



Plausibilitätsprüfung des Standortvorschlags der Nagra für das geologische Tiefenlager für radioaktive Abfälle in der Schweiz

Autoren:

Prof. Dr. J.-D. Eckhardt
G. Enste
Dr. P. Hocke
Prof. Dr. K.-H. Lux
Dr. J. Mönig
Prof. Dr. Dr. B. Müller
Julia Neles
Dr. E. Nitsch
Prof. Dr. B. Peters
Prof. Dr. S. Siedentop

Oktober 2022

Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager

Im Juni 2006 hat das damalige Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) die deutsche „Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager“ (ESchT) einberufen. Die Expertengruppe soll Fragen des BMU und der deutschen Begleitkommission Schweiz (BeKo-Schweiz) zum Sachplan geologische Tiefenlager der Schweiz beantworten sowie das Standortauswahlverfahren fachlich begleiten.

Kontakt:

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH

Hr. Karsten Schüler

Schwertnergasse 1

50667 Köln

Karsten.Schueler@grs.de

Tel.: +49 (0) 221-20 68-689

Fax: +49 (0) 221-20 68-734

Internet: www.escht.de

Anmerkung:

Dieser Bericht ist von der Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) erstellt worden.

Der Bericht kann unter Quellenangabe zitiert und auszugsweise reproduziert werden.

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	2
2. Standortvorschlag für das geologische Tiefenlager	3
2.1. Qualität der geologischen Barriere	4
2.2. Stabilität der geologischen Barriere	6
2.3. Flexibilität der Platzierung	8
2.4. Geotechnisch-gebirgsmechanische Aspekte	9
3. Anmerkungen zur Oberflächeninfrastruktur	11
3.1. Standort und Oberflächeninfrastruktur des Geologischen Tiefenlagers (Kombilager).....	11
3.2. Standort der Verpackungsanlagen	13
3.3. Transporte der radioaktiven Abfälle	14
4. Referenzen	16

Zusammenfassung

Die ESchT hält die Begründungen der Nagra zur Wahl von Nördlich Lägern als Standortregion für ein Kombilager auf Basis der derzeit vorliegenden Informationen für nachvollziehbar und plausibel. Danach weisen die geologischen Befunde und Gegebenheiten in diesem Standortgebiet Vorteile gegenüber den anderen beiden Standortgebieten auf, sodass dieses Standortgebiet auch aus Sicht der ESchT nach derzeitigem Kenntnisstand als sicherheitstechnisch am besten geeignet einzustufen ist. Durch den Standortvorschlag der Nagra werden die bisherigen Ergebnisse und Aussagen der Nagra im Schweizer Sachplanverfahren grundsätzlich bestätigt. Dadurch wird dokumentiert, dass es sich beim Schweizer Sachplanverfahren um ein wissenschafts-basiertes, transparentes, selbsthinterfragendes und lernendes Verfahren handelt, wie es auch für Deutschland durch das deutsche Standortauswahlgesetz (StandAG) gefordert wird. Die Begründungen der Nagra für die Verpackung aller Arten von radioaktiven Abfällen in Endlagerbehälter bei der Zwiilag (Zwischenlager Würenlingen AG) sind aus Sicht der ESchT grundsätzlich überzeugend und nachvollziehbar. Die Verpackung der radioaktiven Abfälle am Zwiilag bestimmt die Anzahl der Transporte der radioaktiven Abfälle zum Tiefenlagerstandort. Die ESchT empfiehlt, dass die Nagra rechtzeitig Informationen unter anderem zu den Transportrouten vorlegt und Lösungen mit den regionalen Akteuren erarbeitet.

1. Einleitung

Am 10.09.2022 verkündete die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) per Pressemitteilung ihren Vorschlag für die Standorte des geologischen Tiefenlagers sowie der Verpackungsanlage für die in das Tiefenlager einzubringenden radioaktiven Abfälle in der Schweiz. Im Rahmen von mehreren Medienkonferenzen erläuterte die Nagra am 12.09.2022 die Gründe für diese Auswahl. In Verbindung mit der Bekanntgabe des Standortvorschlags [Nagra 2022a] veröffentlichte die Nagra eine Reihe von Fachberichten und stellte im Internet zusätzliche Daten und Informationen zur Verfügung, die die bereits vorliegenden Fachberichte ergänzen.

Mit der Bekanntgabe des Nagra-Vorschlags wurde ein wichtiger Meilenstein im Schweizer Sachplanverfahren Geologische Tiefenlager (SGT) erreicht. Auf Basis dieses Vorschlags werden nun von der Nagra die Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) erstellt, das voraussichtlich im Jahr 2024 von der Nagra beim Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) zur Prüfung und Genehmigung eingereicht wird.

Die Nagra schlägt vor, im Standortgebiet Nördlich Lägern (NL) ein Kombilager zu errichten, in dem in einem Bereich die hochradioaktiven Abfälle (HAA) und in einem räumlich getrennten Bereich des Bergwerks die schwach- und mittelradioaktiven Abfälle (SMA) eingelagert werden sollen. Die Infrastrukturanlagen an der Geländeoberfläche zur Errichtung sowie zum Betrieb des Bergwerks sollen im Gebiet Haberstal in der Gemeinde Stadel im Kanton Zürich gebaut werden. Die Verpackung der radioaktiven Abfälle in die Endlagerbehälter soll im Standortgebiet Jura Ost (JO) beim Schweizer Zwischenlager (Zwilag) in der Gemeinde Würenlingen im Kanton Aargau erfolgen, von wo der Transport zum Tiefenlagerstandort per Schwerlasttransport auf der Straße erfolgt. Die deutsche Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager (ESchT) wurde zusammen mit einer Reihe von Schweizer Stakeholdern einige Tage vor der öffentlichen Ankündigung der Standorte von der Nagra über ihren Vorschlag informiert.

In der vorliegenden Einschätzung bewertet die ESchT die Nachvollziehbarkeit und Plausibilität dieses Vorschlags und seiner Begründungen. Aufgrund des Wunsches, möglichst schnell eine fachliche Einschätzung des Standortvorschlags und seiner Begründungen zu geben, konnten die mit dem Nagra-Vorschlag veröffentlichten zusätzlichen Informationen, Daten und Fachberichte nicht vertieft und auch nicht vollständig geprüft werden. Auf der Grundlage der bereits veröffentlichten Fachberichte in Verbindung mit der Offenheit der Nagra bei der Darstellung und Diskussion von geologischen Befunden, Daten, technischen Sachverhalten sowie Model-

lgergebnissen in Fachgremien, an deren Sitzungen z. T. auch Vertreter der ESchT teilgenommen haben, wird die Informationslage durch die ESchT als insgesamt gut für die vorliegenden Einschätzungen angesehen.

2. Standortvorschlag für das geologische Tiefenlager

Am Ende der Etappe 2 SGT hatte die Nagra am 30.01.2015 vorgeschlagen, in Etappe 3 die beiden Standortgebiete Jura Ost und Zürich Nordost für ein SMA-, HAA- bzw. Kombilager weiter zu untersuchen und die Standortregion Nördlich Lägern zurückzustellen [2x2-Vorschlag, NTB 14-01]. In ihrer Bewertung dieses Vorschlags hat die ESchT ausgeführt [ESchT 2017], dass „auf Grundlage der durch die Nagra vorgelegten Unterlagen [...] eine Rückstellung des Standortgebiets Nördlich Lägern unter dem Gesichtspunkt der Verfahrenskonformität derzeit nicht hinreichend begründet“ sei und ein Standortgebiet „bei unzureichender Kenntnis der das Platzangebot bestimmenden geowissenschaftlichen Daten und bei Überschätzung des Platzbedarfs aufgrund von Ungewissheiten [...] ein Standortgebiet aus Verfahrensgründen nicht zurückgestellt werden“ dürfe. Die ESchT hat sich daher für eine Übernahme von Nördlich Lägern in die Etappe 3 ausgesprochen. Auch das ENSI hat gefordert, das Standortgebiet Nördlich Lägern in Etappe 3 weiter zu betrachten.

Aus Sicht der ESchT zeigen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse, dass alle drei der in Etappe 3 intensiv untersuchten potentiellen Schweizer Standortgebiete die hohen Anforderungen an eine dauerhafte und sichere Endlagerung der radioaktiven Abfälle gut erfüllen. Insofern kommt es bei der Wahl des besten Standorts darauf an, entscheidende Unterschiede festzustellen und zu belegen. Dabei sind auch die vier Kriteriengruppen mit ihren insgesamt 13 Kriterien des Sachplans Geologische Tiefenlager [BfE 2011] in die Bewertung einzubeziehen.

Die Nagra begründet ihren Vorschlag, ein Kombilager zu errichten, damit, dass im Standortgebiet Nördlich Lägern im Vergleich zu den anderen beiden potentiellen Standortgebieten Jura Ost (JO) und Zürich Nordost (ZNO) relevante Unterschiede in den folgenden Aspekten festgestellt wurden, die bei der Standortwahl entscheidend seien:

- die Qualität der geologischen Barriere
- die Stabilität der geologischen Barriere
- die Flexibilität hinsichtlich der Platzierung des Lagers im Untergrund

2.1. Qualität der geologischen Barriere

Die Qualität der geologischen Barriere ist entscheidend für die sicherheitstechnische Zielsetzung bei der Endlagerung, dass die radioaktiven Abfallstoffe für sehr lange Zeiträume und möglichst vollständig am Ort der Einlagerung im tiefen Untergrund verbleiben. Die Qualität der geologischen Barriere ergibt sich aus den Eigenschaften des Wirtsgesteins Opalinuston und seiner Rahmengesteine. Gute Voraussetzungen sind gegeben, wenn das Wirtsgestein, in das die radioaktiven Abfälle eingelagert werden, eine ausreichende räumliche Ausdehnung in horizontaler und vertikaler Richtung sowie eine hohe Einschlusswirksamkeit aufweist, z. B. aufgrund einer sehr geringen Wasserpermeabilität, so dass aus den Endlagerbehältern in Folge eines korrosionsbedingten Ausfalls freigesetzte Radionuklide vorrangig diffusiv im wassergefüllten Porenraum der geologischen Barriere transportiert werden können.

Laut Nagra sei der Opalinuston grundsätzlich in allen drei möglichen Standortgebieten als geeignet anzusehen und weise vergleichbar geringe Durchlässigkeiten für Grundwasser und eine ähnliche Sorptionsfähigkeit für Kationen auf. In den „Zusatzinformationen zum Standortvorschlag“ [Nagra 2022c] werden drei Themen genannt, in denen geringe Unterschiede zwischen den potentiellen Standortgebieten eine Differenzierung erlauben:

- Die Distanz zu den nächsten grundwasserführenden Schichten (Aquiferen) unter und über dem Wirtsgestein, über die ein rascher Austrag gelöster Stoffe zur Erdoberfläche erfolgen könnte;
- die in den Bohrungen gemessenen Profile natürlicher Tracer im Porenwasser in und zwischen den Aquiferen unter und über dem Wirtsgestein, die Auskunft über die Intensität von vertikalen Diffusions- und ggf. Fließprozessen durch den Opalinuston geben;
- die Isotopenzusammensetzung von Wasserstoff und Sauerstoff der Wassermoleküle des Opalinuston-Porenwassers, deren Abweichung von der Isotopenzusammensetzung heutiger Oberflächenwässer Auskunft über den Grad der Isolierung des erdgeschichtlich alten Porenwassers von heutigem Oberflächen- und fließendem Grundwasser gibt.

Neben den bereits veröffentlichten Befunden zu den Tiefbohrungen hat die Nagra als Zusatzinformation zum Standortvorschlag für alle drei potentiellen Standortgebiete Ergebnisse zu den Konzentrationsprofilen der stabilen Wasserisotope ($\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$) in den Porenwässern des Opalinustons veröffentlicht [Nagra 2022c]. Eine ausführliche Dokumentation hierzu ist angekündigt, steht aber noch aus.

Einschätzung der ESchT

Die von der Nagra vorgelegten geologischen Befunde zu den Tiefbohrungen in allen drei potentiellen Standortgebieten belegen, dass der Opalinuston als zentraler Teil der geologischen Barriere jeweils ähnlich in allen drei Standortgebieten ausgebildet ist und eine vergleichbare Mächtigkeit aufweist. Die Rahmengesteine unterscheiden sich aber in den drei Gebieten und reichen jeweils zur nächsten unter- bzw. oberhalb liegenden grundwasserführenden Schicht (Aquifer).

Anhand der bisher veröffentlichten Daten zu den Tiefbohrungen teilt die ESchT die Einschätzung der Nagra, dass im Vergleich mit den beiden anderen Standortgebieten in Nördlich Lägern der Abstand zum nächsten Aquifer oberhalb des Opalinustons am größten ist und der Abstand zum Keuper-Aquifer unterhalb des Opalinustons vergleichbar groß ist, wobei in Nördlich Lägern nach Angaben der Nagra der Keuper nicht in allen Bohrungen wasserführend angetroffen worden ist.

Die hydrogeologischen Ergebnisse des Tiefbohrprogramms sind bislang nicht veröffentlicht, weshalb eine Beurteilung dieser Frage hier nur anhand der Zusatzinformationen [Nagra 2022c] erfolgt. Dort werden Porenwasserprofile von Deuterium (^2H) für neun Bohrungen grafisch durch Tiefenlage und Deuterium-Wert von Grundwasserprobennahmen angegeben, ergänzt um Balkendarstellungen der in Packertests ermittelten mittleren Durchlässigkeiten für die getesteten Abschnitte der Schichtenfolge. Diese Ergebnisse zeigen, dass in den letzten Hunderttausenden von Jahren nur ein sehr langsamer Wasseraustausch durch Diffusion von ober- und unterhalb liegenden Aquiferen in den Opalinuston erfolgt ist. Die Befunde unterstreichen die Barrierewirkung des Opalinustons und der tonreichen Rahmengesteine. Die Unterschiede in den Zusammensetzungen der stabilen Wasserisotope der Porenwässer ($\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$) in den drei Standortgebieten zeigen eindeutig, dass im Standortgebiet Nördlich Lägern die geringste Mischung der alten Porenwässer mit jungen, meteorischen Wässern erfolgt ist.

Zusammenfassend ist aus Sicht der ESchT auf Basis dieser Befunde die Schlussfolgerung der Nagra gerechtfertigt, dass im Standortgebiet Nördlich Lägern die geologische Barriere die beste Qualität aufweist.

2.2. Stabilität der geologischen Barriere

Unter der Stabilität der Barriereigenschaften der Wirts- und Rahmengesteine wird von der Nagra die Sicherheit des Tiefenlagers bei fortschreitender Erosion an der Erdoberfläche betrachtet. Neben der absoluten Tiefenlage sind auch die Eigenschaften der über dem Lager befindlichen Gesteine von Bedeutung.

Nach Aussage der Nagra bieten alle drei Standortgebiete für ein Tiefenlager im Opalinuston ausreichenden Schutz vor Freilegung durch die voraussichtliche Erosion der kommenden Million Jahre. In Nördlich Lägern (NL) seien die Sicherheitsreserven aufgrund der größeren Tiefenlage und durch überlagernde harte Gesteinsschichten (Kalksteine des Malms und der Herrenwis-Einheit) größer als in den anderen beiden Gebieten. Der methodische Ansatz wurde in NTB 14-02 D.III erstmals dargestellt und aktualisiert zusammengefasst in den „Zusatzinformationen zum Standortvorschlag: Stabilität der Barriere“ [Nagra 2022d].

Einschätzung der ESchT

Verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen haben belegt, dass es in der Region in den vergangenen Millionen Jahren zum fortschreitenden Einschneiden der Flussbetten und zur Eintiefung der Täler (bis zu 300 Meter) gekommen ist. Ebenso wurden die Gebiete mehrfach von Gletschern überfahren, was zu einer flächenhaften Erosion und der Ausbildung übertiefer Erosionsrinnen unter dem Eis führte, deren Sohle zusätzlich um bis zu 200 - 300 m unter das Niveau der zeitgleichen Vorfluter im Gletschervorland hinabreicht. Die Abtragung der Landoberfläche erfolgt dabei über längere Zeiträume wie 1 Million Jahre nicht gleichmäßig, sondern in Zeiträumen der Vergletscherung intensiver als außerhalb der Vereisungszeiten.

Zur Einschätzung der zukünftigen Erosion hat die Nagra Modellrechnungen für mehrere Szenarien durchgeführt. Eine abschließende Publikation der zuletzt verwendeten Methoden und der Modellierungsergebnisse steht noch aus. Im Ergebnis ihrer Untersuchungen kommt die Nagra zu dem Schluss, dass die Eintiefung der subglazialen Rinnen in einer ähnlichen Größenordnung eintreten wird wie in früheren Vergletscherungen. Dabei wird angenommen, dass die Kalksteine des Jura der Erosion einen größeren Widerstand entgegensetzen als die darüber liegenden Molassegesteine. Die Nagra erwartet demnach für alle drei Standortgebiete mögliche Eintiefungen der Täler in einer ähnlichen Größenordnung zwischen 100 und 400 m in 1 Million Jahre.

Zusammenfassend kann den Schlussfolgerungen der Nagra aus ihren Modellberechnungen gefolgt werden, soweit es die derzeitige Veröffentlichungslage zulässt. Allerdings erscheint die Argumentation, das Erreichen der Kalksteine des Jura (Malm und Hauptrogenstein in JO, ggf.

Herrenwies-Einheit in NL) hemme die Tiefenerosion in übertieften Rinnen, im Vergleich zur weniger verfestigten Molasse, nur bedingt nachvollziehbar, da übertiefte Rinnen auch innerhalb der Alpen in stark verfestigten Gesteinen auftreten und nach der Literaturstudie NAB 17-26 Kalksteine zumindest leichter erodierbar sind als die dort ebenfalls betroffenen Kristallingesteine. Eine höhere Resistenz zeigen lediglich verkarstete Kalksteine, die subglaziales Schmelzwasser drainieren und dadurch die Eisbewegungen behindern. Die Kalkstein-Formationen in Nördlich Lägern fallen jedoch gegen die Alpen und somit in Richtung eines zukünftigen Eisschildes ein, was dem in NAB 17-26 angeführten Beispiel aus der nordamerikanischen pleistozänen Vergletscherung gerade entgegengesetzt ist. Dadurch dürfte eine Eisüberdeckung den Karstaquifer von den Vorflutern des glazialen Vorlandes abschneiden, weshalb eine Drainage durch überfahrenen Karst nicht als selbstverständlich gelten kann und gegebenenfalls subglazial mit hydraulisch gespanntem Karstwasser gerechnet werden muss, das die Eisbewegungen und Erosionskraft unter dem Gletscher eher erhöhen als vermindern könnte.

Aus Sicht der ESchT sollten die im Osten von NL auftretenden Riffkalksteine der ‚Herrenwies-Einheit‘ auch unter einem weiteren Aspekt noch einmal vertieft betrachtet werden. Derzeit ist diese Einheit nach den Bohrerergebnissen [Stadel 3-1 und Bülach 1-1: NAB 20-08 D.VII; Nagra 2022c] nicht wasserführend und wurde von der Nagra daher nicht als Aquifer eingestuft. Im Zuge der fortschreitenden Erosion wird dieser Kalksteinkomplex jedoch näher an die Erdoberfläche geraten, was durch die Druckentlastung zur Entwicklung eines wasserdurchlässigen Kluftsystems und zum Eindringen von Oberflächenwasser führen könnte. Nach den Klimaprognosen von Loutre & Berger [Loutre & Berger 2000, Berger & Loutre 2002] ist bereits in etwa 50.000 bis 100.000 Jahren, also deutlich weniger als der ersten Abklingphase von 200.000 Jahren, mit mindestens einer weiteren Vergletscherung des Alpenvorlandes zu rechnen und somit mit gegenüber heute erhöhten Erosionsraten. In einem solchen Fall könnte sich für NL die Distanz zum nächsten Aquifer in der Zukunft deutlich verkürzen. In diesem Fall müsste die Barrierewirkung auch bei geringerer Mächtigkeit der Rahmengesteine als ausreichend belegt werden. Das in der heutigen Situation zutreffende Argument eines größeren Abstandes der Lagerebene zum nächsten Aquifer darüber wäre dann hinsichtlich des gesamten Betrachtungszeitraums nur bedingt gültig.

Eine größere Tiefenlage des Lagerbereichs ist jedoch unter dem Aspekt der fortschreitenden Erosion grundsätzlich vorteilhaft, da die vor Erreichen des Lagerniveaus abzutragende Gesteinssäule in diesem Fall am größten ist. Die Bevorzugung von NL als Standort mit der größten Tiefenlage des Einlagerungsniveaus als am wenigsten erosionsgefährdet ist daher nachvollziehbar.

2.3. Flexibilität der Platzierung

Mit dem Aspekt Flexibilität der Platzierung wird die potentielle Größe eines geologisch ungestörten Raums, der Untertage für die Platzierung des Tiefenlagers zur Verfügung steht, in die Bewertung aufgenommen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, im Rahmen der späteren Endlagerauffahrungen bei Antreffen von geotektonisch vorbeanspruchten und sicherheitstechnisch weniger geeigneten Gebirgsbereichen, Modifikationen in der Platzierung der Endlagerstollen und -kavernen vornehmen zu können. Für die Bewertung hat die Nagra vor allem auf neu gewonnene 3D-seismische Daten zurückgegriffen. Mit der Interpretation der 3D-Seismik konnte die Nagra gegenüber Etappe 2 die Eingrenzung großräumiger tektonischer Strukturen (regionale Störungszonen und zu meidende tektonische Zonen) verbessern.

Die Größe eines ungestörten unterirdischen Bereichs wird von verschiedenen geologischen Strukturen bestimmt. Einschränkend sind vor allem geologische Störungen (Brüche), aber auch die aus der Schichtlagerung erkennbaren Deformationszonen deuten auf potentielle Beeinflussungen der Gesteinsintegrität hin. Diesen Strukturen soll in einem Tiefenlager ausgewichen werden. Insofern ist die Aussage zutreffend, dass ein größerer ungestörter Bereich mehr Flexibilität bedeutet.

Laut Nagra bestehe für alle drei in Etappe 3 untersuchten Standortgebiete genügend Platz für ein Tiefenlager in ungestörter Lagerung des Opalinustons. Nördlich Lägern weise aber einen „großen, sehr ruhig gelagerten Bereich“ [Nagra 2022a] bei „kleinen Ungewissheiten“ auf.

Entscheidend für die Größe des unterirdischen ungestörten Bereichs ist vor allem die Darstellung von Störungen und Deformationszonen innerhalb der Standortgebiete. Hier ergäben sich für die drei potentiellen Standortgebiete unterschiedliche Muster. Während Jura Ost eine deutliche Beeinflussung durch den nahegelegenen Faltenjura zeige, zeige sich in Zürich Nordost die Nähe zum Hegau-Bodensee-Graben durch zahlreichere auch kleine tektonische Störungen.

Demgegenüber zeichne sich das Standortgebiet Nördlich Lägern durch eine sehr geringe Anzahl tektonischer Elemente innerhalb des durch großräumige tektonische Strukturen eingegrenzten Bereichs aus. Dadurch verbleibe eine insgesamt deutlich größere, tektonisch ungestörte Fläche in diesem Standortgebiet.

Insgesamt kommt somit die Nagra zu dem Schluss, dass der große, ruhig gelagerte interne Bereich in Nördlich Lägern eine größere Flexibilität für die Lageranordnung anbiete und die günstige großtektonische Lage das Gebiet Nördlich Lägern gegenüber den beiden anderen Gebieten auszeichne.

Einschätzung der ESchT

Eine vertiefte Überprüfung der in NAB 18-34, NAB 18-35 und NAB 18-36 dargestellten Interpretation der 3D-Seismik ist der ESchT im Rahmen der hier vorgestellten Plausibilitätsprüfung nicht möglich. Die in den „Zusatzinformationen“ zum veröffentlichten Standortvorschlag dargestellten Ergebnisse (Varianz der Schichtgrenzen) entsprechen den Resultaten der drei genannten Berichte. Der Schritt zu den dargestellten Interpretationen der tektonischen Elemente erscheint fachlich fundiert und nachvollziehbar.

Die resultierende Darstellung der tektonischen Elemente erscheint eindeutig und wird nach derzeitiger Berichtslage folgerichtig interpretiert. Demzufolge kann an dieser Stelle der Bewertung der Nagra gefolgt werden, dass Nördlich Lägern gegenüber Jura Ost und Zürich Nordost einen deutlich größeren Raum für die Positionierung der unterirdischen Lagerhöhlräume bietet. Die Positionierung eines Kombilagers mit zwei Teilbereichen für schwach- und mittelradioaktive resp. hochradioaktive Abfälle erscheint auch aus Sicht der ESchT gut möglich und sinnvoll.

2.4. Geotechnisch-gebirgsmechanische Aspekte

Neben geologischen, tektonischen und hydrogeologischen Aspekten sind die geotechnischen Charakteristika des Wirtsgesteins Opalinuston ebenfalls von zentraler Bedeutung für die Standortauswahl – haben sie doch zusammen mit den Auffahrungs- und Sicherungsmaßnahmen Einfluss zunächst auf die bautechnische Machbarkeit und den sicheren Untertagebetrieb und dann auf den langzeitsicheren Verschluss des Endlagers.

Grundsätzlich seien laut Nagra nach heutigem Erkenntnisstand mit einer gegenüber Etappe 2 deutlich erweiterten Datengrundlage die geotechnischen Eigenschaften des Wirtsgesteins Opalinuston an den drei Standortgebieten sowohl aus geomechanischer wie auch aus geohydraulischer Sicht nahezu identisch, so dass sie keine auswahlrelevanten Unterschiede aufwiesen.

Gegenüber Etappe 2 wurde das Bau- und Verschlusskonzept verändert. Nunmehr ist vorgesehen, die Lagerstollen für die hochradioaktiven Abfälle mittels Vollschnittmaschinenvortrieb mit Betontübbingausbau aufzufahren statt mittels Teilschnittmaschinenvortrieb mit Spritzbetonausbau. Dadurch seien auch Teufenlagen bis zu 900 m für die Endlagerung zugänglich. Damit habe sich das Platzangebot für die Realisierung eines Kombilagers am Standort Nördlich Lägern erheblich erweitert, sodass die Flexibilität bei der Anordnung des Endlagers an diesem Standort nunmehr am größten sei.

Einschätzung der ESchT

Die Zurückstellung des Standortes Nördlich Lägern in Etappe 2 war zurückzuführen auf fehlende standortbezogene Untersuchungsdaten zu den Materialeigenschaften des anstehenden Opalinustons und eine damit verbundene zurückhaltend eingeschätzte geomechanische Qualität des Opalinustons im Rahmen des Sachplanverfahrens, die dann in Verbindung mit dem seinerzeitigen Auffahrungs- und Sicherungskonzept Lagerstollen- und Lagerkavernenauffahrungen in größeren Teufenbereichen nicht zuließ.

Die im Sachplanverfahren grundsätzlich vorgesehene Forderung nach angemessener Vergleichbarkeit der Datengrundlage für den Standortvergleich hat zu zusätzlichen Erkundungs- und Untersuchungsmaßnahmen der Nagra in Etappe 3 geführt. Auf Basis der bisher zugänglichen Informationen aus den drei Standortgebieten geht die ESchT davon aus, dass in Verbindung mit den noch ausstehenden Veröffentlichungen zu Tiefbohrungen eine belastbare Datenbasis zu den geomechanischen und geohydraulischen Kennwerten des Opalinustons in verschiedenen Teufenbereichen vorliegt.

Detaillierte Unterlagen zum neuen Auffahrungs- und Ausbaukonzept *Schildvortrieb mit Betontübbingausbau* mit einer entsprechenden konstruktiven Planung liegen (verfahrenskonform) noch nicht vor. Ebenfalls liegen noch keine zusammenfassenden Unterlagen dazu vor, wie den seinerzeit dem nunmehr präferierten Bauverfahren zugesprochenen sicherheitstechnisch relevanten Nachteilen begegnet wird.

Das auf dem Bauverfahren *Schildvortrieb mit Betontübbingausbau* aufbauende aktuelle Verschlusskonzept wird im Nagra-Bericht NAB 21-12 mit zunächst noch standortunabhängiger Ausrichtung vorgestellt. Mit Blick auf den Aspekt Flexibilität erscheint aus geotechnisch-geomechanischer Sicht auf Grundlage der bislang zur Verfügung stehenden Unterlagen und Argumentationen der Vorschlag des Standortgebietes Nördlich Lägern im Zuge der Etappe 3 als dem vergleichsweise am besten geeigneten Standortgebiet plausibel und nachvollziehbar. Dabei setzt die ESchT voraus, dass die durch standortgebietsbezogene Untersuchungen bislang nicht unterlegte bautechnische Machbarkeit und sicherheitsbezogene Verträglichkeit des nunmehr präferierten und die erhöhte Flexibilität begründenden Bauverfahrens im weiteren Verlauf des Standortauswahlverfahrens gezeigt werden kann.

3. Anmerkungen zur Oberflächeninfrastruktur

Die ESchT begrüßt, dass es der Nagra gelungen ist, ihren Vorschlag ausschließlich auf Entscheidungsgrundlagen der Geologie abzustützen. Dies entspricht dem Primat der geologisch-technischen Sicherheit in überzeugender Weise. Es ist nicht zu erkennen, dass politische Einflussnahmen und Positionierungen die Standortauswahl beeinflusst haben. Andere Aspekte wie die Platzierung von Oberflächenanlagen haben danach keine Rolle gespielt.

3.1. Standort und Oberflächeninfrastruktur des Geologischen Tiefenlagers (Kombilager)

Die Regionalkonferenz Nördlich Lägern hat sich in ihrer definitiven Stellungnahme zu den Oberflächenanlagen (OFA) für den Standort Haberstal ausgesprochen. Der Vorschlag der Nagra für die OFA schließt sich dem Votum der Regionalkonferenz an.

Wichtiger Diskussionspunkt der Regionalkonferenz beim Standort Haberstal (NL 6) war die Platzierung der Oberflächenanlage am Rande eines mächtigen Grundwasservorkommens. Die Nagra hat diesbezüglich Grundwasserschutzmaßnahmen (z. B. eine Dichtwand) vorgeschlagen, anstatt einen Standort außerhalb des Gewässerschutzbereichs A_u zu suchen. Dieser Vorschlag wurde von der Regionalkonferenz Nördlich Lägern in ihre definitive Stellungnahme aufgenommen [RK NL 2021]. In der vorläufigen Planungsstudie [NAB 22-05] wird der Bedarf an Grundwasserschutzmaßnahmen einerseits an die Verpackungsanlagen geknüpft und andererseits angesichts ausstehender weiterer Untersuchungen von deren Ergebnissen abhängig gemacht.

Die Nagra hat in der Planungsstudie zur Oberflächeninfrastruktur für das Geologische Tiefenlager [NAB 22-05] näher dargestellt, wie die Oberflächeninfrastruktur des geologischen Tiefenlagers ausgestaltet sein wird. In NAB 22-27 sind z. B. Grundfläche und Art der OFA-Anlagen und der Nebenzugangsanlagen allgemein beschrieben. Insbesondere werden Optimierungen beim Flächenbedarf und der Eingliederung der Anlagen in die Umgebung vorgestellt.

Der Bericht NAB 22-05 enthält auch allgemeine Aussagen zur Materialbewirtschaftung. Demzufolge kann nur ein Bruchteil des Ausbruchmaterials für die spätere Verfüllung des geologischen Tiefenlagers wiederverwendet werden, was bedeutet, dass keine großen Langzeit-Materialdeponien benötigt werden. Daraus folgt aber auch, dass eine erhebliche Menge an Ausbruchmaterial abgefahren werden muss. Der Bericht NAB 22-05 enthält noch keine konkreten Aussagen über die Lokalisierung der Deponieflächen während der Bauphase des Endlagers.

Gemäß NAB 22-05 kommt für das möglicherweise mit der Bahn an- und abzutransportierende Material ein Verladebahnhof an der Bahnstrecke Koblenz – Winterthur direkt gegenüber der deutschen Gemeinde Hohentengen (Kiesgrube Weiach) in Frage. Allerdings sind Angaben zu Häufigkeit und Ausmaß der Transporte während der Bauphase nicht Gegenstand des Berichts. Damit kann erst zu einem späteren Zeitpunkt abgeschätzt werden, inwieweit die deutschen Gemeinden von den Bauarbeiten direkt betroffen sein werden (u.a. Lärm, Luftbelastung).

Einschätzung der ESchT

Die ESchT bewertet positiv, dass die Entscheidungsfindung fachlich im Rahmen des Sachplanverfahrens stattfand. Dass sich der Vorschlag der Nagra dem Votum der Regionalkonferenz anschließt, ist zu begrüßen. Gleichwohl ist anzumerken, dass der Standort Haberstal, u.a. wegen seiner Lage am Rand eines regional bedeutsamen Grundwasserstroms und auch seiner Nähe zu Siedlungsgebieten auf der deutschen Seite der Grenze, die Betroffenheit und Besorgnis in der deutschen Grenzregion nicht vermindert hat. Darauf sollte im weiteren Prozess Rücksicht genommen werden. Insbesondere sollte der Bedarf an Grundwasserschutzmaßnahmen im Einvernehmen mit der Region geklärt werden.

Im Falle von Materialtransporten über den Verladebahnhof der Kiesgrube Weiach sind noch näher zu betrachtende Auswirkungen auf die deutsche Seite zu erwarten. Diese Planung sollte möglichst frühzeitig von der Nagra konkretisiert und mit den regionalen Akteuren abgestimmt werden.

NAB 22-05 enthält grundsätzlich überzeugende Darstellungen für die vorgeschlagenen Platzierungslösungen zur Oberflächeninfrastruktur. Doch sind die Angaben im Weiteren zu konkretisieren, um die Folgen der Ausgestaltung der OFA abschließend beurteilen zu können.

Erfreulich ist, dass NAB 22-05 aus Sicht der Nagra offene Themen für die weitere Zusammenarbeit anspricht (Verpackungsanlagen-Areal: Erschließung, temporäre Installationsfläche; OFA-Areal: Erschließung, temporäre Installationsfläche, Verladebahnhof, Materialbewirtschaftung) und den Kreis der Akteure benennt, deren Mitwirkung im Weiteren als erforderlich angesehen wird. Die ESchT hält neben der Fortsetzung der Beteiligung in der Standortregion Nördlich Lägern auch in der Standortregion Jura Ost eine umfassende Beteiligung aufgrund der zentralen Bedeutung der Verpackungsanlagen für den gesamten Entsorgungsprozess für dringend geboten.

3.2. Standort der Verpackungsanlagen

Die Nagra schlägt in ihrem Bericht zum Standortvorschlag [Nagra 2022a] für das geologische Tiefenlager (Kombilager) vor, dass die Verpackungsanlagen für alle Arten radioaktiver Abfälle am Standort des Zwiilag platziert werden sollen. Die Begründung der Nagra basiert auf technischen und organisatorischen Synergieeffekten wie den vorhandenen Anlagen und der Infrastruktur, aber auch den bewährten Prozessen und dem eingespielten Personal am Standort. In NAB 22-27 wird der Anstieg der Transporte als größter Nachteil der externen Verpackungsanlagen genannt (s. dazu Kap. 3.3).

Der Kanton Zürich hat sich für eine externe VA ausgesprochen mit dem Argument der Lastenteilung. Die Regionalkonferenz Nördlich Lägern hat diesbezüglich bewusst keine Aussage getroffen. Die Regionalkonferenz Jura Ost hat sich gegen eine externe Verpackungsanlage ausgesprochen. Entsprechend kann die Nagra hier nicht von einer einvernehmlichen Entscheidung ausgehen.

Die Möglichkeit einer externen Platzierung der Verpackungsanlagen war im Sachplanverfahren ursprünglich nicht angesprochen und wurde dann im Verfahren durch Entscheid des Bundesrats in Etappe 3 ermöglicht. Die Entscheidung dafür bedeutet, dass für diese Anlagen ein eigenes Rahmenbewilligungsverfahren durchzuführen ist, das wiederum mit dem des Tiefenlagers zu koordinieren ist.

Im Bericht „Schutz von Grund- und Oberflächenwasser im Fall einer BEVA bei der Zwiilag“ [NAB 22-33] stellt die Nagra auf Ansuchen des Kantons Aargau das Gefährdungs- bzw. Risikopotential für Störfälle dar und fokussiert dabei speziell auf wasserinduzierte Gefährdungen. Insbesondere werden dort die spezifischen Gefahren des Anstiegs des Grundwassers sowie der Überflutung der BEVA etwa im Falle von Starkregenereignissen untersucht. Der Bericht kommt zu dem Ergebnis, dass eine Überflutung des Standortes ausgeschlossen und ein Anstieg des Grundwassers, wenn überhaupt, nur von kurzer Dauer sei. Insbesondere könne eine Gefährdung durch Starkregen oder Schlammlawinen ausgeschlossen werden.

Einschätzung der ESchT

Die Begründung der Standortwahl für die Verpackungsanlagen bei der Zwiilag [NAB 22-27] sowie weitere detailreiche Unterlagen der Nagra enthalten grundsätzlich überzeugende Argumente für die vorgeschlagenen Lösungen zu den externen Verpackungsanlagen.

Auch wenn Flächenoptimierungen bei einer Platzierung der Verpackungsanlagen am Standort des geologischen Tiefenlagers denkbar gewesen wären, so ist der Hinweis der Nagra plausibel, dass am Zwiilag technische und organisatorische Synergieeffekte entstehen können. Inwieweit in 30 bis 40 Jahren noch von den heute bewährten Prozessen und dem eingespielten Personal profitiert werden kann, ist heute schwer abzuschätzen und zumindest für einige Aufgaben (z. B. Abfallverpackung) eine Herausforderung an Wissensmanagement und Kompetenzerhalt.

Die Gefährdungseinschätzung für die Grundwassersituation ist grundsätzlich nachvollziehbar. Fraglich ist, ob angesichts der durch den Klimawandel bedingten Zunahme von Extremwetterereignissen eine noch stärker zukunftsgerichtete Planung auch bezüglich der Verpackungsanlagen vorgenommen werden muss.

3.3. Transporte der radioaktiven Abfälle

Die Verortung der Verpackungsanlagen ist maßgeblich für die Anzahl der Transporte der radioaktiven Abfälle zum Tiefenlagerstandort und stellt damit den größten Nachteil einer externen Platzierung dar. Gemäß dem Nagra-Bericht zum Standortvorschlag [Nagra 2022a] wird eine Steigerung der Transporte von 50 % angegeben. Diese aus Sicht der ESchT sehr überschlägige Angabe ist nachfolgend für die einzelnen Abfalltransporte aufgeschlüsselt [NAB 22-27]:

- 430 HAA-Transporte statt 67 HAA-Transporte (+ 540 %),
- 8.900 SMA-Transporte statt 6.300 SMA-Transporte (+ 40 %),
- 54 SMA-Transporte mit KHV¹ Pflicht statt 32 SMA-Transporte mit KHV-Pflicht (+ 70 %).

Im Unterschied zum Nagra-Bericht NAB 20-14, in dem der Transport der radioaktiven Abfälle über die Schiene präferiert wurde, wird gemäß NAB 22-05 nun ein unterbrechungsfreier Straßentransport vorgeschlagen. Als Begründung werden die am Zwiilag und am OFA-Areal fehlenden Bahnanschlüsse genannt, was aber keine neue Situation darstellt. Nicht ersichtlich anhand der Unterlagen ist, ob mit diesem Strategiewechsel positive Effekte wie z. B. ein Sicherheitsgewinn erreicht werden können.

¹ Kernhaftpflichtversicherung

NAB 22-05 kennzeichnet drei Varianten offizieller Schwerlastastrouten für den Transport der radioaktiven Abfälle vom Zwiilag zur OFA in Haberstal. Keine dieser Routen verläuft direkt entlang der deutsch-schweizerischen Grenze. Allerdings wird auch auf die Möglichkeit der Schaffung einer weiteren möglichen Schwerlastroute entlang des Rheins durch bauliche Anpassungen hingewiesen.

In NAB 22-27 werden für die HAA-Transporte Kolonnentransporte vorgesehen. Die SMA-Transporte sollen überwiegend einzeln im regulären Straßenverkehr erfolgen. Bisher wurde der Kolonnenverkehr bevorzugt. Ggf. handelt es sich hier um einen Strategiewechsel, der noch weiterer Erläuterungen bedarf.

Einschätzung der ESchT

Die Aufschlüsselung der Transportbewegungen zeigt eine deutliche Zunahme insbesondere bei den HAA-Transporten. Generell bedeutet ein Anstieg von Transportzahlen eine Mehrbelastung für die Region durch die Transporte an sich, aber auch durch eine Erhöhung der Unfallwahrscheinlichkeit. Eine intensive Diskussion und Klärung von Sicherheitsfragen und diesbezüglicher Bedenken ist daher wichtig.

Für die deutsche Seite würde insbesondere bei Nutzung einer möglichen Transportroute entlang des Rheins die Frage von Bedeutung sein, zu welchen Belastungen es kommen könnte. Die ESchT empfiehlt, dass die Nagra zu diesen Aspekten bereits vor Einreichung der Unterlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch weitere Informationen vorlegt, und frühzeitig Lösungen mit den regionalen Akteuren erarbeitet.

Aus Sicht der ESchT sind zudem die folgenden Aspekte anhand der vorliegenden Unterlagen noch nicht vollständig nachvollziehbar:

- der Grund für den Strategiewechsel der Nagra vom Schienentransport zum Straßentransport,
- der Grund für den Strategiewechsel der Nagra von (weniger) Kolonnentransporten zu täglichen / wöchentlichen Transporten.

Hier sollte dargestellt werden, ob sich durch die veränderte Herangehensweise zusätzliche Sicherheitsmargen ergeben.

4. Referenzen

- Berger & Loutre 2002 Berger, A. & Loutre, M.-F.: An exceptionally long interglacial ahead?
Science, 297: 1287–1288; Washington, DC, 2002.
- BFE 2011 Sachplan geologische Tiefenlager – Konzeptteil
Bundesamt für Energie (BFE); Bern; April 2008 (Revision vom 30.November 2011).
- ESchT 2017 Stellungnahme der ESchT zum 2x2 Vorschlag der Nagra
Expertengruppe-Schweizer-Tiefenlager ESchT, Januar 2017.
- Loutre & Berger 2000 Loutre, M.-F. & Berger, A.: Future climatic changes: Are we entering an exceptionally long interglacial?
Climatic Change, 46: 61–90; Dordrecht. 2000.
- NAB 17-26 Braakhekke, J.J.M., Fischer, U.H. & Ivy-Ochs, S.: Effects of limestone beds on glacial hydrology, erosion, sediment transport and associated landforms: a literature review.
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; Dezember 2017.
- NAB 18-34 Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismics JO-15 (Jura Ost) in time domain
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; May 2019.
- NAB 18-35 Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismics NL-16 (Nördlich Lägern) in time domain
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; May 2019.
- NAB 18-36 Preliminary horizon and structure mapping of the Nagra 3D seismics ZNO-97/16 (Zürich Nordost) in time domain
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; May 2019.
- NAB 20-08 D.VII TBO Bülach-1-1: Hydraulic Packer Testing. Dossier VII
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen; March 2021.
- NAB 20-14 Verpackungsanlage hochaktiver Abfälle: Vor- und Nachteile verschiedener Standortvarianten
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen, Juni 2020.
- NAB 21-12 Verschlusskonzept für ein geologisches Tiefenlager
Arbeitsbericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2021.
- NAB 22-05 Vorläufige Planungsstudie zur Oberflächeninfrastruktur für das geologische Tiefenlager
Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen, September 2022.

NAB 22-27	Begründung der Standortwahl für die Verpackungsanlagen bei der Zwiilag Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen, August 2022.
NAB 22-33	Schutz von Grund- und Oberflächenwasser im Fall einer BEVA bei der Zwiilag Arbeitsbericht der Nagra; Wettingen, September 2022.
Nagra 2022a	Der Standort für das Tiefenlager. Der Vorschlag der Nagra, Wettingen, September 2022.
Nagra 2022b	Flexibilität – Zusatzinformationen zum Standortvorschlag Wettingen, September 2022.
Nagra 2022c	Qualität der Barriere – Zusatzinformationen zum Standortvorschlag Wettingen, September 2022.
Nagra 2022d	Stabilität der Barriere – Zusatzinformationen zum Standortvorschlag Wettingen, September 2022.
NTB 14-01	Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2014.
NTB 14-02 D.III	Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier III Geologische Langzeitentwicklung Technischer Bericht der Nagra, Wettingen, Dezember 2014.
RK NL 2021	Regionalkonferenz Nördlich Lägern: Stellungnahme zur Oberflächeninfrastruktur Protokoll der Vollversammlung vom 15. September 2021.
StandAG	Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 26, 15. Mai 2017.