



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement  
für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Kommission Nukleare Entsorgung KNE**

## **Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT)**

### **Stellungnahme der KNE zur Klärung der Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT**

**28. März 2011**



## **Kommission Nukleare Entsorgung (KNE)**

### **Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT)**

#### **Stellungnahme der KNE zur Klärung der Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT**

28. März 2011

© Kommission Nukleare Entsorgung KNE

[www.kne-schweiz.ch](http://www.kne-schweiz.ch)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Auftrag	3
1.2	Berichtserstellung und Bearbeiter	3
<b>2</b>	<b>Bewertung des Kenntnisstandes</b>	<b>4</b>
2.1	Geometrie und Strukturen Wirtgestein	4
2.2	Dekompaktion, Langzeitentwicklung, Erosion	6
2.3	Mächtigkeit, Sedimentologie, Lithofazies, Mineralogie	7
2.4	Durchlässigkeit, hydrogeologische Verhältnisse	7
2.5	Felsmechanische Eigenschaften, technische Machbarkeit	7
2.6	Modellkonzepte und Dosisberechnungen	8
2.7	Lagerauslegung	8
<b>3</b>	<b>Empfehlungen zu Untersuchungen in Etappe 2 des Sachplanverfahrens</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Verwendete Literatur und Berichte</b>	<b>11</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Auftrag

Die Kommission Nukleare Entsorgung KNE ist eine vom Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und dem Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) eingesetzte ausserparlamentarische Fachkommission und hat die Aufgabe, als erdwissenschaftliches Fachgremium das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI in sicherheits- und bautechnischen Fragen der nuklearen Entsorgung zu beraten und zu wissenschaftlichen Berichten der Nagra Stellung zu nehmen. Die KNE umfasst neun Mitglieder, vornehmlich aus dem Hochschulbereich, welche verschiedene in der geologischen Tiefenlagerung relevante Fachbereiche abdecken.

Im Rahmen des Sachplans Geologische Tiefenlager SGT (BFE 2008) hat die KNE die Aufgabe, das ENSI in seiner Arbeit zu den sicherheitstechnischen Beurteilungen zu unterstützen und zuhänden des ENSI zur geologischen Beurteilung von Standortgebieten sowie zur bautechnischen Machbarkeit geologischer Tiefenlager Stellung zu nehmen. Die KNE arbeitet ferner im Technischen Forum Sicherheit mit, wo wissenschaftliche Fragen zu Sicherheit und Geologie sowie bautechnische Fragen diskutiert und beantwortet werden.

Die Nagra hat die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen für die provisorischen Sicherheitsanalysen frühzeitig mit dem ENSI abzuklären. Sie reichte dazu Ende 2010 ihren Bericht NTB 10-01 „Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 - Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen“ ein. Mit der vorliegenden Stellungnahme beurteilt die KNE diesen Bericht der Nagra zuhänden des ENSI, wobei sie auf folgende Fragen des ENSI eingeht:

- Ist der in NTB 10-01 dargelegte Kenntnisstand zur Geologie nachvollziehbar?
- Sind die in NTB 10-01 geplanten ergänzenden Untersuchungen zielführend, um belastbare Aussagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in Etappe 2 SGT machen zu können?

Die Nagra hat sehr viele Begriffe gegenüber dem Vorgehen von Etappe 1 SGT neu definiert, insb. *Parameter und Prozesse* anstatt der in Etappe 1 SGT verwendeten *Indikatoren*. Dies verringert die Transparenz und erschwert die Nachvollziehbarkeit. Der Begriff der *Parameter und Prozesse* entspricht einer Vorgabe des ENSI (ENSI 33/075), entsprechend der die Nagra aufzeigen muss, welche *Prozesse und Parameter* für die provisorischen Sicherheitsanalysen Relevanz haben. Auch international (z.B. Nuclear Energy Agency NEA) wird ein umfangreicher FEP-Katalog (Features, Events and Processes) geführt. Dies entspricht bei Sicherheitsanalysen dem Stand der Wissenschaft.

## 1.2 Berichtserstellung und Bearbeiter

Die vorliegende Stellungnahme basiert auf dem Protokoll der KNE-Sitzung vom 13. Januar 2011 und einem Entwurf der Stellungnahme des ENSI. Sie wurde von den nachfolgenden KNE-Mitgliedern erarbeitet (in Klammern Fachbeiträge zur vorliegenden Stellungnahme):

- 1) Prof. Simon Löw, Geologisches Institut, ETH Zürich, Projektleitung (Fachbereich Ingenieurgeologie und Felsmechanik)
- 2) Prof. Lukas Baumgartner, Institut de Minéralogie, Université de Lausanne, Lausanne (Fachbereich Geochemie und Transportmodellierung)
- 3) Dr. Alfred Isler Bundesamt für Landestopographie, Swisstopo, Wabern (Fachbereich Regionale Geologie und Tektonik)
- 4) Dr. Annette Johnson, EAWAG, Forschungsabteilung W&T, Dübendorf (Fachbereich Geochemie und Gesteins-Wasser-Wechselwirkung)
- 5) Prof. Rolf Kipfer, EAWAG, Forschungsabteilung W&T, Dübendorf (Fachbereich Isotopengeochemie und Hydrogeologie)
- 6) Dipl. Bauing. ETH Jürg Matter, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Zürich (Fachbereich Untertagebau)
- 7) Prof. Hans-Rudolf Pfeifer, Centre d'Analyse Minérale CAM, Université de Lausanne (Fachbereich Hydrogeologie)
- 8) Prof. Fritz Schlunegger, Institut für Geologie, Universität Bern (Fachbereich Exogene Geologie, Geodynamik und Klimaentwicklung)
- 9) Prof. Andreas Wetzel, Geologisches Institut, Universität Basel (Fachbereich Sedimentologie, Stratigraphie und Tonmineralogie)

Die KNE wurde durch das Sekretariat des ENSI (Dr. Erik Frank, Dr. Martin Herfort, B. Würsch) tatkräftig unterstützt.

## 2 Bewertung des Kenntnisstandes

### 2.1 Geometrie und Strukturen Wirtgestein

Das Thema beinhaltet belastbare Aussagen zur Tiefenlage des Wirtgesteins und des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs, zur Mächtigkeit dieser Gesteinsschichten, zu den regionalen Strukturen sowie zu den Eigenschaften und Annahmen hinsichtlich der Zustandsparemeter des Wirtgesteins. Die Schwierigkeiten und der Klärungsbedarf in den einzelnen Standortgebieten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

#### *SMA-Gebiet Südranden (Opalinuston)*

Bezüglich der Mächtigkeit des Opalinustons ist die Erfüllung der Mindestanforderung in Teilen des Standortgebietes z.T. nur mit Beteiligung des Rahmengesteins gegeben. Die Nagra leitet für die Mächtigkeit des Opalinustons einen Referenzwert von 100 m ab, für die Ungewissheiten gibt sie eine Bandbreite von 70-130 m an. In den Erläuterungen zum Kartenblatt Neunkirch (1981) gibt Hofmann eine Mächtigkeit von 60-80 m an.

Lithofazies und Hydrogeologie des Rahmens: Es existieren evtl. höher durchlässige Horizonte innerhalb der Passwang-Formation (Äquivalente des Wedelsandsteins) und des Lias (Arietenkalk).

Die Explorierbarkeit mit Seismik ist erschwert, da ein hügeliges Waldgebiet vorliegt.

### *SMA/HAA-Gebiet Nördlich Lägeren (Opalinuston, „Brauner Dogger“)*

Die Platzreserven im „Braunen Dogger“ sind z.T. sehr sensitiv bezüglich maximaler Tiefenlage (vgl. KNE-Stellungnahme zu Etappe 1 SGT).

Die Kenntnisse der strukturellen Verhältnisse sind mit grösseren Unsicherheiten behaftet, da die Zergliederung durch Störungszonen nicht genauer bekannt ist.

Es bestehen Ungewissheiten bezüglich höher durchlässiger Horizonte innerhalb des „Braunen Doggers“.

Die Explorierbarkeit mit Seismik ist erschwert, da ein hügeliges Waldgebiet vorliegt.

### *SMA/HAA-Gebiet Bözberg (Opalinuston)*

Die Erfüllung der Mindestanforderung bezüglich Mächtigkeit des Opalinustons ist in gewissen Teilen des Standortgebietes nur mit Beteiligung der unteren Rahmengesteine (Lias) gegeben. Die Nagra leitet für die Mächtigkeit des Opalinustons einen Referenzwert von 105 m und für die erwarteten Variabilitäten und Ungewissheiten eine Bandbreite von 85-130 m ab.

Die Übergänge in die diffus gestörten Zonen sind nicht klar definiert.

Es bestehen Ungewissheiten bezüglich höher durchlässiger Horizonte innerhalb der Passwang-Formation.

Die Explorierbarkeit mit Seismik ist erschwert, da teilweise schwierige topografische Verhältnisse und dichte Bewaldung vorliegen.

Nutzungskonflikte könnten sich aus dem Vorhandensein von Salz und weiteren Ressourcen im Permokarbondrog im Liegenden ergeben.

### *SMA Gebiet Jura-Südfuss (Opalinuston, Effinger Schichten)*

Die Erfüllung der Mindestanforderung bezüglich Mächtigkeit des Opalinustons ist im Ostteil des bevorzugten Bereiches nur mit Beteiligung des Rahmengesteins (geringmächtiger Lias) gegeben. Die Nagra leitet für die Mächtigkeit des Opalinustons einen Referenzwert von 85 m und eine Bandbreite von 65-105 m ab.

Die Effinger Schichten (die Nagra gibt eine Referenzmächtigkeit von 220 m mit einer Bandbreite von 170-260 m an) verfügen über keine Rahmengesteine und grenzen direkt an regionale Tiefenaquifere.

Es bestehen Ungewissheiten bezüglich wasserführender Horizonte in der Passwang-Formation und bezüglich der Kalkbankabfolgen in den Effinger Schichten.

Ebenso besteht Ungewissheit betreffend des Verlaufs einzelner Störungen mit regionalem Charakter (Fortsetzung der Born-Engelberg-Antiklinale gegen Osten).

Innerhalb der Effinger-Schichten können Störungen und Kluffzonen auftreten, dazu kommen evtl. Verkarstungen in Faltenjuranähe.

Die Explorierbarkeit mit Seismik ist durch die dichte Besiedlung und das z.T. mächtige Quartär erschwert. Es gibt im Gebiet kaum Oberflächenaufschlüsse.

Nutzungskonflikte könnten sich aus dem Vorhandensein von Salz und eventuell Kohlenwasserstoff-Vorkommen im Liegenden ergeben.

### *SMA Gebiet Wellenberg (Mergel-Formationen des Helvetikums)*

Es bestehen Ungewissheiten bezüglich Fremdgesteinseinschlüssen (Kalkschuppen) und der möglichen Wasserführung entlang steiler, spröder Störungszonen.

Es bestehen Ungewissheiten bezüglich neotektonischer Bewegungen längs Brüchen (solche wurden in Karsthöhlen in Karbonatgesteinen nachgewiesen).

Es muss mit bautechnischen Erschwernissen bei stark kakiritisiertem Gebirge und bei allfälliger Gasführung (Bläser mit langer Ausgasung) gerechnet werden. Das beobachtete Gas könnte zumindest teilweise aus dem tieferen Untergrund stammen.

Eine Explorierbarkeit mit Seismik ist nicht möglich, weitere Abklärungen wären nur mittels Sondierstollen möglich und umsetzbar. Zurzeit gibt es nur zwei Bohrungen, die auf das Lagerniveau (d.h. unterhalb des Vorfluters) hinunterreichen.

#### *Wichtige weitere Aspekte:*

In den Standortgebieten Nördlich Lägeren und Jura-Südfuss bleibt eine Platzierung des ganzen SMA-Lagers im „Braunen Dogger“ bzw. in den Effinger Schichten grundsätzlich vorbehalten (NTB 10-01, S. 21). Gemäss NTB 08-05 muss man bei der Platzierung der SMA-Lagerkavernen allenfalls vorhandenen, wenig mächtigen Inhomogenitäten (Sandkalklagen, Kalkbankabfolgen) ausweichen können. Dem Bericht NTB 10-01 (z.B. Tab. 4.3-2 oder Fig. A5-5b) ist zu entnehmen, dass nun von dieser ursprünglichen Anforderung abgewichen wird (Zitat betr. Effinger Schichten: „Falls der Abstand der Kalkbankabfolgen dies nicht zulässt, werden die Lagerkammern so angeordnet, dass sie nur weniger kalkig ausgebildete Abfolgen schneiden“). Besonders bei den Effinger Schichten, die über keine Rahmengesteine verfügen, ist dies nicht akzeptierbar.

Bei einer Mächtigkeit von weniger als 100 m des Opalinustons wird derselbe durch den Einbezug des „Braunen Doggers“ oder des Lias „erweitert“. Die Kenntnisse des lithologischen Aufbaus und der Wasserführung dieser Schichten ist deshalb sehr wichtig. Die vertikale Verteilung tonärmerer Bereiche in den Effinger Schichten und im „Braunen Dogger“ ist jedoch noch nicht zuverlässig bekannt und mit Seismik nicht abklärbar.

Es ist unklar, wie bei der qualitativen Bewertung die Prioritäten gesetzt werden, wie die abschliessende Rangliste bzw. Gesamtbewertung erstellt wird und ob eine Bewertung „bedingt günstig – günstig“ immer noch möglich sein wird.

## **2.2 Dekompaktion, Langzeitentwicklung, Erosion**

Geologische Langzeitentwicklung: Die Nagra zitiert einseitig, darunter vor allem eigene Arbeiten (Mazurek et al. 2006). Hingegen fehlen Zitate zu Cederbom et al. (2004, 2008), Willett et al. (2010), Willett (2010) und Schlunegger & Mosar (in press).

Die Modellvorstellungen werden ebenfalls unvollständig dargestellt, z.B. fehlen Angaben aus den Forschungsprojekten Topo-Alps und Topo-Europe.

Der heutige Kenntnisstand bzgl. der Tieftemperatur-Thermochronologie sollte berücksichtigt und ausgewogen diskutiert werden.

Die SMA-Standortgebiete mit ihren Betrachtungszeiträumen von 100'000 Jahren sind bezüglich Erosionsszenarien als nicht kritisch anzusehen. Erosion: Die Unterschiede zwischen den Standortgebieten hinsichtlich Erosion sind nicht gross. In den nördlich liegenden Gebieten lassen sich aufgrund der geringen Raten (ausser Wellenberg) keine belastbaren Unterschie-



de ausmachen. Die Erosionsraten hängen gemäss neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen nur unter speziellen Bedingungen vom Klima ab.

Ob die Erosion schubweise (Cederbom et al. in press) oder kontinuierlich (Mazurek et al. 2006) erfolgt, wird zurzeit in der Literatur noch kontrovers diskutiert.

### **2.3 Mächtigkeit, Sedimentologie, Lithofazies, Mineralogie**

Das Ablagerungsmilieu und die Ausprägung des Opalinuston sind sehr einheitlich, für den „Braunen Dogger“ und Effinger Schichten gilt dies weniger. Über die Prognostizierbarkeit von Einzelbänken ist in allen drei Gesteinen wenig bekannt, dies ist aber beim Opalinuston aufgrund des relativ einheitlich hohen Tongehaltes weniger relevant.

### **2.4 Durchlässigkeit, hydrogeologische Verhältnisse**

Die hydrogeologische Darstellung der Standortgebiete wurde stark verbessert (Anhang 3 des NTB 10-01, mögliche lokale Aquifere, Exfiltration, Vorflutsituation). Es fehlen klare Hinweise, warum die früher als regionale Tiefenaquifere betrachteten Sandsteine und Kalke (Gansinger Dolomit, Stubensandstein, Arietenkalk) heute nur mehr als kleinskalige, untergeordnete Phänomene betrachtet werden.

Eine Definition des von der Nagra verwendeten Begriffs „Bestwert“ wird vermisst. Aus Hintergrundberichten geht hervor, dass damit der „beste Schätzwert“ bzw. „best guess“ einer Auswertung gemeint ist.

### **2.5 Felsmechanische Eigenschaften, technische Machbarkeit**

Primäre geotechnische Parameter sind die in-situ-Spannungen, die Gebirgsfestigkeiten und Verformungseigenschaften, und die geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse in den überlagernden Gesteinsformationen. Sekundäre, aber ebenfalls wichtige Parameter sind die Tiefenlage unter Terrain (Kote Wirtgestein), die in-situ-Temperatur und die anordnungsbestimmenden geologischen Elemente.

Bezüglich der räumlichen Anordnung und Standsicherheit der Lagerkammern stellen die Orientierung der maximalen und minimalen horizontalen Spannungen sowie die Magnituden des Spannungstensors ein wesentliches bautechnisches Kriterium dar. Die Übertragbarkeit der Spannungsorientierung aus der Bohrung Benken auf die anderen Nordschweizer Standortgebiete unterliegt Unsicherheiten, was allerdings auf die vergleichende Beurteilung der Standorte aus bautechnischer Sicht in Etappe 2 SGT wenig Einfluss hat. Entscheidend sind die Spannungsverhältnisse ( $\sigma_h/\sigma_v$  bzw.  $\sigma_H/\sigma_v$ ) und Magnituden der horizontalen Spannungskomponenten, die je nach Tiefenlage unter Terrain und Wirtgesteinen in den jeweiligen Standortgebieten variieren können. Diese Variationen und Unsicherheiten können für die relativ homogenen Wirtgesteine (Opalinuston und „Brauner Dogger“) im Tafeljura zusammen mit neu geplanten Untersuchungen in der Bohrung Schlattingen relativ gut charakterisiert werden. Dies gilt weniger für die Spannungsverhältnisse in kompetenteren Sedimentgesteinen der Effinger Mergel, welche von jenen in den sehr tonreichen Sedimenten abweichen können. Die Wirtgesteine am Jura-Südfuss wurden zudem über den Trias-Evaporiten abgeschert, wodurch die Spannungsverhältnisse gegenüber den Standortgebieten im Tafeljura ändern können.

Die mechanischen *Gesteinseigenschaften* sind gut bekannt und für den Opalinuston mit dem genetischen Verständnis gut interpretierbar und in allen Standortgebieten belastbar prognostizierbar. Auch für die Helvetischen Mergel, die Effinger Schichten und den „Braunen Dog-

ger“ liegen unter Berücksichtigung der neuen Untersuchungen (u.a. Bohrung Schlattingen) genügend belastbare Datengrundlagen für eine systematische Bewertung der Standortgebiete in Etappe 2 SGT vor.

Die für das bautechnische Verhalten entscheidenden *Gebirgseigenschaften* werden stark von den Trennflächensystemen (Klüfte, Störungen) und sedimentären Heterogenitäten/Anisotropien bestimmt. Die Nagra zeigt in neuen Berichten die grundsätzliche Machbarkeit der Tiefenlager unter Verwendung neuer Stützmittel, aber nur ohne Berücksichtigung der tektonischen Trennflächen auf.

## 2.6 Modellkonzepte und Dosisberechnungen

Die kritischen Fälle und Prozesse können gut aus den Dosiskurven erkannt werden (z.B. S. A-174 des NTB 10-01: vertikale, wasserführende Störungszone). Obwohl alle Dosisintervalle auf „sicherheitstechnisch gleichwertige“ Gebiete hinweisen, werden die aufgezeigten Dosiskurven in die qualitative Bewertung der Standortgebiete einfließen.

## 2.7 Lagerauslegung

Die Kenntnisse über geologisch-tektonische Strukturen, welche das Raumangebot beeinträchtigen könnten, wurden verbessert.

Die Nagra plant für Etappe 2 SGT, detailliertere Annahmen für mögliche Anordnungen der Kavernen und Stollen (Lagerperimeter) zu treffen und beim sicherheitstechnischen Vergleich zu berücksichtigen.

Die Nagra geht noch immer von einem fixen Abstand von 100 m zwischen den SMA-Lagerkammern aus. Diese Annahme ist besser zu begründen, weil der Abstand zwischen den Lagerkammern den Platzbedarf und die räumlichen Anforderungen beeinflussen kann.

Für die HAA-Lagerstollen in tieferen Bereichen sieht die Nagra den Einsatz weiterer Stützmittel vor (Stahlbögen, Spritzbeton oder Betonliner, etc). Neu soll mit zusätzlichen Siegelstrecken der Längsfluss entlang der Stollen minimiert werden.

Die Lage der Zugänge zum geologischen Tiefenlager sollte genauer spezifiziert werden. Das Ausweichen von Störungszonen ist beim Vortrieb mit einer Tunnelbohrmaschine trotz Vorerkundung nicht gut möglich, da die Kurvenradien nicht beliebig verkleinert werden können.

# 3 Empfehlungen zu Untersuchungen in Etappe 2 des Sachplanverfahrens

### *Geometrie und Strukturen Wirtgestein*

Für das Standortgebiet Wellenberg ist ein hydrogeologisches Modell auf das neue 3D-Modell und das zweistöckige Lagerkonzept unterhalb der Vorflut anzupassen.

Die vorgeschlagenen ergänzenden Strukturabklärungen mit 2D-Seismik in einer die HAA-Gebiete Bözberg und Nördlich Lägeren umfassenden Region werden als ausreichend betrachtet. An sich wäre eine 3D-Seismik wohl wünschbar, aber nicht praktikabel, da die Gebiete zu gross sind.

Die vorgesehenen Untersuchungen für den „Braunen Dogger“ und die Effinger Schichten werden zwar eine genauere Beschreibung der sedimentären Architekturelemente (Korrelati-

on, Verzahnung, Faziesänderung, Tektonisierung etc) erlauben. Grundsätzlich sollte jedoch jedes Modell abschliessend validiert werden. Dies ist nur durch zusätzliche Bohrungen, welche spätestens in Etappe 3 SGT auszuführen sind, möglich.

Verlässliche Aussagen über die grundsätzliche Eignung des Wellenbergs sind erst nach Vortrieb eines Stollens möglich. Dies wird in Etappe 2 SGT zu einer negativen Bewertung der Explorierbarkeit des Standortgebiets Wellenberg führen.

### *Dekompaktion, Langzeitentwicklung, Erosion*

Die von der Nagra geplanten detaillierten Untersuchungen zu Basis und Top der Aufschotterungsfläche erachtet die KNE als sehr wichtig, insbesondere für die höheren Deckenschotter (der Bericht NTB 99-08 ist weiterhin aktuell). Neben den vorgeschlagenen Untersuchungen im Hinblick auf Dekompaktion, Langzeitentwicklung und Erosion werden kaum weitere belastbare Aussagen zu gewinnen sein. Sinnvoll wären allerdings zusätzliche Datierungen der glazialen Übertiefungen, z.B. in der neu geplanten oder in vorhandenen Bohrungen, welche man noch mal hinsichtlich Tieftemperatur-Thermochronologie untersuchen könnte. Dabei sollten auch die  $^3\text{He}/^4\text{He}$ - oder (U-Th)/He-Methoden auf Apatitminerale in Sandsteinen angewendet werden. Die geplante Modellierung der Landschaftsentwicklung für das HAA-Standortgebiet Bözberg sollte kritisch hinterfragt werden, da quantitative Inputparameter weitgehend fehlen.

### *Mächtigkeit, Sedimentologie, Lithofazies, Mineralogie*

Um für den „Braunen Dogger“ und die Effinger Schichten verlässliche Prognosen zum Ablagerungsmilieu und zur Ausprägung machen zu können, müssen genetische Modelle erarbeitet werden. Die Nagra hat am 11. Januar 2011 erste Ergebnisse ihrer ergänzenden Untersuchungen und Studien vorgestellt, vor allem in Hinblick auf weiträumige Korrelationen der Kalkbankabfolgen im „Braunen Dogger“ und in den Effinger Schichten. Diese Arbeiten erachtet die KNE als sehr wichtig. Solange ein genetisches Modell fehlt, liefern Bohrungen in diesem Zusammenhang nur punktuelle Informationen.

Bezüglich Mineralogie und Selbstabdichtungsvermögen wurden Beispiele der Selbstabdichtung für Pelite mit sandigen Einschaltungen gezeigt, jedoch nicht für den „Braunen Dogger“ oder die Effinger Schichten (Kalk-Mergel-Wechselfolgen). Auch für den Opalinuston sollte man die Randbedingungen definieren, ab wann das Selbstabdichtungsvermögen versagt.

### *Durchlässigkeit, hydrogeologische Verhältnisse*

Die KNE erachtet die geplante Vertiefung der hydrogeologischen Datenbasis zum „Braunen Dogger“ und zu den Effinger Schichten als wichtig.

Die KNE legt grossen Wert auf die Bearbeitung unabhängiger Evidenzen. Diffusionsprofile aus bestehenden Bohrungen sollten in oder nahe jedem Gebiet vorhanden sein, z.B. neue Messungen von Chlorid und ggf. stabilen Isotopen an Wasserproben aus den Bohrungen Weiach und Riniken. Die Interpretation sollte sich auf gekoppelte Rechnungen stützen, welche die Ausbreitung aller verfügbaren natürlichen Tracer gleichzeitig simulieren.

Es sollte ein Vergleich der Rechnungen und Modellkonzepte zur Interpretation der Tiefenprofile einerseits und zur Berechnung der Dosisintervalle (Testrechnungen, provisorische Sicherheitsanalysen) andererseits angestellt werden. Die Parameter und Konzepte beider Modellierungen sollten vergleichbar sein, d.h. die in den Testrechnungen verwendeten Modelle sollten das aus den natürlichen Tracerprofilen abgeleitete Transportverhalten von nicht-reaktiven Stoffen wiedergeben können (inkl. Edelgase  $^4\text{He}$  und  $^{40}\text{Ar}$ ).

Unter Berücksichtigung der Diffusionsprofile werden die geplanten Untersuchungen als ausreichend erachtet, um die Gebiete im Hinblick auf die hydrogeologischen Verhältnisse in Etappe 2 SGT zu vergleichen.

### *Felsmechanische Eigenschaften, technische Machbarkeit*

Grundsätzlich ist die KNE der Auffassung, dass unter Berücksichtigung neuer Untersuchungen und einer für die Bautechnik sinnvoll gewählten Variabilität der Spannungsverhältnisse (horizontale Komponenten) in allen Standortgebieten die bautechnische Beurteilung stufengerecht durchführbar ist. Die von den Entsorgungspflichtigen vorgeschlagenen Untersuchungen zur Konsolidierung und Prüfung sind grundsätzlich stufengerecht und sinnvoll.

Für eine vergleichende Beurteilung der Standorte in Etappe 2 SGT hinsichtlich der bautechnischen Machbarkeit erachtet die KNE jedoch weiterführende Untersuchungen für (1) eine Verbesserung des Detaillierungsgrades der geologischen Baugrundmodelle und (2) bautechnische Risikoanalysen für erforderlich. Die für die vergleichende Beurteilung von Lagerstollen und Zugangsbauwerken wichtige qualitative bautechnische Risikoanalyse umfasst die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer denkbaren Gefährdung und des Schadensausmasses mit und ohne Massnahmen.

Bezüglich der Vervollständigung der Baugrundmodelle empfiehlt die KNE weitere Studien zu den Spannungsverhältnissen im Standortgebiet Jura-Südfuss, respektive die geplanten Untersuchungen näher zu konkretisieren (Amann und Löw, 2011). Zudem erwartet die KNE zusätzliche Untersuchungen bezüglich der Gebirgseigenschaften, welche für das bautechnische Verhalten entscheidend sind. Diese kommen jedoch ohne zusätzliche Bohrungen aus: Vorhandene Informationen sollten kompiliert und für jedes Standortgebiet analysiert werden (Aufschlüsse, Bohrungen, Tunnels etc.). Dies ist vor allem für stärker tektonisierte Standortgebiete (Wellenberg, Jura-Südfuss) von grosser Relevanz.

Die Auswirkungen unerwünschter geotechnischer Ereignisse (z.B. Verbrüche) auf die Langzeitsicherheit sollten systematisch überprüft werden.

### *Modellkonzepte und Dosisberechnungen*

Für Etappe 2 SGT sollten die vorhandenen Daten und Ergebnisse noch vertiefter ausgewertet werden. Z.B. sollten die Obergrenzen der Dosisintervalle mit Wahrscheinlichkeiten verknüpft werden. Neben dem charakteristischen Dosisintervall sind Szenarien mit frühen und hohen Freisetzungen für die Robustheit eines Standorts zu untersuchen.

Die KNE stellt zur Diskussion, ob man für Gebiete mit heterogener Beschaffenheit der Wirtgesteine (z.B. „Brauner Dogger“ und Effinger Schichten) nicht komplexere Modellkonzepte verwenden müsste.

### *Lagerauslegung*

Durch die von der Nagra vorgesehenen Untersuchungen ist zu erwarten, dass die Beurteilungsmöglichkeiten hinsichtlich der Lagerauslegung verbessert werden.

Zur optimalen Nutzung von Lagerstandorten sollten die gegenseitigen Abstände der SMA Lagerstollen überprüft und optimiert werden.

Aufgrund der geologisch / hydrogeologischen Verhältnisse sollten Gebiete für mögliche Zuänge ermittelt werden. Diese könnten dann im Hinblick auf eine spätere Realisierung mit Auflagen versehen werden.

Hinsichtlich der Siegelstrecken zur Minimierung des Längsflusses entlang der HAA-Lagerstollen sollte dargelegt werden, welche Anforderungen die Siegelstrecken erfüllen müssen (z.B. an das Material und die Beständigkeit, wie lange die Siegelstrecke ihre Aufgaben erfüllen müssen).

#### **Fazit**

Die KNE erwartet, dass mit den geplanten Untersuchungen der Nagra und den von der KNE dargelegten Ergänzungen ein sicherheits- und bautechnischer Vergleich der Standorte in Etappe 2 SGT machbar ist.

## **4 Verwendete Literatur und Berichte**

- Amann F., Löw S. (2011): Stellungnahme zur Abklärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen in SGT Etappe 2 für die Beurteilung der Standsicherheit und Erschliessung der Lagerkammern (NTB 10-01: Bautechnische Aspekte), Expertenbericht ETH Zürich, Ingenieurgeologie, Zürich.
- BFE (2008): Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil. Bundesamt für Energie, Bern.
- Cederbom C.E., Sinclair H.D., Schlunegger F., Rahn M.K. (2004): Climate-induced rebound and exhumation of the European Alps. *Geology* 32, 709-712.
- Cederbom C.E., Schlunegger F., Sinclair H.D., Van der Beek P.A. (2008): Late Neogene climatic, tectonic and geodynamic(?) forcing on the European Alps recorded by the erosion history of the North Alpine Foreland Basin. *Geophysical Research Abstracts* 10, EGU2008-A-01147.
- Cederbom C.E., Schlunegger F., Van der Beek P.A., Sinclair H.D., Onken O. (in press): Rapid, extensive erosion of the North Alpine foreland basin at 5-4 Ma: Climatic, tectonic and geodynamic forcing on the European Alps. *Basin Research*. DOI: 10.1111/j.1365-2117.2011.00501.x.
- ENSI 33/075: Anforderungen an die provisorischen Sicherheitsanalysen und den sicherheitstechnischen Vergleich, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- Hofmann F. (1981): Erläuterungen zum Blatt Nr. 74: Neunkirch. *Geol. Atlas d. Schweiz., Schweiz. geol. Komm.*
- Mazurek M., Hurford A.J., Leu W. (2006): Unravelling the multi-stage burial history of the Swiss Molasse Basin: integration of apatite fission track, vitrinite reflectance and biomarker isomerisation analysis. *Basin Research* 18, 27-50.
- NTB 08-05: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie; Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit. Nagra Technischer Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, 2008.
- NTB 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 - Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2010.
- NTB 99-08: Geologische Entwicklung der Nordschweiz; Neotektonik und Langzeitszenarien Zürcher Weinland. Nagra Technischer Bericht, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, 2002.
- Schlunegger F., Mosar J. (in press): The last erosional stage of the Molasse Basin and the Alps. *International Journal of Earth Sciences*. DOI: 10.1007/s00531-010-0607-1.
- Willett S.D. (2010): Late Neogene erosion of the Alps: A climate driver? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38, 409-435.