismischen Impedanz, kontinuierlicher Verlauf der Schichtgrenzen) nicht erfüllt sind. Erschwerend kommt hinzu, dass das starke topographische Relief und die unregelmässige Lockergesteinsbedeckung zu einem komplexen Verlauf der seismischen Wellen mit Mehrfachreflexionen führen, weshalb auch mit 3D-seismischen Methoden keine belastbaren Ergebnisse erzielbar sind. Aus diesen Gründen wird der Indikator «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» bezüglich Exploration von der Oberfläche für die Mergel-Formationen des Helvetikums als «ungünstig» bewertet.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI erachtet den Indikator «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» als geeignet zur Einschätzung der Lagerungsverhältnisse und die Geometrie des Wirtgesteins und stützt dessen Einstufung als entscheiderelevanten Indikator. Zudem schätzt das ENSI die gegenüber Etappe 1 SGT unveränderte und für HAA- und SMA-Lager identische Bewertungsskala grundsätzlich als nachvollziehbar ein.

Aufgrund der Erläuterungen zur Bewertungsskala berücksichtigt das ENSI für seine Bewertung ebenfalls die Homogenität des Wirtgesteins, d. h. schichtparallele Diskontinuitäten und Inhomogenitäten (wie z. B. Kalkbankabfolgen und kalkige/sandige Untereinheiten). Angesichts der Fokussierung auf die Standortgebiete bzw. der Lagerperimeter erachtet es das ENSI als stufengerecht, auf das Argument der lateralen Korrelationslängen von > 10 km für die Einstufung in die Bewertungsstufe «sehr günstig» zu verzichten.

Das ENSI ist mit dem Bewertungsobjekt WG einverstanden und kann die Bewertung des Indikators «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» (Opalinuston: «sehr günstig»; 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten: «bedingt günstig»; Mergel-Formationen des Helvetikums: «ungünstig») nachvollziehen. Hinsichtlich Opalinuston ist der Markerhorizont Top Lias gut erkennbar. Die Erfahrungen aus der 3D-Seismik des Züricher Weinlandes zeigen, dass der Top Opalinuston näherungsweise kartierbar ist (Near-Top Opalinuston). Die den 'Braunen Dogger' und die Effinger Schichten begrenzenden Markerhorizonte near Top Effinger Schichten (nTEff) und Basis Malm (BMA) sind vergleichsweise weniger gut abbildbar. Zudem zeigen die Studien zur reflexionsseismischen Analyse des 'Braunen Doggers' und der Effinger Schichten, dass die seismischen Faziesräume zwar grob abgeschätzt werden können, die «harten Bänke» jedoch weder direkt mit der Seismik, noch indirekt über die seismische Fazies abbildbar sind. Die Kenntnis ihrer Lage wäre jedoch von grosser Wichtigkeit bei der Platzierung der Lagerkammern innerhalb dieser Wirtgesteine. Da mit zusätzlichen Bohrungen die laterale Ausdehnung einzelner «harten Bänke» nicht zuverlässig bestimmt werden kann, wird diese Ungewissheit auch im Verlauf von Etappe 3 SGT bestehen bleiben. Daher können die Wirtgesteine 'Brauner Dogger' und Effinger Schichten nicht besser als «bedingt günstig» bewertet werden.

Aufgrund der Ergebnisse aus der Reprozessierung der 2D-Seismikdaten im Standortgebiet Wellenberg kann das ENSI die «ungünstige» Bewertung der Nagra nachvollziehen. Auch die Berücksichtigung einer möglichen untertägigen Exploration (Sondierstollen) ändert aufgrund der räumlich nur beschränkt belastbaren Aussagen nichts an dieser Bewertung.

3.2.2 144 «Explorationsbedingungen an Oberfläche»

Angaben der Nagra

Gemäss Definition der Bewertungsskala in NTB 08-05 (Kapitel A1.44) erfolgt die Beurteilung des Indikators «Explorationsbedingungen an Oberfläche» anhand der Parameter Topographie, Tiefenlage des verwendbaren seismischen Markerhorizonts, Oberflächennutzung und Ankopplungsbedingungen für



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

die Seismik und anhand der Einsatzmöglichkeiten für Bohrungen. Das Bewertungsobjekt ist der Lagerperimeter.

Bis auf das Standortgebiet Wellenberg können alle HAA- und SMA-Lagerperimeter mit einer geeigneten 3D-seismischen Messung erkundet werden (NTB 14-01).

Für den Lagerperimeter SMA-SR ist aufgrund der geringen Tiefenlage ein erhöhter Aufwand zur strikten Einhaltung der Messgeometrie erforderlich. Daher wird dieser Indikator für den Lagerperimeter SMA-SR knapp als «sehr günstig» bewertet.

Für den Lagerperimeter SMA-ZNO-OPA erfordert die Abbildung im Bereich Neuhausen/Rheinfall einen erhöhten operativen Aufwand. Daher wird der Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche» nur als «günstig» eingestuft. Aufgrund der Erfahrungen aus der 3D-Seismik-Kampagne und der Bohrung Benken für das Projekt «Entsorgungsnachweis» wird der Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche» im Lagerperimeter HAA-ZNO knapp als «sehr günstig» eingestuft.

Die teilweise dichte Bebauung (Glattfelden), das Vorhandensein von Kiesgruben sowie die Beeinträchtigungen der Datenqualität durch den Fluglärm des Flughafens Zürich im Bereich der Lagerperimeter SMA-NL-OPA und HAA-NL führen zu Einschränkungen. Daher wird der Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche» für beide Lagerperimeter nur als «günstig» bewertet.

Für die Lagerperimeter SMA-JO-OPA und HAA-JO müssen nur wenige Objekte bei der Durchführung einer seismischen Messung zur Abbildung der Lagerperimeter berücksichtigt werden. Daher wird der Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche» als «sehr günstig» bewertet.

Die teilweise dichte Besiedlung im Aaretal, der Verlauf der Aare mit Aareinsel und die teilweise dichte Infrastruktur erschweren die Durchführung einer 3D-Seismik-Messung im Lagerperimeter SMA-JS-OPA. Der Lagerperimeter bietet es jedoch an, den westlichen Teil wegzulassen (NTB 14-01, Fig. 4.2-18), womit sich die Situation diesbezüglich etwas verbessert. Einbussen in der Abbildbarkeit müssen möglicherweise im Bereich des Aare-Knies-Winznau in Kauf genommen werden. Insgesamt wird daher der Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche» als «günstig» bewertet.

Im Standortgebiet Wellenberg sind die Bedingungen für seismische Untersuchungen von der Oberfläche aus durch die geologisch-tektonische Situation und die Topographie in erheblichem Masse erschwert bzw. nicht zielführend, da keine adäquaten Reflektoren vorhanden sind. Aufgrund der spezifischen Situation des Wirtgesteinskörpers ist aber eine erste Abklärung der Wirtgesteinsgrenzen mit Sondierbohrungen möglich (bei Bedarf auch mittels eines Sondierstollens). Der Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche» wird deshalb knapp als «bedingt günstig» beurteilt. Die Explorationsbedingungen an der Oberfläche für die Erkundung mit Bohrungen wird für alle Gebiete der Nordschweiz aufgrund der geringen Ausmasse der Bohrplätze und der bestehenden Flexibilität bei ihrer Platzierung als gegeben und gleichwertig betrachtet (NTB 14-02-VIII, S. 35).

Beurteilung des ENSI

Das ENSI erachtet die Bewertungsskala des Indikators «Explorationsbedingungen an Oberfläche» aus Etappe 1 SGT (NTB 08-05, A1.44) weiterhin als stufengerecht und die Mindestanforderungen für alle Lagerperimeter als erfüllt. Das ENSI ist mit dem Bewertungsobjekt Lagerperimeter einverstanden.

Die Dokumentation der Nagra zu ihrer Bewertung des Indikators «Explorationsbedingungen an Oberfläche» ist fachlich nachvollziehbar, die Bewertung des Indikators erfolgt aus Sicht des ENSI jedoch nicht strikt nach der vorgegebenen Bewertungsskala. In der Diskussion in NTB 14-01 zu den verschiedenen Lagerperimetern werden die wichtigsten Bewertungskriterien bzgl. der Oberflächennutzung teilweise angesprochen, eine systematische Anwendung der Parameter bei der Seismik ist jedoch anhand

**Klassifizierung:**

Aktenzeichen/Referenz:

Titel:

Datum / Sachbearbeiter:

keine

33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539

Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten

Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT

18.04.2017 / GEOL, TISA

der Dokumentation nicht ersichtlich. Zudem erachtet es das ENSI nicht als sicherheitsgerichtet, dass die Nagra bei der Bewertung für die Lagerperimeter SMA-SR-OPA und SMA-ZNO-OPA mit einem erhöhten operativen Aufwand argumentiert. Ein Kostenaspekt wird seitens ENSI nicht berücksichtigt.

Das ENSI wendet in seiner eigenen Betrachtung die einheitlichen Parameter für die Seismik, d. h. Topographie, Tiefenlage des verwendbaren seismischen Markerhorizonts, Oberflächennutzung und Ankopplungsbedingungen, systematisch an. Das ENSI beurteilt den Parameter Topographie anhand von GIS-Topographiedaten und mit Hilfe eines Höhengradienten. Eine Neigung von 20° wird dabei als Schwellenwert angesehen (Abbildung 7). Die Bewertung der Tiefenlage in den Standortgebieten der Nordschweiz erfolgt anhand der Karten der Nagra zur Tiefenlage Basis Opalinuston (vgl. NTB 14-02-VIII, Anhang A). Die Bewertung der Oberflächennutzung wird anhand der Karten zu den Explorationsbedingungen (NTB 14-02-VIII, Anhang A) und Satelliten-Bildern (Abschätzung der urbanisierten Fläche und der Waldfläche) durchgeführt, während die Ankopplungsbedingungen anhand des in der Bewertungsskala definierten Schwellenwertes zur Quartärmächtigkeit von 25 m (Abbildung 8) bewertet werden. Für das Standortgebiet Wellenberg erachtet das ENSI die Anwendung des letzten Parameters für die Ankoppelung aufgrund variierender Qualität der Ankoppelung durch gravitative Erosionseffekte als nicht belastbar. Die Resultate der Anwendung dieser Parameter gemäss Bewertungsskala NTB 08-05, S. A1-140 sowie die resultierenden Mittelwerte der Bewertungen sind in Tabelle 12 detailliert dargestellt.

Tabelle 12: Bewertung der vier Bewertungsparameter für seismische Messungen zum Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche». Das ENSI beschränkt sich bei seiner Bewertung auf die im Sachplan vorgegebenen Stufen.

	Tiefenlage WG	Topographie	Oberflächennut- zung	Ankopplung	Mittelwert
SR	4.5	3.5	2.5	4.5	3.75
ZNO	4.5	4.5	3.5	1.5 ¹⁾	3.5
NL	4.5	4.5	2.5	1.5 ¹⁾	3.25
JO	4.5	3.5	3.5	4.5	4.0
JS	4.5	3.5	2.5	2.5 ¹⁾	3.25
WLB	4.5	1.5	1.5	1.5 ²⁾	2.25

1) Die Resultate der 2D-Seismik aus Etappe 2 SGT deuten darauf hin, dass die Qualität der Ankoppelung mit der vorliegenden Bewertungsskala wohl unterschätzt wird. Entsprechend würde sich der Mittelwert erhöhen.

2) Für das Standortgebiet Wellenberg erachtet das ENSI den Parameter der Quartärmächtigkeit als nicht geeignet, um die Ankoppelung zu bewerten. Die Ankoppelung in diesem Standortgebiet ist massgebend beeinträchtigt durch grosse Hangrutschbereiche (NTB 14-02, Dossier II, Anhang A5-1). Entsprechend wird die Ankoppelung mit «ungünstig» bewertet.

 sehr günstig
(4 ≤ x ≤ 5)

 günstig
(3 ≤ x ≤ 4)

 bedingt günstig
(2 ≤ x ≤ 3)

 ungünstig
(1 ≤ x ≤ 2)

 ungenügend
(0 ≤ x ≤ 1)

Die Gesamtbewertung erfolgt auf Basis einer Einschätzung der Einsatzmöglichkeiten und Erfolgsaussichten für Seismik und Bohrungen, wobei die Seismik einen in der Bewertungsskala nicht definierten, höheren Stellenwert erhält. Die Erfolgsaussichten für Bohrungen bewertet das ENSI einheitlich mit «günstig», da die Bohrtechnik heutzutage durch den Einsatz von Schrägbohrungen quasi den Bohrstandort flexibel wählen kann. Auf Basis der Anwendung der vorliegenden Bewertungsskala bewertet das ENSI die «Explorationsbedingungen an Oberfläche» aller Standortgebiete in der Nordschweiz als «günstig» und für das Standortgebiet Wellenberg als «bedingt günstig». Durch die höhere Gewichtung



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

der Bewertungen für die Seismik hält das ENSI an der Bewertung der Seismik als Gesamtbewertung für diesen Indikator fest.

Da bereits der Indikator 43 «Explorationsverhältnisse im geologischen Untergrund» als entscheidend relevant eingestuft wird, ist das ENSI mit dem Vorgehen der Nagra einverstanden, den Indikator «Explorationsbedingungen an Oberfläche» als «nicht entscheidend relevant» zu betrachten. Entsprechend wirken sich die leicht unterschiedlichen Bewertungen des ENSI zu jener der Nagra nicht auf den Einengungsentscheid aus. Für das ENSI ist relevant, dass für alle in die Etappe 3 SGT weitergezogenen Standortgebiete eine detaillierte Exploration von der Oberfläche durchgeführt werden kann. Ferner sieht das ENSI gegenwärtig keinen Einfluss dieses Indikators auf die Abgrenzung optimierter Lagerperimeter in den geologischen Standorten.

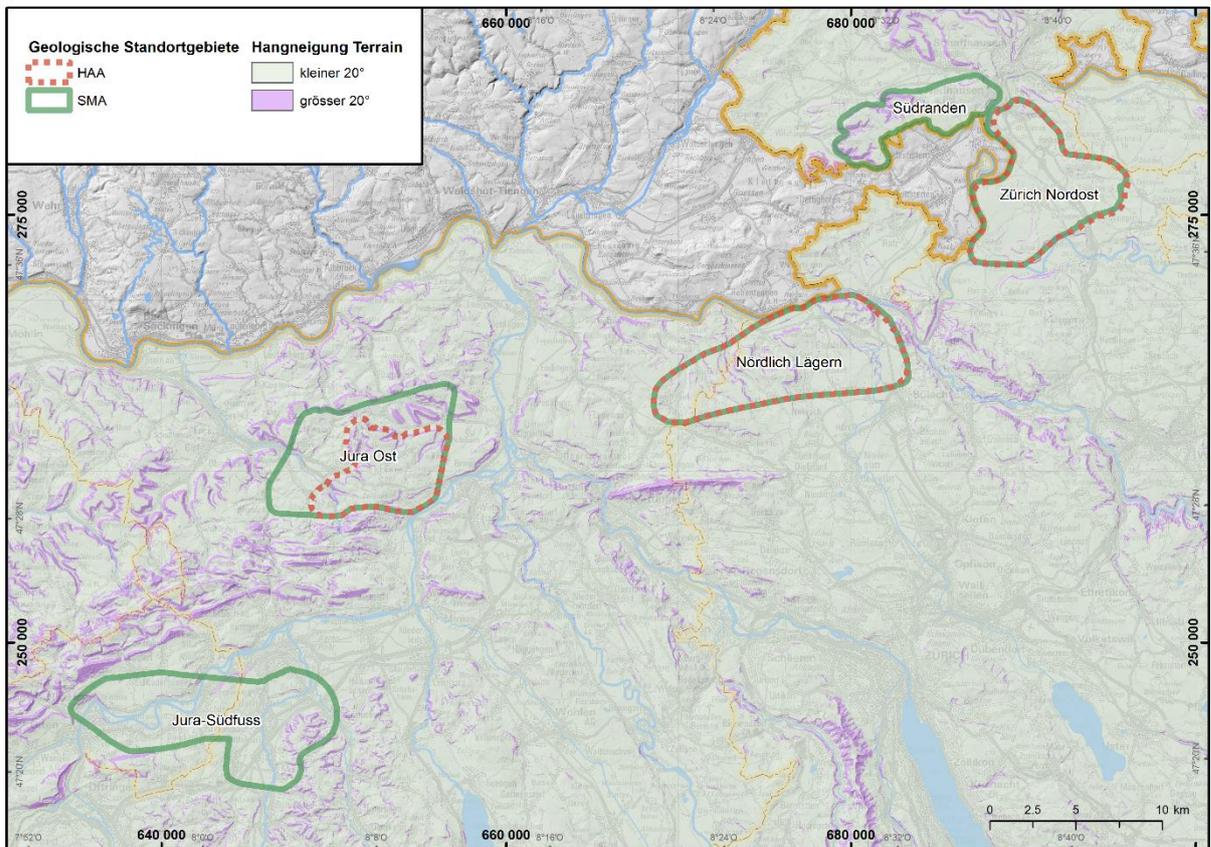


Abbildung 7: Topographie der zentralen Nordschweiz und Umriss der dort vorgeschlagenen HAA- und SMA-Standortgebiete. Die lila markierten Flächen stellen Hangneigungen > 20° dar.



Klassifizierung:
Aktenzeichen/Referenz:
Titel:
Datum / Sachbearbeiter:

keine
33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
18.04.2017 / GEOL, TISA

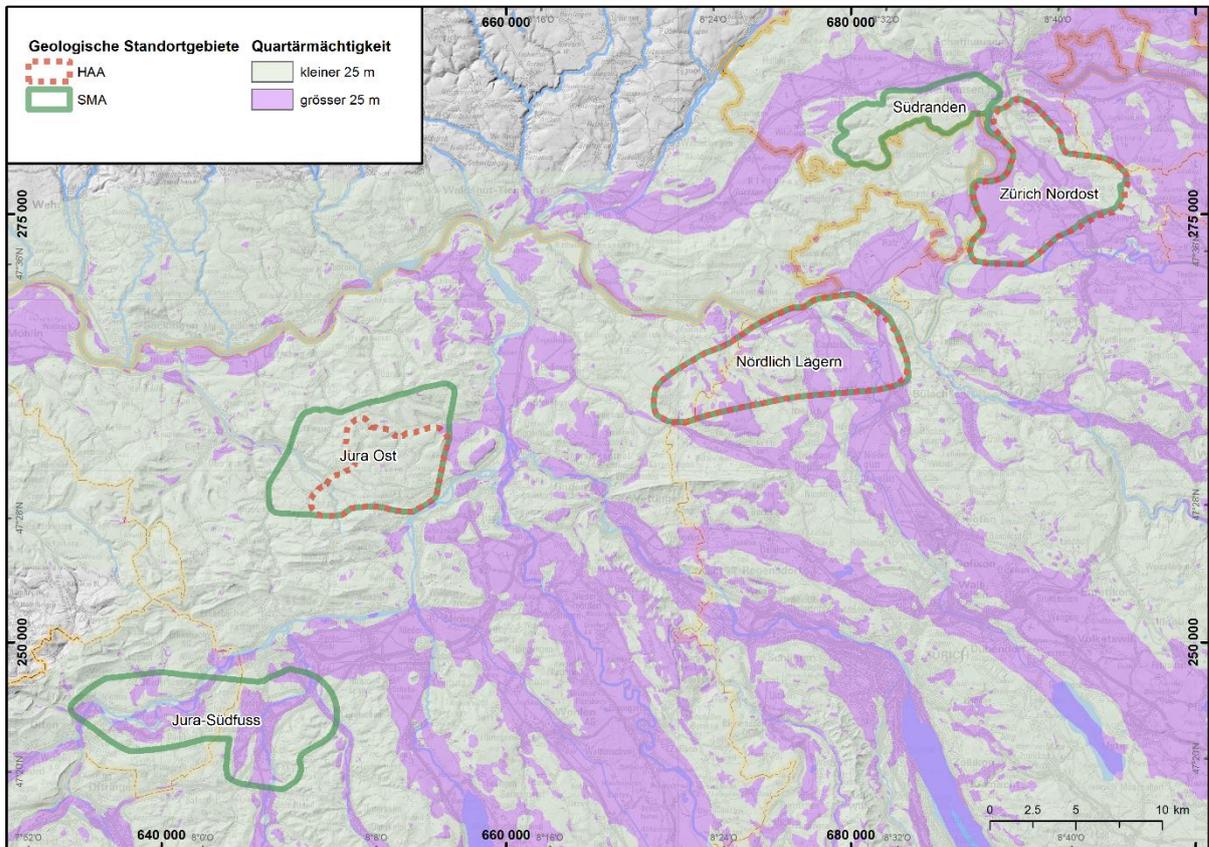


Abbildung 8: Karte mit eingezeichneter Quartärmächtigkeit > 25 m (lila) für die Nordschweizer HAA- und SMA-Standortgebiete als Basis auf die Bewertung des Parameters der Ankoppelung.

3.3 Kriterium «Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen»

3.3.1 I23 «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)»

Eine Bewertung dieses Indikators findet sich bereits in Kapitel 2.1. Auf Nachfrage des ENSI hat die Nagra erläutert (NAB 17-01, Frage 80), warum dieser Indikator zweimal bewertet und die Bewertung zweimal in die Gesamtbeurteilung der Nagra einfließt. Das ENSI ist grundsätzlich mit der Antwort und dem Vorgehen der Nagra einverstanden. Bei der erneuten Verwendung dieses Kriteriums in Etappe 3 SGT sollte unter dem Kriterium 3.3 der Aspekt der Prognostizierbarkeit bei der Bewertung stärker berücksichtigt werden. Alternativ könnte dafür auch ein separater, auf die Prognostizierbarkeit ausgerichteter Indikator definiert werden.

3.3.2 I46 «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation»

Angaben der Nagra

Der Indikator 46, «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation», wird von der Nagra zur Bewertung der Wirtgesteine eingesetzt, nicht zur Abgrenzung der Lagerperimeter, dann aber wieder zur Bewertung der Lagerperimeter in den Standortgebieten. Der Indikator ist kein entscheidungsrelevanter Indikator. Die



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Bewertung des Indikators bezieht sich auf das gesamte Wirtgestein bzw. auf den Lagerperimeter im Wirtgestein. Er ist eng mit dem Kriterium «Hydraulische Barrierenwirkung» verknüpft.

Die Qualität des Opalinustons bezüglich Langzeitisolation wird durch unabhängige Evidenzen bestätigt, insbesondere durch den Gehalt an salinen Wässern und deren Verweilzeiten sowie durch die Präsenz von durch Diffusion geprägten Profilen von Wasserinhaltsstoffen. Der Indikator «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation» wird daher mit «sehr günstig» bewertet.

Die Fähigkeit der Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' zur Langzeitisolation wird durch unabhängige hydrochemische Evidenzen bestätigt (Bohrungen Benken und Schlattingen). Gemäss den vorhandenen Daten verlaufen die Profile der natürlichen Tracer Chlorid, Wasserisotope und Helium innerhalb der Fehlergrenzen und natürlichen Streubreiten praktisch kontinuierlich vom Opalinuston durch den 'Braunen Dogger', d. h. es sind keine klaren Anomalien feststellbar, die auf eine Zirkulation von Grundwässern in einzelnen Gesteinseinheiten (z. B. Wedelsandstein-Formation) hinweisen. Wegen der vorhandenen Sandkalkeinschaltungen mit ihrem deutlich schlechteren Selbstabdichtungsvermögen werden jedoch die Evidenzen im Vergleich mit dem Opalinuston als schwächer eingestuft. Insgesamt wird jedoch der Indikator «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation» trotzdem noch knapp als «sehr günstig» eingestuft.

Die in den Effinger Schichten (Bsp. Bohrung Oftringen, NTB 12-07) beobachtete hohe Salinität der Porenwässer und die durchwegs hohen, mit dem Opalinuston der Bohrung Benken vergleichbaren Heliumgehalte (NTB 14-02-VI) bilden klare Evidenzen der Langzeitisolation. Der Indikator «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation» wird für die Effinger Schichten mit knapp sehr günstig bewertet.

Grundwässer aus den Sondierbohrungen im Standortgebiet Wellenberg und die extrahierten Porenwässer aus Bohrkernen weisen eine hydrochemische Zonierung auf, die einen klaren Hinweis auf das Langzeitisolationsvermögen der Mergel-Formationen bilden. Die hydraulischen Unterdrücke, die am Wellenberg unterhalb 500 m u. T. gemessen wurden, bilden ebenfalls eine unabhängige Evidenz für die geringe Durchlässigkeit und somit für das Langzeitisolationsvermögen. Auch wenn beim Opalinuston die Bewertung noch etwas positiver ausfällt, wird der Indikator «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation» für die Mergel-Formationen des Helvetikums trotzdem als «sehr günstig» eingestuft.

Beurteilung des ENSI

Die von der Nagra zur Bewertung herangezogenen «unabhängigen Evidenzen» umfassen gemessene Tracerprofile in Porenwässern, den Stockwerkbau der Aquifere und das Vorkommen anomaler Drücke (NTB 14-02-IV).

Profile von Porenwasser-Tracern durch gering permeable Einheiten stellen Naturanaloge dar, mit denen grundsätzlich Informationen zu Transportprozessen und -raten über grosse räumliche und zeitliche Massstäbe abgeschätzt werden können (Mazurek et al. 2011). Aufgrund der Erhebung der Daten direkt in den potenziellen Standortgebieten können damit die Standortgebiete auch direkt beurteilt werden (kein Übertragbarkeitsproblem, wie häufig bei den Naturanaloge). Entsprechende Tracerprofile liegen zu den Standortgebieten (oder aus deren naher Umgebung aus den Bohrungen Benken (NTB 04-05), Weiach (NAB 13-12), Riniken (NAB 13-12), Schlattingen (NAB 12-54), Oftringen (nur Effinger Schichten, NTB 12-07) und dem Wellenberg (Waber et al. 2013) vor. Ein Teil dieser Tracerprofile bestätigt die langfristige Dominanz der Diffusion gegenüber der Advektion und damit die seit langem anhaltende geringe hydraulische Durchlässigkeit der Wirtgesteinskörper.

Das ENSI stellt fest, dass auch Tracerprofile vorliegen, aus denen die Evidenz einer Langzeitisolation nur beschränkt herauslesbar ist (z. B. Weiach, NAB 13-12, siehe Abbildung 9). Die Methodik der Ent-



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

nahme von Wasserproben aus einem praktisch undurchlässigen Gestein und damit die Repräsentativität der genommenen Wasserproben ist dabei ein entscheidender Aspekt. Die heute in den umliegenden Aquifere gemessenen Fluidzusammensetzungen und deren Konstanz über den modellierten Zeitraum ist im Sinne der langfristigen topographischen Entwicklung und den sich gegebenenfalls ändernden Zuflüssen in die Aquifere als Annahme zu überprüfen. Ebenso die Fragen, was die initiale Porenwasserzusammensetzung im Wirtgestein und dessen Rahmengesteinen gewesen ist und inwiefern Kompaktions-/Dekompaktionsprozesse hier einen Einfluss ausgeübt haben.

Der Vergleich zwischen der bezüglich diverser chemischer Parameter zu den umgebenden Rahmengesteinen gekrümmten (Benken) oder nicht gekrümmten Kurve (Weiach) zeigt, dass es zumindest in der Nordschweiz kein einheitliches Muster für die Diffusionsprofile gibt (Abbildung 9). Für den Opalinuston des Standortgebiets Jura-Südfuss liegt kein Datensatz vor, für den Opalinuston des Standortgebiets Jura Ost (Bohrung Riniken) liegen nur Daten für Opalinuston und seine unteren Rahmengesteine vor. Die Unterschiede zwischen den Standortgebieten lassen eine Übertragbarkeit der Resultate zwischen den Standortgebieten der Nordschweiz fraglich erscheinen. Für den Wellenberg hingegen liegen aufgrund der Tracerprofile gute Evidenzen für die langfristige geringe Durchlässigkeit vor.

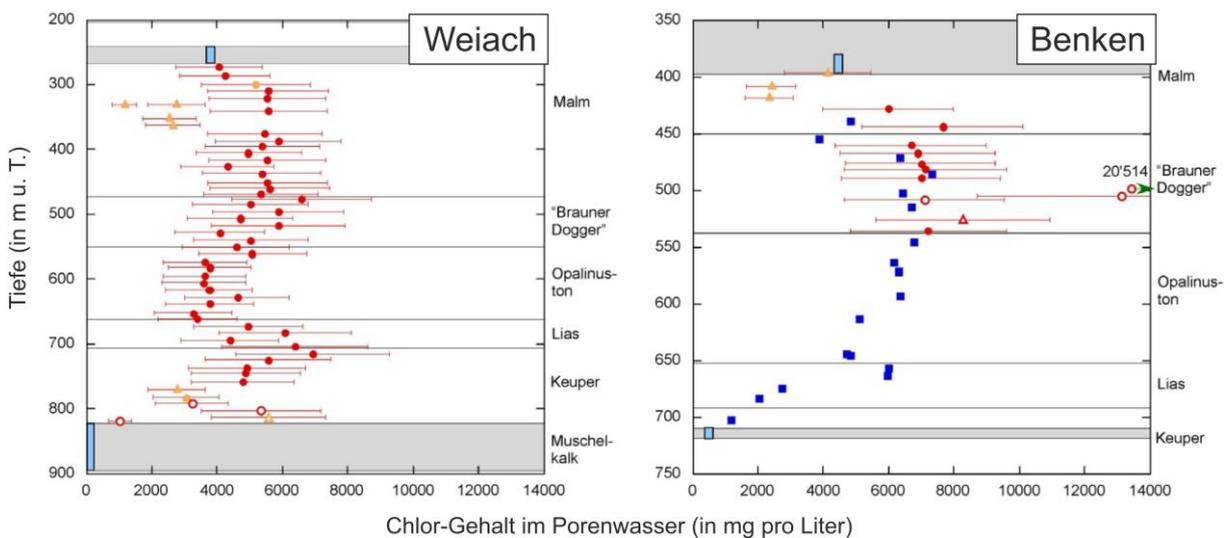


Abbildung 9: Vergleich zwischen den Chlor-Profilen für die Bohrungen Weiach (links) und Benken (rechts). Für die Bestimmung der Cl-Gehalte wurden für beide Bohrungen die aufgrund des Tonmineralegehalts erwarteten Porositäten eingesetzt (mit einem für Anionen zugänglichen Porositätsanteil von 0,5). Die Aquifere sind als graue Balken markiert, die dünnen grauen Linien trennen die stratigraphischen Einheiten. Für die detaillierte Bedeutung der verschiedenen Symbole der Messpunkte wird auf NAB 10-21 verwiesen (modifizierte Figuren 14 und 20).

Bezüglich des Stockwerkbaus der Aquifere hat die Nagra die Geochemie der Porenwässer in der gesamten Nordschweiz zwischen Faltenjura und Bodensee betrachtet (NAB 13-63). Sie kommt zum Schluss, dass in diesem Gebiet ein intakter Stockwerkbau vorhanden ist, bei dem die gering durchlässigen Lithologien des Doggers, Lias und Gipskeupers die Stockwerke Tertiär/Malm-Aquifer, Keuper-Aquifer und Muschelkalk-Aquifer effizient trennen. Das ENSI ist mit dieser Einschätzung grundsätzlich einverstanden. Sie weist aber darauf hin, dass die Situation entlang von Störungszonen in den Arbeiten der Nagra nicht untersucht worden ist.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Das Vorkommen anomaler Drücke in der Nordschweiz folgt keinem regelmässigen Schema (NAB 13-63), sodass daraus keine allgemeinen Erkenntnisse für die Nordschweiz abgeleitet werden können. Ein markanter Unterdruck ist jedoch bereits seit vielen Jahren für den Wellenberg bekannt (NTB 96-01) und seitens ENSI auch mehrfach positiv bewertet worden (z. B. in ENSI 33/070).

Das ENSI ist mit der generell sehr günstigen Bewertung des Indikators 46 «Unabhängige Evidenzen der Langzeitisolation» durch die Nagra für alle Wirtgesteine und Standortgebiete grundsätzlich einverstanden. Es ist jedoch für die in Etappe 3 SGT vorgesehenen Bohrungen einzuplanen, mit einer konsolidierten Methodik der Probennahme entsprechende Tracerprofile zu erheben und damit aufzuzeigen, dass die bisher aus vereinzelt Bohrungen bekannten Muster tatsächlich eine den gesamten Lagerperimeter eines Standortgebiets umspannende Gültigkeit haben.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

4 Kriteriengruppe 4 «Bautechnische Eignung»

4.1 Kriterium «Felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen»

4.1.1 I1 «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit (u. B. Gesteinsfestigkeiten und Verformungseigenschaften)»

Die maximale Tiefenlage der Lagerebene ist massgebend für die Beurteilung der geotechnischen Bedingungen und die damit verbundene mögliche Schädigung der geologischen und technischen Barrieren (NTB 14-01).

Die Bewertungsskala des Indikators 1 wird an die Erfordernisse für die Etappe 2 SGT angepasst (auf Optimierung ausgerichtete Zielwerte für die Abgrenzung optimierter Lagerperimeter, differenziertere Bewertung der resultierenden Lagerperimeter) (NAB 17-01, Frage 44). In Etappe 2 SGT wird angestrebt, die Tiefe der Lagerebene auf 600 m u. T. (SMA-Lager, Standortgebiete der Nordschweiz) bzw. 700 m u. T. (HAA-Lager) zu beschränken (NAB 14-81). Mit diesen Optimierungsanforderungen wird erreicht, dass die Gebirgsstörung bzw. Gebirgsschädigung auch im direkten Umfeld der Lagerkammern bzw. der Versiegelungsstrecken beschränkt bleibt. Weiter wird mit diesen Optimierungsanforderungen auch erreicht, dass unter Berücksichtigung der Ungewissheiten bei Änderung der geotechnischen Randbedingungen (Gebirgseigenschaften, In-situ-Gebirgsspannungen, Orientierung der Hohlräume im In-situ-Gebirgsspannungsfeld) die Gebirgsstörung weiterhin im zulässigen Mass beschränkt bleibt, da in diesen Tiefenlagen das Tragverhalten des Gebirges nicht sehr sensitiv reagiert (NAB 14-81). Für das Standortgebiet Wellenberg wird die Bewertungsskala aus Etappe 1 SGT (NTB 08-05) beibehalten.

Gemäss den Sensitivitätsanalysen für die Bewertung des mFE bzgl. alternativer Lagerperimeter und Konzeptualisierung (NTB 14-01) kann beim Standortgebiet Nördlich Lägern die angestrebte maximale Tiefe der Lagerebene eines SMA-Lagers bzw. eines HAA-Lagers von ca. 600 m u. T. bzw. ca. 700 m u. T. nicht eingehalten werden bzw. bleibt das Platzangebot in bevorzugter Tiefenlage ungenügend. Zwar können mit alternativen Annahmen bei der Abgrenzung der Lagerperimeter die Platzverhältnisse teilweise etwas verbessert werden, allerdings auf Kosten der bevorzugten maximalen Tiefenlage, d. h. mit ungünstigeren Bewertungen für Indikator 1. So ergibt sich für ein SMA-Lager bzw. ein HAA-Lager im Standortgebiet Nördlich Lägern erst bei einer Lagerebene in 800 m u. T. bzw. 900 m u. T. ein Lagerperimeter von knapp ausreichender Grösse (NTB 14-01). Selbst unter Annahme eines weniger tief liegenden Wirtgesteins (Berücksichtigung der Ungewissheiten in der Tiefenlage) kann die angestrebte maximale Tiefe nicht eingehalten werden (NTB 14-01). Die für den mFE identifizierten eindeutigen Nachteile des Standortgebiets Nördlich Lägern bleiben auch für alternative Annahmen bei der Abgrenzung der Lagerperimeter und unter Berücksichtigung der Ungewissheiten bezüglich der Tiefenlage bestehen.

Die Nagra bewertet den Indikator 1 für das SMA-Standortgebiet Südranden als «sehr günstig», für die SMA-Standortgebiete Zürich Nordost, Jura Ost und Jura-Südfuss als «günstig», Nördlich Lägern als «bedingt günstig» (WG 'Brauner Dogger') bzw. «ungünstig» (WG Opalinuston) und Wellenberg als «bedingt günstig». Bezüglich der HAA-Standortgebiete bewertet die Nagra den Indikator 1 für das Standortgebiet Jura Ost als «sehr günstig», für das Standortgebiet Zürich Nordost als «günstig» und für das Standortgebiet Nördlich Lägern als «ungünstig» (NTB 14-01; NAB 16-41).

Im Rahmen der Beantwortung der vom ENSI gestellten Frage 81 (NAB 17-01) hat die Nagra einen alternativen HAA-Lagerperimeter (HAA-ZNO-aL506-r) im Standortgebiet Zürich Nordost mit einer maximalen Tiefe der Lagerebene von 800 m u. T. abgegrenzt und den Indikator 1 für diesen Lagerperimeter als «bedingt günstig» bewertet.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Aus Sicht der Nagra bestätigen die im Rahmen der Nachforderung des ENSI (ENSI 33/476) durchgeführten Untersuchungen zur Tiefe der Lagerebene unter Terrain die früher vorgenommenen Bewertungen: Die aus Sicht der Bautechnik bevorzugte Tiefenlage für ein HAA-Lager ist 700 m u. T. oder weniger, diejenige für ein SMA-Lager 600 m u. T. oder weniger. Aus Sicht der Nagra gibt es deshalb keinen Grund, die Bewertungsskala des Indikators 1 anzupassen (NAB 16-41).

Falls die Notwendigkeit besteht, das Lager tiefer als 700 m u. T. (HAA-Lager) bzw. 600 m u. T. (SMA-Lager) anzuordnen, ist aus Sicht der Nagra in einem geeigneten Standortgebiet die Sicherheit und technische Machbarkeit voraussichtlich auch bis zu einer maximalen Tiefenlage von 900 m u. T. (HAA-Lager) bzw. 800 m u. T. (SMA-Lager) gegeben. Dies ist in Übereinstimmung mit den Aussagen zu den in Etappe 1 SGT vorgeschlagenen und vom Bundesrat genehmigten Standortgebieten. Diese Tiefen sind auch in Übereinstimmung mit den in Etappe 1 und Etappe 2 SGT verwendeten Mindestanforderungen bzw. verschärften Anforderungen (NAB 16-41).

Die im Rahmen der Nachforderung des ENSI überarbeiteten geomechanischen Grundlagen des Opalinustons und ihre Herleitung sind im NAB 16-43 ausführlich beschrieben. Basierend auf bestehenden empirischen und experimentellen Erfahrungen und Messungen sowie dem entwickelten konzeptionellen Modell werden drei Gebirgsmodelle oder geomechanische Parametersätze des Opalinustons (GMref, GMmax und GMmin) für die geomechanische Analyse des Gebirgs- und Systemverhaltens vorgeschlagen, welche sowohl die Ungewissheiten als auch die Abhängigkeit von der Tiefenlage und den Einfluss der tektonischen Überprägung berücksichtigen (NAB 16-45).

Auf Basis des heutigen Kenntnisstands verbleiben Ungewissheiten betreffend der tatsächlichen Baugrundverhältnisse in den Lagerperimetern. Diese Ungewissheiten werden durch die Berücksichtigung von Bandbreiten abgedeckt. Als Grundlage für die qualitativen und quantitativen Analysen und Bewertungen werden die geologischen Informationen in Baugrundmodelltypen BGM-1, BGM-2 und BGM-3 zusammengefasst (NAB 16-45), denen je ein geomechanischer Parametersatz GMmax, GMref bzw. GMmin zugeordnet wird.

Die Bedingungen im Standortgebiet Nördlich Lägern werden für die zuverlässige Verwendung des von der Nagra für den Bau der HAA-Lagerstollen bevorzugten Vortriebsverfahrens (offene TBM mit Gripper) und für den zuverlässigen und qualitativ befriedigenden Einbau der Zwischensiegel in den HAA-Lagerstollen im Vergleich zu den Bedingungen in den Standortgebieten Zürich Nordost (ZNO) und Jura Ost (JO) als weniger günstig beurteilt (NAB 16-45).

Für den Bau des bevorzugten SMA-Kavernenquerschnitts K09 werden die Bedingungen im Standortgebiet Nördlich Lägern im Vergleich zu den Bedingungen in den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost als weniger günstig beurteilt (NAB 16-45).

Nach Beurteilung der relevanten Aspekte bezüglich der Projektkonzepte der Lagerkammer und Versiegelungsstrecken, einschl. der Bauverfahren und Ausbaukonzepte, sowie im Hinblick auf Indikator 1 ergeben sich folgende Bewertungen für das HAA-Lager (NAB 16-41):

- Das Standortgebiet Nördlich Lägern hat bezüglich Baugrundmodelltypen und geologischer Gefährdungsbilder auch als Folge der tektonischen Überprägung im Vergleich zum Standortgebiet Zürich Nordost Nachteile; im Vergleich zum Standortgebiet Jura Ost ist das Standortgebiet Nördlich Lägern jedoch etwa gleichwertig zu bewerten.
- Bezüglich Tiefenlage hat das Standortgebiet Nördlich Lägern im Vergleich zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost klare Nachteile.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

- Weiter ist davon auszugehen, dass für das bevorzugte Bauverfahren (TBM mit Gripper) das Standortgebiet Nördlich Lägern gegenüber den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost Nachteile hat; die Tiefenlage und die Baugrundmodelltypen lassen dort deutlich schwierigere Bedingungen erwarten.
- Bezüglich möglicher Veränderungen im konturnahen Wirtgestein (Auflockerung, verdeckte Hohlräume hinter dem Ausbau) wird das Standortgebiet Nördlich Lägern im Vergleich zu den Standortgebieten Zürich Nordost und Jura Ost wegen der grösseren Tiefenlage bzw. den erwarteten Baugrundmodelltypen (Einfluss der tektonischen Überprägung) als nachteilig bewertet.
- Die grosse Tiefenlage im Standortgebiet Nördlich Lägern führt auch bezüglich der mit der Tiefe zunehmenden Gebirgstemperatur zu einem Nachteil.
- Ein Ausweichen der Lagerkammern in die zu meidende tektonische Zone im Standortgebiet Nördlich Lägern würde zwar zu einer Reduktion der Tiefenlage führen, aber gleichzeitig ungünstigere Gebirgseigenschaften ergeben (NAB 16-41, Fussnote 103).

Der Vergleich zeigt, dass insbesondere die grosse Tiefenlage für das Standortgebiet Nördlich Lägern von Nachteil ist. Beim HAA-Lager könnte einzig die Forderung nach einer grösseren Tiefe der Lagerebene als 700 m u. T. zum besseren Schutz vor Erosion dazu führen, die grosse Tiefenlage im Standortgebiet Nördlich Lägern nicht als eindeutigen Nachteil einzustufen. Beim SMA-Lager (Betrachtungszeitraum 100 000 Jahre) stellt sich die Frage der Verletzung des Lagers infolge glazialer Übertiefung einer Rinne nicht. Aus diesen Gründen bestehen aus Sicht der Nagra sowohl für das HAA- als auch das SMA-Lager eindeutige Nachteile für das geologische Standortgebiet Nördlich Lägern.

Im NTB 14-01 bewertet die Nagra den Indikator 1 beim Standortgebiet Wellenberg mit «bedingt günstig» und formuliert für diesen Indikator einen Hinweis auf einen eindeutigen Nachteil. Er wird aber nicht als eindeutiger Nachteil für Indikator 1 eingestuft, da die Erstellung und der Betrieb der SMA-Lagerkammern angesichts der im Vergleich mit dem Opalinuston höheren Gesteinsfestigkeit der Mergel-Formationen des Helvetikums auch in grösseren Tiefen zuverlässig und sicher gewährleistet werden können (NTB 14-01). Die Erfahrungen beim Bau des Seelisbergtunnels und des Lötschberg-Basistunnels durch die Mergel-Formationen des Helvetikums zeigen, dass die aufgetretenen bautechnischen Schwierigkeiten mit den gewählten Baumethoden und Ausbruchssicherungsmaßnahmen gut beherrscht werden konnten. Deshalb führen die gewählten Lagertiefen von mehr als 800 m u. T. (935 und 1139 m u. T.) in diesem Standortgebiet zu keinem Ausschluss wegen der Verletzung der Mindestanforderungen bzgl. des Indikators 1. Die grosse Tiefe wird jedoch bei der Bewertung («bedingt günstig») berücksichtigt (NAB 14-81; NAB 17-01, Frage 79).

Beurteilung des ENSI

Die Schlussfolgerungen und Beurteilungen der Nagra im NAB 16-45 und NAB 16-41 bezüglich der Tiefe der Lagerebene und der geotechnischen Bedingungen im Standortgebiet Nördlich Lägern für den Bau der HAA-Lagerstollen und SMA-Kavernen basieren vor allem auf felsmechanischen Berechnungen mit den Gebirgsmodellen (Parametersätzen) GMmin und GMref des Opalinustons. Die Annahme der Nagra, dass das Gebirgsmodell GMmax irrelevant für ihre felsmechanischen Berechnungen ist (NAB 16-45; NAB 16-44), ist nach Einschätzung des ENSI aufgrund der vorliegenden Daten nicht nachvollziehbar.

Mit der Einstufung des Gebirgsmodells GMmax als nicht relevant hat die Nagra einen grossen Teil der durch die drei Gebirgsmodelle (GMmax, GMref, GMmin) gegebenen Bandbreite der geomechanischen Parameter des Opalinustons aus ihren felsmechanischen Betrachtungen ausgeschlossen. Damit wird



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

den Ungewissheiten bezüglich des Materialverhaltens nicht mit einer ausreichend grossen Bandbreite der geomechanischen Parameter Rechnung getragen (ENSI 33/461). Für das Gebirgsmodell GMmax liegen in den abgegebenen Berichten keine Berechnungen vor, obwohl dieser Parametersatz die wenigen zuverlässigen, für den relevanten Tiefenbereich von 600 m bis 900 m massgebenden Triaxial- und Odometerversuche am besten wiedergibt (ENSI 33/531).

Das von der Nagra als massgebend oder «abdeckend für die Prüfung der Machbarkeit» eingestufte Gebirgsmodell GMmin (Baugrundmodelltyp BGM-3) ist nach heutigem Stand der Kenntnisse bezüglich der effektiven Festigkeiten und der Steifigkeiten des Opalinustons in den Standortgebieten aus Sicht des ENSI als zu konservativ zu bezeichnen.

Die meisten felsmechanischen Berechnungen zur Beurteilung des Einflusses der Tiefenlage auf das druckhafte Gebirgsverhalten und das Systemverhalten (Tragwerksanalyse) wurden unter der Annahme des Gebirgsmodells GMmin (Baugrundmodell BGM 3a) durchgeführt (NAB 16-45). Bei diesen Berechnungen hat die Nagra verschiedene konservative Annahmen für die Gebirgskennwerte getroffen (Festigkeit isotrop gemäss Eigenschaften entlang der Schichtung, Steifigkeit isotrop gemäss Eigenschaften senkrecht zur Schichtung), die sehr ungünstig sind. Die Annahme des Gebirgsmodells GMmin als «abdeckend für die Prüfung der Machbarkeit» sowie weitere von der Nagra getroffene konservative Annahmen zur Vereinfachung des Berechnungsmodells (also eine Anhäufung konservativer Annahmen) ist aus Sicht des ENSI sinnvoll für die Prüfung der Machbarkeit eines Standortgebiets, jedoch nicht um eindeutige Nachteile eines Standortgebiets gegenüber anderen Standortgebieten nachzuweisen (ENSI 33/531).

Die wenigen von der Nagra durchgeführten felsmechanischen Berechnungen unter Annahme des Gebirgsmodells GMref (Baugrundmodell BGM-2) zur Beurteilung des Einflusses der Tiefenlage auf das druckhafte Gebirgsverhalten (NAB 16-45; Itasca 2016) enthalten zusätzlich zu den für GMmin getroffenen konservativen Annahmen weitere konservative (ungünstige) Annahmen (Festlegung des Übergangs von der Höchst- zur Restfestigkeit, Festlegung bzw. Anwendung des E-Moduls im Nachbruchbereich für das gesamte Gebirge). Aufgrund dieser Vorgehensweise gehen die Unterschiede zwischen den Gebirgsmodellen GMref und GMmin verloren, wodurch die damit erzielten Berechnungsergebnisse praktisch übereinstimmen. Somit sind das verwendete Berechnungsmodell bzw. die vereinfachenden Annahmen ungeeignet, um den Einfluss der unterschiedlichen Materialparameter auf das druckhafte Gebirgsverhalten zu erfassen (ENSI 33/531).

Die von der Nagra getroffenen Annahmen führen aus Sicht des ENSI zur Überschätzung der Gebirgsverformungen im Umfeld der Lagerkammern. Diese Überschätzung der Gebirgsverformungen wirkt sich unmittelbar auf die Dimensionierung des Ausbaus der Lagerkammern aus und beeinflusst weitere damit zusammenhängende Beurteilungen der Nagra im NAB 16-45 und NAB 16-41.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Nagra den Einfluss der Bandbreite der geomechanischen Parameter stark unterschätzt bzw. im Vergleich dazu den Einfluss der Tiefenlage stark überschätzt. Eine von den Experten des ENSI durchgeführte Sensitivitätsstudie folgert, dass rechnerisch der Einfluss der möglichen Materialeigenschaften (GMmin bis GMmax) bedeutender ist als der Einfluss der Tiefenlage (ENSI 33/531).

Die Nagra basiert ihre Beurteilungen bzgl. der Tiefenlage für den Bau der HAA-Lagerstollen auch auf der von ihr bevorzugten Vortriebsmethode (offene TBM mit Gripper) und einem Ausbau mit bewehrtem Spritzbeton (NAB 16-45). Das ENSI erachtet diese Vorfestlegung als verfrüht und in der aktuellen Projektphase nicht stufengerecht.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

Der Einbau von Zwischensiegeln in den HAA-Lagerstollen wird einerseits im NAB 16-45 als Argument für die Benachteiligung des Standortgebiets Nördlich Lägern und folglich als Argument für die Begrenzung der maximalen Tiefenlage der HAA-Lagerstollen benutzt, andererseits im NAB 16-41 bzw. NAB 16-42 als nicht zwingend notwendig dargestellt. Das ENSI kann deshalb die Schlussfolgerungen der Nagra im NAB 16-45 bezüglich der Zwischensiegel zum Nachteil vom Standortgebiet Nördlich Lägern nicht nachvollziehen.

Bezüglich der Gebirgstemperatur bestehen aus Sicht des ENSI gegenwärtig Ungewissheiten, die in Etappe 3 SGT anhand der geplanten erdwissenschaftlichen Untersuchungen reduzierbar sind. Die Konsequenzen der Gebirgstemperatur für Bau und Betrieb eines Tiefenlagers sollen in Etappe 3 SGT unter anderem auch durch ein standortspezifisches Lüftungs- und Ventilationskonzept abgeklärt werden. Die möglichen Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit sind darzulegen. Aus diesen Gründen stimmt das ENSI der Aussage der Nagra nicht zu, dass die grössere Tiefenlage und die allfällig höhere Gebirgstemperatur im Standortgebiet Nördlich Lägern zwingend zu einem Nachteil führen.

Beim SMA-Standortgebiet Wellenberg werden die Mindestanforderungen aus Etappe 1 SGT bezüglich des Indikators 1 bei zwei von den drei definierten Lagerebenen nicht eingehalten, weil diese tiefer als 800 m u. T. liegen. Allerdings ist auch das ENSI aufgrund der Angaben der Nagra im NAB 14-81, NTB 14-01 und NAB 17-01 (Frage 79) der Ansicht, dass die Erstellung der Lagerkammer in den Mergel-Formationen des Helvetikums auch in grösseren Tiefen als 800 m u. T. grundsätzlich bautechnisch machbar ist. Deshalb bewertet das ENSI den Indikator 1 für das SMA-Standortgebiet Wellenberg als «bedingt günstig» und weist, wie die Nagra, keinen eindeutigen Nachteil aus.

Generell bestätigt das Vorgehen der Nagra, unter Einbezug überwiegend konservativer geomechanischer Grundlagen und vereinfachter Berechnungsannahmen die bautechnische Machbarkeit an allen Standortgebieten der Nordschweiz mit dem Wirtgestein Opalinuston. Das ENSI beurteilt die dazu verwendeten technisch-wissenschaftlichen Grundlagen im Sinn rein bautechnischer Machbarkeitsüberlegungen als ausreichend. Für die quantitative Beurteilung der Tiefenlage und für den Nachweis eindeutiger Nachteile eines Standortgebiets aus bautechnischer Sicht ist die geologisch-geotechnische Grundlage jedoch nicht belastbar.

Die spärliche Datengrundlage zu den standortspezifischen geomechanischen und geologischen Verhältnissen sowie die Superposition von vorwiegend konservativen Annahmen (abdeckende effektive Festigkeit und Steifigkeit gemäss dem Parametersatz GM_{min} , vereinfachende Berechnungsannahmen) erlauben keine abschliessende und belastbare quantitative Beurteilung der maximalen Tiefenlage im Hinblick auf den Nachweis eindeutiger Nachteile aus bautechnischer Sicht. Die für die Argumentation von der Nagra verwendeten geomechanischen Kennwerte und vereinfachten Berechnungsannahmen (effektive Festigkeiten der Bettung, E-Modul normal zur Schichtung) werden vom ENSI und seinen Experten als nicht belastbar bzw. zu konservativ beurteilt. Dies betrifft insbesondere die Annahme der Nagra, dass GM_{min} für gesamte Standortgebiete massgebend ist, den nicht stichhaltigen Ausschluss von GM_{max} für die Beurteilung der Tiefenlage, die verbleibenden grossen Unsicherheiten bei den tiefenabhängigen effektiven Festigkeiten und Steifigkeiten, sowie die vereinfachenden Annahmen zu den geomechanischen Kennwerten in numerischen Berechnungen mit den Parametersätzen GM_{min} und GM_{ref} . Folglich ist das Ergebnis der Argumentation der Nagra zur Beschränkung der BE/HAA-Lagertiefen nicht ausreichend robust (ENSI 33/531).

Aus diesen Gründen stimmt das ENSI den Schlussfolgerungen der Nagra zur Begrenzung der Tiefenlage auf 600 m u. T. bzw. 700 m u. T. für SMA- bzw. HAA-Lager nicht zu. Aufgrund der fehlenden Nachvollziehbarkeit der von der Nagra verwendeten tiefenabhängigen Bewertungsskala für den Indikator 1



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

(NTB 14-01; NAB 17-01, Frage 44) und der Beurteilungen in ENSI 33/540 (Kapitel 2.9 und 2.10) bewertet das ENSI den Indikator 1 für alle HAA- und SMA-Standortgebiete der Nordschweiz einheitlich mit «bedingt günstig».

4.2 Kriterium «Untertägige Erschliessung und Wasserhaltung»

4.2.1 I48 «Geotechnische und hydrogeologische Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen»

Angaben der Nagra

Mit dem Indikator 48 werden die geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse in den überlagernden Gesteinsformationen im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit der Zugangsbauwerke zum geologischen Tiefenlager beurteilt. Diese Verhältnisse bestimmen die bautechnischen Möglichkeiten (Ausbruchquerschnitt, Sicherungsmittel, Wahl der Baumethode etc.), um die erforderlichen Zugangsbauwerke zuverlässig erstellen, betreiben und wieder verfüllen zu können (NTB 08-05).

Massgebend für die Bewertung dieses Indikators sind folgende Merkmale (NTB 08-05, S. A1-152):

- die oberflächennahen bautechnischen Verhältnisse (Grundwasservorkommen, Quartärschichten);
- die erwarteten bautechnischen Schwierigkeiten pro zu durchfahrende Gesteinsformation (felsmechanische Bedingungen, Standsicherheit, Deformationen);
- die Mächtigkeit der bautechnisch schwierigen Gesteinsformationen (Länge der problematischen Untertagebaustrecken) mit erhöhten bautechnischen Schwierigkeiten;
- Erdgas führende Gesteinsformationen;
- stark wasserführende Gesteinsformationen (Aquifere, Karst).

Oberflächennahe Gesteinsformationen (Quartär, Gehängelehme) sowie Grundwasservorkommen können erst beurteilt werden, wenn die Standorte für die Empfangsanlage und die Schächte in groben Zügen bekannt sind. Dies ist Gegenstand der Etappe 2 des SGT (NTB 08-05, S. A1-152).

Die Bewertungsskala des Indikators wurde in Etappe 2 SGT präzisiert und ist für SMA- und HAA-Lager identisch (NAB 17-01, Frage 31). Für die in Etappe 2 SGT von der Nagra bezeichneten Standortareale und die abgegrenzten Lagerperimeter wurden bautechnische Risikoanalysen für die Zugangsbauwerke durchgeführt, die auf modellhaft festgelegten Zugangskorridoren beruhen (NAB 14-50). Die Resultate dieser bautechnischen Risikoanalysen fliessen in die Bewertung ein und ergeben eine differenziertere Bewertung dieses Indikators im Vergleich zur Etappe 1 SGT. Es werden keine Mindestanforderungen und keine verschärften Anforderungen an diesen Indikator gestellt (NTB 08-05). Bewertungsobjekt ist der einschlusswirksame Gebirgsbereich im Lagerperimeter (EG/LP) (NTB 14-01).

Die Ergebnisse der Bewertung des Indikators 48 für die SMA-Lagerperimeter werden im NTB 14-01, Kapitel 4.4.3, erläutert und in NTB 14-01, Tab. 4.4-2, zusammengefasst. Die SMA-Lagerperimeter Südranden (SMA-SR), Zürich Nordost (SMA-ZNO) und Nördlich Lägern (SMA-NL) werden als «günstig bewertet», während die Lagerperimeter Jura Ost (SMA-JO) und Wellenberg (SMA-WLB) als «sehr günstig» beurteilt werden. Der Lagerperimeter Jura-Südfuss (SMA-JS) wird als «bedingt günstig» bewertet und mit einem Hinweis auf einen zu prüfenden Nachteil gekennzeichnet (vgl. NTB 14-01, Tab. 5.2.1).

Im NTB 14-01, Kapitel 4.4.4, werden die Bewertungen für die HAA-Lagerperimeter Zürich Nordost (HAA-ZNO), Nördlich Lägern (HAA-NL) und Jura Ost (HAA-JO) erläutert und die Bewertungen in NTB



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

14-01, Tab. 4.4-3, zusammengefasst. Der Indikator 48 wird für die Lagerperimeter HAA-ZNO und HAA-NL als «günstig» bewertet, während der Lagerperimeter HAA-JO als «sehr günstig» bewertet wird.

Bezüglich dieses Indikators weisen die geologischen Standortgebiete für SMA- und HAA-Lager keine eindeutigen Nachteile auf. Die anspruchsvollere Erschliessung der Untertageanlagen beim Standortgebiet Jura-Südfuss (Durchörterung Malmkalke und Hauptrogenstein-Formation) führt zwar zu einer «bedingt günstigen» Bewertung, stellt aber den zuverlässigen und sicheren Zugang nach Untertag nicht in Frage.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI begrüsst die von der Nagra vorgenommene Präzisierung für die Bewertung des Indikators 48 mit der Durchführung von bautechnischen Risikoanalysen für die betrachteten Standortgebiete und die abgegrenzten Lagerperimeter.

Das ENSI ist mit dem gewählten Bewertungsobjekt dieses Indikators (EG/LP) einverstanden. Die Nagra betrachtet in ihrer Bewertung alle zu durchquerenden Gesteinsformationen bis und ohne Wirtgestein.

Das ENSI und seine Experten haben die von der Nagra durchgeführte bautechnische Risikoanalyse im NAB 14-50 geprüft. Die Prüfergebnisse und Empfehlungen der Experten des ENSI sind in ENSI 33/530 ausführlich dokumentiert. Im Gutachten des ENSI (ENSI 33/540, Kapitel 2.11) sind diese und die Beurteilungen des ENSI zusammengefasst.

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

Nach Einschätzung des ENSI (ENSI 33/457) ist die standortspezifische Risikobewertung aller Zugangs-konfigurationen unter Berücksichtigung der Sensitivität der Berechnungsergebnisse, des aktuellen Kenntnisstandes zur Geologie, der vorgesehenen Bauverfahren und der geplanten Massnahmen zur Beherrschung der bautechnischen Risiken für Etappe 2 SGT stufengerecht und ausreichend plausibel.

Für die Bewertung der Eintretenswahrscheinlichkeiten der Gefährdungen mit Berücksichtigung der Massnahmen zur Risikominderung im Bauzustand und in der Betriebsphase führt die Nagra Reduktionsfaktoren ein, mit denen sie die Wirksamkeit der Massnahmen für jede Gefährdung und jede Belastungsstufe abschätzt. Eine detaillierte Herleitung dieser Reduktionsfaktoren ist jedoch im NAB 14-50 und in den ergänzenden Erläuterungen der Nagra nicht aufgezeigt. Die von der Nagra gewählte Vorgehensweise zur Bewertung der Wirksamkeit von den geplanten Massnahmen zur Risikoverminderung ist stufengerecht und plausibel. Die Bewertungen der Wirksamkeit dieser Massnahmen selbst sind jedoch nur bedingt nachvollziehbar (ENSI 33/530; ENSI 33/540, Kapitel 2.11).

Die Nagra stuft die Risiken aus Karst nach eingehender Bewertung aller bautechnischer Risiken und möglicher Massnahmen als besonders wichtig ein. Das ENSI und seine Experten teilen diese Einschätzung.

Die Nagra hat 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 (NAB 17-01, Frage 31). Das ENSI und seine Experten beurteilen die tiefenabhängige Einwirkung des Wasserdrucks, insbesondere in verkarsteten Gebirgsformationen, als massgebend für die Wirksamkeit und



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

den Erfolg der vorausseilenden 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. Der Erfolg von vorausseilenden und nachträglichen Abdichtungs- und Verfestigungsinjektionen ist in einem unter hohen bis sehr hohen Wasserdrücken stehenden verkarsteten Gebirge auf Basis des heutigen Wissensstands und des Stands der Technik nicht ohne Einschränkung gewährleistet. Zitierbare Erfahrungswerte zur Injektion und Abdichtung von sediment- oder schlammgefüllten Karsthohlräumen unter vergleichbaren hydrologischen Randbedingungen sind dem ENSI und seinen Experten sowie der Nagra nicht bekannt (NAB 17-01, Frage 31). Der aktuelle Wissensstand bezüglich Verkarstung in der Nordschweiz lässt keine eindeutige und standortspezifische Beurteilung zu.

Das ENSI stellt fest, dass in allen Standortgebieten bautechnische Risiken beim Erstellen der Zugangsbauwerke vorhanden sind. Insbesondere in den tiefliegenden Lagerperimetern (z. B. Nördlich Lägern und Zürich Nordost) ist mit sehr hohen Wasserdrücken zu rechnen. Diese Risiken stellen die bautechnische Machbarkeit der Zugangsbauwerke jedoch nicht in Frage.

Aus den oben genannten Gründen kann aus Sicht des ENSI eine Bewertung der geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse in überlagernden Gesteinsformationen entlang der Zugangsbauwerke anhand dieses Indikators zurzeit nur qualitativ erfolgen. Das ENSI hat eine eigene Bewertung der Standortgebiete allein aufgrund der standortspezifischen Baugrundmodelle und Gefährdungsbilder (NAB 14-72) durchgeführt. Dabei werden die von der Nagra vorgeschlagenen Massnahmen zur Risikoverminderung der Hauptgefährdungen nicht berücksichtigt, weil die Bewertungen der Wirksamkeit dieser Massnahmen selbst nur bedingt nachvollziehbar sind. Die in den geotechnischen Längsschnitten im NAB 14-72 aufgelisteten standortspezifischen geotechnischen Gefährdungen, wie z. B. Gefährdungen infolge der Tektonik, der zu erwartenden Verkarstungsstrecken und hohen Wasserdrücke, wurden ohne Berücksichtigung der vorgesehenen bautechnischen Massnahmen zur Risikoverminderung analysiert. Anschliessend wurden die Standortgebiete relativ zueinander qualitativ bewertet. Als Folge davon bewertet das ENSI den Indikator 48 bei allen betrachteten Standortgebieten für SMA- und HAA-Lager ungünstiger als die Nagra.

Die beste Bewertung dieses Indikators erhält das HAA- und SMA-Standortgebiet Jura Ost («günstig»), da mit den geplanten Hauptzugängen (Konfigurationen mittels Rampen) die verkarstungsgefährdeten Gebirgsabschnitte ganz vermieden werden können. Anders als im NAB 14-72 dargestellt, entspricht die lithologische Ausbildung im Portalbereich des Zugangsbauwerks im Standortgebiet Jura Ost nicht dem unteren Haupttrogenstein, sondern der in der Bohrung Nassberg nachgewiesenen Übergangfazies der Klingnau-Formation (NAB 15-44). Die HAA-Standortgebiete Zürich Nordost und Nördlich Lägern sowie die SMA-Standortgebiete Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern, Jura-Südfuss und Wellenberg werden aufgrund der potenziell zu erwartenden anspruchsvollen geotechnischen und hydrogeologischen Gebirgsverhältnisse entlang der Zugangsbauwerke und der bestehenden Ungewissheiten in den geologisch-geotechnischen Daten mit «bedingt günstig» bewertet (Kapitel 5.3; ENSI 33/540). Diese Bewertung berücksichtigt insbesondere die langen, potenziell wasserführenden und fallenden Gebirgsabschnitten mit potenziell hohen Wasserdrücken sowie die bestehenden Ungewissheiten bezüglich des Verkarstungsgrades des Malms in der Nordschweiz.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

4.2.2 I49 «Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)»

Angaben der Nagra

Erdgaseintritte (v. a. Methan) während Bau, Betrieb und Verschluss des Tiefenlagers und die damit verbundene Explosionsgefahr stellen eine Gefährdung der Sicherheit dar und können die zuverlässige Erstellung und den Betrieb des Tiefenlagers in Frage stellen.

Mit dem Indikator 49 «Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)» werden Erdgaseintritte (v. a. Methan) aus dem Wirtgestein (Bewertungsobjekt) in die Lagerkammer während des Baus, des Betriebs und der Verfüllung des Tiefenlagers beurteilt. Durch die lange Betriebszeit sind auch relativ kleine Gaseintrittsraten relevant, da die Gefahr einer Akkumulation von Gasen in abgeschotteten Hohlräumen besteht (NTB 08-05, S. A1-154 und A1-155).

Der Indikator 49 wird von der Nagra in Etappe 2 SGT bei der qualitativen Bewertung der geologischen Standortgebiete bzw. der zugehörigen Lagerperimeter als nicht entscheiderelevanter Indikator verwendet. Bewertungsobjekt ist das Wirtgestein innerhalb des Lagerperimeters (WG/LP). Die Beurteilung der natürlichen Gasführung im Wirtgestein erfolgt, wie in Etappe 1 SGT, in Anlehnung an die SUVA-Vorschriften bzgl. Erdgasgefährdung bei Untertagebauten gemäss den dort definierten Gasgefahrenstufen 1 bis 4. Als «Erdgas» im Sinne des Merkblattes SUVA (2002) gelten brennbare, in der Erdkruste vorkommende, hauptsächlich aus gesättigten Kohlenwasserstoffen bestehende Naturgase.

Die Bewertungsskala und die entsprechenden Anforderungen, einschliesslich der Mindestanforderungen in Etappe 2 SGT, sind dieselben wie in Etappe 1 SGT (vgl. Tabelle 13). Es gelten für SMA- und HAA-Lager die gleichen Anforderungen. Verschärfte Anforderungen werden von der Nagra nicht gestellt.

Tabelle 13: Bewertungsskala und Mindestanforderungen des Indikators 49 für SMA- und HAA-Lagerperimeter (NTB 08-05, Seite A1-154).

Bewertung	Anforderungen
Sehr günstig	Keine Erdgasanzeichen bekannt. Gefahrenstufe 0 nach SUVA (2002): «Möglichkeit eines Gasvorkommens nicht gegeben».
Günstig	Kleinere Erdgas-Indikationen. Gefahrenstufe 1 nach SUVA (2002): «Gasvorkommen möglich oder sicher, keine Überflutungsgefahr, Ausgasen während kurzer Zeit».
Bedingt günstig	Mässige Erdgasführung. Gefahrenstufe 2 nach SUVA (2002): «Gasvorkommen möglich oder sicher, keine Überflutungsgefahr, Ausgasen während langer Zeit».
Ungünstig	Signifikante Erdgasführung. Gefahrenstufe 3 nach SUVA (2002): «Gasvorkommen möglich oder sicher, mit Überflutungsgefahr, Ausgasen während kurzer Zeit».
	Mindestanforderungen: Keine nachgewiesenen Erdgaslagerstätten im Wirtgestein (entsprechend Gefahrenstufe 4 nach SUVA (2002): Gasvorkommen möglich oder sicher, mit Gas-Überflutungsgefahr, Ausgasen während langer Zeit).

Gemäss NTB 10-01, Seite 82, sind aus dem Gebiet der Nordschweiz und aus dem Felslabor Mont Terri keine Anzeichen einer signifikanten natürlichen Gasführung des Opalinuston bekannt, im Gegensatz zu einigen Tiefbohrungen im süddeutschen Molassebecken, wo das organische Material im Opalinuston und in den Erdölmuttergesteinen im Liegenden wegen der grösseren Versenkung eine höhere Maturität



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

erreicht hat. In den Sondierbohrungen der Nordschweiz war die Gasführung der Bohrspülung beim Durchbohren des Opalinustons sehr gering.

Aus den Tiefbohrungen der Nagra in der Nordschweiz sind auch keine signifikanten Gaszutritte aus dem 'Braunen Dogger' und den Effinger Schichten bekannt; einzig in der Bohrung Herdern-1 war die Gasführung der Bohrspülung beim Durchbohren des 'Braunen Doggers' etwas erhöht (unveröffentlichte Angaben der SEAG). In den Mergel-Formationen des Helvetikums ist hingegen mit einer erheblichen Methangasführung zu rechnen (Schneider 1984, NTB 96-01). Beim Bau und Betrieb eines Tiefenlagers in diesem Wirtgestein sind daher entsprechende Überwachungsmassnahmen erforderlich und die Lüftung ist entsprechend auszulegen.

Die Nagra bewertet den Indikator 49 bei den SMA-Lagerperimetern in den Standortgebieten Südranden (Wirtgestein Opalinuston), Zürich Nordost (Wirtgesteine Opalinuston und Brauner Dogger), Nördlich Lägern (Wirtgesteine Opalinuston und Brauner Dogger), Jura Ost (Wirtgestein Opalinuston) und Jura-Südfuss (Wirtgesteine Opalinuston und Effinger Schichten) einheitlich als «sehr günstig», da eine natürliche Gasführung in den betrachteten Wirtgesteinen Opalinuston, Brauner Dogger und Effinger Schichten praktisch ausgeschlossen werden kann. Aufgrund der für SMA- und HAA-Lager gleichen Bewertungsskala werden auch alle HAA-Standortgebiete mit dem betrachteten Wirtgestein Opalinuston jeweils mit «sehr günstig» bewertet.

Beim SMA-Lagerperimeter Wellenberg wird der Indikator 49 von der Nagra als «bedingt günstig» bewertet. Eine natürliche Gasführung in den Mergel-Formationen des Helvetikums mit Ausgasen über lange Zeit kann aufgrund von Hinweisen (Seelisbergtunnel) nicht ausgeschlossen werden.

Beurteilung des ENSI

Der Indikator 49 «Natürliche Gasführung (im Wirtgestein)» beurteilt einen Teilaspekt der bautechnischen Eignung und entspricht den Vorgaben des Sachplans. Die Ausführungen der Nagra und das gewählte Bewertungsobjekt sind aus Sicht des ENSI für Etappe 2 SGT stufengerecht. Bei der Bewertung des Indikators 49 in Etappe 2 SGT verwendet die Nagra dieselbe Bewertungsskala und dieselben Mindestanforderungen wie in Etappe 1 SGT.

Das ENSI stellt fest, dass sowohl die im NTB 14-01 dokumentierten Bewertungen des Indikators 49 für das Wirtgestein Opalinuston als auch die nachträglich eingereichten Bewertungen dieses Indikators für die Wirtgesteine 'Braunen Dogger' und Effinger Schichten (NAB 17-01, Frage 47) in den Standortgebieten Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern, Jura Ost und Jura-Südfuss («sehr günstig») mit den Angaben und Bewertungen in den Baugrundmodellen der Nagra (NAB 14-72) nicht übereinstimmen. Nach Ansicht des ENSI entsprechen die geringen Erdgas-Indikationen in diesen Gesteinen der Gefahrenstufe 1 nach SUVA (2002), wie in den Baugrundmodellen der Nagra (NAB 14-72) beurteilt. Das ENSI bewertet deshalb den Indikator 49 für die Wirtgesteine Opalinuston, 'Braunen Dogger' und Effinger Schichten in den Standortgebieten Südranden, Zürich Nordost, Nördlich Lägern, Jura Ost und Jura-Südfuss als «günstig».

Hinsichtlich der Mergel-Formationen des Helvetikums hält das ENSI fest, dass sowohl in den Sondierbohrungen und Oberflächenmessungen im Standortgebiet Wellenberg wie auch aus Ergebnissen früherer Untersuchungen (Bau Seelisbergtunnel, Sondierbohrungen der Nagra am Oberbauenstock) eindeutige Hinweise für Erdgas (Methan) in diesen Gesteinsformationen vorliegen. Gemäss Angaben der Nagra im NAB 14-72 wird die Erdgasgefahr nach SUVA (2002) in den Mergel-Formationen des Helvetikums im Standortgebiet Wellenberg mit der Stufe 3 als wahrscheinlich bewertet (Tabelle 9). Das ENSI ist mit dieser Bewertung der Nagra im NAB 14-72 einverstanden. Nach Ansicht des ENSI kann es bei



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

dieser Gefahrenstufe aufgrund des verzweigten Stollen- und Kavernensystems des Tiefenlagers zu erheblichen Behinderungen und Erschwernissen während Bau und Betrieb des Tiefenlagers kommen. Das Tiefenlager müsste während der gesamten Bau- und Betriebszeit mit erhöhtem Aufwand belüftet und bezüglich Erdgaseintritte intensiv überwacht werden. Das ENSI bewertet deshalb den Indikator 49 für die Mergel-Formationen des Helvetikums im Standortgebiet Wellenberg als «ungünstig».

Mit diesen Bewertungen werden die von der Nagra gestellten Mindestanforderungen in allen betrachteten Standortgebieten erfüllt.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

5 Referenzen

- Akçar N., Ivy-Ochs S., Alfimov V., Schlunegger F., Claude A., Reber R., Christl M., Vockenhuber C., Dehnert A., Rahn M., Schlüchter C. (subm.): Isochron-burial dating of glaciofluvial deposits: primary results from the Alps. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Anagnostou G. (2016): Sachplan Geologische Tiefenlager, Etappe 2 - Ground response curves and rock-support interaction analyses for the tunnel profiles F, D and K09, Auftragsbericht ETH Zürich, Zürich.
- ASTRA (2012): KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau, Wegleitung Bundesamt für Stassen, Ittigen.
- Baran R., Friedrich A.M., Schlunegger F. (2014): The late Miocene to Holocene erosion pattern of the Alpine foreland basin reflects Eurasian slab unloading beneath the western Alps rather than global climate change. *Lithosphere* 6, 124-131. DOI: 10.1130/L307.1.
- BFE (2011): Sachplan geologische Tiefenlager – Bericht über die Ergebnisse der Anhörung zu Etappe 1, Bericht 003891809 Bundesamt für Energie, Bern.
- Bini A., Buoncristiani J.-F., Couterrand S., Ellwanger D., Felber M., Florineth D., Graf H.R., Keller O., Kelly M., Schlüchter C., Schoeneich P. (2009): Die Schweiz während des letzteiszeitlichen Maximums (LGM) 1:500 000, Karte Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Wabern.
- Bolliger T., Fejjar O., Graf H., Kälin D. (1996): Vorläufige Mitteilung über Funde von pliozänen Kleinsäugern aus den höheren Deckenschottern des Irchels (Kt. Zürich). *Eclogae Geologicae Helveticae* 89, 1043-1048.
- Büchi U.P., Lemcke K., Wiener G., Zimdars J. (1965): Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. *Bulletin der Vereinigung schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure* 32, 7-38.
- Claude A. (2016): Landscape evolution of the northern Alpine Foreland: constructing a temporal framework for early to middle Pleistocene glaciations, Dissertation Universität Bern, Institut für Geologie, Bern.
- Claude A., Akçar N., Ivy-Ochs S., Schlunegger F., Kubik P.W., Dehnert A., Kuhlemann J., Rahn M., Schlüchter C. (2017): Timing of early Quaternary gravel accumulation in the Swiss Alpine Foreland. *Geomorphology* 276, 71-85. DOI: 10.1016/j.geomorph.2016.10.016.
- Delacou B., Sue C., Champagnac J.D., Burkhard M. (2004): Present-day geodynamics in the bend of the western and central Alps as constrained by earthquake analysis. *Geophysical Journal International* 158, 753-774. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2004.02320.x.
- EGT (2016): Sachplan Geologische Tiefenlager, Etappe 2 – Stellungnahme der EGT zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung, Brugg.
- ENSI-G03: Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Richtlinie, Würenlingen, 2009.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- ENSI 33/43: Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1: Beurteilung der für das Einengungsverfahren verwendeten Indikatoren und der von der Nagra festgelegten Mindestanforderungen und Bewertungsskalen, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Technische Beurteilung, Brugg, 2010.
- ENSI 33/063: Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 1: Beurteilung der glazialen Tiefenerosion im Rahmen der Festlegung der geologischen Standortgebiete, Dr. von Moos AG Beratende Geologen und Ingenieure, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2009.
- ENSI 33/070: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 33/075: Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- ENSI 33/115: Stellungnahme zu NTB 10-01 «Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT», Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Stellungnahme, Brugg, 2011.
- ENSI 33/154: Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2013.
- ENSI 33/378: Abschliessende Zwischenhalt-Fachsitzung vom 9. Juli 2014, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Protokoll, Brugg, 2014.
- ENSI 33/453: Prüfung Langzeitstabilität und Quartärgeologie, Dr. von Moos AG Beratende Geologen und Ingenieure, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- ENSI 33/457: Prüfbericht zum Arbeitsbericht NAB 14-50 Bautechnische Risikoanalyse, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- ENSI 33/460: Assessment of Geomechanical Properties, Maximum Depth below Ground Surface and EDZ Impact on Long Term Safety, ETH Zürich, Ingenieurgeologie, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- ENSI 33/461: Assessment of Geomechanical Properties of Intact Opalinus Clay, ETH Zürich, Ingenieurgeologie; Dr. von Moos AG Beratende Geologen und Ingenieure, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2015.
- ENSI 33/472: Grundlagen zur Beurteilung von Tiefenlagerprojekten im Hinblick auf Karstphänomene, Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung, Expertenbericht zuhanden des ENSI, La Chaux-de-Fonds, 2015.
- ENSI 33/474: The Pleistocene small mammals from Irchel, Switzerland - A taxonomic and biostratigraphic revision, Universidad de Zaragoza, Departamento de Ciencias de la Tierra, Área de Paleontología, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Saragossa, Spanien, 2016.
- ENSI 33/476: Nachforderung zum Indikator „Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit“ in Etappe 2 SGT, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2015.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- ENSI 33/469: Etappe 2 SGT - Beantwortung der Leitfragen des ENSI durch Mitglieder der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung EGT, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Aktennotiz, Brugg, 2016.
- ENSI 33/470: Review of the kinematic interpretation of the tectonic structures in northern Switzerland, swisstopo, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Wabern, 2016.
- ENSI 33/489: Kompilation der lithologischen Variabilität und Eigenschaften des Opalinus-Ton im Felslabor Mont Terri, swisstopo, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Wabern, 2014.
- ENSI 33/530: Nachforderung des ENSI zum Indikator Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2016.
- ENSI 33/531: Beurteilung der nachgereichten geologischen und felsmechanischen Unterlagen zur maximalen Tiefenlage ETH Zürich, Ingenieurgeologie, Expertenbericht zuhanden des ENSI, Zürich, 2016.
- ENSI 33/540: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2017.
- Hinderer M., Kastowski M., Kamelger A., Bartolini C., Schlunegger F. (2013): River loads and modern denudation of the Alps - A review. *Earth-Science Reviews* 118, 11-44. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.01.001.
- HSK 30/13: Geosynthese Wellenberg NTB 96-01 : Beurteilung der Wasserfliesswege, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Technische Beurteilung, Villigen, 1999.
- Husen S., Bachmann C., Giardini D. (2007): Locally triggered seismicity in the central Swiss Alps following the large rainfall event of August 2005. *Geophysical Journal International* 171, 1126-1134. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2007.03561.x.
- Itasca (2016): Parameterstudie Gebirgskennlinien und Vergleich Gebirgsverhalten - Profil F, D und K09, Auftragsbericht Itasca Consultants GmbH, Gelsenkirchen.
- Jentzsch G. (2014): Gutachten bezüglich Seismizität im Standortgebiet Wellenberg – Beurteilung der geologischen Profile und der Erdbebengefährdung im Standortgebiet Wellenberg sowie Stellungnahme zum Gutachten von Prof. Jon Mosar, Expertenbericht zuhanden der Baudirektion Nidwalden, Bonn.
- Keller O., Krayss E. (2010): Mittel- und spätpleistozäne Stratigraphie und Morphogenese in Schlüsselregionen der Nordschweiz. *E&G Quaternary Science Journal* 59, 88-119. DOI: 10.3285/eg.59.1-2.08.
- Kuhlemann J., Rahn M. (2013): Plio-Pleistocene landscape evolution in Northern Switzerland. *Swiss Journal of Geosciences* 106, 451–467. DOI: 10.1007/s00015-013-0152-6.
- Mazurek M., Alt-Epping P., Bath A., Gimmi T., Waber H.N., Buschaert S., De Cannière P., De Craen M., Gautschi A., Savoye S., Vinsot A., Wemaere I., Wouters L. (2011): Natural tracer profiles across argillaceous formations. *Applied Geochemistry*. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2011.03.124.
- Mosar J. (2010): Beurteilung der Tektonik im Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW) hinsichtlich eines Tiefenlagers für schwach- und mittlerradioaktive Abfälle, Expertenbericht zuhanden der Baudirektion Nidwalden, Département de Géosciences, Université de Fribourg, Fribourg.



Klassifizierung: **keine**
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- NAB 06-26: Stratigrafie, Mächtigkeit und Lithofazies der mesozoischen Formationen in der Nordschweiz. Eine Kompilation von Bohrungen, Übersichts- und Aufschlussprofilen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2008.
- NAB 08-02: NOK EWS-Bohrung Oftringen: Geologische, mineralogische und bohrlochgeophysikalische Untersuchungen (Rohdatenbericht), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2008.
- NAB 09-14: Reference pore waters for the Opalinus Clay and 'Brown Dogger' for the provisional safety-analysis in the framework of sectoral plan - interim results (SGT-ZE), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2009.
- NAB 09-15: Reference pore water for the Helvetic marls for the provisional safety analysis in the framework of sectoral plan - interim results (SGT-ZE), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2010.
- NAB 09-23: Glacial erosion: a review of its modelling, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2009.
- NAB 10-21: Ancillary rock and pore-water studies on drillcores from northern Switzerland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2011.
- NAB 10-33: Deep glacial erosion: Review with focus on tunnel valleys in northern Europe, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2010.
- NAB 12-04 Rev.1: Geologische Profile Wellenberg 2012 Rev. 1, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 12-05: Analyse des rezenten Spannungsfeldes der Nordschweiz, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 12-20: Drainage system and landscape evolution of northern Switzerland since the Late Miocene, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 12-33: Berechnung und Beurteilung rezenter vertikaler Oberflächenbewegungen abgeleitet aus wiederholten Präzisionsnivelements in den Regionen Nordschweiz und Südwestdeutschland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 12-34: Rezente vertikale Oberflächenbewegungen in der Nordschweiz und in Südwestdeutschland: Kinematische Ausgleichung der Landesnivellementlinien CH/D, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 12-35: Regionale GIS-Kompilation und -Analyse der Deckenschotter-Vorkommen im nördlichen Alpenvorland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 12-39: Gesteinsparameter der Wirtgesteine Opalinuston, 'Brauner Dogger', Effinger Schichten und Helvetische Mergel als Grundlage für die Sorptionsdatenbank, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.



Klassifizierung: **keine**
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- NAB 12-41: Characterisation of Cenozoic brittle deformation of potential geological siting regions for radioactive waste repositories in Northern Switzerland based on structural geological analysis of field outcrops, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2012.
- NAB 12-51: Sedimentologie und Stratigraphie des 'Brauner Doggers' und seiner westlichen Äquivalente, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 12-54: Rock and porewater characterisation on drillcores from the Schlattingen borehole, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 12-56: Analyse des Tonmineralgehalts anhand von Bohrlochmessungen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2012.
- NAB 13-10: Regionale strukturgeologische Zeitinterpretation der Nagra 2D-Seimik 2011/12, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 13-12: Wasserführende Systeme im 'Braunen Dogger', Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 13-13: Hydraulic conductivity and head distributions in the host rock formations of the proposed siting regions, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 13-16: Sedimentologie und Stratigraphie der Effinger Schichten, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 13-21: PICNIC-TD: User Guide for Version 1.4, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 13-63: Hydrochemie und Isotopenhydrogeologie von Tiefengrundwässern in der Nordschweiz und im angrenzenden Süddeutschland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 13-71: Ausgewählte Beobachtungen im Hinblick auf die geologische Langzeitentwicklung des Standortgebiets Wellenberg, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 13-78: Extent and shape of the EDZ around underground structures of a geological repository for radioactive waste – A sensitivity study for the Opalinus Clay formation in the proposed siting regions in Northern Switzerland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 13-83: Gas related property distributions in the proposed host rock formations of the candidate siting regions in Northern Switzerland and in the Helvetic Zone, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2013.
- NAB 13-92: Sensitivity analyses of gas release from a L/ILW repository in the Opalinus Clay in the candidate siting regions of Northern Switzerland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-02: Digitales Höhenmodell Basis Quartär der Nordschweiz - Version 2014 und ausgewählte Auswertungen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- NAB 14-11: Thermo-hydraulic simulations of the near-field of a SF/HLW repository during early- and late-time post-closure period, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-21: Scientific basis for the production of gas due to corrosion in a deep geological repository, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-25: Erosion und Landschaftsentwicklung Nordschweiz: Zusammenfassung der Grundlagen im Hinblick auf die Beurteilung der Langzeitstabilität eines geologischen Tiefenlagers (SGT Etappe 2), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-26: Seismotektonik der Zentralschweiz, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-38: Kinematische Gesamtausgleichung der Schweizer Landesnivellementlinien 2013 und Detaildarstellung der rezenten vertikalen Oberflächenbewegungen in der Zentralschweiz, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-50: Bautechnische Risikoanalyse zur Realisierung der Zugangsbauwerke, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-53: The HE-E Experiment: Lay-out; interpretation and THM modelling, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-57: Reflexionsseismische Analyse der Effinger Schichten, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-58: Reflexionsseismische Analyse des 'Braunen Doggers', Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-59: Aktualisierte Abschätzung des Tonmineralgehalts anhand von Bohrlochmessungen in Bohrungen der Nordschweiz (update NAB 12-56), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-72: Sachplan geologische Tiefenlager - Etappe 2: Standortspezifische Baugrundmodelle für die Zugangsbauwerke: Geologische Profile nach SIA 199 (Rampen und Schächte), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-81: Beurteilung der Tiefenlage in Bezug auf die geotechnischen Bedingungen: Grundlagen für die Abgrenzung und Bewertung der Lagerperimeter, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-83: Konzepte für die Standortuntersuchungen der Etappe 3, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-87: Development and evolution of the Excavation Damaged Zone (EDZ) in the Opalinus Clay – A synopsis of the state of knowledge from Mont Terri, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.



Klassifizierung:	keine
Aktenzeichen/Referenz:	33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel:	Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter:	18.04.2017 / GEOL, TISA

- NAB 14-88: Simulation of layout determining fault networks based on 2D-seismic interpretations: Implications for subsurface space reserves in geological siting regions in northern Switzerland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-99: Unterlagen zum Platzbedarf in den Lagerperimetern der geologischen Standortgebiete, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-101: Geologie, Stratigraphie & bohrlochgeophysikalisches Logging der Bohrung Gösgen SB-4 (Rohdaten), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2014.
- NAB 14-105: Regionale geologische Profilschnitte durch die Nordschweiz und 2D-Bilanzierung der Fernschubdeformation im östlichen Faltenjura: Arbeitsbericht zu SGT-Etappe 2, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2015.
- NAB 15-44: Stratigraphische Korrelation der Standortgebiete in der Nordschweiz: Grundlagen zu den Profildarstellungen im NTB 14-02, Dossier II: Sedimentologische und tektonische Verhältnisse, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016.
- NAB 16-41: ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 - Zusammenfassende Darstellung der Zusatzdokumentation (Hauptbericht), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016.
- NAB 16-42: ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 - Prüfung der Lager- und Barrierenkonzepte, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016.
- NAB 16-43: ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 - Geomechanische Unterlagen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016.
- NAB 16-44: ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 - Standortspezifische geologische Modelle und geologische Gefährdungsbilder, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016.
- NAB 16-45: ENSI-Nachforderung zum Indikator "Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit" in SGT Etappe 2 - Projektkonzepte für die Lagerkammern und Versiegelungsstrecken und deren Bewertung, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2016.
- NAB 17-01: Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 2: Fragen des ENSI und seiner Experten und zugehörige Antworten der Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wettingen, 2017.
- Nagra (2015): SGT Etappe 2: GIS-Analyse zum Einengungsprozess der Lagerperimeter, Nordschweiz, Nagra unpubl. Interner Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- NEA (2010): Self-sealing of Fractures in Argillaceous Formations in the Context of Geological Disposal of Radioactive Waste.
- NTB 88-08: Sondierbohrung Weiach – Untersuchungsbericht (Textband & Beilagenband), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 1989.
- NTB 90-34: Sondierbohrung Siblingen – Untersuchungsbericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 1992.
- NTB 93-34: Erosionsszenarien Wellenberg, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 1993.
- NTB 96-01: Geosynthese Wellenberg 1996: Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 1997.
- NTB 00-03: 3D-Seismik: Räumliche Erkundung der mesozoischen Sedimentschichten im Zürcher Weinland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2001.
- NTB 02-05: Project Opalinus Clay: Safety Report – Demonstration of Disposal feasibility for spent fuel; vitrified high-level waste and long-lived intermediate level waste (Entsorgungsnachweis), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2002.
- NTB 04-05: Modelling of Tracer Profiles in Pore Water of Argillaceous Rocks in the Benken Borehole: Stable Water Isotopes; Chloride and Chlorine Isotopes, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2004.
- NTB 08-05: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie; Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 – Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2010.
- NTB 12-07: Geochemical Synthesis for the Effingen Member in Boreholes at Oftringen, Gösigen and Küttigen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2012.
- NTB 14-01: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT-Etappe 2: Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-02-II: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Geologische Grundlagen: Dossier II: Sedimentologische und Tektonische Verhältnisse, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.



Klassifizierung: **keine**
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- NTB 14-02-III: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Geologische Grundlagen: Dossier III: Geologische Langzeitentwicklung, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-02-IV: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Geologische Grundlagen: Dossier IV: Geomechanische Unterlagen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-02-V: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Geologische Grundlagen: Dossier V: Hydrogeologische Verhältnisse, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-02-VI: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Geologische Grundlagen: Dossier VI: Barriereneigenschaften der Wirt- und Rahmengesteine, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-02-VII: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Geologische Grundlagen: Dossier VII: Nutzungskonflikte, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-02-VIII: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Geologische Grundlagen: Dossier VIII: Charakterisierbarkeit und Explorierbarkeit, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-03: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage: Charakteristische Dosisintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barrierensysteme, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-10: Modelling of Radionuclide Transport along the Underground Access Structures of Deep Geological Repositories, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- NTB 14-11: Geochemical Evolution of the L/ILW Near Field, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2014.
- Schneider T.R. (1984): Geologischer Schlussbericht Seelisbergtunnel. Zusammenfassung. Beiträge zur Geologischen Karte. Geotechnische Serie. Lieferung 65.
- SIA 103: Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Norm, 2014.
- SUVA (2002): Grundlagen zur Charakterisierung der Erdgasgefährdung bei Untertagentertagbauten. Bulletin für angewandte Geologie 7, 45-65.
- swissnuclear (2013): Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites – PEGASOS Refinement Project Vol. 1-5, Olten.



Klassifizierung: keine
Aktenzeichen/Referenz: 33KGX.SGTE2 / ENSI 33/539
Titel: Qualitative Bewertung der optimierten Lagerperimeter in den geologischen Standortgebieten
Sachplan Geologische Tiefenlager Etappe 2 SGT
Datum / Sachbearbeiter: 18.04.2017 / GEOL, TISA

- Waber H.N., Hobbs M.Y., Frape S.K. (2013): Assessing initial conditions for chloride transport across lowpermeability argillaceous rocks, Wellenberg, Switzerland. *Procedia Earth and Planetary Science* 7, 875-879. DOI: 10.1016/j.proeps.2013.03.126.
- Wagner M., Kissling E., Husen S., Giardini D. (2011): Combining controlled-source seismology and local earthquake data to derive a consistent three-dimensional model of the crust: Application of the Alpine region, *Geophysical Research Abstracts* 13, EGU Vienna 3-8 April 2011.
- Wiemer S., Laurentiu D., Edwards B., Marti M., Fäh D., Hiemer S., Wössner J., Cauzzi C., Kästli P., Kremer K. (2016): Seismic Hazard Model 2015 for Switzerland (SUIhaz2015), Report Swiss Seismological Service (SED), Zurich.
- Wittmann H., von Blanckenburg F., Kruesmann T., Norton K.P., Kubik P.W. (2007): Relation between rock uplift and denudation from cosmogenic nuclides in river sediment in the Central Alps of Switzerland. *Journal of Geophysical Research - Earth Surface* 112. DOI: 10.1029/2006JF000729.