

Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone (AG SiKa)  
Kantonale Expertengruppe Sicherheit (KES)

## **Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2**

### **Fachbericht zu Etappe 2**

---

**Mit Zusammenfassungen der Expertenberichte 1, 2, 2a, 3, 4**

Zürich, August 2017

### **Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone (AG SiKa)**

Dr. Thomas Flüeler (Vorsitz)	Kanton Zürich
Dr. Kurt Nyffenegger	Kanton Zürich
Regula Rometsch (Sekretariat)	Kanton Zürich
Dr. Valentin Burki	Kanton Solothurn
Oliver Genoni	Kanton Aargau
Dr. Joachim Heierli	Kanton Schaffhausen
Fidel Hendry	Kanton Nidwalden
Erich Müller	Kanton Thurgau
Dr. Alain Schmutz	Kanton Obwalden

### **Kantonale Expertengruppe Sicherheit (KES)**

Dr. Bruno Baltes  
Dr. Hans Rudolf Keusen  
Prof. Dr. Kalman Kovári  
Prof. Dr. Stefan Schmid  
Dr. Otthard Wendt

Unter Beizug von Prof. Dr. Alan G. Green

Dieses Dokument aktualisiert und ergänzt den **Fachbericht vom Januar 2016 zum «2x2-Vorschlag» der Nagra (AG SiKa/KES 2016)**. Inhaltlich wesentliche Änderungen sind mit einem Strich am Seitenrand bezeichnet.

## Zusammenfassung

Gemäss Pflichtenheft des Konzeptteils Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) beurteilt die Kantonale Expertengruppe Sicherheit (KES) die von den Entsorgungspflichtigen vorgelegten Antragsdokumente wie auch weitere Grundlagen zuhanden des Ausschusses der Kantone (AdK). Die Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone (AG SiKa) setzt sich aus Fachpersonen der betroffenen Kantone zusammen und betreut die KES. Im Auftrag des AdK befasst sich die AG SiKa/KES mit sicherheitstechnischen Fragen und erarbeitet Grundlagen für dessen Stellungnahme zu Etappe 2. Sie nimmt eine Beurteilung des Vorschlags der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) zur Einengung der Standortgebiete für weitere Untersuchungen in Etappe 3 vor. Weiter beurteilt werden die Nachforderung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) vom September/November 2015, die dazu gelieferte Zusatzdokumentation der Nagra, das Gutachten des ENSI, die Stellungnahme der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) und zahlreiche im Auftrag des ENSI erstellte Expertenberichte, die Stellungnahmen der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) sowie der deutschen Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT). Die Analyse der Dokumente hat an Argumentation und Fazit des Fachberichts vom Januar 2016 nichts Grundsätzliches geändert. Zentrale Fragen in den Bereichen Geomechanik/Bautechnik (Beilage 2a) und Hydrogeologie (Kapitel 8) wurden auch im Licht der nunmehr vorliegenden Unterlagen vertieft bearbeitet.

Nach den Vorgaben des Bundes (BFE 2008, ENSI 2013) stützt die Nagra ihre Bewertung der Standortgebiete in Etappe 2 auf zwei Säulen ab: die provisorischen Sicherheitsanalysen (Dosisberechnungen) und die qualitative Bewertung von im Sachplan festgelegten Kriterien. Auch für die AG SiKa/KES ist die qualitative Bewertung einer umfassenden Beurteilung der Standorte ausschlaggebend. Mittels Dosisberechnungen kommt die Nagra zum Schluss, dass alle Standortgebiete sicherheitstechnisch geeignet und gleichwertig seien – dem kann nicht gefolgt werden. Zur Feststellung der Sicherheit eines Standortgebiets bedarf es eines vollständigen Sicherheitsnachweises. Die provisorischen Sicherheitsanalysen erlauben lediglich die Aussage, dass für alle Wirtgesteine und Standortgebiete keine Erkenntnisse gewonnen wurden, die gegen eine generelle sicherheitstechnische Eignung sprechen, das heisst, dass diese auf Basis der Dosisberechnungen im Auswahlprozess verbleiben können. Nicht in seinem Gutachten selber, aber nach einem Fachgespräch relativierte das ENSI gegenüber der AG SiKa/KES nachträglich den Stellenwert der mit Dosisberechnungen festzustellenden «sicherheitstechnischen Eignung» und der «sicherheitstechnischen Gleichwertigkeit» eines Standorts in Etappe 2. Es hat in Aussicht gestellt, die Kritik in seinen Vorgaben zu Etappe 3 zu berücksichtigen (ENSI 2017b).

Aufgrund umfangreicher eigener Betrachtungen in den Bereichen Seismik/Tektonik, Geomechanik und Erosion ergibt sich für die AG SiKa/KES das folgende Gesamtbild:

- Die Zurückstellung der möglichen Wirtgesteine «Brauner Dogger», Effinger Schichten und Helvetische Mergel ist gerechtfertigt. Geologische Überlegungen führen dazu, dass diese Gesteine aus sicherheitstechnischen Gründen nicht als Wirtgesteine weiterverfolgt werden sollten. Somit verbleibt einzig der Opalinuston als mögliches geeignetes Wirtgestein für geologische Tiefenlager.
- Die Zurückstellung der drei Standortgebiete für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (SMA) ist gerechtfertigt: Wellenberg (WLB) wegen der schlechten Explorierbarkeit, Südranden (SR) wegen Erosionsgefährdung und Jura-Südfuss (JS), weil begründete Vorbehalte zur Mächtigkeit des Wirtgesteins bestehen und die wichtigen Rahmengesteine zum Teil fehlen. Diese drei Standortgebiete weisen derart markante sicherheitstechnische Schwächen auf, dass sie für ein geologisches Tiefenlager nicht weiterverfolgt werden sollten.
- Der Weiterzug der beiden Standortgebiete Zürich Nordost (ZNO) und Jura Ost (JO) in die Etappe 3 ist nachvollziehbar.

- Die Zurückstellung von Nördlich Lägern (NL) ist nicht gerechtfertigt. Das Argument der Nagra eines zu geringen Platzangebots wegen Einschränkungen durch Tiefenlage und Tektonik hält einer näheren Überprüfung nicht stand bzw. ist aufgrund der heutigen Kenntnislage zu wenig stichhaltig. Die Beschränkung der maximalen Tiefenlage auf 700 m für Lagerstollen für hochradioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente (HAA) erfolgte aufgrund unhaltbarer Prämissen und inkohärenter Argumentation. Das Fehlen eines ausgereiften bauingenieurmässig bearbeiteten Referenzprojekts selbst für eine Lagertiefe von 700 m hat zum Scheitern einer korrekten Bewertung von Lagerstandorten mit Tiefen von 900 m beigetragen.
- Was die Interpretation der Seismikdaten sowie Platzbedarf und Platzangebot für HAA in NL angeht, kamen alle späteren Stellungnahmen zum Nagra-Vorschlag (ENSI-Gutachten, ENSI-Experten, EGT, KNS, ESchT) zum selben Schluss wie der Fachbericht der AG SiKa/KES vom Januar 2016 zum «2x2-Vorschlag» der Nagra.
- Bei der Analyse der Zusatzdokumentation der Nagra und der verschiedenen Gutachten und Stellungnahmen fällt auf, dass die Ausbildung und Auswirkung der Auflockerungszone als ursprüngliche Argumentation gegen grössere Tiefenlagen (v. a. in NL) faktisch fallengelassen wurden. Das ENSI und seine Experten begründen die Empfehlung auf Verbleib von NL mit der Wahl anderer Gebirgsmodelle als die Nagra und dem Datenmangel.
- Aus übergeordneter Sicht wurde festgestellt, dass die im Januar 2016 angebrachte Kritik der AG SiKa/KES von den anderen Akteuren vor allem im Bereich Bautechnik/Geomechanik zumindest in den vorliegenden Dokumenten nicht aufgenommen worden ist.

Verschiedene Überlegungen führen dazu, NL in Etappe 3 weiterzuverfolgen. Einerseits sind die Gründe für die Zurückstellung nicht stichhaltig: Sie fassen auf unzutreffenden Modellvorstellungen (Geomechanik) und unsicherer Datenlage (2D-Seismik). Gleichzeitig haben andererseits ZNO und JO grössere Schwächen als von der Nagra angenommen – der Erosion sind sie weit stärker ausgesetzt als NL. Da alle drei Standorte aus heutiger Sicht sicherheitstechnisch die Minimalanforderungen erfüllen, gleichzeitig aber unterschiedliche Schwächen und Stärken aufweisen, sind in Etappe 3 zwingend alle drei weiter zu untersuchen. Denn nur so kann gewährleistet werden, schliesslich den vergleichsweise sichersten Standort zur Auswahl zu haben. Dabei sollten gezielt die heute erkannten Ungewissheiten und möglichen sicherheitstechnischen Schwächen der einzelnen Standortgebiete angegangen werden. Ein solches Vorgehen ist fokussiert und effizient. Zu diesen Schlussfolgerungen ist die AG SiKa/KES in ihrem (ersten) Fachbericht vom Januar 2016 zum «2x2-Vorschlag» der Nagra gekommen (AG SiKa/KES 2016). Daran haben weder die Nachforderung des ENSI (ENSI 2015a) noch die Zusatzdokumentation der Nagra (Nagra 2016b), das ENSI-Gutachten (ENSI 2017a), die Stellungnahmen der EGT (EGT 2017), der Kommission für nukleare Sicherheit (KNS 2017) oder der deutschen Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT 2017) grundlegend etwas geändert.

Zu einem Referenzprojekt liegen lediglich vage Überlegungen zu Themen wie Lagerarchitektur, Statik und konstruktive Ausbildung der diversen Anlageelemente, einschliesslich Verschlussbauwerke, vor. Bezüglich HAA wird empfohlen, Lagerauslegungen und bautechnische Referenzprojekte mit einer angemessenen Bearbeitungstiefe und nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sowohl für Lagertiefen von 700 m als auch für solche von 900 m auszuarbeiten. Ebenso ist ein Referenzprojekt für SMA vorzulegen.

Aus der Erfahrung in den Etappen 1 und 2 des Sachplans geologische Tiefenlager stellt die AG SiKa/KES fest:

1. Der Sachplan geologische Tiefenlager ist ein taugliches Mittel für die Auswahl eines geeigneten Standorts in der Schweiz.
2. Die geologischen Grundlagenarbeiten führten zum einhelligen Schluss in der Fachwelt, dass Opalinuston ein geeignetes Wirtgestein für ein hiesiges geologisches Tiefenlager ist.

3. Die Vorgaben der ENSI-Richtlinie G03 (ENSI 2009) in Bezug auf den Betrachtungszeitraum von einer Million Jahre (bei HAA) sind einzuhalten. Ebenso muss eine Lagerfreilegung gemäss den Vorgaben ausgeschlossen sein.
4. Die Nachforderung des ENSI und die dadurch erfolgte Programmverzögerung von einem Jahr waren insofern nicht notwendig, als die ungenügende felsmechanische Datenlage bereits bekannt war. Die spärliche geomechanische Datenlage ist seit dem HAA-Entsorgungsnachweis (Nagra 2002) praktisch unverändert geblieben, seither wurden lediglich neue, als jeweils repräsentativ eingestufte Baugrundmodelle und Materialparametersätze vorgestellt, die sich jedoch in mancher Hinsicht widersprechen.
5. ENSI, EGT, KNS und ESchT kommen bezüglich Einengungsergebnis zum gleichen Schluss, wie dies die AG SiKa/KES bereits im Januar 2016 dargelegt hat.

## Inhalt

Zusammenfassung .....	3
Vorbemerkung .....	7
1 Einleitung: Anforderungen .....	7
1.1 Funktion des kantonalen Fachgremiums und Vorgehensweise.....	7
1.2 Anforderungen an die Beurteilung in Etappe 2 .....	8
2 Ausgangslage, Unterlagen, Schwerpunktsetzung .....	9
3 Beurteilung des Nagra-Konzepts .....	10
3.1 Vorgehen .....	10
3.2 Dosisberechnungen (Beilage 4) .....	10
3.3 Qualitative Bewertung .....	11
3.4 Methodenkritik .....	11
4 Zurückstellung der Wirtgesteine «Brauner Dogger», Effinger Schichten und Helvetische Mergel als «weitere Wirtgesteine».....	12
5 Zurückstellung der SMA-Standortgebiete Wellenberg, Jura-Südfuss und Südranden.....	13
6 SMA/HAA-Standortgebiete Nördlich Lägern, Zürich Nordost und Jura Ost .....	13
6.1 Bedeutung von Platzbedarf und Platzangebot .....	13
6.2 Platzbedarf.....	15
6.3 Einschränkung des Platzangebots durch Tektonik, Erosion und Tiefenlage .....	15
6.3.1 Tektonik (Beilage 1).....	15
6.3.2 Erosion (Beilage 3).....	16
6.3.3 Tiefenlage und bautechnische Machbarkeit (Beilage 2) .....	18
6.4 Folgerungen für die Realisierbarkeit genügend grosser Lagerperimeter.....	19
7 Geomechanische Grundlagen, Projektierung und Bautechnik (Beilage 2a).....	19
8 Hydrogeologie – Kenntnisstand und Anforderungen in Etappe 3.....	21
9 Empfehlungen für Etappe 3 .....	21
10 Schlussfolgerungen .....	23
Referenzen .....	25
A. Vorgaben.....	25
B. Zentrale beurteilte Dokumente.....	26
C. Beigezogene Unterlagen .....	27
Beilagen (Zusammenfassungen, 2017 aktualisiert und ergänzt).....	29
1. Alan G. Green: Seismic images, neotectonism and seismic hazard: Evaluation of Nagra's Stage 2 recommendations for the High-Level Waste (HLW) siting regions. Update as of 2017 [Seismikprofile, Neotektonik und Erdbebengefährdung: Beurteilung der Empfehlungen der Nagra in Bezug auf Standortgebiete für hochradioaktive Abfälle in Etappe 2. Aktualisierung 2017] .....	30
2. Kalman Kovári: Die bautechnische Machbarkeit der Lagerstollen. Einfluss der Tiefenlage auf die Langzeitsicherheit. Beurteilung der Untersuchungen der Nagra .....	33
2a. Kalman Kovári: Geomechanische Grundlagen, Projektierung und Bautechnik.....	35
3. Erich Müller & Stefan Schmid: Zu erwartende Erosionsprozesse in den drei möglichen Standortgebieten für hochradioaktive Abfälle (Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost). Aktualisierung 2017.....	37
4. Bruno Baltes: Dosisberechnungen. Aktualisierung 2017.....	40

## Vorbemerkung

Der Fachbericht der Arbeitsgruppe Sicherheit Kantone und der Kantonalen Expertengruppe Sicherheit (AG SiKa/KES) zu Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) basiert auf deren Fachbericht vom Januar 2016 zum «2x2-Vorschlag» der Nagra und aktualisiert diesen wo notwendig. In der Zwischenzeit sind weitere Dokumente hinzugekommen, welche die AG SiKa/KES in ihrer Beurteilung im vorliegenden Fachbericht berücksichtigt. Es sind dies hauptsächlich die Nachforderung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) vom September/November 2015 (ENSI 2015a), die aufgrund dieser Nachforderung eingereichte Zusatzdokumentation der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) vom Juli 2016 (Nagra 2016b, 2016c), die Stellungnahme der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung vom Januar 2017 (EGT 2017), das ENSI-Gutachten vom April 2017 (ENSI 2017) und die Stellungnahmen der Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) vom Juni 2017 (KNS 2017) sowie der Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager vom Januar 2017 (ESchT 2017).

Die Beurteilung der AG SiKa/KES vom Januar 2016 bleibt grösstenteils unverändert bestehen. Wo wesentliche inhaltliche Aktualisierungen und Ergänzungen am Text vorgenommen wurden, sind diese mit einem Strich am linken Seitenrand bezeichnet.

## 1 Einleitung: Anforderungen

### 1.1 Funktion des kantonalen Fachgremiums und Vorgehensweise

Aufgabe der AG SiKa und der KES im SGT ist unter anderem, die vorgelegten Dokumente und Untersuchungen der Nagra und die Gutachten und Stellungnahmen hierzu zu prüfen und zuhanden des Ausschusses der Kantone (AdK, mit den Regierungsvertretenden der betroffenen Standortkantone) zu kommentieren (BFE 2008, Pflichtenheft Ziff. 13).

Die AG SiKa/KES besteht aus erfahrenen Fachleuten auf den Gebieten Geologie, Geophysik einschliesslich Seismik, Hydrologie, Bautechnik, Geomechanik und Sicherheitsanalyse. Sie ist damit in der Lage, die unterbreiteten Ergebnisse auf ihre Plausibilität und fachtechnische Korrektheit zu beurteilen. Die AG SiKa/KES sieht sich als Beauftragte der betroffenen Kantone veranlasst, sowohl naturwissenschaftlich-technischen Fragenstellungen nachzugehen als auch Prozessaspekte wie Vergleichbarkeit oder Stufengerechtigkeit zu beurteilen, dies im Hinblick auf ein transparentes und nachvollziehbares Verfahren. Aussagen zur Prognose der Langzeitsicherheit und zur Bedeutung von Inhomogenitäten und Anisotropien<sup>1</sup> stellen die Beurteilung der geologischen Verhältnisse vor besondere wissenschaftliche Herausforderungen. Diesen kann mit einem offenen, auch die Ungewissheiten bezüglich Wissensstand und Datenqualität aufzeigenden Arbeitsansatz begegnet werden. Gerade bei einem umstrittenen Thema wie der Lagerung von radioaktiven Abfällen müssen diese Prozessaspekte mitberücksichtigt werden. Die Fachberichte der AG SiKa/KES beinhalten damit sowohl eine wissenschaftliche Fachbetrachtung als auch Überlegungen zur Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Verfahrens.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Inhomogenität: Räumlich unterschiedliche Materialeigenschaften des Gebirges, z. B. Störzonen oder Wechsellaagerung verschiedener Gesteine. Anisotropie: Richtungsabhängigkeit von physikalischen Materialeigenschaften des Gebirges (vor allem felsmechanisch, seismisch, hydraulisch, magnetisch, elektrisch, thermisch).

<sup>2</sup> An dieser Stelle wird verzichtet, detailliert auf den Prozess in Etappe 2 einzugehen (z. B. Zwischenhaltfachsitungen, siehe AG SiKa/KES 2014 oder ENSI 2014). Für Ressourcen- oder Verfahrensfragen wird auf die Stellungnahme des AdK verwiesen (siehe Fussnote 6).

Die AG SiKa/KES hat neben dem Studium der umfangreichen Unterlagen Fachgespräche mit der Nagra und dem ENSI geführt.

## 1.2 Anforderungen an die Beurteilung in Etappe 2

Der Sachplan verlangt, dass die Entsorgungspflichtigen, basierend auf einem sicherheitstechnischen Vergleich, eine Einengung der Standortgebiete<sup>3</sup> auf mindestens zwei Standortgebiete pro Lagertyp<sup>4</sup> für die weiteren Untersuchungen in Etappe 3 vornehmen. In Etappe 2 müssen die Standortgebiete anhand qualitativer und quantitativer Sicherheitskriterien bewertet werden: «Ein Standort kann ausscheiden, falls bei dieser Bewertung eindeutige Nachteile gegenüber anderen Standorten festgestellt werden» (BFE 2008, S. 71). Planerisch wird hier von einer «Negativplanung» gesprochen; es werden also in Etappe 2 nicht die «besten» Standortgebiete gesucht, sondern diejenigen ausgeschieden, von denen anzunehmen ist, dass weitere Untersuchungen in Etappe 3 keine Reduktion der massgeblichen Ungewissheiten mehr bringen.

In Zusammenarbeit mit der AG SiKa/KES präzisierte das ENSI, dass die «Annahmen für die Berechnungen der charakteristischen Dosisintervalle, die Bewertungen und die Bezeichnung eindeutiger Nachteile belastbar sein [müssen], das heisst, Aussagen zur Sicherheit und technischen Machbarkeit müssen auch unter Berücksichtigung der bestehenden Variabilität und Ungewissheiten gültig sein» (ENSI 2013, S. 3). Dabei sind die folgenden sogenannten «entscheidungsrelevanten Merkmale» massgebend: Wirksamkeit, Langzeitstabilität, Explorier- und Charakterisierbarkeit der geologischen Barriere im Standortgebiet sowie bautechnische Machbarkeit unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Standortareale (ebd.). «Standortgebiete können in Etappe 2 nur zurückgestellt werden, falls mindestens eine der [folgenden] Fragen belastbar mit ja beantwortet wird:

- Erfüllen Standortgebiete das Dosischutzkriterium nicht?
- Sind Standortgebiete aufgrund der Ergebnisse der Dosis-Berechnungen eindeutig weniger geeignet?
- Sind die Gesamtbewertungen der Standortgebiete schlechter als «geeignet»?
- Können bei Standortgebieten anhand der Kriterien zur Sicherheit und technischen Machbarkeit belastbare eindeutige Nachteile gegenüber anderen Standortgebieten festgestellt werden?» (ebd., S. 6)

Für die AG SiKa/KES war bereits zuvor klar, dass die Einengung in Etappe 2 als wichtigster Prozess des gesamten SGT bezeichnet werden kann (AG SiKa/KES 2011, S. 8ff.). Im Jahr 2010 forderte die AG SiKa/KES ein Vermeiden von verfrühten und unsicheren Bewertungen und Rangierungen von Standortgebieten, welche auf unsicheren und inhomogenen Datengrundlagen basieren (AG SiKa/KES 2010, S. 10).

---

<sup>3</sup> Gemäss Konzeptteil dient Etappe 2 «der Auswahl von mindestens zwei Standorten» (BFE 2008, S. 34), allerdings auf der Basis von geologischen Standortgebieten mit allenfalls verschiedenen möglichen Lagerperimetern untertags. Demzufolge werden beide Begriffe verwendet: Standort und Standortgebiet.

<sup>4</sup> Zwei Lagertypen: HAA/LMA (hoch- und langlebige mittelradioaktive Abfälle einschliesslich abgebrannter Brennelemente) und SMA (schwachradioaktive und kürzerlebige mittelradioaktive Abfälle).

## 2 Ausgangslage, Unterlagen, Schwerpunktsetzung

Die Nagra legte am 30. Januar 2015 ihren Vorschlag für die Einengung in Etappe 2 vor, den sogenannten «2x2-Vorschlag». Er beinhaltet je ein HAA-Tiefenlager, ein SMA-Tiefenlager und ein Kombilager (HAA/SMA) in den Standortgebieten JO und ZNO. Die Nagra dokumentiert den Vorschlag in den Berichten NTB 14-01, NTB 14-02 (Dossiers I bis VIII) und NTB 14-03. Die zusammenfassenden Dokumente basieren auf rund 180 weiteren Berichten der Nagra, die wiederum auf unzähligen Grundlagendokumenten fussen. Die empfohlene Zurückstellung der Standortgebiete WLB, JS, NL und SR wird durch das Aufzeigen von sogenannten «belastbaren eindeutigen Nachteilen» (gemäss ENSI 2013, S. 6) begründet. Angesichts der Komplexität der Materie und infolge knapper eigener Mittel entschied die AG SiKa/KES, sich bei ihrer Beurteilung auf die folgenden Schwerpunkte zu konzentrieren: Seismik und Tektonik (neuere 2D-Seismik-Daten aus Standortgebieten vorhanden), Geomechanik (Bedeutung der Tiefenlage), Erosion (minimale Tiefenanforderung) und Dosisberechnungen (wichtige Argumentationsstütze wegen behördlicher Vorgaben).

Anlässlich der Sitzung der AG SiKa/KES vom 23. Februar 2015 stellte die Nagra ihren Vorschlag der AG SiKa/KES vor. Die damals durch die AG SiKa/KES geäusserte Befürchtung, die vorgeschlagenen «Zurückstellungen» könnten faktisch einen endgültigen Ausschluss aus dem Verfahren bedeuten, wurde von der Nagra indirekt bestätigt. Dies unterstreicht die hohe Tragweite des Ergebnisses der Einengung in Etappe 2. Der Vorschlag der Nagra muss deshalb sachtechnisch sorgfältig überprüft werden. Die AG SiKa/KES hat bereits in Etappe 1 Grundsätze formuliert, wonach Standorte nicht wegen massgebender Ungewissheiten ausscheiden dürfen. Zudem sollen wirtschaftliche Überlegungen bei der Einengung in Etappe 2 keine Rolle spielen (AG SiKa/KES 2011).

Im Herbst 2015 stellte das ENSI eine Nachforderung an die Nagra zur Beurteilung und Festlegung der maximalen Tiefe der Lagerebene (Indikator 1: «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit»). Es begründete seine Forderungen damit, dass die felsmechanischen Grundlagen, die getroffenen Annahmen und die gewählten Entwurfsindikatoren «gemäss den Prüfergebnissen nicht ausreichend und nicht robust» seien (ENSI 2015a). Auch für das ENSI sind Auswirkungen der geforderten Nachlieferungen auf das Gesamtsystem möglich: «Wo immer eine Anpassung der Tiefenlage im Hinblick auf die bautechnische Machbarkeit notwendig ist, sind ggf. auch die Bewertungen weiterer sich am Lagerperimeter orientierender Indikatoren anzupassen» (ebd., S. 8). Einen Monat später kündigte die Nagra an, die damit verbundenen Nachlieferungen von Daten «bis Mitte 2016» einzureichen (gemäss BFE 2015).

Da die AG SiKa/KES Anfang 2015 vom ursprünglichen Zeitplan mit einem auf Frühjahr 2016 geplanten ENSI-Gutachten ausging, gab sie auf Ende 2015 vier Expertenberichte zu den erwähnten Aspekten in Auftrag: Seismik und Tektonik, Geomechanik, Erosion und Dosisberechnungen. Aufgrund der hohen Relevanz der bautechnischen und geomechanischen Untersuchungen wird nun zu dieser Thematik ein weiterer Expertenbericht vorgelegt (Beilage 2a). Ebenso wird der Wissensbedarf in Bezug auf die hydrogeologischen Verhältnisse an den Standorten diskutiert. Die AG SiKa/KES nimmt nachfolgend abschliessend<sup>5</sup> zum «2x2-Vorschlag» der Nagra Stellung. Weiter beurteilt werden die Nachforderung des ENSI vom September/November 2015 (ENSI 2015a), die dazu gelieferte Zusatzdokumentation der Nagra (u. a. 2016b, 2016c), das Gutachten des ENSI (ENSI 2017a), die Stellungnahme der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT) (EGT 2017) und zahlreiche Dokumente

---

<sup>5</sup> Nach dem ersten Fachbericht vom Januar 2016 (AG SiKa/KES 2016).

weiterer ENSI-Experten, die Stellungnahme der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit (KNS) (KNS 2017) sowie die Stellungnahme der deutschen Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) (ESchT 2017). Die Analyse aller nach der Veröffentlichung des Fachberichts vom Januar 2016 erschienenen Dokumente hat an Argumentation und Fazit des Fachberichts vom Januar 2016 jedoch nichts Grundsätzliches geändert.

Der Bericht wurde im Nachgang zur 47. Sitzung der AG SiKa/KES (vom 28. Juli 2017) auf dem Zirkularweg verabschiedet. Der AdK wird an seiner Sitzung vom 18. September 2017 über dessen Veröffentlichung entscheiden.<sup>6</sup>

### **3 Beurteilung des Nagra-Konzepts**

#### **3.1 Vorgehen**

Gemäss den Vorgaben des Bundes (BFE 2008, ENSI 2013) stützt die Nagra ihre Bewertung der Standortgebiete auf zwei Säulen ab: die provisorischen Sicherheitsanalysen (Dosisberechnungen) und die qualitative Bewertung von im Sachplan festgelegten Kriterien. Bereits in ihrem Fachbericht vom Juli 2010 zur Etappe 1 (AG SiKa/KES, 2010) machte die AG SiKa/KES klar, welchem Pfeiler sie den grösseren Stellenwert beimisst: Gemäss ENSI 2010 (S. 11) vollzieht sich der Sicherheitsvergleich in Etappe 2 in drei Schritten: A) Freisetzungsberechnungen, B) Diskussion von Robustheit/Variationsbereich/Parameterunsicherheit in diesen Berechnungen, C) qualitative Bewertung der Sachplan-Kriterien. Nach heutigem Wissensstand liegen die Dosisintervalle voraussichtlich bei allen Standorten unterhalb des Schutzziels von 0.1 Millisievert/Jahr (ENSI 2009).<sup>7</sup> Dies hat zur Folge, dass der Vergleichsschritt C) ausschlaggebend sein wird für die integrale Bewertung der Standorte (AG SiKa/KES 2010, S. 16).

#### **3.2 Dosisberechnungen (Beilage 4)**

Die Nagra kommt in ihrer provisorischen Sicherheitsanalyse nach den Vorgaben des ENSI und auf der Grundlage der charakteristischen Dosisintervalle zum Schluss, dass alle Standortgebiete sicherheitstechnisch geeignet sind, weil die errechneten Dosen an allen Standortgebieten kleiner als der vorgegebene Grenzwert sind. Gleichzeitig wird eine sicherheitstechnische Gleichwertigkeit sowohl der SMA- wie auch der HAA-Standortgebiete festgestellt. Auffallend sind jedoch markante Unterschiede der berechneten Dosisintervalle zwischen den Standortgebieten: Standortspezifische geologische Eigenschaften wie Mächtigkeit und Durchlässigkeit der Wirtgesteine, fehlende Rahmengesteine und mögliche Erosionsszenarien schlagen sich erwartungsgemäss deutlich in den Dosiswerten nieder. Dies dokumentiert die Sensitivität der Dosisberechnungen bezüglich der geologischen Gebirgsmodelle, ungewisser Prozesse und Parameter sowie ungewisser Entwicklungen. Mit Hilfe der Dosisberechnungen wird die Wirksamkeit sowohl der modellierten Barrierensysteme als auch ihrer einzelnen Barrieren quantifiziert. Damit lassen sich prioritäre Wirtgesteine für das SMA-Lager, das heisst Wirtgesteine mit den vergleichsweise besten Einschlusseigenschaften, identifizieren. Ein Zurückstellen von Wirtgesteinen im Verfahren alleine auf Basis der Dosisberechnungen ist jedoch nicht zu begründen.

---

<sup>6</sup> Nachtrag: An seiner 20. Sitzung (vom 18. September 2017) genehmigte der AdK die Veröffentlichung des Fachberichts als Kernbestandteil seiner Stellungnahme für die Vernehmlassung zu Etappe 2.

<sup>7</sup> Bereits in Etappe 1 legte die Nagra Berechnungen vor, nach denen alle sechs Standortgebiete das Schutzziel einhalten (Nagra 2010).

Der Schlussfolgerung der Nagra, alle Standortgebiete seien sicherheitstechnisch geeignet und gleichwertig, kann aus Sicht der AG SiKa/KES nicht gefolgt werden. Das Feststellen der Sicherheit eines Standortgebietes alleine auf der Grundlage von Dosisberechnungen ist nicht möglich. Hierzu bedarf es eines vollständigen Sicherheitsnachweises. Ebenso ist ein sicherheitstechnischer Quervergleich für Standortgebiete auf der Grundlage von Dosisberechnungen methodisch fragwürdig und nicht belastbar. Nach einem Fachgespräch relativierte das ENSI gegenüber der AG SiKa/KES nachträglich den Stellenwert der «sicherheitstechnischen Eignung» und der «sicherheitstechnischen Gleichwertigkeit» eines Standorts in Etappe 2.<sup>8</sup> Aus den Dosisberechnungen kann jedoch gefolgert werden, dass – unter der Annahme der Gültigkeit der Prämissen und Festlegungen – keine Erkenntnisse gewonnen wurden, die belegen, dass aus radiologischer Sicht die Sicherheitskriterien (Einhaltung der Dosisgrenzwerte) nicht erfüllt würden und somit gegen eine Eignung der Standortgebiete sprächen. Die AG SiKa/KES hat seit Etappe 1 in ihren Stellungnahmen darauf hingewiesen, dass bei der Überprüfung der Eignung eines Standorts die qualitative Bewertung (Schritt (C) in ENSI 2013, S. 5) immer Vorrang haben muss vor Dosisberechnungen (AG SiKa/KES 2010/2011).

Die Dosisberechnungen basieren auf den – gemäss aktuellem Wissensstand geschätzten – standortspezifischen geologischen Modellen bezüglich Mächtigkeit, Durchlässigkeit, Langzeitstabilität und anderer Eigenschaften. Nach Vorliegen sicherer geologischer Modelle für die Lagerperimeter müssen die Dosisberechnungen für vollständige Sicherheitsanalysen aktualisiert und verifiziert werden. Dabei sind deutliche Abweichungen zu den heutigen Berechnungen denkbar. Aus der Nachforderung des ENSI, der dazu gelieferten Zusatzdokumentation der Nagra, dem Gutachten des ENSI und den Stellungnahmen von EGT, KNS sowie ESchT ergeben sich für die Bewertung der Dosisberechnungen und der charakteristischen Dosisintervalle keine neuen Sachverhalte.

### 3.3 Qualitative Bewertung

Die qualitative Bewertung verwendet Abschätzungen der einzelnen Kriterien gemäss Sachplan. Es bestehen zum Teil erhebliche Ungewissheiten und damit ein entsprechend grosser Ermessensspielraum. Die qualitativen Bewertungen mit Noten auf eine Dezimalstelle genau sind somit nicht geeignet, folgenschwere Rangierungen und Entscheide zu treffen. Die qualitative Bewertung kann hingegen vermutete mögliche Schwächen eines Standorts aufzeigen, welchen vertieft nachgegangen werden muss. Die Nagra zieht hier gemäss ENSI 33/154 (ENSI 2013) das Attribut der «eindeutigen Nachteile» heran, welche zu einer Zurückstellung eines Standortes führen. Gemäss Definition der Nagra liegt ein eindeutiger Nachteil vor, wenn ein Kriterium gegenüber den besten Standortgebieten um zwei Bewertungsstufen tiefer liegt. Weil sich aber, wie oben gezeigt, hinter dem Wort «Zurückstellung» die weit folgenschwerere Entscheidung eines Ausschlusses verbirgt, müssen die durch die Nagra deklarierten eindeutigen Nachteile der betroffenen Standorte sorgfältig hinterfragt werden. Die Handhabung des Begriffs «eindeutige Nachteile» (schlechter als ...) durch die Nagra erweist sich in dieser Situation als nicht nachvollziehbar und ungeeignet. Hilfreicher wären Identifikationen wie Nichterfüllen von Minimalanforderungen oder die Deklaration von definierten Ausschlusskriterien.

### 3.4 Methodenkritik

Die Nagra hat mit der Anwendung von «eindeutigen Nachteilen» operiert. Dieses Werkzeug erweist sich, weil es auf Notendifferenzen der qualitativen Bewertung basiert, als unzurei-

---

<sup>8</sup> Das ENSI hat in Aussicht gestellt, die Kritik der AG SiKa/KES in seinen Vorgaben zu Etappe 3 zu berücksichtigen (ENSI 2017b).

chend begründet (bereits zu Etappe 1 äusserte die AG SiKa/KES Vorbehalte zur vorgenommenen Benotung, AG SiKa/KES 2010, S. 15). Auch grundsätzlich sind methodische Einwände angebracht, setzt doch die von der Nagra verwendete, zum Teil selbstentwickelte und nicht nachvollziehbare<sup>9</sup> Nutzwertanalyse (Multikriterienentscheidungsanalyse) voraus, dass definierte Indikatoren nicht miteinander verknüpft sein dürfen. Von insgesamt 20 sogenannten «entscheidungsrelevanten Indikatoren» der Nagra sind 6 (oder 30 Prozent) mit der – tatsächlichen oder vermuteten – Tiefenlage eines Lagers verbunden. Infolge dieser Abhängigkeit kann keine Rede davon sein, dass die Indikatoren «sich gegenseitig kompensieren, ... alle gleich wichtig und unabhängig voneinander sind» (Nagra 2015, S. 29). Unabhängigkeit ist eine notwendige Voraussetzung für eine Aggregation (siehe auch Röhlig 2015, S. 17) – trotzdem wird eine solche Aggregation durch die Nagra mit ihrer Benotung der Indikatoren vorgenommen. Überdies werden verschiedene Aspekte sowohl als Prozesse wie auch als Indikatoren oder Parameter klassifiziert (so in Nagra 2014j, S. 15).<sup>10</sup> Schliesslich wird suggeriert, dass man allenfalls auf die «zurückgestellten» Standorte zurückkommen könnte. Ausgehend von den «eindeutigen Nachteilen» wäre aus Sicht der AG SiKa/KES eine konsequente Negativplanung zweckmässiger und zielführender; sie lässt sicherheitstechnisch ungenügende, das heisst die Minimalanforderungen nicht erfüllende, Standorte ausscheiden.

Wie die AG SiKa/KES bekundeten etliche andere Akteure (EGT 2017, ESchT 2017) Mühe mit der Fülle und Komplexität der zu analysierenden Unterlagen. Die Dokumentation liegt in einer für Gutachter wie Behörden nur schwer zugänglichen Form vor. Bei der Begutachtung zeigten sich Probleme bezüglich Klarheit und Nachprüfbarkeit der Argumente sowie Entscheidungen im Prozessablauf, die sich auch in der Struktur der vorgelegten Dokumentation widerspiegeln.<sup>11</sup>

#### **4 Zurückstellung der Wirtgesteine «Brauner Dogger», Effinger Schichten und Helvetische Mergel als «weitere Wirtgesteine»**

Die zusätzlichen Untersuchungen der Nagra in Etappe 2 führen im Vergleich zu Etappe 1 zu einer deutlich kritischeren Bewertung der Wirtgesteine «Brauner Dogger» und Effinger Schichten. Entsprechend schlechter fallen auch die Dosisberechnungen aus, obschon die Grenzwerte knapp eingehalten werden. Da der «Braune Dogger» und die Effinger Schichten in den entsprechenden Standortgebieten gegenüber dem Opalinuston «eindeutige Nachteile» aufweisen, werden sie als «weitere Wirtgesteine» eingestuft und zurückgestellt. Auf das Wirtgestein Mergel-Formationen des Helvetikums, das nur beim Standort Wellenberg vorkommt, wird hier nicht eingegangen, da in diesem Fall die lokalen geologisch-tektonischen Verhältnisse massgebend sind für die sicherheitstechnischen Schwächen des Standorts (siehe Kapitel 5).

Die AG SiKa/KES ist der Ansicht, dass allein die ungünstigen geologischen Eigenschaften des «Braunen Doggers» (geringe Mächtigkeit der einschlusswirksamen tonigen Schichten, Auftreten von durchlässigen kalkigen Bänken, komplexe Architektur und schlechte Explorierbarkeit) und der Effinger Schichten (erhöhte Durchlässigkeit, geringe Selbstabdichtung infol-

---

<sup>9</sup> Nagra 2014a, Anhänge C und D. Auf konkrete Fragen nach Auswahl und Bewertung ihrer Präferenzen lieferte die Nagra keine die AG SiKa/KES befriedigenden Antworten (25. Sitzung des Technischen Forums Sicherheit, 2. Juni 2015) (ENSI 2015b). Dasselbe gilt für die Begründung des zugrundeliegenden Lagerkonzepts (ebd.).

<sup>10</sup> Vermischungen finden statt, so heisst ein «Indikator» «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse» (Nagra 2014j, S. A-151).

<sup>11</sup> Beispielsweise ONR (2016) oder Heierli & Baltens (2017) geben Anregungen, wie die Dokumentationsstruktur in Etappe 3 verbessert werden könnte.

ge kleiner Tongehalte) nicht nur eine Zurückstellung, sondern einen Ausschluss dieser Wirtgesteine erfordern. Die Zuordnung «weiteres Wirtgestein» bedeutet, dass auf das Wirtgestein allenfalls später zurückgegriffen werden könnte, was für die AG SiKa/KES aus Sicherheitsüberlegungen unhaltbar ist. Es verbleibt einzig der Opalinuston als mögliches geeignetes Wirtgestein für geologische Tiefenlager in der Schweiz.<sup>12</sup>

## **5 Zurückstellung der SMA-Standortgebiete Wellenberg, Jura-Südfuss und Südranden**

Die Identifikation eindeutiger Nachteile durch die Nagra betrifft im Fall dreier Standortgebiete im Wesentlichen folgende Kriterien:

- Wellenberg (WLB): ungünstige Explorierbarkeit bei gleichzeitig komplexer, kleinräumig inhomogener Geologie,
- Jura-Südfuss (JS): ungenügende Mächtigkeit des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und fragliche Qualität der oberen Rahmengesteine, fehlende untere Rahmengesteine und tektonische Überprägung,
- Südranden (SR): zu geringe Tiefenlage unter lokaler Erosionsbasis und mögliche Dekompaktion (Auflockerung).

Die AG SiKa/KES ist der Ansicht, dass die Standortgebiete WLB, JS und SR derart markante sicherheitstechnische Schwächen aufweisen, dass diese für ein geologisches Tiefenlager nicht weiterverfolgt werden sollten.

Beim bereits recht gut untersuchten WLB fallen insbesondere das Auftreten von steilen Störzonen und Kalkschuppen, die geringe Fähigkeit zur Selbstabdichtung wegen der kleinen Tongehalte sowie die schlechte Explorierbarkeit negativ ins Gewicht. Dazu kommen grosse Fragezeichen betreffend Erosion und Neotektonik.

Ähnlich verhält es sich beim Standort SR. Die geringe Tiefenlage und die Gefährdung durch Erosion und Dekompaktion, das heisst die fragliche Integrität des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, sprechen aus Sicht der AG SiKa/KES gegen ein Beibehalten dieses Standortgebiets.

Beim Standort JS bestehen berechtigte Zweifel, dass der Opalinuston die geforderte Mächtigkeit von 100 Metern aufweist. Zudem fehlen dort teilweise die Rahmengesteine, und wo sie vorhanden sind, weisen sie ein schlechtes Rückhaltevermögen auf. Die Zurückstellung von JS erscheint unter diesen Gesichtspunkten nachvollziehbar und zweckmässig.

## **6 SMA/HAA-Standortgebiete Nördlich Lägern, Zürich Nordost und Jura Ost**

### **6.1 Bedeutung von Platzbedarf und Platzangebot**

Für die Einengung in Etappe 2 ist das vorhandene Platzangebot ein entscheidender Faktor. Ein ungenügendes Platzangebot führt dazu, dass ein Standort fallen gelassen werden muss. Die Nagra hat die Standortgebiete nach Etappe 1 bewusst grosszügig ausgeschieden, und

---

<sup>12</sup>. Dieser mögliche Schluss wurde von der AG SiKa/KES bereits in ihrem Fachbericht zu Etappe 1 in Erwägung gezogen (AG SiKa/KES 2010, S. 11)

zwar in der Voraussicht, dass diese einerseits durch begrenzende Elemente beschnitten werden können. Diese Elemente sind:

- «Zu meidende tektonische Zonen»<sup>13</sup>, das heisst, das Lager muss zu ihnen einen genügenden Sicherheitsabstand aufweisen.
- Erosion, von deren Auswirkungen der einschliesswirksame Gebirgsbereich einen genügenden räumlichen Sicherheitsabstand (vertikal und horizontal) haben muss.
- Maximale Tiefenlage des Lagers, welche den verfügbaren Raum wegen den gegen Süden abfallenden Gesteinsformationen einschränkt.

Andererseits wird der effektive Platzbedarf vor Ort durch die sogenannten «anordnungsbestimmenden geologischen Elemente»<sup>14</sup> (kleinere tektonische Störungen mit Versätzen grösser als 20 Meter, welchen beim Lagerbau ausgewichen werden muss) bestimmt. Im Gegensatz dazu bemisst sich der theoretische Platzbedarf in erster Linie nach der Menge des radioaktiven Abfalls bei einem vollständig homogenen Wirtgestein ohne störende tektonische Elemente. Im Folgenden ist mit «Platzbedarf» jeweils der effektive Platzbedarf gemeint.

Die nachfolgende Skizze illustriert das Zusammenspiel der raumbegrenzenden Elemente.

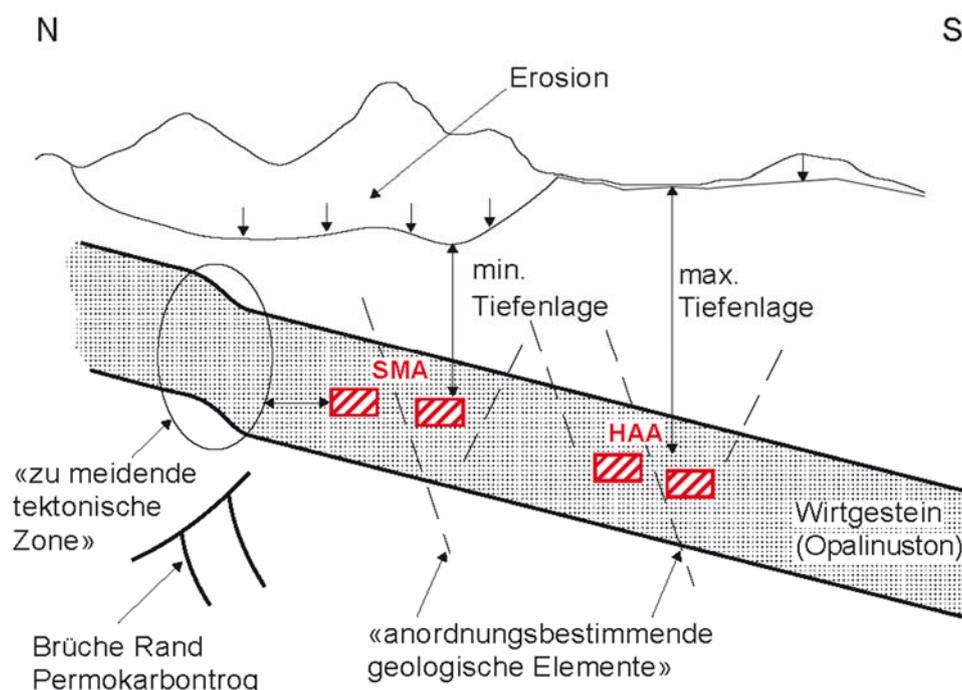


Abbildung 1: Platzbedarf und Platzangebot bestimmende Elemente (schematische Darstellung).

<sup>13</sup> Eine «zu meidende tektonische Zone» ist eine Flexur und liegt im Einflussbereich reaktiver Grundgebirgsstörungen (Permokarbondrog) oder von Antiklinalstrukturen im Nahbereich des Faltenjuras (nach Nagra 2014a, S. 24, 48, Nagra 2014c, S. 71ff.). Zusammen mit den regionalen Störungszonen bilden «zu meidende tektonische Zonen» sogenannte «gebietsbegrenzende geologische Elemente» (Nagra 2014a, S. 24, 48) oder auch «regionale tektonische Elemente» (Nagra 2014b, S. 71).

<sup>14</sup> «Anordnungsbestimmende geologische Elemente» sind lokale tektonische Elemente, welche die Anordnung der Lagerkammern bestimmen (Nagra 2014a, S. 24).

## 6.2 Platzbedarf

Die Nagra deklariert den Platzbedarf in den einzelnen Standortgebieten wie folgt:

Standortgebiet	SMA	HAA
ZNO	3 km <sup>2</sup>	6 km <sup>2</sup>
NL	4-5 km <sup>2</sup>	8-12 km <sup>2</sup>
JO	3-4 km <sup>2</sup>	6-9 km <sup>2</sup>

Tabelle 1: Von der Nagra postulierter Platzbedarf in den Standortgebieten ZNO, NL und JO (Nagra 2014I).

Der deutlich grössere Platzbedarf bei NL wird durch eine hypothetische erhöhte Frequenz anordnungsbestimmender geologischer Elemente bzw. Störungszonen begründet, die eine grössere Anzahl Lagerfelder erfordert. Die hohe Frequenz der Störungszonen ergibt sich hauptsächlich aus der Anwendung einer ungeeigneten Methode zur Ermittlung der Bruchverteilung. Sie basiert nicht auf einer Interpretation der seismischen Daten. Gemäss Beilage 1 sind in NL nicht mehr «anordnungsbestimmende geologische Elemente» als im benachbarten ZNO erkennbar. Es besteht damit heute kein Grund, bei NL gegenüber ZNO und JO einen doppelt so hohen Platzbedarf zu fordern. Für NL HAA resultiert auf Basis der heute verfügbaren Daten ein realistischer Platzbedarf von 6 km<sup>2</sup>, ähnlich wie bei ZNO. Aus Sicht der AG SiKa/KES ist der deklarierte erhöhte Platzbedarf für NL unzutreffend (siehe unten).

## 6.3 Einschränkung des Platzangebots durch Tektonik, Erosion und Tiefenlage

### 6.3.1 Tektonik (Beilage 1)

Beim Standortgebiet NL hat die Interpretation der tektonischen Elemente «zu meidende tektonische Zonen» und «anordnungsbestimmende geologische Elemente» eine stark einschränkende Wirkung auf die Platzierung des Lagers. Die Interpretation der Tektonik, soweit sie auf der Seismik beruht, kann sich bei NL vorläufig nur auf 2D-Seismik stützen, dies im Gegensatz zu ZNO, wo bereits eine 3D-Seismik vorliegt. Die eingeschränkte Aussagekraft der 2D-Seismik lässt einen erheblichen Spielraum der Interpretation offen. Insbesondere in NL ist die von der Nagra angegebene Südgrenze der «zu meidenden tektonischen Zone» aufgrund der seismischen Daten nicht ausreichend begründet und auch aus geologisch-tektonischer Sicht fragwürdig. Gleichzeitig erachtet die AG SiKa/KES das laut Nagra in NL gegenüber ZNO erhöhte Auftreten von «anordnungsbestimmenden geologischen Elementen» als überinterpretiert. Die Nagra postuliert im nordöstlichen Teil von NL wesentlich ungünstigere tektonische Bedingungen als in ZNO. Dieser Schluss ist aber in Anbetracht der qualitativ sehr unterschiedlichen Datenlage nicht haltbar. Erst mit einer ergänzenden 3D-Seismik bei NL können auch hier belastbare Daten gewonnen werden.

Eine weitere für die Optimierung des Lagerperimeters ebenfalls folgenschwere Ungewissheit bei NL (wie auch bei ZNO und JO, wenn auch weniger ausgeprägt) betrifft die Tiefenlage des Opalinustons.

Wie zuvor die AG SiKa/KES äussern auch EGT (2017) und ENSI-Experten Bedenken, was Definition und Abgrenzung der «zu meidenden tektonischen Zonen» durch die Nagra im Nordosten von NL angeht. Auch sie lehnen die Anzahl der «anordnungsbestimmenden geologischen Elemente» in NL ab, ebenso die Anwendung der Statistik durch die Nagra, wie diese den Mangel an 3D-seismischen Daten auszugleichen versucht. Im Einklang mit der AG SiKa/KES sprechen sie sich dafür aus, dass 3D-Seismik nötig ist, um die Ungewissheiten in

Bezug auf die «zu meidenden tektonischen Zonen» und die «anordnungsbestimmenden geologischen Elemente» im Nordosten von NL zu beheben.

### 6.3.2 Erosion (Beilage 3)

Die sicherheitstechnisch sehr wichtige Langzeitstabilität der geologischen Barriere wird durch die nach wie vor nur mit grossen Unsicherheiten zu prognostizierenden möglichen Erosionsprozesse in Frage gestellt (Wissensstand 2017), was aus Sicht der Erosionsproblematik eine möglichst grosse Lagertiefe nahelegt. Man analysiert für die Erosionsprognose die in den letzten 2 Millionen Jahren aufgetretenen glazialen und fluviatilen Erosionsprozesse und macht bezüglich des Lagers für hochaktive Abfälle eine Vorhersage für die nächste Million Jahre. Beim Lager für die schwach- und mittelaktiven Abfälle wird eine Voraussage für die nächsten 100'000 Jahre als ausreichend betrachtet. Zusätzliche Ungewissheiten bei der Prognose ergeben sich durch die unsichere Entwicklung des Klimas unter dem Einfluss des Menschen und unbekannt neotektonische Bewegungen. Diese Ungewissheiten veranlassen zu einer sehr vorsichtigen Einschätzung der Erosionsprozesse. Die Experten der AG SiKa/KES kommen denn auch zu deutlich pessimistischeren Schlüssen als die Nagra (s. Tab. 2, umseitig), wobei sie sich bei ihrer Beurteilung auf die HAA-Lager beschränken.

Die AG SiKa/KES ist auch nach der Sichtung neu erhobener Daten (Claude 2016, Büchi 2016) zur Datierung der Schotterterrassen der Ansicht, dass bei einer Realisierung des Lagers in der derzeit von der Nagra angestrebten Tiefenlage (Nagra 2014a, S. 239) in JO und ZNO nicht ausgeschlossen werden kann, dass dieses innert einer Million Jahre freigelegt wird. Sie ist der Ansicht, dass Gebiete, in denen Erosionsprozesse die Barriere des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs und damit dessen Integrität beeinträchtigen könnten, für ein Lager nicht in Frage kommen. Der Prozess Erosion erhält damit eine ausschlusswirksame Bedeutung. Im von der AG SiKa/KES neu definierten «Basisfall neu» mit gegenüber der Nagra-Vorstellung verstärkter Erosion verbleibt trotzdem bei allen drei Standorten noch genügend Platz, um ein Lager zu realisieren, auch wenn bei JO das noch nutzbare Platzangebot sehr stark reduziert ist. Der neu eingeführte «pessimistische Fall neu» mit nach wie vor nicht auszuschliessender erhöhter Erosionsgefährdung wird als denkbares und aufgrund der heutigen Kenntnisse nicht auszuschliessendes Szenario betrachtet. Gemäss diesem pessimistischen Szenario wäre das Platzangebot in JO ungenügend.

Es muss festgehalten werden (s. Tab. 2), dass ein Lager in JO vielleicht wegen des praktisch auf null geschrumpften Platzangebots verunmöglicht würde oder dass zumindest das Platzangebot drastisch eingeschränkt sein könnte.

Auch bei ZNO ergeben sich durch die Erosion stärkere Einschränkungen des Platzangebots: Das von Erosion verschonte Platzangebot wird gegen Südosten gedrängt, das heisst hin zu grösseren Lagertiefen (s. Tab. 2).

Beim Standortgebiet NL hingegen hat die Erosion wegen der grösseren Tiefenlage des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs keine Auswirkungen auf das Platzangebot. In Etappe 3 sind vertiefte Untersuchungen zur Erosionsfrage, insbesondere zur zuverlässigen Datierung der Deckenschotter, erforderlich. Dringend nötig ist aufzuzeigen, ob mit einem solchen «pessimistischen Fall neu» weiterhin gerechnet werden muss, da ein Zutreffen des «pessimistischen Falls neu» letztlich ein Ausschlusskriterium für JO sein könnte.

<b>Erosionsszenario</b>	<b>Jura Ost</b>	<b>Nördlich Lägern</b>	<b>Zürich Nordost</b>
<i>Gefährdung durch Dekompaktion</i>	Verbreitet im nördlichen Bereich und bei eingeschnittenen Tälern	Keine	Keine
<i>Flächenhafte Erosion (Absenkung der Erosionsbasis)</i>	Verbreitet in grossen Bereichen des Standortgebiets	Keine	Keine
<i>Bildung von Durchbruchsrinnen</i>	Keine («Basisfall neu») Unwahrscheinlich («pessimistischer Fall neu»)	Unwahrscheinlich («Basisfall neu») Wenig wahrscheinlich («pessimistischer Fall neu»)	Möglich, betroffen sind die nördlichen Bereiche des Standortgebiets
<i>Glaziale Tiefenerosion</i>	Keine («Basisfall neu») Unwahrscheinlich («pessimistischer Fall neu»)	Wenig wahrscheinlich («Basisfall neu») Mässig wahrscheinlich («pessimistischer Fall neu»)	Möglich, betroffen sind die nördlichen Bereiche des Standortgebiets
<i>Konsequenzen für Platzangebot durch alle Erosionsprozesse (v. a. durch Absenkung der Erosionsbasis) gemäss «Basisfall neu»</i>	Reduktion des Platzangebots um 38%. Der Lagerperimeter kann nur im Südosten realisiert werden. Verbleibendes Platzangebot nach Erosionsbetrachtung der AG SiKa/KES: 18.2 km <sup>2</sup>	Keine Reduktion des Platzangebots	Reduktion des Platzangebots um 31%. Der Lagerperimeter kann nur in Richtung Südosten realisiert werden. Verbleibendes Platzangebot nach Erosionsbetrachtung der AG SiKa/KES: 33.2 km <sup>2</sup>
<i>Konsequenzen für Platzangebot durch alle Erosionsprozesse (v. a. durch Absenkung der Erosionsbasis) gemäss «pessimistischem Fall neu»</i>	Drastische Reduktion des Platzangebots um 91%. Der Lagerperimeter kann nur im Südosten realisiert werden. Verbleibendes Platzangebot nach Erosionsbetrachtung der AG SiKa/KES: 2.7 km <sup>2</sup>	Keine Reduktion des Platzangebots	Starke Reduktion des Platzangebots um 48%. Der Lagerperimeter kann nur in Richtung Südosten realisiert werden. Verbleibendes Platzangebot nach Erosionsbetrachtung der AG SiKa/KES: 25.1 km <sup>2</sup>

Tabelle 2: Erosionsbedingte Auswirkungen in den Standortgebieten ZNO, NL und JO (gemäss Beilage 3).

Die AG SiKa/KES stimmt der Kritik des ENSI (ENSI 2017a) am Vorgehen der Nagra in der Ermittlung und Bewertung der Erosionsproblematik zu. Sie ist aber der Ansicht, dass das ENSI-Gutachten (im Gegensatz zum EGT-Bericht, EGT 2017) nur in ungenügendem Ausmass auf die Problematik der zu positiv bewerteten «pessimistischen» Szenarien der Nagra eingeht. Hingegen teilt die AG SiKa/KES die weit kritischere Einschätzung der EGT zu den Auswirkungen der neu erhobenen Daten von Claude (2016) auf die zu erwartende Absenkung der Erosionsbasis (EGT 2017, S. 47ff.). Entschieden abzulehnen ist ein Szenario, wonach ein HAA-Tiefenlager innert einer Million Jahre freigelegt («exhumiert») werden kann, wie dies bei Nagra (Nagra 2016b, S. 47) und EGT (EGT 2017, S. 58 und 96) toleriert wird. Dies widerspricht den Anforderungen der ENSI-Richtlinie G03 (ENSI 2009, S. 15), wonach eine Lagerfreilegung ausgeschlossen sein muss. Entsprechend ist der Aussage der KNS zu widersprechen, dass sich Ungewissheiten in der Erosionsproblematik für den Betrachtungszeitraum von 1 Million Jahre relativieren würden (KNS 2017, S. 27), da aufgrund des radioaktiven Zerfalls das Gefährdungspotenzial der eingelagerten hochradioaktiven Abfälle mit

der Zeit abnimmt.<sup>15</sup> Gemäss G03 beträgt der Betrachtungszeitraum bis zu einer Million Jahre (ebd.).

Zusammenfassend stellt die AG SiKa/KES fest, dass sich im «Basisfall neu» vonseiten der Erosion kein Ausschluss eines Standorts ergibt. Der «pessimistische Fall neu», welcher aber noch näher abzuklären ist, könnte dazu führen, dass das Standortgebiet JO aufgegeben werden muss. Auch für ZNO ergäben sich stärkere Einschränkungen, weil das von Erosion verschonte Gebiet einerseits durch zu meidende tektonische Zonen und andererseits durch die Begrenzung infolge der maximalen Tiefenlage zusätzlich eingeengt wird. Aus heutiger Sicht risikofrei bezüglich Erosion ist nur NL.

### **6.3.3 Tiefenlage und bautechnische Machbarkeit (Beilage 2)**

Die Nagra beschränkt die maximale Tiefenlage des Lagers neu auf 600 Meter für SMA bzw. 700 Meter für HAA. Sie begründet diesen folgenschweren Schritt weniger mit rein bautechnischen Schwierigkeiten als vielmehr mit Sicherheitsaspekten infolge der Auflockerung um die erstellten Lagerstollen. Die sogenannte Auflockerungszone (AUZ, auch plastische Zone genannt) soll auf 5 Meter vertikale Ausdehnung beschränkt werden. Mit umfangreichen Modellrechnungen stellt die Nagra einen Zusammenhang zwischen zu erwartender tiefenabhängiger Konvergenz der Lagerstollen und der AUZ her und begründet so die neue Tiefenbeschränkung. Diese hat insbesondere für NL einschneidende Konsequenzen, weil hier der Opalinuston mit 4 bis 8° gegen Süden bis Südosten in grössere Tiefenlagen abtaucht. Zusammen mit der platzeinschränkenden Auswirkung der Tektonik bei einem gleichzeitig aus Sicht der AG SiKa/KES unbegründet grossen Platzbedarf würde sich damit für NL laut Nagra ein zu geringes Platzangebot ergeben: Der Standort wurde deshalb von der Nagra wegen eindeutiger Nachteile des Kriteriums Tiefenlage zur Zurückstellung empfohlen.

Das ENSI liess die von der Nagra bezüglich der Geomechanik getroffenen Annahmen durch seine Experten überprüfen. Es kommt in seiner Aktennotiz vom 6. November 2015 zum Schluss, dass die von der Nagra eingereichten «felsmechanischen Grundlagen, getroffenen Annahmen und gewählten Entwurfsindikatoren nicht ausreichend und nicht robust» sind (ENSI 2015a). In der Folge erachtet das ENSI die von der Nagra gemachten Anforderungen an die maximale Tiefenlage als «nicht nachvollziehbar». Die AG SiKa/KES erkannte bereits sehr früh, dass die Tiefenlage eine der Schlüsselfragen für die Einengung in Etappe 2 darstellt. Sie liess deshalb ihrerseits eine Expertise durch Kalman Kovári erstellen (Beilage 2). Dieser kommt aufgrund seines Studiums der verfügbaren Unterlagen zum Schluss, dass die Nagra bei ihren Untersuchungen von falschen Prämissen ausgeht und sich bei ihrer Argumentation nicht klar definierter Begriffe bedient. Die für Lagertiefen von 900 Meter möglicherweise notwendigen grösseren Mengen an Baumaterial (Stahl, Beton) hätten gemäss den Untersuchungen der Nagra keinen Einfluss auf die berechneten Dosen. Das aus der Beschränkung der vertikalen Ausdehnung der plastischen Zone («AUZ») auf 5 Meter abgeleitete Kriterium für die Begrenzung der Lagertiefen ist gemäss Beilage 2 unhaltbar. Der Opalinuston und seine Rahmengesteine – insbesondere in NL – verfügen über ein derart hervorragendes Rückhaltevermögen, dass gemäss den Dosisberechnungen der Nagra allfällige lagerbedingte Einflüsse zumindest bis in Tiefen von 900 Metern nicht ins Gewicht fallen können.

---

<sup>15</sup> Der Hinweis der KNS, dass die Radiotoxizität der (HAA-)Abfälle «bereits nach rund 100'000 Jahren ... im Bereich natürlich vorkommender Uranerze» liegt (KNS 2017, S. 27), suggeriert Ungefährlichkeit. Gemäss dem zitierten Nagra-Dokument (Nagra 2014j, S. 153) liegt der Radiotoxizitätsindex (RTI) sogar noch um eine Grössenordnung tiefer als 8-prozentiges Uranerz, doch bedeutet dieser RTI (von  $10^{11}$ ) hundert Milliarden «Portionen» in der Höhe des Schweizer Schutzziels 0.1 mSv/Jahr oder das Potenzial, dass jedem heute lebenden Menschen auf der Erde ein Millisievert zusätzliche Dosis verabreicht würde. Dies ist nicht vernachlässigbar (und auch nicht im Sinn der Sicherheitsphilosophie eines Tiefenlagers).

Weiterführende parametrische Studien, wie vom ENSI verlangt, sind gemäss Beilage 2 nicht erforderlich, da aufgrund der beiden Kriterien «lagerbedingte Einflüsse» und «felsmechanische Eigenschaften und Bedingungen» eine Lagertiefe von 900 Meter prinzipiell nicht ausgeschlossen werden kann.

#### **6.4 Folgerungen für die Realisierbarkeit genügend grosser Lagerperimeter**

Die Frage ist zentral, inwieweit bei den Standorten genügend Platz für die Realisierung von Lagerperimetern zur Verfügung steht, welche die Sicherheitsanforderungen erfüllen. Sie muss im Lauf der weiteren Begutachtung beantwortet werden. Für die drei HAA-Standorte ergibt sich gemäss Einschätzung der AG SiKa/KES das folgende Ergebnis:

- ZNO: Eingeschränktes Platzangebot bei Berücksichtigung der Möglichkeit, dass ein Lager in ungenügender Tiefe durch Erosion freigelegt werden könnte, falls der «pessimistische Fall neu» (in Übereinstimmung mit dem Befund des EGT-Berichts) zutrifft. Der Lagerperimeter wird gegen Südosten gedrängt, was eine grössere Tiefenlage erfordert, aber bezüglich Erosion günstig ist.
- NL: Nach Ansicht der AG SiKa/KES hat die Nagra nicht überzeugend dargelegt, dass an diesem Standort das Platzangebot für ein Lager ungenügend ist. Einerseits erscheint die Tektonik weniger einengend als von der Nagra beschrieben<sup>16</sup> (erst eine 3D-Seismik kann hier Klarheit bringen), andererseits können aus Sicht der AG SiKa/KES grössere Lagertiefen als 700 Meter realisiert werden, womit das Platzangebot ausreichen könnte. Der Lagerperimeter ist nicht von Erosion betroffen.
- JO: Die Erosionsproblematik schränkt das Platzangebot auch hier wegen der erforderlichen Tieferlegung des Lagers sehr stark ein. Im «Basisfall neu» verbleibt ein sehr kleines Gebiet im Südosten für die Realisierung des Lagerperimeters. Wird den Überlegungen gar der nach den Experten der AG SiKa/KES denkbare «pessimistische Fall neu» zugrunde gelegt (zusätzliche Abklärungen zur Überprüfung notwendig), würde kein von Erosion verschonter, genügend grosser Bereich verbleiben.

Bei alleiniger Betrachtung der Erosionsszenarien im «Basisfall neu» wäre bei allen drei Standorten genügend Platz für ein Lager vorhanden. Im heute nicht auszuschliessenden «pessimistischen Fall neu» ergäben sich hingegen bei ZNO starke Einschränkungen, JO müsste gar fallengelassen werden.

### **7 Geomechanische Grundlagen, Projektierung und Bautechnik (Beilage 2a)**

Wie die früheren Dokumente der Nagra zu Geomechanik/Bautechnik lässt auch die Zusatzdokumentation zur ENSI-Nachforderung in wissenschaftlich-technischer Hinsicht Mängel erkennen. Diese beziehen sich einerseits auf das Fehlen eines etappengerecht ausgearbeiteten Referenzprojekts, andererseits auf die Analyse der lagerbedingten Einflüsse (siehe bereits Beilage 2). Zu einem Referenzprojekt liegen lediglich vage Überlegungen zu Themen wie Lagerarchitektur, Statik und konstruktive Ausbildung der diversen Anlageelemente, einschliesslich Verschlussbauwerke, vor. Obwohl die spärliche geomechanische Datenlage seit dem HAA-Entsorgungsnachweis (Nagra 2002) praktisch unverändert geblieben ist, wurden zwischenzeitlich immer wieder neue, als jeweils repräsentativ eingestufte Baugrundmodelle und Materialparametersätze vorgestellt, die sich jedoch in mancher Hinsicht widersprechen. Diese unbefriedigende Situation sollte angegangen werden, indem in einer frühen Phase von

---

<sup>16</sup> Platzbedarf und -angebot sind bei Nagra gekoppelt und wurden in Iterationen ermittelt.

Etappe 3 ein ausreichend beschriebenes Referenzprojekt erarbeitet wird, welches auf dem aktuellen Stand des Wissens basiert.

Die statischen Berechnungen zur Dimensionierung des Ausbaus der Lagerkammern beruhen auf unterschiedlichsten Annahmen und führen deshalb zu stark divergierenden Ergebnissen. Die HAA-Lagerstollen in einer Lagertiefe von 600 m bedürfen nach einer Version keines Ausbaus, sondern lediglich eines Kopfschutzes, nach einer anderen hingegen müssen sie mit einer Betonschale von 40 cm verkleidet werden. Obwohl alleine schon die Bedingungen für eine mögliche Rückholung «ohne grossen Aufwand» einen Ausbau zur Gewährleistung der Hohlraumstabilität erfordern, herrscht bei der Nagra noch immer erhebliche Ungewissheit bezüglich Hohlraumsicherung: «Die HAA-Lagerstollen werden voraussichtlich in allen Standortgebieten mit einem vollflächigen Ausbau gesichert» (Nagra 2014a, S. 147). Für die Rückholung wird noch in der Zusatzdokumentation ein unverkleideter Lagerstollen in Betracht gezogen (Nagra 2016c, S. 15). Die Sicherheit von zur Auswahl stehenden Tiefenlagern kann nur aufgrund klar festgelegter Gebirgsmodelle mit begründeten Referenzparametern und anhand eines fachgerecht erarbeiteten Referenzprojekts durchgeführt werden. Die Bewertungskriterien sind eindeutig zu definieren und Widersprüche in der Argumentation dürfen nicht mehr geduldet werden.

Als Beispiel für die konzeptionelle Inkohärenz des Projekts seien die Versiegelungsstrecken angeführt. Sie hätten gemäss der Nagra-Dokumentation von 2014 (u.a. Nagra 2014a, S. 25) nur in Lagertiefen von bis 600 m planmässig ausgeführt werden können. In einer Lagertiefe von 900 m wäre die Realisierung in Frage gestellt, was die Nagra als Argument für die Zurückstellung von NL ins Feld geführt hat. Gemäss neueren, in der Zusatzdokumentation angeführten statischen Berechnungen wären Versiegelungsstrecken nun selbst in Lagertiefen von 600 m nicht mehr planmässig ausführbar. Dies hat die Nagra dazu veranlasst, auf diese auch als «Schlüsselzonen» bezeichneten Strecken nunmehr zu verzichten. Es fragt sich, ob diese entweder schon früher unnötig gewesen wären oder ob jetzt eine sicherheitstechnische Massnahme («Prinzip der Kompartimentalisierung») ohne Ersatz gestrichen wird. Mit welchen uneinheitlichen geotechnischen Annahmen gearbeitet wird, zeigt das Spektrum möglicher Vortriebsmethoden und Ausbruchsicherungen (Nagra 2016c, S. 36). Es beruht auf der Grundlage der Dokumentation im Entsorgungsnachweis aus dem Jahr 2002 und steht so im Widerspruch zu den vorgestellten Gebirgsmodellen der Zusatzdokumentation.

Auch die Kritik der Experten des ENSI zu den Gebirgskennwerten, insbesondere zu den Gebirgs- und Gesteinsfestigkeiten ist widersprüchlich. Einerseits kritisieren sie in Amman et al. (2015, S. iii): «Die von der Nagra abgeleiteten Gebirgsfestigkeiten überschätzen die tatsächliche Festigkeit, insbesondere im Fall der undrainierten Gebirgsscherfestigkeit». Andererseits kritisieren sie: «Zudem berücksichtigen die Stoffmodelle und numerischen Methoden der Nagra die Abhängigkeit der Festigkeit und Steifigkeit mit zunehmender effektiver Spannung/Tiefe nicht .... Im relevanten Tiefenbereich zwischen 400 bis 900 m bleibt der Effekt der zunehmenden Tiefe auf die Festigkeit und Steifigkeit unberücksichtigt...» (ebd., S. ii). Entsprechend schreiben sie: «In Anbetracht des Stoffansatzes der Nagra, der von den Experten als zutreffend erachtet wird, ist aber mit einer zunehmenden Festigkeit und Steifigkeit mit zunehmender Tiefe zu rechnen» (ebd. S. iii). Die ENSI-Experten kritisieren also einerseits, dass die Nagra die Gebirgsfestigkeiten mit zunehmender Tiefe unterschätzt, andererseits, dass sie diese (auf der Basis von Laborwerten) überschätzt. In der Nachforderung (ENSI 2015a, S. 13) fordert das ENSI eine Zusammenstellung tiefenabhängiger Labor- und Gebirgskennwerte: «Durchführung von lagerperimeterspezifischen, felsmechanischen Betrachtungen und Berechnungen sowie statischen Analysen in Abhängigkeit von möglichen

Tiefen der Lagerebene in den betrachteten Standortgebieten ...». Der derzeitige Kenntnisstand der geomechanischen Verhältnisse in den betrachteten Standortgebieten ist jedoch derart begrenzt, dass diese Forderung nicht erfüllt werden kann.

## **8 Hydrogeologie – Kenntnisstand und Anforderungen in Etappe 3**

Wasser ist ein wichtiges Transportmedium für radioaktive Stoffe, um aus dem geologischen Untergrund in die Umwelt zu gelangen. Kenntnisse der tiefen Hydrogeologie im Umfeld eines Tiefenlagers sind also unerlässlich, da der Transport der Radionuklide in die Biosphäre, sofern sie den einschlusswirksamen Gebirgsbereich verlassen haben, über die Tiefenaquifere stattfindet. Eine detaillierte Kenntnis des vorherrschenden Tiefenwasserregimes mit präferenziellen Fliesswegen in den Standortregionen und belegbaren Einzugsgebieten der Exfiltrationsbereiche sind eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Standortgebiete (z. B. mittels Dosisberechnungen) und unabdingbar für die künftige Planung (Meidung von Nutzungskonflikten, geochemische Bedingungen, Monitoring usw.).

Die in Etappe 2 vorgelegten Dokumente, allen voran des zusammenfassenden NTB 14-02, Dossier V (Nagra 2014f), zeigen, dass (neben grundsätzlichen, weitgehend gesicherten Aussagen über die vertikalen hydraulischen Gradienten oberhalb und unterhalb des Opalinustons) im Bereich der Lagerperimeter die massgebenden Grundwasserfliessverhältnisse nicht konkret erfasst sind. Dies bezieht sich nicht nur auf die stockwerksbezogenen Grundwasserisohypsen und Fliesswege, sondern auch auf genauso wichtige Angaben zum Mengendurchsatz auf den jeweiligen Fliesswegen bei unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten (unbekannte Durchlässigkeiten und Transmissivitäten).

Die regionalen Modellierungen beschränken sich bisher auf Fallstudien unter verschiedenen Annahmen der hydrogeologischen Wirksamkeit von Störungzonen, wobei das Aussagevermögen dieser Modellierungen auch durch noch so umfangreiche Kompilationsbemühungen aus dem äusseren Umfeld nicht in der erforderlichen Eindeutigkeit, das heisst mit konkreten Belegen, erreicht werden kann. Eine differenzierte Bewertung und Kritik wurde bereits im Expertenbericht zu den Karstphänomenen im Auftrag des ENSI (SISKA 2015, Kap. 3.1.1) vorgelegt. Auch die KNS hat Handlungsbedarf erkannt (KNS 2017, S. 18 und 37).

Die für Etappe 3 von der Nagra vorgesehenen Sondierbohrungen können nur partiell Hinweise auf das Tiefenwasserregime liefern, und eine zielgerichtete Erweiterung der Untersuchung der heute bekannten Gegebenheiten und der daraus ableitbaren Ungewissheiten ist nicht geplant. Keines der drei grossen Nagra-Programme – 3D-Seismik, Sondierbohrungen und Quartäruntersuchungen (Nagra 2014k, Nagra 2016a) – beinhaltet eine flächendeckende Untersuchung der hydrogeologischen Situation, wie sie für das Gesamtverständnis notwendig ist. Hierfür müssen weitere Kenntnisse insbesondere der Druckverhältnisse, der präferenziellen Fliesswege, der Verweilzeiten und der Exfiltrationszonen durch zielgerichtete Untersuchungen gewonnen werden.

## **9 Empfehlungen für Etappe 3**

In Konsequenz der Bewertung des «2x2-Vorschlags» der Nagra durch die AG SiKa/KES müssen in allen drei Standortgebieten für HAA, SMA und Kombilager – Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost – umfassende Untersuchungsprogramme der Etappe 3 durchgeführt werden. Dabei sollten gezielt die heute erkannten Ungewissheiten und mögliche

sicherheitstechnische Schwächen der einzelnen Standortgebiete standortspezifisch angegangen werden. Ein solches Vorgehen ist effektiv, effizient und zielführend. Am Ende von Etappe 3 müssen für jeden Standort Eignungsaussagen auf Basis umfassender Sicherheitsnachweise vorliegen. Hierzu ist frühzeitig die Entwicklung von Nachweiskonzepten vorzunehmen, in denen dargelegt wird, wie die Sicherheit der Tiefenlagersysteme nach Umsetzung der Sicherheitskonzepte sowohl für die Betriebsphase als auch für die Nachverschlussphase nachzuweisen ist. Es sollte auch frühzeitig ein Verfahren – einschliesslich der erforderlichen Bewertungsmassstäbe – entwickelt werden, nach welchem der sicherheitstechnische Vergleich der Standorte belastbar durchgeführt werden kann und das die Auswahl eines zu favorisierenden Standorts erlaubt.

Aus den Bewertungen der AG SiKa/KES ergeben sich insbesondere folgende thematischen Schwerpunkte für entsprechende Untersuchungen:

– *Schichtaufbau und lokale Tektonik*

- Tiefenlage: Identifikation der genauen Tiefenlage aller nachpaläozoischen Einheiten sowie deren Mächtigkeit und Qualität (insbesondere Quartär, Opalinuston sowie obere und untere Rahmengesteine)
- Opalinuston mit gesamtem einschlusswirksamem Gebirgsbereich: Erfassung der Zusammensetzung (einschliesslich Tongehalt) und der physikalischen, chemischen, hydrogeologischen und mechanischen Eigenschaften; Abschätzung der regionalen Variabilität der Struktur des Untergrunds in jedem der drei HAA-Standorte
- Inhomogenitäten: Kartierung der Störungsmuster und -dichte sowie der tektonischen Schwäche- und Strukturzonen mit vertikalen Versätzen von mehr als 10 Metern sowie – wo möglich – Altersangabe der Bewegungen (insbesondere den einschlusswirksamen Gebirgsbereich beeinflussende tektonische Strukturen)
- Lokalisation der Permokarbontröge: möglichst genaue Kartierung
- Störungen an und in den Permokarbontrögen: Kartierung von Örtlichkeiten und Geometrie im Zusammenhang mit den drei HAA-Standorten
- Sedimente in den Permokarbontrögen: Abschätzung ihres Ressourcenpotenzials für künftige Generationen zur Vermeidung von Nutzungskonflikten, Bestimmung ihrer Zusammensetzung und anderer Schlüsseleigenschaften (z. B. Kohle, Erdgas oder Geothermie)

– *Neotektonik*

- Reaktivierung von Störungen: Abschätzung der Möglichkeit einer Reaktivierung bestehender Störungen und Schwäche- und Strukturzonen sowie von differenziellen kleinräumigen, im Massstab der HAA-Standorte befindlichen, vertikalen und horizontalen Bewegungen der oberen Erdkruste (einschliesslich nachpaläozoische Einheiten)

– *Erosion*

- Darstellung der übertieften Felsrinnen
- Datierung der massgebenden Terrassensysteme, vor allem in ZNO und JO
- Auslotung der Möglichkeiten einer Tieferlegung der Lager in JO und ZNO

– *Hydrogeologie*

- Zielgerichtete Untersuchungen der hydrogeologischen Verhältnisse mit möglichst flächendeckender Kartierung der Druckverhältnisse, Aufdeckung allfälliger präferenzieller Fliesswege und der Verweilzeiten der Tiefenwässer sowie Bestätigung bekannter sowie Identifikation bisher unbekannter Exfiltrationszonen

– *Referenzprojekte*

- Ausarbeitung von Referenzprojekten nach den Regeln der Baukunde für vergleichende Betrachtungen der Standortgebiete, für qualitative Bewertungen und insbesondere als Grundlage für sicherheitstechnische Untersuchungen

Die Gesamtheit der Befunde und Erkenntnisse am Ende der letzten Phase des laufenden Auswahlverfahrens (Etappe 3 des Sachplans) muss eine ausreichende Entscheidungsgrundlage bilden, um die abschliessende Standortauswahl vornehmen und hinreichend begründen zu können.

## 10 Schlussfolgerungen

Die Einengung in Etappe 2 hat eine sehr weitreichende Bedeutung – umso mehr müssen Zurückstellungen sorgfältig geprüft werden. Sie dürfen nicht aufgrund von Ungewissheiten erfolgen. Betrachtet man die von der Nagra vorgenommenen Zurückstellungen unter diesem Gesichtspunkt, ergibt sich für die AG SiKa/KES folgendes Gesamtbild:

- Die Zurückstellung der Wirtgesteine «Brauner Dogger», Effinger Schichten und Helvetische Mergel ist gerechtfertigt. Geologische Überlegungen führen dazu, dass diese Wirtgesteine aus sicherheitstechnischen Gründen nicht weiterverfolgt werden sollten. Es verbleibt einzig der Opalinuston als mögliches geeignetes Wirtgestein für geologische Tiefenlager in der Schweiz.
- Die Zurückstellung des Standortgebiets für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (SMA) Wellenberg (WLB) ist gerechtfertigt aufgrund seiner ungünstigen Explorierbarkeit bei gleichzeitig komplexer, kleinräumig inhomogener Geologie.
- Die Zurückstellung des Standortgebiets Jura-Südfuss (JS, SMA) ist gerechtfertigt, weil Vorbehalte betreffend Mächtigkeit des Wirtgesteins bestehen und gleichzeitig die wichtigen Rahmengesteine zum Teil fehlen.
- Die Zurückstellung des Standortgebiets Südranden (SR, SMA) ist gerechtfertigt aufgrund der zu geringen Tiefenlage unter der lokalen Erosionsbasis.
- Die Standortgebiete WLB, SR und JS weisen damit derart markante sicherheitstechnische Schwächen auf, dass diese für ein geologisches Tiefenlager nicht weiterverfolgt werden sollten.
- Der Weiterzug der beiden Standortgebiete Zürich Nordost (ZNO) und Jura Ost (JO) in die Etappe 3 ist nachvollziehbar.
- Die Zurückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern (NL) ist nicht gerechtfertigt. Das Argument eines zu geringen Platzangebots wegen Einschränkungen durch Tiefenlage und Tektonik hält einer näheren Überprüfung nicht stand.
- Was die Interpretation der Seismikdaten sowie Platzbedarf und Platzangebot für HAA in NL angeht, kamen alle weiteren Stellungnahmen zum Nagra-Vorschlag (ENSI, ENSI-Experten, EGT, KNS, ESchT) zum selben Schluss wie die AG SiKa/KES bereits in ihrem Fachbericht vom Januar 2016 zum «2x2-Vorschlag» der Nagra (AG SiKa/KES 2016).
- Ebenso wie die früheren Dokumente der Nagra betreffend Geomechanik/Bautechnik lässt auch die Zusatzdokumentation zur ENSI-Nachforderung in wissenschaftlich-technischer Hinsicht Mängel erkennen (u. a. bzgl. Referenzprojekt, Ausbruchsicherung, Versiegelung, Rückholung).
- Aus übergeordneter Sicht wurde festgestellt, dass die im Januar 2016 angebrachte Kritik der AG SiKa/KES von den anderen Akteuren vor allem im Bereich Bautechnik/Geomechanik zumindest in den vorliegenden Dokumenten nicht aufgenommen worden ist.

Die AG SiKa/KES ist entgegen dem Vorschlag der Nagra der Meinung, dass auch NL in Etappe 3 mitzunehmen und detaillierter zu untersuchen ist. Einerseits sind die Gründe für die Zurückstellung wie gezeigt nicht stichhaltig. Sie basieren teils auf falschen Annahmen und ungenügender Bearbeitung (Geomechanik), teils auf einer unsicheren Datenlage (2D-Seismik). Andererseits haben die Standortgebiete ZNO und JO bedeutende Schwächen, indem sie der Erosion ausgesetzt sind, was bei NL nicht im gleichen Mass zutrifft. Da alle drei HAA-Standortgebiete aus heutiger Sicht sicherheitstechnisch die Minimalanforderungen erfüllen, gleichzeitig aber unterschiedliche Schwächen und Stärken aufweisen, müssen aus Sicht der AG SiKa/KES in Etappe 3 sowohl ZNO, JO als auch NL weiterbearbeitet werden. Denn nur so kann gewährleistet werden, schliesslich den vergleichsweise sichersten Standort zur Auswahl zu haben.

Aus der Nachforderung des ENSI (ENSI 2015a), der dazu gelieferten Zusatzdokumentation der Nagra (Nagra 2016b-c), dem Gutachten des ENSI (ENSI 2017a), zahlreichen Dokumenten weiterer ENSI-Experten sowie den Stellungnahmen von EGT (EGT 2017), KNS (KNS 2017) und ESchT (ESchT 2017) ergeben sich für die Gesamtbewertung in Bezug auf die Einengungsfrage der Standortgebiete in Etappe 2 für die AG SiKa/KES keine signifikanten neuen Sachverhalte. Bei der Analyse der Zusatzdokumentation der Nagra und der verschiedenen Gutachten und Stellungnahmen fällt jedoch auf, dass das Kriterium der vertikalen Ausdehnung einer Auflockerungszone (AUZ) als ursprüngliches Hauptargument gegen grössere Tiefenlagen (in NL) faktisch fallengelassen wurde. Das ENSI und seine Experten begründen die Empfehlung für die Mitnahme von NL in Etappe 3 mit der Wahl anderer Gebirgsmodelle als die Nagra und dem Datenmangel.

Die Forderung des AdK in seiner Stellungnahme zu Etappe 1 (AdK 2010, S. 6 und 14), die verbleibenden Ungewissheiten in Bezug auf Wissensstand und Datenqualität in den Standortgebieten vor Ende von Etappe 2 auszuräumen, wurde nur teilweise erfüllt. Es bestehen weiterhin bedeutende Ungewissheiten bezüglich Seismik, Felsmechanik und Erosion, die sich aber auf die drei weiter zu verfolgenden Standorte ZNO, NL und JO konzentrieren. Hier müssen die noch bestehenden Ungewissheiten in Etappe 3 reduziert werden. Gerade das Verbleiben von NL im Verfahren (Etappe 3) ist nicht zuletzt auch dem Umstand geschuldet, dass kein Standort wegen Ungewissheiten ausscheiden darf. Der Ausschluss der Standorte JS, WLB und SR erfolgte dagegen aufgrund eindeutiger und grosser Schwächen in Bezug auf die Sicherheit eines möglichen Lagers. Die auch hier noch vorhandenen Ungewissheiten sind für diese Aussage aber nicht von Belang.

Auch einer zweiten Forderung des AdK in Etappe 1 (ebd.) wurde nicht genügend Rechnung getragen, nämlich die Lagerkonzepte für HAA und SMA stufengerecht zu überprüfen und anzupassen, obschon auch das ENSI verlangt hatte, diese Lücke zu schliessen (ENSI 2015a, S. 9). Die Diskussion alternativer Lagerkonzepte blieb unter den Erwartungen der AG SiKa/KES. Es fehlt eine detaillierte Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen verschiedener Lagerkonzepte. Die Verwendung eines einzigen Referenzkonzepts pro Lagertyp ohne Berücksichtigung einer Variationsbreite für deren konkrete Auslegung am jeweiligen Standort ist aufgrund des Resultats der Einengung mit den drei weiterzuverfolgenden Standorten etappengerecht und somit vertretbar. In Etappe 3 müssen jedoch standortspezifische Lagerkonzepte (mit Alternativen) als Basis für die jeweiligen bautechnischen Referenzprojekte (mit konkreter Lagerauslegung) entwickelt werden.

Aus der Erfahrung in den Etappen 1 und 2 des Sachplans geologische Tiefenlager stellt die AG SiKa/KES fest:

1. Der Sachplan ist ein taugliches Mittel für die Auswahl eines geeigneten Standorts für ein geologisches Tiefenlager in der Schweiz.
2. Die geologischen Grundlagenarbeiten führten in der Fachwelt zum einhelligen Schluss, dass Opalinuston ein geeignetes Wirtgestein für ein hiesiges geologisches Tiefenlager ist.
3. Die Vorgaben der ENSI-Richtlinie G03 (ENSI 2009) in Bezug auf den Betrachtungszeitraum von einer Million Jahre (bei HAA) sind einzuhalten. Ebenso muss eine Lagerfreilegung gemäss den Vorgaben ausgeschlossen sein.
4. Die Nachforderung des ENSI und die dadurch erfolgte Programmverzögerung von einem Jahr waren insofern nicht notwendig, als die ungenügende felsmechanische Datenlage bereits bekannt war. Die spärliche geomechanische Datenlage ist seit dem HAA-Entsorgungsnachweis (Nagra 2002) praktisch unverändert geblieben, seither wurden lediglich neue, als jeweils repräsentativ eingestufte Baugrundmodelle und Materialparametersätze vorgestellt, die sich jedoch in mancher Hinsicht widersprechen.
5. ENSI, EGT, KNS und ESchT kommen bezüglich Einengungsergebnis zum gleichen Schluss wie die AG SiKa/KES bereits im Januar 2016.

## Beilagen

1. Green, A. G. (2017). Seismic images, neotectonism and seismic hazard: Evaluation of Nagra's Stage 2 recommendations for the High-Level Waste (HLW) siting regions. Update as of 2017 [Seismikprofile, Neotektonik und Erdbebengefährdung: Beurteilung der Empfehlungen der Nagra in Bezug auf Standortgebiete für hochradioaktive Abfälle in Etappe 2. Aktualisierung 2017]. 151 pp. (incl. 98 figures).
2. Kovári, K. (2016). Die bautechnische Machbarkeit der Lagerstollen. Einfluss der Tiefenlage auf die Langzeitsicherheit. Beurteilung der Untersuchungen der Nagra. 52 S.
- 2a. Kovári, K. (2017). Geomechanische Grundlagen, Projektierung und Bautechnik. 49 S.
3. Müller, E., Schmid, S. (2017). Zu erwartende Erosionsprozesse in den drei möglichen Standortgebieten für hochradioaktive Abfälle (Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost). Aktualisierung 2017. 37 S.
4. Baltes, B. (2017). Dosisberechnungen. Aktualisierung 2017. 58 S.

## Referenzen

### A. Vorgaben

- AdK, Ausschuss der Kantone (2010). Sachplan geologische Tiefenlager. Stellungnahme zu Etappe 1. Juni 2010. Zürich: AdK. [www.radioaktiveabfaelle.zh.ch](http://www.radioaktiveabfaelle.zh.ch) (>Ausschuss der Kantone).
- AG SiKa/KES (2010). Fachbericht zu Etappe 1. Anhang I zur Stellungnahme des Ausschusses der Kantone zu Etappe 1. Juni 2010. Zürich: AdK. [www.radioaktiveabfaelle.zh.ch](http://www.radioaktiveabfaelle.zh.ch) (>Ausschuss der Kantone).
- AG SiKa/KES (2011). Fachbericht zu den ergänzenden Untersuchungen im Hinblick auf die Einengung. Mai 2011. [www.radioaktiveabfaelle.zh.ch](http://www.radioaktiveabfaelle.zh.ch) (>Ausschuss der Kantone).
- AG SiKa/KES (2014). Rückschau der AG SiKa/KES auf die Zwischenhalt-Fachsitzungen in Etappe 2 und weiteres Vorgehen. 4.8.2014. [www.radioaktiveabfaelle.zh.ch](http://www.radioaktiveabfaelle.zh.ch) (>Ausschuss der Kantone).
- AG SiKa/KES (2016). Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT) Etappe 2. Fachbericht vom 11. Januar 2016 zum 2x2-Vorschlag der Nagra. Zürich: AdK. [www.radioaktiveabfaelle.zh.ch](http://www.radioaktiveabfaelle.zh.ch) (>Ausschuss der Kantone).
- BFE, Bundesamt für Energie (2008). Sachplan geologische Tiefenlager. Konzeptteil. Revision vom 30. November 2011. Bern: BFE.
- ENSI, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (2009). Spezifische Auslegungsgrundsätze für geologische Tiefenlager und Anforderungen an den Sicherheitsnachweis. Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen. ENSI-G03. Villigen-ENSI: ENSI.

ENSI (2010). Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich. Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2. ENSI 33/075. Brugg: ENSI.

ENSI (2013). Präzisierungen zur sicherheitstechnischen Methodik für die Auswahl von mindestens zwei Standortgebieten je für HAA und SMA in Etappe 2 SGT. ENSI 33/154.

## **B. Zentrale beurteilte Dokumente**

Amann, F., Löw, S. (2016). Beurteilung der nachgereichten geologischen und felsmechanischen Unterlagen zur maximalen Tiefenlage, Expertenbericht im Rahmen der Beurteilung des Vorschlags von mindestens zwei geologischen Standortgebieten pro Lagertyp, Etappe 2, Sachplan geologische Tiefenlager. ENSI 33/531. Zürich: ETH Zürich, Professur für Ingenieurgeologie.

EGT (2017). Sachplan Geologische Tiefenlager, Etappe 2. Stellungnahme der EGT zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete. 105 S.

ENSI (2015a). Nachforderung zum Indikator «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit» in Etappe 2 SGT. ENSI 33/476.

ENSI (2017a). Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 SGT weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2. ENSI 33/540.

KNS (2017). Stellungnahme zum sicherheitstechnischen Gutachten des ENSI zum Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. KNS-02820. Brugg: KNS.

Nagra (2014a). Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. NTB 14-01. Wettingen: Nagra.

Nagra (2014b). SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier I. Einleitung und Zusammenfassung. NTB 14-02 (Dossier I).

Nagra (2014c). Geologische Grundlagen. Dossier II. Sedimentologische und tektonische Verhältnisse. NTB 14-02 (Dossier II).

Nagra (2014d). Geologische Grundlagen. Dossier III. Geologische Langzeitentwicklung. NTB 14-02 (Dossier III).

Nagra (2014e). Geologische Grundlagen. Dossier IV. Geomechanische Unterlagen. NTB 14-02 (Dossier IV).

Nagra (2014f). Geologische Grundlagen. Dossier V. Hydrogeologische Verhältnisse. NTB 14-02 (Dossier V).

Nagra (2014g). Geologische Grundlagen. Dossier VI. Barriereneigenschaften der Wirt- und Rahmengesteine. NTB 14-02 (Dossier VI).

Nagra (2014h). Geologische Grundlagen. Dossier VII. Nutzungskonflikte. NTB 14-02 (Dossier VII).

Nagra (2014i). Geologische Grundlagen. Dossier VIII. Charakterisierbarkeit und Explorierbarkeit. NTB 14-02 (Dossier VIII).

Nagra (2014j). Charakteristische Dosenintervalle und Unterlagen zur Bewertung der Barriersysteme. NTB 14-03.

Nagra (2014k). Konzepte für die Standortuntersuchungen der Etappe 3. NAB 14-83.

Nagra (2014l). Unterlagen zum Platzbedarf in den Lagerperimetern der geologischen Standortgebiete. NAB 14-99.

Nagra (2015). Standortgebiete für geologische Tiefenlager. Sicherheitstechnischer Vergleich: Vorschläge für Etappe 3.

Nagra (2016a). Konzepte der Standortuntersuchungen für SGT Etappe 3 – Nördlich Lägern. NAB 16-28.

Nagra (2016b). ENSI-Nachforderung zum Indikator «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit» in SGT Etappe 2: Zusammenfassende Darstellung (Hauptbericht). NAB 16-41.

- Nagra (2016c). ENSI-Nachforderung zum Indikator «Tiefenlage im Hinblick auf bautechnische Machbarkeit» in SGT Etappe 2 – Projektkonzepte für die Lagerkammern und Versiegelungsstrecken und deren Bewertung. Juli 2016. NAB 16-45.
- Nagra (2016d). Low- and intermediate-level waste repository-induced effects. October 2016. NTB 14-14.

Weitere beurteilte Unterlagen finden sich jeweils in den Referenzen der fünf Expertenberichte (Beilagen 1, 2, 2a, 3, 4).

### C. Beigezogene Unterlagen

- Amann, F., Löw, S., Perras, M. (2015). Assessment of Geomechanical Properties, Maximum Depth below Ground Surface and EDZ Impact on Long Term Safety. ETH Zürich Ingenieurgeologie. Im Auftrag des ENSI. ENSI 33/460. Brugg: ENSI.
- Büchi, M. W. E. (2016). Overdeepened glacial basins as archives for the Quaternary landscape evolution of the Alps. Dissertation. Bern: Universität Bern, Philosophisch-naturwissenschaftliche Fakultät.
- BFE (2015). Auswahlverfahren für geologische Tiefenlager: Nagra legt Zusatzdokumentation bis Mitte 2016 vor. Medienmitteilung vom 16.12.2015.
- Claude, A. (2016). Landscape evolution of the northern Alpine Foreland: constructing a temporal framework for early to middle Pleistocene glaciations. Dissertation. Bern: Universität Bern, Philosophisch-naturwissenschaftliche Fakultät.
- ENSI (2014). Abschluss der Zwischenhalt-Fachsitzungen und Feststellung des Kenntnisstands zu den 41 ENSI-Forderungen aus ENSI 33/115. 22. August 2014.
- ENSI (2015b). Kurzprotokoll vom 1. September 2015 der 25. Sitzung des Technischen Forums Sicherheit – Fachsitzung vom 1. Juni 2015. Anhang 2. ENSI 33/448. <https://www.plattform-tiefenlager.ch> (Zugriff eingeschränkt), Dateiablage TFS.
- Frage 5, Auswahl und Bewertung des Wirtgesteins Opalinuston: «Die Nagra ist gebeten, mittels Tischvorlage für die Standortgebiete JO, NL, ZNO und SR und das Wirtgestein Opalinuston detailliert (mit jeweiligen konkreten Werten) ab Schritt 3 aufzuzeigen, wie sie Standortgebiete bzw. optimierte Lagerperimeter eruiert und bewertet hat (entscheidrelevante Indikatoren und Merkmale; qualitativ und quantitativ; eindeutige Nachteile; vierteilige Nutzwertanalyse mit allen Inputdaten [Messwerte oder Expertenurteile], Gewichtungsfaktoren und Nutzwerten; Umgang mit Ungewissheiten).» (keine Tischvorlage vorgelegt)
- Frage 6, zu alternativen Lager- und Barrierenkonzepten, «Was konkret versteht die Nagra unter «alternativen Lager- und Barrierenkonzepten», die sie nach eigener Aussage ihrem eigenen «Referenzkonzept» gegenübergestellt hat?
- ENSI (2017b). Kurzprotokoll zum Fachaustausch AG SiKa/KES und ENSI (Etappe 2 SGT) [vom 7. März 2016]. 9. Januar 2017.
- ESchT (2017). Stellungnahme der ESchT zum 2x2-Vorschlag der Nagra. Expertengruppe Schweizer-Tiefenlager (ESchT). Köln: GRS.
- Heierli, J., Baltes, B. (2017). Plädoyer für eine strukturierte Dokumentation des Entsorgungsjekts für radioaktive Abfälle. Manuskript.
- Nagra (2002). Projekt Opalinuston. Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse. Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle. NTB 02-03.
- Nagra (2010). Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2. Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen. NTB 10-01.
- ONR, UK Office for Nuclear Regulation (2016). The purpose, scope and content of safety cases. Report no. NS-TAST-GD-051, Rev. 4. Bootle, Merseyside, UK: ONR.
- Röhlig, K. (2015). Methoden (Multikriterienanalysen). Im Auftrag des ENSI. Clausthal: Technische Universität Clausthal.
- SISKA (2015). Grundlagen zur Beurteilung von Tiefenlagerprojekten im Hinblick auf Karstphänomene. Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung. Im Auftrag des ENSI. ENSI 33/472. Brugg: ENSI.



**Beilagen (Zusammenfassungen, 2017 aktualisiert und ergänzt)**

## **1. Alan G. Green: Seismic images, neotectonism and seismic hazard: Evaluation of Nagra's Stage 2 recommendations for the High-Level Waste (HLW) siting regions. Update as of 2017 [Seismikprofile, Neotektonik und Erdbebengefährdung: Beurteilung der Empfehlungen der Nagra in Bezug auf Standortgebiete für hochradioaktive Abfälle in Etappe 2. Aktualisierung 2017<sup>17</sup>]**

Die über vier Jahrzehnte laufenden Untersuchungen der Nagra haben dazu geführt, dass das erdwissenschaftliche Verständnis der Nordschweiz bis in eine Tiefe von etwa fünf Kilometern wesentlich verbessert werden konnte. Die Überprüfung zahlreicher Berichte und Seismikdaten der Nagra führt zum Schluss, dass die während Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager von der Nagra angestossenen seismischen Untersuchungen und weitere Studien in hohem Mass zu den folgenden Fortschritten beigetragen haben:

- Das Wissen über die Tiefen der geologischen Markerhorizonte und deren Ungewissheiten ist verbessert worden, besonders in oder nahe von einigen Standortgebieten.
- Die Abgrenzung der *regionalen tektonischen Elemente*<sup>18</sup> ist genauer geworden. So liegt der nordwestliche Teil des Standortgebiets Nördlich Lägern (NL) gemäss heutigem Wissen über regionalen Störungszonen, die dazu führen, dass der Westteil des Standortgebiets fortan als möglicher Tiefenlagerstandort ausgeschlossen wird.
- Es wurde gezeigt, dass einige *regionale tektonische Elemente* teilweise direkt auf bedeutenden Änderungen tiefer liegender Gesteinsschichten (Markerhorizont Basis Mesozoikum) liegen. Diese Änderungen sind wahrscheinlich Störungszonen oder Faltungen im Grundgebirge, die ihrerseits mit einer postpaläozoischen Reaktivierung permokarbonischer Randbrüche in Verbindung stehen könnten. An zwei oder mehreren Stellen sind Tiefenänderungen des Markerhorizonts auf Verwerfungen entlang diskreter Brüche oder schmaler Bruchzonen zurückzuführen. Unterhalb anderer *regionaler tektonischer Elemente* konnten keine bedeutenden Störungen oder Tiefenänderungen des Markerhorizonts nachgewiesen werden.

Weder innerhalb noch in der Nähe der Standortgebiete Zürich Nordost (ZNO), NL oder Jura Ost (JO) sind nennenswerte neotektonische Aktivitäten auszumachen; diese Standortgebiete liegen alle in einem ausgedehnten Gebiet geringer seismischer Gefährdung. Somit können weder Neotektonik noch Erdbebengefährdung zur Eignungseinstufung der drei Standortgebiete für die Tiefenlagerung hochradioaktiver Abfälle (HAA) herangezogen werden.

Die Nagra schlug vor, das gesamte Standortgebiet NL nicht weiter als möglichen Tiefenlagerstandort zu untersuchen, und zwar einerseits, weil es nicht genügend Platz biete für den postulierten Platzbedarf von 8 bis 12 km<sup>2</sup>, andererseits weil folgende Schlüsselkriterien erfüllt werden müssten: Erstens soll ein solches Lager nicht tiefer als 700 m unter der Erdoberfläche errichtet werden und zweitens dürfte es nicht in eine *zu meidende tektonische Zone* zu liegen kommen. Die Begründung der Nagra für ihren Entscheid, den nordöstlichen Teil von NL auszuschliessen, ist nicht stichhaltig. Die Begutachtung der Tiefenbeschränkung auf 700 m erfolgt in einem anderen Expertenbericht (Beilage 2). Die Angaben der Nagra bezüglich Platzangebot und Platzbedarf in NL sowie die Abgrenzung einer *zu meidenden tektonischen Zone* im nordöstlichen Teil von NL werden weder durch die Analyse der Seismikdaten noch durch andere Informationen gestützt, wie im Folgenden gezeigt wird:

- Sowohl Unterschiede in den Abschätzungen des Platzangebots in ZNO, NL und JO als auch Unterschiede in der Beurteilung des Platzbedarfs sind eine Folge der vermuteten oder angenommenen Anzahl und Verteilung *anordnungsbestimmender Störungszonen* in den einzelnen Standortgebieten. Die Abschätzungen des Platzangebots, welche die Nagra für NL vorgenommen hat, basieren auf der ungeeigneten Anwendung einer statistischen

---

<sup>17</sup> Übersetzung AWEL.

<sup>18</sup> *Kursiv* gekennzeichnet sind Begriffe, die die Nagra eingeführt hat. Siehe Fussnoten 13 und 14 oben (S. 14).

Methode, die zudem von einer fehlerhaften Anzahl möglicher *anordnungsbestimmender Störungszonen* ausgeht. Der Fehler in Bezug auf die Anzahl möglicher *anordnungsbestimmender Störungszonen* ergibt sich aus Fehlinterpretationen, Überinterpretationen und Falschdarstellungen seismischer Daten. Im Gegensatz zu den Darstellungen der Nagra existiert sehr wohl eine weiträumige, 20 km<sup>2</sup> grosse Fläche im nordöstlichen Teil von NL, innerhalb welcher keine potenziellen *anordnungsbestimmenden Störungszonen* glaubwürdig nachgewiesen werden konnten.

- Mindestens eine genügend grosse Fläche ohne *anordnungsbestimmende Störungszone* kann aufgrund der 3D-Seismik in ZNO ausgemacht werden. Deshalb ist laut Nagra der dortige Platzbedarf von rund 6 km<sup>2</sup> auch der gültige Mindestwert für die anderen Standortgebiete. Unter Verwendung des Basiswerts von rund 6 km<sup>2</sup> und einer angenommenen unterschiedlichen Anzahl und Verteilung der *anordnungsbestimmenden Störungszonen* kommt die Nagra auf hypothetische Platzbedarfswerte von 8 bis 12 km<sup>2</sup> für NL und von 6 bis 9 km<sup>2</sup> für JO. Doch hypothetische Abklärungen des Platzbedarfs sind eine zweifelhafte Grundlage für die Ermittlung des wirklichen Platzbedarfs für ein Tiefenlager in diesen beiden Standortgebieten. Es ist sehr wohl möglich, dass der nordöstliche Teil von NL und ein grosser Teil von JO mehr Raum erfordern als ZNO, doch die Nagra hat dies in Etappe 2 nicht nachweisen können. Ohne Informationen aus 3D-Seismik in den Standortgebieten NL und JO zur Hand zu haben, wäre die Nagra gut beraten gewesen, allen drei HAA-Standortgebieten denselben Platzbedarf von rund 6 km<sup>2</sup> zuzuweisen.
- Berichten der Nagra zufolge liegen den Kriterien für die Ausweisung einer *zu meidenden tektonischen Zone* im Nordosten von NL eine Flexur der postpaläozoischen Sedimente zugrunde sowie eine darunterliegende reaktivierte Störung im Grundgebirge, die mit einem Permokarbondrog in Verbindung gebracht wird. In verschiedenen Gebieten spielen auch geologische Modellvorstellungen eine Rolle, wenn es darum geht, eine *zu meidende tektonische Zone* zu orten. Die Übersichtskarte der Nagra, welche den Anschein erweckt, dass die permokarbonischen Strukturen im Untergrund der Nordschweiz genau aufgezeigt werden, schliesst interpretierte Störungszonen an der Troggrenze und innerhalb des Trogs für den nordöstlichen Teil von NL mit ein. Diesen interpretierten Störungen liegen kleine Änderungen des Einfallswinkels der postpaläozoischen Einheiten von 3 bis 5° auf 5 bis 7° zugrunde, die sich über eine Entfernung von 500 bis 700 m hinziehen. Die Analyse der massgebenden seismischen Daten zeigt, dass die interpretierten Störungszonen an der Troggrenze und innerhalb des Trogs im nordöstlichen NL nicht zwingend existieren beziehungsweise gar im Widerspruch zu den Seismikdaten stehen. Die Seismik liefert keine Hinweise für reaktivierte Grundgebirgsstörungen und damit zusammenhängende *zu meidende tektonische Zonen*, wie von der Nagra in diesem Teil von NL postuliert. Eine geringe stetige Änderung im Einfallen der postpaläozoischen Einheiten reicht, zusammen mit einer geologischen Modellvorstellung, nicht aus, um überzeugend eine *zu meidende tektonische Zone* im nordöstlichen Teil von NL auszuschneiden.

Die Nagra hat nicht schlüssig nachgewiesen, dass es im nordöstlichen Teil von NL zu wenig Platz hat, um ein HAA-Tiefenlager zu realisieren. Die Abschätzungen des Platzangebots und die Angaben zum Platzbedarf weisen Schwachstellen auf und die Argumentation bezüglich einer *zu meidenden tektonischen Zone* in diesem Teil von NL ist fragwürdig. Eine 3D-reflexionsseismische Untersuchung im Nordosten von NL ist nötig, um die Annahmen, Hypothesen und Modelle der Nagra zu überprüfen. Infolgedessen ist der Vorschlag der Nagra verfrüht, Nördlich Lägern als mögliches Standortgebiet schon in Etappe 2 zurückzustellen.

Die im nachgeschobenen Addendum besprochenen zusätzlichen Beurteilungen (siehe Beilage 1, Kap. 12) zeigen auf, dass die Einschätzungen der Nagra-Berichte durch einzelne ENSI-Reviewer in gewissen Einzelheiten sowohl voneinander wie von der ENSI-eigenen

Prüfung und der Überprüfung in Beilage 1 von 2016 abweichen. Diese Beurteilungen rücken die Tiefenunsicherheitsabschätzungen der Nagra in den Blickpunkt, die in Beilage 1 von 2016 (AG SiKa/KES 2016) nicht hinterfragt worden sind, die aber richtigerweise von ENSI und den EGT-Reviewern als überkonservativ eingestuft werden. Ungeachtet dieser Unterschiede stimmen die zentralen Schlussfolgerungen von ENSI (2017a), EGT (2017), KNS (2017) und ESchT (2017) mit denen in Beilage 1 von 2016 überein. Es gibt keine Befunde in den offiziellen oder einzelnen ENSI-Berichten oder EGT-, KNS- und ESchT-Stellungnahmen, die Anpassungen in Beilage 1 von 2016 rechtfertigen. Auch wenn die Nagra die Kritikpunkte ablehnte, akzeptierte sie die Anregung aus Beilage 1 von 2016 und dem Fachbericht im Allgemeinen (AG SiKa/KES 2016), NL in Etappe 3 weiter zu erforschen.

## **2. Kalman Kovári: Die bautechnische Machbarkeit der Lagerstollen. Einfluss der Tiefenlage auf die Langzeitsicherheit. Beurteilung der Untersuchungen der Nagra**

Die Nagra kommt aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen und umfangreicher geomechanischer Untersuchungen zum Schluss, dass die HAA-Lagerstollen im Opalinuston in einer Tiefe von 900 m die Anforderungen an die Langzeitsicherheit wegen nachteiliger baubedingter Effekte nicht erfüllen. Mehrere falsche Prämissen sowie mangelhafte Schlüsse in der Argumentation der Nagra lassen keine solche Behauptung zu, wie unten ausgeführt wird. Zudem zeigen umfangreiche Dosisberechnungen der Nagra selber, dass solche baubedingten Effekte den Radionuklidtransport bis zur Biosphäre kaum beeinflussen. Im vorliegenden Bericht wurden die Plausibilität und die geomechanischen Untersuchungen der Nagra überprüft, die Dosisberechnungen aber als korrekt vorausgesetzt. Im Folgenden werden horizontaler und vertikaler Freisetzungspfad getrennt behandelt.

Beim *horizontalen Freisetzungspfad* steht der Gedanke an eine durch Risse beschädigte und chemisch degradierte Spritzbetonschale zwischen Bentonitverfüllung und Wirtgestein im Vordergrund. Eine Zwischenschicht in solchem Zustand würde eine erhöhte Durchlässigkeit aufweisen und so den Transport von Radionukliden begünstigen. Um einen derartig präferenziellen Freisetzungspfad zu unterbrechen, sind in den Lagerstollen Zwischensiegel aus Bentonit in regelmässigem Abstand vorgesehen. Durch lokalen Verzicht der Spritzbetonschale wird abschnittsweise ein sattes Anliegen der Bentonitverfüllung an das Wirtgestein angestrebt. Die Nagra kommt zum Schluss, dass solche Zwischensiegel in einer Tiefe von 600 – 700 m fachgerecht ausgeführt werden können, nicht jedoch auf 900 m. Der Grund liege darin, dass sich der Opalinuston in grösseren Tiefen nachbrüchig verhalte und stärkere Deformationen aufweise, wodurch eine fachgerechte Erstellung der Zwischensiegel in Frage gestellt wäre. Man kann jedoch leicht zeigen, dass die Zwischensiegel in der von der Nagra vorgeschlagenen Weise selbst bei 600 m nicht fachgerecht ausführbar sind. Somit ist das Argument mit den Zwischensiegeln für das Ausscheiden von HAA-Lagerstollen in einer Tiefe von 900 m grundsätzlich nicht haltbar. Aus den Dosisberechnungen geht zudem eindeutig hervor, dass die Zwischensiegel gar nicht notwendig sind. Sie zeigen auf, dass eine degradierte Spritzbetonschale hoher Durchlässigkeit selbst bei einem hohen hydraulischen Gradienten praktisch keinen Einfluss auf die Menge der transportierten Radionuklide hat. Dies ist auf die sehr geringe Durchlässigkeit des Wirtgesteins zurückzuführen, die einen Zufluss von in der Praxis relevanten Wassermengen zum Spritzbeton gar nicht zulässt.

Ein weiterer Einwand der Nagra bezüglich des horizontalen Freisetzungspfades in grösseren Tiefenlagen bezieht sich auf die Annahme, die Spritzbetonschale würde infolge der von ihr ausgehenden pH-Fahne das Rückhaltevermögen sowohl der Bentonitverfüllung als auch jene des umliegenden Wirtgesteins beeinträchtigen. Gegen eine solche Behauptung sprechen mehrere Gründe: Zum Ersten belegen geochemische Untersuchungen, dass sich die Ausbreitung der pH-Fahne auf die unmittelbare Umgebung der Spritzbetonschale beschränkt. Zum Zweiten könnten die Produkte der chemischen Prozesse das Rückhaltevermögen des betroffenen Materialbereichs sogar erhöhen und zum Dritten geht aus Dosisberechnungen hervor, dass – selbst wenn im Bereich der pH-Fahne die Durchlässigkeit erhöht wäre – dies auf den Nuklidtransport praktisch keinen Einfluss haben würde.

Beim *vertikalen Freisetzungspfad* steht die Forderung der Nagra im Zentrum, wonach sich die plastischen Zonen – in diversen Quellen auch als Auflockerungszone bezeichnet – in der Umgebung der Lagerstollen in vertikaler Richtung nicht mehr als 5 m über die Stollenmitte erstrecken dürfen. Diese Forderung leitet sich vom nicht begründeten Postulat ab, die vertikale Distanz zwischen plastischer Zone und Schichtgrenze des Opalinustons müsse mindestens 35 m betragen. Bei einer angenommenen minimalen Schichtstärke des Opalinustons von 80 Metern und der Anordnung der Anlage in dessen Mittelebene erhält man in der Tat

eine derartige vertikale Begrenzung der plastischen Zone. Aus den felsmechanischen Berechnungen der Nagra geht hervor, dass bei 700 m Tiefe die vertikale Erstreckung der plastischen Zone den Grenzwert von 5 Metern nicht überschreiten würde, während dies bei 900 m Tiefe bei Weitem der Fall wäre. Aufgrund des erwähnten Postulates und rechnerisch ermittelten plastischen Zonen wird deshalb empfohlen, auf Anlagen in einer Tiefe von 900 m zu verzichten. Bei dieser Art von Rückstellungskriterium fällt sofort auf, dass die Bestimmung der Tiefenlage und somit die Bauausführung der Anlage mit einer Genauigkeit von einigen Metern erfolgen müsste. Eine solche Folgerung erscheint angesichts der dem Problem der Lagerung radioaktiver Abfälle generell innewohnenden Unwägbarkeiten paradox.

Gegen die Verknüpfung der postulierten Distanz von 35 m mit der plastischen Zone können vier gänzlich unterschiedliche Argumentationsstränge vorgebracht werden. Zwei beziehen sich auf das Postulat mit der Grenzdistanz und zwei behandeln die Verwendung des Begriffes der plastischen Zone als Urteilkriterium. Ein einziges der Argumente würde genügen, um die obige Empfehlung zurückzuweisen; wir führen sie hier dennoch alle vier auf. Unsere Einwände sind wie folgt: *Erstens* ist der Begriff der plastischen Zone als Urteilkriterium aus physikalischen Gründen nicht verwendbar. Es darf angenommen werden, dass – wie immer auch die baubedingten Eingriffe das stollenumgebende Material verändern (z.B. Erhöhung der Durchlässigkeit) – solche Veränderungen nach 1'000, 10'000 oder 100'000 Jahren kaum mehr vorhanden wären. Man kennt die Prozesse, welche schon nach viel kürzerer Zeit zu einer Selbstabdichtung des Opalinustons führen, womit die ursprüngliche Dichtheit zurückgewonnen wird. Die Ergebnisse von Feldmessungen im Opalinuston des Felslabors Mont Terri weisen darauf hin, dass zumindest unter den dort herrschenden geostatischen Spannungen die Einbusse der Durchlässigkeit in der Umgebung der Stollen äusserst gering ist und eine messbare Zunahme der Durchlässigkeit – wenn überhaupt – nur in unmittelbarer Nähe des Ausbruchs stattfindet. Überdies wäre die Ermittlung der plastischen Zone, falls ein solch theoretisches Gebilde als Kriterium zugelassen wäre, mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, treten doch in den entsprechenden Berechnungsmodellen bis zu 20 geschätzte Modellparameter auf. *Zweitens* zeigen die Dosisberechnungen, dass die plastische Zone – wie auch immer sie ausgebildet sei – auf die Dosen praktisch keinen Einfluss hat. Für die plastische Zone wurden Durchlässigkeitskoeffizienten von bis zu  $10^{-8}$  m/s (anstatt  $10^{-13}$  m/s für Opalinuston) angenommen. *Drittens* ergeben dieselben Dosisberechnungen, dass ein kürzerer Freisetzungspfad als 35 m (bis auf etwa 25 m) praktisch keinen Einfluss auf die Dosen hat. *Viertens* wurden bei diesen Überlegungen nur das Wirtgestein, nicht aber die einschlusswirksamen Rahmengesteine in Betracht gezogen. Direkt unter dem Opalinuston liegt der Tonige Lias mit einer Schichtmächtigkeit von über 20 m mit ähnlich geringer Durchlässigkeit wie das Wirtgestein. Man kann deshalb die Lagertiefe um einen Abstand von bis 10 Meter tiefer als die Mittelebene des Opalinustons legen. Dadurch wären plastische Zonen mit einer vertikalen Erstreckung von bis zu 15 m statt 5 m möglich.

Fazit: Die Überprüfung des vorgelegten umfangreichen Materials der Nagra ergibt eindeutig, dass deren Argumentation nicht haltbar ist, Lagertiefen von bis zu 900 m auszuschliessen, wodurch die damit begründete Zurückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern unzulässig ist. Es bedarf keinerlei weiterer empirischer oder theoretischer Untersuchungen irgendwelcher Art, um nachzuweisen, dass Nördlich Lägern unter dem Gesichtspunkt "*Bautechnische Machbarkeit*" beibehalten werden kann. Anstelle die Eignung eines Lagers in grösseren Tiefen weiter zu diskutieren und weitere unverbindliche parametrische Studien durchzuführen, wird empfohlen, ein konkretes Referenzprojekt mit grösserer Bearbeitungstiefe für Lagertiefen von 700 m und 900 m nach vermehrt ingenieurmässigen Kriterien zu erarbeiten.

## 2a. Kalman Kovári: Geomechanische Grundlagen, Projektierung und Bautechnik

Ebenso wie die früheren Dokumente der Nagra betreffend Geomechanik/Bautechnik lässt auch die Zusatzdokumentation zur ENSI-Nachforderung (u. a. Nagra 2016b-c) in wissenschaftlich-technischer Hinsicht Mängel erkennen. Diese beziehen sich einerseits auf das Fehlen eines etappengerecht ausgearbeiteten Referenzprojekts, andererseits auf die Analyse der lagerbedingten Einflüsse (Beilage 2). Zu einem Referenzprojekt liegen lediglich vage Überlegungen zu Themen wie Lagerarchitektur, Statik und konstruktive Ausbildung der diversen Anlageelemente, einschliesslich Verschlussbauwerke, vor. Für vergleichende Betrachtungen der Standortgebiete und für qualitative Bewertungen ist ein ausreichend beschriebenes Projekt notwendig (im Entsorgungsnachweis von 2002, NTB 02-02, als Referenzprojekt bezeichnet). Das Referenzprojekt widerspiegelt den aktuellen Stand des Wissens. In Etappe 1 war ein Projekt dokumentiert, hingegen fehlt in Etappe 2 ein in angemessener Weise beschriebenes Projekt. Umso wichtiger ist es, dass die Nagra als Grundlage für die Standortwahl in Etappe 3 ein etappengerecht erstelltes Referenzprojekt vorlegt.

Die Erläuterung möglicher Vortriebsmethoden und Ausbruchsicherungen sowie der zugehörigen bautechnischen Risiken in der Zusatzdokumentation der Nagra sind plakativ und richten sich eher an Laien als an Fachleute. Obwohl die spärliche geomechanische Datenlage seit dem *Entsorgungsnachweis 2002* (Nagra 2002) praktisch unverändert geblieben ist, wurden zwischenzeitlich immer wieder neue, als jeweils repräsentativ eingestufte Baugrundmodelle und Materialparametersätze vorgestellt, die sich jedoch in vielerlei Hinsicht widersprechen. Die statischen Berechnungen zur Dimensionierung des Ausbaus der Lagerkammern beruhen auf unterschiedlichsten Annahmen und führen deshalb zu stark divergierenden Ergebnissen. Die HAA-Lagerstollen in einer Lagertiefe von 600 m bedürfen nach einer Version keines Ausbaus, sondern lediglich eines Kopfschutzes, nach einer anderen hingegen müssen sie mit einer Betonschale von 40 cm verkleidet werden. Obwohl alleine schon die Bedingungen für eine mögliche Rückholung «ohne grossen Aufwand» einen Ausbau zur Gewährleistung der Hohlraumstabilität erfordern, herrscht bei der Nagra noch immer erhebliche Ungewissheit bezüglich Hohlraumsicherung vor: «Die HAA-Lagerstollen werden voraussichtlich in allen Standortgebieten mit einem vollflächigen Ausbau gesichert» (Nagra 2014a, S.147). Für die Rückholung wird noch in der Zusatzdokumentation ein unverkleideter Lagerstollen in Betracht gezogen (Nagra 2016c, S. 15).

Die Versiegelungsstrecken hätten gemäss der Nagra-Dokumentation von 2014 nur in Lagertiefen von bis 600 m planmässig ausgeführt werden können. In einer Lagertiefe von 900 m war die Realisierung in Frage gestellt, was die Nagra als Argument für die Zurückstellung des Standorts Nördlich Lägern ins Feld geführt hat. Gemäss neueren, in der Zusatzdokumentation angeführten statischen Berechnungen wären Versiegelungsstrecken nun selbst in Lagertiefen von 600 m nicht mehr planmässig ausführbar. Dies hat die Nagra dazu veranlasst, auf diese auch als «Schlüsselzonen» bezeichneten Strecken nunmehr zu verzichten. Es fragt sich, ob diese entweder schon früher unnötig gewesen wären oder ob jetzt eine sicherheitstechnische Massnahme («Prinzip der Kompartimentbildung») ohne Ersatz gestrichen wird. Die diversen, vom sicherheitstechnischen Standpunkt aus wichtigen Verschlussbauwerke harren noch immer eines realisierbaren Konstruktionskonzepts. Die für die Unterbindung einer möglichen Umläufigkeit vorgesehene Ausräumung der Auflockerungszone stellt keine gangbare konstruktive Lösung dar. Mit welcher uneinheitlichen geotechnischen Annahmen gearbeitet wird, zeigt das Beispiel der Erarbeitung des Spektrums möglicher Vortriebsmethoden und Ausbruchsicherungen. Es beruht auf der Grundlage der Dokumentation im Entsorgungskonzept aus dem Jahr 2002 (Nagra 2016c, S. 36) und steht so im Gegensatz zu den vorgestellten Gebirgsmodellen der Zusatzdokumentation.

Was die Analyse der lagerbedingten Einflüsse anbelangt, baut die Nagra mit dem mehrdeutigen Begriff «Auflockerungszone (AUZ)» einerseits eine eigentliche sicherheitsbezogene Drohkulisse auf und weist darauf hin, wie dieser mit diversen Massnahmen, unter anderem mit dem Verzicht auf grössere Tiefenlagen, begegnet werden soll. Andererseits werden gleichzeitig Gegenargumente geltend gemacht wie beispielsweise die «Selbstabdichtung der AUZ» und es werden «die niedrigen hydraulischen Gradienten entlang der Bau- und Betriebstunnel» erwähnt, die zu einem «vernachlässigbaren Radionuklidtransport durch die AUZ [führen]» (Nagra 2016d, S. IV). Das Hauptargument, welches die Bedeutung der AUZ abschwächt, ist jedoch die Aussage, dass aufgrund von hydrogeologischen Modellrechnungen «der Wasserfluss durch ein Tiefenlager auch bei einer bedeutend höheren Durchlässigkeit der Auflockerungszone nicht wesentlich grösser würde, weil er in erster Linie von der Durchlässigkeit des intakten Wirtgesteins abhängt» (Nagra 2002, S. V).

Abschliessend muss gesagt werden, dass das technische-wissenschaftliche Niveau der sicherheitstechnischen Unterlagen der Nagra auf dem Gebiet Geomechanik/Bautechnik – gemessen alleine schon an den zahlreichen Widersprüchen – unbefriedigend ist.

Auch die Kritik und Kommentare des ENSI sind teilweise widersprüchlich. So kritisieren ENSI-Experten beispielsweise einerseits, dass die Nagra – aufgrund von Laborwerten – die Gebirgsfestigkeiten überschätze (Amman et al. 2015, S. iii) und andererseits, dass sie diese mit zunehmender Tiefe unterschätze (ebd., S. iii).

Referenzen: Siehe Fachbericht vorne.

### **3. Erich Müller & Stefan Schmid: Zu erwartende Erosionsprozesse in den drei möglichen Standortgebieten für hochradioaktive Abfälle (Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost). Aktualisierung 2017.**

Der Isolationszeitraum für hochradioaktive Abfälle (HAA) von einer Million Jahre macht es nötig, Erosionsprozesse im Zusammenhang mit Tiefenlagern sorgfältig zu analysieren. Zu berücksichtigende Erosionsszenarien umfassen alle Arten von Erosionsprozessen: flächenhafter Abtrag der Erdoberfläche, der zu einer Auflockerung (Dekompaktion) des Wirtgesteins und seiner Rahmengesteine führt; fluviatile Eintiefungen und glaziale Übertiefungen; Schaffung neuer Durchbruchsrinnen (z. B. infolge einer Flussumlenkung bei einer Vergletscherung) sowie deren glaziale Übertiefung.

Zielsetzung des vorliegenden Expertenberichts ist die Beurteilung der Frage, inwieweit die zu erwartenden Erosionsprozesse das Wirtgestein Opalinuston in seinen abschirmenden Eigenschaften negativ beeinflussen (z. B. durch Dekompaktionserscheinungen) oder dieses gar freilegen könnten. Der Bericht fokussiert auf die drei möglichen Standortgebiete für hochradioaktive Abfälle (HAA) Jura Ost (JO), Nördlich Lägern (NL) und Zürich Nordost (ZNO). Einerseits geht es um die Überprüfung der Bereiche innerhalb jedes Standortgebiets ohne ausreichenden Schutz des Opalinustons gegen künftige Erosion (mit Folgen für das Platzangebot), andererseits wird aufgrund einer eigenen neuen Einschätzung der Unsicherheiten in der Erosionsgeschichte ein Vergleich der drei Standortgebiete bezüglich belastbarer Vor- und Nachteile vorgenommen.

Eingangs wird auf drei grundsätzliche Probleme aufmerksam gemacht. Erstens: Eine gesonderte Betrachtung der Indikatoren (wie sie die Nagra vornimmt) lässt ausser Acht, dass diese voneinander abhängig sind und sich in ihren Auswirkungen und deren Bewertung überlagern können (z. B. Absenkung der Erosionsbasis und glaziale Übertiefung). Zweitens: Grundlage der Projektion von Erosionsszenarien über einen Zeitraum von einer Million Jahre ist die sorgfältige Analyse der jüngsten geologischen Vergangenheit, also etwa der letzten zwei Millionen Jahre. Diese Analyse ist aber äusserst schwierig, da grosse Unsicherheiten in der Datierung der Schotterterrassen-Archive bestehen. Ebenso ist die künftige Klimaentwicklung schwierig abzuschätzen, so ist auch in der nächsten Million Jahre eine un stetige Landschaftsentwicklung anzunehmen. Den Vor- und Nachteilen der einzelnen Standorte bezüglich zu erwartender Erosionsprozesse ist bereits heute grösste Aufmerksamkeit zu schenken, denn es ist kaum zu erwarten, dass sich die diesbezüglichen Kenntnisse und Erkenntnisse im weiteren Verlauf des Sachplanverfahrens wesentlich verbessern werden. Drittens: Im Bericht verzichten wir auf die von der Nagra (und darauf folgend auch in der Stellungnahme des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats [ENSI] und der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung [EGT]) verwendeten wertenden Prädikate «sehr günstig», «günstig», «bedingt günstig» oder gar auf die entsprechenden Zahlenwerte von 0 bis 5 für die entscheiderelevanten Kriterien, da wir diese Wertskalen nicht als sinnvoll erachten.

*Flächenhafter Abtrag:* Mit dem Indikator der Nagra «Erosion im Betrachtungszeitraum» werden grossräumige Unterschiede zwischen den Standortgebieten betreffend Erosion betrachtet, und zwar sowohl zur linearen Eintiefung als auch zum flächenhaften Abtrag der Erdoberfläche. Wir teilen die Schlussfolgerung der Nagra, dass infolge der grossräumigen Kippbewegung des Alpenvorlandes einerseits der Standort Wellenberg entscheidende Nachteile aufweist und dass sich andererseits die drei potenziellen Standortgebiete in der Nordschweiz bezüglich Eignung vorerst nicht voneinander unterscheiden. Wir wissen allerdings nicht, wie weit nördlich der Alpen der Nullpunkt dieser Kippachse mit Null vertikaler Hebungsrate relativ

zum Geoid liegt, das heisst, wir wissen nicht, wie stark sich der Nagra-Referenzpunkt Laufenburg hebt.

*Dekompaktion:* Damit das Wirtgestein Opalinuston während der massgebenden Zeit seine Dichtigkeit bzw. Undurchlässigkeit beibehält, darf es durch Dekompaktionserscheinungen nicht aufgelockert werden. Deshalb muss laut Nagra für ein HAA-Lager die Oberfläche des Opalinustons tiefer als ca. 400 m unter dem heutigen Terrain liegen. Leider werden in den von der Nagra durchgeführten Sensitivitätsbetrachtungen aber die nach wie vor existierenden Ungewissheiten bezüglich der genauen Höhenlage des Wirtgesteins nicht berücksichtigt. Dies obschon ihre Auswirkungen auf den entscheiderelevanten Indikator «Platzangebot untertags» (verfügbarer Raum für den Lagerperimeter) sehr einschneidend sein können. Gemäss der vorliegenden Information bezüglich Höhenlage dürfte in ZNO und NL der Opalinuston weitestgehend tiefer als 400 m unter heutigem Terrain liegen. Im zentraleren Bereich von JO findet sich der Opalinuston zwar ebenfalls oft tiefer als 400 m unter Terrain, doch die randlichen Gebiete sowie die Bereiche entlang der Taleinschnitte weisen zu geringe Schutzabstände auf. Sie sind demzufolge zur Anlage eines Tiefenlagers nicht geeignet.

*Absenkung der lokalen Erosionsbasis (inkl. Bildung neuer Rinnen):* Die grossen Unsicherheiten bezüglich der vergangenen und damit auch der prognostizierten Absenkung der lokalen Erosionsbasis bestehen weiterhin, obwohl inzwischen neue Daten vorliegen (Claude 2016). Selbst in Anbetracht dieser neuen Daten erscheinen sehr pessimistische Szenarien bezüglich der zu erwartenden Absenkung der lokalen Erosionsbasis (bis zu 300 m/Million Jahre) als plausibel und übersteigen die pessimistischen Szenarien der Nagra bei Weitem (175-200 m/Million Jahre), vor allem in der Standortregion ZNO. Zudem ist nicht nachvollziehbar, wie die Nagra insbesondere JO bezüglich des Kriteriums «Absenkung der lokalen Erosionsbasis in Hinblick auf die Bildung neuer Rinnen» bewertet. Es ist für alle drei Standortgebiete davon auszugehen, dass im massgebenden Zeitraum mindestens eine Durchbruchsrinne entstehen kann. Da die zu erwartende Häufigkeit von künftigen Vergletscherungen vom Raum ZNO über NL bis ins Gebiet JO abnimmt, nimmt auch die Wahrscheinlichkeit für die Bildung neuer Durchbruchsrinnen in gleicher Richtung ab. Doch darf einerseits die Eintiefung einer Durchbruchsrinne unter die abgesenkte lokale Erosionsbasis im Fall JO nicht ausgeschlossen werden, andererseits erscheint uns die Einstufung der Nagra von ZNO viel zu optimistisch. Am Standort NL ist die Situation zweifellos deshalb am günstigsten, weil die Lager Ebene dort wesentlich tiefer liegt.

Für ZNO ist eine bis 300 m unter die heutige lokale Erosionsfläche reichende Rinne durchaus plausibel. Für ZNO sollte daher gelten, dass die Oberfläche des Wirtgesteins mindestens 300 m unterhalb der in 1 Million Jahre abgesenkten Erosionsbasis anstehen muss. Die im Bericht gezeigten Konsequenzen würden das Platzangebot im Standortgebiet ZNO drastisch einschränken. Mit grösseren Einschränkungen des Platzangebots ist auch im Standortgebiet JO zu rechnen. In NL hingegen kann infolge der tiefen Lage unter der heutigen Erosionsbasis eine das Tiefenlager gefährdende glaziale Tiefenerosion ausgeschlossen werden.

Beim entscheiderelevanten Indikator «Modellvorstellungen zur Langzeitentwicklung (Geodynamik und Neotektonik; weitere Prozesse)» ist es besonders schwierig, die Bewertungen der Nagra bezüglich Vor- und Nachteile der drei Standortgebiete nachzuvollziehen, da es unter anderem unklar bleibt, inwiefern auch Aspekte der Geodynamik und Neotektonik in die unterschiedlichen Bewertungen einflüssen.

Aufgrund der Tatsache, dass das gesamte Standortgebiet NL praktisch keine Probleme bezüglich der Erosionsprozesse aufwirft, wird das von der Nagra postulierte Eignungsdefizit zu JO und ZNO stark vermindert. Sowohl JO als auch ZNO lassen anhand der vorliegenden Beurteilung der künftigen Erosionsprozesse wesentlich grössere Nachteile gegenüber NL erkennen. Deshalb ist aus Sicht der Erosionsproblematik kein belastbarer, also nachvollziehbarer eindeutiger Nachteil von NL gegenüber den beiden andern Standortgebieten festzustellen.

Insgesamt betrachtet bestehen zurzeit noch viele grundsätzliche und wesentliche offene Fragen, die es in Etappe 3 soweit wie möglich zu klären gilt:

- Bestimmen des Zeitpunkts, ab dem die Höheren Deckenschotter eingeschnitten wurden
- Festsetzen der anzuwendenden Tiefenlage der abgesenkten Erosionsbasis in einer Million Jahre
- Verkleinern der Schwankungsbereiche der Höhenlagen der Oberfläche des Wirtgesteins Opalinuston
- Klären der Frage, inwieweit in JO glaziale Tiefenerosion überhaupt möglich ist
- Bestimmen der maximal zu berücksichtigenden Tiefe für eine glaziale Tiefenerosion in ZNO).
- Miteinbezug aller glazial übertieften Rinnen, d.h. auch jener, die weniger als 50 m unter die lokale Erosionsbasis reichen
- zusätzliche Überprüfung und Bewertung der Standortgebiete anhand eines neuen, ergänzenden Indikators «Tiefe der Lagerebene bezogen auf die frühere maximale glaziale Übertiefung unter der lokalen Erosionsbasis»

Solange diese Fragen offen bleiben, ist aufgrund der Erosionsbetrachtung eine Einengung von drei auf zwei HAA-Standorte verfrüht und daher abzulehnen.

In Anbetracht des ENSI-Gutachtens (ENSI 2017a), der Stellungnahmen der EGT (2017), der Kommission für nukleare Sicherheit (KNS 2017) sowie der Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT 2017) ist damit zu rechnen, dass NL in Etappe 3 weitergezogen wird, wie von der AG SiKa/KES schon im Fachbericht vom Januar 2016 zum «2x2-Vorschlag» der Nagra gefordert (AG SiKa/KES 2016). Ziel ist es, in Etappe 3 die noch offenen Fragen bezüglich der Erosionsszenarien soweit möglich zu lösen. Wie weit dies gelingen wird, ist jedoch fraglich, weshalb in Etappe 3 auch intensiv nach Möglichkeiten einer Tieferlegung der Lager in JO und ZNO gesucht werden sollte.

#### **4. Bruno Baltes: Dosisberechnungen. Aktualisierung 2017.**

Dosisberechnungen in der sogenannten provisorischen Sicherheitsanalyse in Etappe 2 dienen dazu, die Sicherheit der in Etappe 1 festgelegten Standortgebiete zu beurteilen und mithilfe charakteristischer Dosisintervalle deren sicherheitstechnische Eignung und Gleichwertigkeit zu prüfen. Im vorliegenden Bericht werden die Elemente und die Zusammenschau der Ergebnisse der Dosisberechnungen auf die Aspekte Korrektheit, Schlüssigkeit, Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit geprüft und bewertet.

Die Nagra konzentriert die Dosisberechnungen auf das Einschussvermögen und die Barrierenwirksamkeit des einschusswirksamen Gebirgsbereichs (EG), das heisst auf das Wirtsgestein und – sofern vorhanden – die Rahmengesteine. Die Abstraktion der Standortgebiete in Modellkonzepte ist dem Kenntnisstand und den verbliebenen Ungewissheiten in Etappe 2 geschuldet. Den Ungewissheiten wird durch Konzeptualisierung, Annahmen und Prämissen, geeignete Wahl der Prozesse und Parameter sowie eine Vielzahl von Rechenfällen Rechnung getragen. Diese Vorgehensweise ist im Hinblick auf eine Bewertung der Barrierenwirksamkeiten und der Robustheit insbesondere der geologischen Barrierensysteme des EG etappengerecht. Bei der Interpretation der Analyseergebnisse (Dosiswerte) müssen jedoch diese Einschränkungen beachtet werden.

Die Dosisberechnungen erlauben eine quantitative Bewertung der Wirksamkeit sowohl der modellierten Barrierensysteme als auch ihrer einzelnen Barrieren. Hieraus lassen sich «prioritäre Wirtsgesteine» für das SMA-Lager, das heisst Wirtsgesteine mit den vergleichsweise besten Einschusseigenschaften, identifizieren. Ein Zurückstellen von Wirtsgesteinen im Verfahren alleine auf Basis der Dosisberechnungen ist nicht zu begründen.

Die Schlussfolgerung der Nagra – unter Anwendung der Vorgaben des ENSI –, dass alle Standortgebiete (HAA, SMA) aufgrund der Unterschreitung von vorgegebenen Dosisgrenzwerten sicherheitstechnisch sowohl geeignet wie auch gleichwertig sind, ist nicht haltbar. Eine sicherheitstechnische Eignung von Standortgebieten kann nur durch einen vollständigen Sicherheitsnachweis vor Ort festgestellt werden. Das Feststellen der Sicherheit eines Standortgebiets alleine auf der Grundlage von Dosisberechnungen ist nicht möglich.

Ein sicherheitstechnischer Quervergleich für Standortgebiete auf der Grundlage von Dosisberechnungen ist methodisch fragwürdig und nicht belastbar. Um einen sicherheitstechnischen Quervergleich durchzuführen, muss eine Basis der Vergleichbarkeit von Standortgebieten durch Festlegungen und Konzeptualisierungen der Standortgebiete geschaffen werden, das heisst gleichartig aufgebaute und gleichartig wirkende Systeme, die gleichartigen Entwicklungen unterstehen. Dies ist für die zu vergleichenden Standortgebiete nicht gegeben.

Der Anspruch an die Bewertung der Sicherheit, die sicherheitstechnische Eignung und sicherheitstechnische Gleichwertigkeit der Standortgebiete ist zu relativieren. Hervorzuheben ist, dass die in den Dosisberechnungen ermittelten Dosen sowie die vorgegebenen Dosisgrenzwerte als Indikatoren zur Bewertung der Einschussfähigkeit des EG zu werten sind. Darüber hinaus sollte die nach ENSI-Vorgaben festgestellte sicherheitstechnische Eignung im Sinne eines Verbleibs im Auswahlprozess gewertet werden.

Das Konzept der charakteristischen Dosisintervalle ist aufgrund des begrenzten Kenntnisstands in den einzelnen Standortgebieten in Etappe 2, der Ungewissheiten sowie der Konzeptualisierungen mit ihren Annahmen und Festlegungen nicht abschliessend in der Lage, die Einhaltung der radiologischen Grenzwerte an einem Standortgebiet festzustellen. Dies bleibt der Etappe 3 vorbehalten. Aus den Dosisberechnungen kann jedoch gefolgert werden, dass – unter der Annahme der Gültigkeit der Prämissen und Festlegungen – keine Er-

kenntnisse gewonnen wurden, die gegen eine radiologische Sicherheitsaussage (Einhaltung der Dosisgrenzwerte) oder die gegen eine Eignung sprechen.

Die Übertragung der Erkenntnisse aus den Dosisberechnungen auf die Standortgebiete kann nur erfolgen, wenn die einzelnen standortspezifischen Modellkonzepte hinsichtlich ihrer Eigenschaften (zum Beispiel Mächtigkeit, laterale Ausdehnung, hydraulische Durchlässigkeit, Diffusivität, Integrität, Langzeitstabilität) als auch ihrer potenziellen Entwicklungen als repräsentativ für die jeweiligen Standortgebiete anzusehen sind. Das bedeutet, dass die Prämissen und Festlegungen gültig sein müssen, zum Beispiel, dass in jedem Standortgebiet ein ausreichend grosser Wirtsgesteinskörper vorliegt, der die Anforderungen an einen einschlusswirksamen Gebirgsbereich mit seinen eben genannten charakteristischen Eigenschaften erfüllt.

Aus der Nachforderung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI 2015a), der dazu gelieferten Zusatzdokumentation der Nagra (Nagra 2016b-c), dem Gutachten des ENSI (ENSI 2017a), den Stellungnahmen der Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung (EGT 2017), der Kommission für nukleare Sicherheit (KNS 2017) sowie der deutschen Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT 2017) ergeben sich für die Bewertung der Dosisberechnungen und der charakteristischen Dosisintervalle keine neuen Sachverhalte. Nach einem Fachgespräch relativierte das ENSI gegenüber der AG SiKa/KES nachträglich den Stellenwert der mittels Dosisberechnungen festzustellenden «sicherheitstechnischen Eignung» und der «sicherheitstechnischen Gleichwertigkeit» eines Standorts in Etappe 2 (ENSI 2017b). Es hat in Aussicht gestellt, die diesbezügliche Kritik in seinen Vorgaben zu Etappe 3 berücksichtigen.

Am Ende der Etappe 3 sollen für jeden Standort Eignungsaussagen auf Basis umfassender Sicherheitsnachweise vorliegen. Hierzu sollte frühzeitig die Entwicklung standortspezifischer Nachweiskonzepte vorgenommen werden, in denen dargelegt ist, wie die Sicherheit der Tiefenlagersysteme – auf der Grundlage ihrer jeweiligen Sicherheitskonzepte für die Betriebsphase und Nachverschlussphase – nachgewiesen werden soll.

Im Hinblick auf die Auswahl des Tiefenlagerstandortes sollte frühzeitig ein Verfahren mit Bewertungsmassstäben entwickelt werden, nach welchem der sicherheitstechnische Vergleich der Standorte belastbar durchgeführt werden kann und das die Auswahl eines zu favorisierenden Standorts erlaubt.