



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Industriestrasse 19
5200 Brugg
Tel.: 056 / 460 84 00
Fax: 056 / 460 84 99

434



AN-Nummer

ENSI 33/128

Datum

4. August 2011

Aktenzeichen

33KGX.SGTE1

Typ/Charakter

Beurteilung

Klassifikation

öffentlich

Bearbeiter

T. van Stiphout / HOL

Visum

Sachbearbeiter:

Vorgesetzter:

rst
RAM

Projekt, Thema, Gegenstand (Schlagwörter)

Wellenberg, Sachplan geologische Tiefenlager, Tektonik,
Seismizität

Seiten

9

Beilage

Expertenbericht SED

Zeichnungen

Standortgebiet Wellenberg: Stellungnahme des ENSI zum Expertenbericht von Prof. Jon Mosar

Zusammenfassung

Im Rahmen der Erstellung eines Berichts zur öffentlichen Anhörung zur Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager SGT durch das BFE ist es Aufgabe des ENSI, auf die sicherheitsrelevanten Einwände einzugehen. Der Kanton Nidwalden hat seiner Stellungnahme den Expertenbericht „Beurteilung der Tektonik im Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW) hinsichtlich eines Tiefenlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle“ beigelegt, der durch Prof. Jon Mosar (Universität Freiburg/CH) im Auftrag der Baudirektion Nidwalden verfasst wurde (Mosar 2010). Mosar kommt in seinem Expertenbericht zum Schluss, dass bei einer Gesamtbewertung der Standort wahrscheinlich als ungeeignet eingestuft werden müsste.

Im Folgenden nimmt das ENSI ausführlich zu diesem Expertenbericht Stellung. Bei der Ausarbeitung der Stellungnahme wurde das ENSI ausserdem vom Schweizerischen Erdbebendienst (SED) unterstützt, welches die Aussagen von Prof. Mosar zur Seismizität überprüft hat. Der SED kommt zum Schluss, dass die Aussagen von Prof. Mosar grundsätzlich richtig sind. Eine Zuordnung der seismischen Ereignisse zu einzelnen Strukturelementen, wie sie von Prof. Mosar vorgenommen wurde, ist aufgrund der grossen Unsicherheiten in der Lokalisierung der Hypozentren aber nicht möglich. Aus den Aussagen des SED geht weiter hervor, dass der damals von der Nagra verwendete Datensatz durchaus mit den seither gemessenen seismischen Ereignissen übereinstimmt. Einzige nennenswerte Ausnahme bildet eine Reihe von kleineren seismischen Ereignissen im Jahr 2005, die im Zusammenhang mit einem Starkniederschlagsereignis in der Region stehen (rainfall-triggered seismicity). Die Stärke dieser seismischen Aktivität ist beschränkt.

Der Expertenbericht von Prof. Mosar beschränkt sich auf die Aspekte Tektonik und Seismizität. Bei einer Gesamtbewertung der Eignung des Standortgebietes müssten aber alle im Sachplanverfahren SGT geforderten 13 sicherheitstechnischen Kriterien bewertet werden, was im vorliegenden Expertenbericht nicht erfolgte.

Verteiler:

Nagra: 3 Exemplare
ENSI: AFE, GEOL, TISA, Archiv



1 Ausgangssituation

In Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) hat die Nagra sechs Standortgebiete für die sichere Lagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle vorgeschlagen. Einziger Standort innerhalb der Alpen ist der Wellenberg. Hier wurden durch die Prozesse der Alpenbildung mergelige Schichten an der Basis einer Decke mit den Mergeln im Dach der unterliegenden Decke vermengt und tektonisch akkumuliert.

Die Baudirektion Nidwalden hat im Rahmen der dreimonatigen Anhörung zu den Unterlagen zur Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager Stellung genommen. Unterstützend zu dieser Stellungnahme hatte die Baudirektion an Prof. Jon Mosar (Universität Freiburg) den Auftrag gegeben, aus seiner Sicht die tektonische und seismische Situation des Wellenbergs zu beurteilen. Prof. Mosar hat dazu einen 16-seitigen Bericht vorgelegt (Mosar 2010).

Bei der Erstellung eines ausführlichen Berichts zur Anhörung hat das ENSI die Aufgabe, diejenigen Stellungnahmen, die die Sicherheit betreffen, zu bewerten und die angesprochenen Argumente fachlich zu würdigen. Diese Aktennotiz nimmt zur geologischen Beurteilung durch Prof. Mosar Stellung. Das ENSI hat den Bericht von Prof. Mosar mit der Bitte um Kommentierung auch dem Schweizerischen Erdbebendienst (SED) vorgelegt. Die Resultate dieser Kommentierung sind in diese Aktennotiz eingeflossen, die SED-Stellungnahme ist als Anhang dieser Aktennotiz beigelegt.

2 Hauptkommentare des ENSI

Mosar (2010) kommt zum Schluss (S. 15), dass der Standort Wellenberg aus Sicht der Tektonik ein „ungünstiger“ Standort für die Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen ist und dass bei einer „Gesamtbewertung“ der Standort wahrscheinlich als ungeeignet eingestuft werden müsste. Wie im Titel der Beurteilung ausgeführt, beschränkt sich die Beurteilung von Mosar (2010) auf die Tektonik. Die Betrachtungen umfassen dabei auch die Neotektonik und die rezente Erdbebenaktivität in der grösseren Umgebung des von der Nagra vorgeschlagenen Standortgebiets Wellenberg. Sie entsprechen jedoch keiner Gesamtbewertung gemäss den Vorgaben des Sachplans geologische Tiefenlager SGT, die eine Bewertung aller 13 sicherheitstechnischer Kriterien verlangen.

Durch die Nagra wurde das Standortgebiet Wellenberg anhand der 13 vom ENSI im SGT definierten sicherheitstechnischen Kriterien als sehr günstig bis bedingt günstig eingestuft (NTB 08-04). Bei der Überprüfung zeigte sich, dass das ENSI den Standort in vier von 13 Aspekten ungünstiger als die Nagra einstuft (ENSI 33/070). Die von Mosar (2010) beurteilte „Tektonik“ würde sich aus Sicht des ENSI in den Kriterien 1.4 (Freisetzungspfade), 2.1. (Beständigkeit der Standorteigenschaften) und teilweise 2.2 (Erosion) widerspiegeln. Diese wurden seitens der Nagra als günstig sowie durch das ENSI als günstig bis bedingt günstig eingestuft. Die von Mosar (2010) vorgenommene Einstufung als „ungünstig“ wird durch keinen absoluten oder relativen Massstab begründet, wie sie ihn die Nagra in NTB 08-05 darlegt und vom ENSI als plausibel akzeptiert worden ist.

Der Hinweis auf die starke tektonische Beanspruchung und Durchbewegung des Wirtgesteins bzw. der Wirtgesteine am Wellenberg ist aus Sicht der Nagra als Teil der inhärent vorhandenen Eigenschaften des Wirtgesteins zu verstehen, und sogar für die geringe hydraulische Durchlässigkeit des Wirtgesteinskörpers als wichtige Voraussetzung anzusehen. Die Nagra hat in ihrer Geosynthese zum Wellenberg (NTB 96-01) darauf hingewiesen, dass die in den Bohrungen gemessene Unterdruckzone im Wirtgesteinskörper und die sehr geringe hydraulische Durchlässigkeit in diesem Bereich dadurch begünstigt wird, dass die in den Mergelgesteinen vorkommenden



Kalk- und Kalkmergelbänke durch die tektonisch intensive Deformation in ihrer Kontinuität zerstört worden sind und damit als potenzielle wasserführende Elemente nicht mehr wirksam sind. Hierin unterscheidet sich der Wellenberg konzeptuell von allen Standortgebieten der Nordschweiz, in denen grundsätzlich eine möglichst geringe tektonische Überprägung gesucht wird.

Ebenso im Unterschied zu den nordschweizer Standortgebieten hat die Nagra aufgrund der inhärent vorhandenen starken tektonischen Beanspruchung des Wirtgesteinskörpers das Kriterium eines 200 m grossen Abstandes zur nächstgelegenen Störungszone am Wellenberg nicht angewendet (vgl. Abb. 7 in Mosar 2010). Dies ist in den Nagra-Berichten (NTB 08-03, NTB 08-04) offen dargelegt. Das ENSI hat in Analogie zu den nordschweizer Standortgebieten jedoch dieses Abstandskriterium auch am Wellenberg angewendet indem zu den potenziell wasserführenden Deckengrenzen der angrenzenden Kalkgesteine ein zusätzlicher Abstand von 200 m einzuhalten ist. Die Nagra hat in einer detaillierten Studie (NAB 09-31) aufgezeigt, dass am Wellenberg auch unter diesen Anforderungen ein genügend grosses Platzangebot für ein Tiefenlager vorhanden ist.

Das ENSI stellt fest, dass die von Mosar (2010) vorgenommene Analyse der tektonischen Situation am Wellenberg nur wenig von derjenigen abweicht, die das ENSI selbst vertritt. Das ENSI weist jedoch darauf hin, dass die Nagra in NTB 96-01 eine sorgfältige Analyse der Störungen im gesamten Standortgebiet und dessen Umgebung vorgenommen hat. In diese Analyse eingeschlossen sind auch die strukturgeologischen Informationen aus Oberflächenkartierungen und sechs Tiefbohrungen. Dabei wurden die kartierten Störungen in verschiedene Klassen unterteilt und auf ihr Potenzial eines langfristigen Einflusses auf den Standort Wellenberg diskutiert. Dies wird in Mosar (2010) nicht berücksichtigt. Mosar (2010) verweist korrekterweise darauf hin, dass die in den Profilen der Nagra eingezeichneten flach liegenden Aufschiebungen mit den ebenso räumlich flach liegenden Aufschiebungen am Nordrand des Aar-Massivs verbunden werden können. Die in Abb. 2 in Mosar (2010) vorgenommenen Verbindungen müssen jedoch als hypothetisch bezeichnet werden; es wären innerhalb der gleichen Figur auch andere Verbindungen möglich. Dass tatsächlich eine solche Überschiebungsbahn durch den Wirtgesteinskörper des Wellenbergs führt (wie in Mosar, 2010, in Abb. 7 postuliert), bleibt ebenfalls hypothetisch. Dass dabei die hypothetische Störungslinie den Wirtgesteinskörper auf Höhe des Vorfluters schneidet, ist aus Sicht des von der Nagra gemäss NTB 08-03 deutlich unterhalb des Vorfluters angelegten Lagers nicht als unmittelbare Gefahr für die Sicherheit eines Lagers zu betrachten.

In Mosar (2010) werden schlussendlich über die geologischen Profile mit den hypothetischen Überschiebungsbahnen Erdbebenverteilungen gelegt und es wird ausgesagt, dass diese Darstellung „eindrücklich den möglichen/wahrscheinlichen Zusammenhang zwischen Erdbeben (also rezenter Tektonik) und jüngeren Überschiebungen“ veranschaulicht. Das ENSI vertritt hier eine teilweise abweichende Meinung. Es stellt fest, dass

- (a) weder die von Mosar eingezeichneten Hypozentren noch die hypothetisch eingezeichneten Überschiebungsbahnen so genau sind, dass eine eindeutige Zuordnung möglich ist,
- (b) die in seichter Tiefe vorkommenden aufgereihten Hypozentren nicht einer flachliegenden Störungszone folgen, sondern eher ein Artefakt einer Minimaltiefe, bzw. Standardtiefe für die Hypozentren darstellt,
- (c) bei den Hypozentren die Fehlerellipsen der Lokalisierung nicht berücksichtigt wurden (diese sind mit grossen Unsicherheiten behaftet) und
- (d) viele der in der Darstellung eingezeichneten Erdbeben lateral aus zum Teil weit von der Profillinie entfernten Regionen hineinprojiziert worden sind. Angesichts der nicht vorhandenen Zylindrizität der helvetischen Decken (man beachte die laterale Variabilität, die in Mosar (2010) auch aus Abb. 1 sichtbar wird), ist damit auch eine Extrapolation der von



Mosar (2010) eingezeichneten Überschiebungsbahnen kaum möglich. Das ENSI stellt fest, dass in Abb. 6 die drei oberflächennahen Erdbeben-Cluster alle mehr als 10 km östlich der dargestellten Profillinie lokalisiert wurden, in einem Fall sogar östlich des Reusstales.

3 Kommentare zu Details

Im Folgenden listet das ENSI Details auf, die bei der Lektüre von Mosar (2010) aufgefallen sind und zu der allenfalls aus der bestehenden Literatur (Nagra-Berichte, ENSI-Gutachten und –Stellungnahmen, Fachliteratur) anders lautende Argumente zur Verfügung stehen.

1. In Mosar (2010) wird auf S. 2 gesagt, dass das Standortgebiet Wellenberg eine Fläche „von rund 6 km²“ aufweist. Diese Angabe ist nicht korrekt und wurde vermutlich aus NTB 08-03 (S. 344) entnommen, wo die Fläche des Standortgebietes Wellenberg falsch angegeben wurde. Die Fläche beträgt 16 km² und ist z.B. in NTB 08-04 korrekt angegeben.
2. Gemäss Auftrag der Baudirektion Nidwalden soll vom Experten unter Anderem „die Qualität der Datengrundlage und deren Genauigkeit“ dargestellt werden. Das ENSI bedauert, dass dieser Punkt im Expertenbericht nicht berücksichtigt wurde. Ebenso fehlt eine „Zusammenstellung der Untersuchungen, welche gemacht werden müssten, um die vorhandenen Lücken zu schliessen“. Es gibt Hinweise zu ergänzenden Untersuchungen (z.B. S. 12, oberhalb von Abb. 6, oder S. 13, Hinweis auf Sondierstollen), aber diese bleiben wenig konkret.
3. In Mosar (2010), S. 5 (letzte Zeile) wird auf „grossräumige Störungen“ hingewiesen. Dem ENSI ist nicht klar, was mit „grossräumigen Störungen“ hier gemeint ist. Die Nagra hat in NTB 96-01, ab S. 109, eine Darstellung aller kartierten Störungen und eine Klassierung dazu präsentiert. Dazu zählen nicht die hypothetischen Störungen, wie sie z.B. in Abb. 4 in Mosar (2010) dargestellt sind. Auf die Darstellung der Störungen und die von der Nagra vorgenommene Klassierung wird im Bericht von Mosar (2010) nicht eingegangen (obwohl die kartierten Störungen die Basis der hypothetischen Störungen bilden sollten).
4. In Mosar (2010), S. 6, Abb. 2 wird die Beilage 4.5-1 aus NTB 96-01 mit durchgezogenen Überschiebungsbahnen ergänzt, die prominente Versätze am Nordrand des Aar-Massivs mit ebensolchen am Übergang zwischen nordhelvetischem Flysch und den auflagernden helvetischen Decken verbinden. Diese Verbindungslinien sind hypothetisch und ergeben sich nicht eindeutig. Es fällt auf, dass dabei auch unterschiedliche Versätze miteinander verbunden werden. So hat z.B. die zweitoberste Überschiebungsbahn am Aar-Massiv-Nordrand einen horizontalen Versatz von etwa einem Kilometer, während der Versatz der gleichen Linie an der Oberfläche des anschliessenden nordhelvetischen Flysches weniger als 200 m beträgt. Gleiche Ungereimtheiten finden sich bei zwei Überschiebungsbahnen weiter unten. Die Schlussfolgerungen des ENSI sind, dass die Darstellung modellhaft ist oder dass entlang dieser Überschiebungsbahnen mit starker interner Deformation innerhalb der durchquerten tektonischen Einheiten gerechnet wird. Dies würde allerdings das Argument eines Deformationstransfers entlang der Überschiebungsbahnen in das Helvetikum stark relativieren. Es stellt sich schlussendlich auch die Frage, inwiefern die von der Nagra Mitte der 90er-Jahre konstruierten Profile dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Das ENSI wird dazu die neusten Arbeiten von Pfiffner et al. 2010 zum Vergleich heranziehen.



5. In Mosar (2010), S. 8, wird ausgesagt, dass die Wasserführung im Wirtgestein an spröde Brüche gebunden ist. Dies stimmt mit den Angaben der Nagra (NTB 96-01 S. 190) nur teilweise überein: Neben dem Fliesssystem Störungszonen (55%) werden von der Nagra auch Wasserfliesssysteme entlang diskreter Scherzonen (7%), entlang von Kalkmergel-/Kalkbänken (31%) und entlang offener Trennflächen (6%) beschrieben. Das ENSI hat die Fliesssysteme zusammen mit externen Experten überprüft und kommt zu etwas differenzierteren Schlussfolgerungen (HSK 30/13), indem sie feststellt, dass die wichtigste Wasserwegsamkeit in den kompetenten Abfolgen der Mergelformation zu beobachten sind (zerscherte Kalk- und Kalkmergelbänke und Zonen mit Kalzitadernetzwerken), was auf das besonders spröde rheologische Verhalten dieser karbonatreichen Lithologien zurückzuführen ist. Weitere relevante Faktoren wie die Tiefenabhängigkeit der Durchlässigkeiten (NTB 08-04, S. 177), die Unterdruckzone (NTB 08-04, S. 181; NTB 96-01, S. 347) mit sehr geringen Durchlässigkeiten und hochsalinen NaCl-Porenwässern (stagnierende Wässer mariner Herkunft, metamorphe Restlösungen) und das Selbstabdichtungsvermögen (NTB 08-04, S. 182) des Wirtgesteins sollten eine solche Aussage begleiten. Gemäss den Daten der Nagra ist die Durchlässigkeit bei einer Überdeckung >400 m sehr gering, die ausgeprägte Unterdruckzone mindestens seit der letzten Eiszeit vorhanden und die ausgeprägten Selbstabdichtungseigenschaften aufgrund des hohen Tongehaltes gegeben. Aufgrund dieser Befunde ist daher auch in tektonisch gestörten Partien im für Endlager relevanten Wirtgesteinsbereich mit geringen hydraulischen Durchlässigkeiten zu rechnen.
6. Gemäss Mosar (2010) ist es „nicht ganz zutreffend“, dass die jüngere Spröddeformation keine wesentliche Änderung der grossräumigen Geometrie bewirkt hat, wie die Nagra angibt. Das von Mosar (2010) dazu angeführte Vorkommen von Überschiebungsbahnen, die den gesamten Deckenstapel durchschneiden, wird jedoch auch nur mit „wahrscheinlich“ bezeichnet, d.h. es ist aufgrund von Erfahrungen anderswo oder von konzeptuellen Überlegungen hergeleitet worden (Mosar gibt keine Herkunft der Information an). Was jedoch zuerst „wahrscheinlich“ ist, wird im nächsten Satz bereits als Faktum weitergeführt, wenn darauf hingewiesen wird, dass eine tektonische Verbindung zwischen dem Aar-Massiv und dem helvetischen Deckenstapel „besteht“. Diese Zusammenhänge sind aus Sicht des ENSI grundsätzlich möglich und werden in vielen Profilen der Alpen nördlich der Zentralmassive eingezeichnet. Deren Lage im Untergrund kann aber, wenn nicht aufgrund von geometrischen Überlegungen zwingend vorgegeben („balanced cross sections“) oder aufgrund zylindrischer Projektionen plausibel nachvollziehbar, nur ungenau vorausgesagt werden.
7. Die von Mosar (2010) eingezeichnete Verbindung zwischen Aar-Massiv und dem helvetischen Deckenstapel soll nach diesem Autor aufgrund der Hebung des Aar-Massivs tektonisch aktiv sein (Neotektonik). Die Hebungsbeträge im südlich davon anschliessenden Aar-Massiv betragen gemäss geodätischen Messungen 0.6 – 0.8 mm/a. Vorausgesetzt, dass dieser Betrag komplett durch Bewegungen an den eingezeichneten flachen Überschiebungsbahnen zustande kommt, müsste die horizontale Bewegung entlang dieser Überschiebungsbahnen ein Vielfaches davon betragen. Solche Beträge sind aus den GPS-Messungen (z.B. NTB 99-08) aber nicht bekannt. Sue et al. 2007 und Delacou et al. 2004 haben gezeigt, dass die aktuellen Erdbebenmuster im Alpenraum auf Extension in den zentralen Bereichen und Kompression in den Orogenrändern hindeuten (Auswertung von Herdflächenlösungen von Erdbeben). Diese Ergebnisse werden von Mosar (2010) nicht berücksichtigt.
8. In Mosar (2010), S. 9, wird gesagt, dass in den Bohrungen der Nagra Fremdgesteinskörper (Schollen) „nicht systematisch angetroffen“ wurden. Diese Aussage ist aus Sicht des



ENSI irreführend, da in den Bohrungen der Nagra innerhalb des Wirtgesteinskörpers überhaupt keine Schollen angetroffen wurden. Einzig unterhalb des Wirtgesteins wurde die Wissberg-Scholle in den Bohrungen SB1 und SB3 nachgewiesen (NTB 96-01, S. 51, Fussnote 8).

9. In Mosar (2010), S. 11, wird auf „grosse, steilstehende Störungen“ hingewiesen, die „alle Decken-verbindernde Strukturen durchschneiden“ und Teil der Neotektonik sind. Es wird jedoch nicht dargelegt, auf welche Fakten sich die neotektonische Aktivität begründen lässt. Die Nagra zeichnet in ihren Profilen in Abb. 4 in Mosar (2010) entsprechende subvertikale Strukturen ein, diese sind jedoch nur gestrichelt, d.h. sie beruhen nicht auf eigentlich kartierten Störungen an der Oberfläche oder in Bohrungen, sondern auf lateral gemachten Beobachtungen oder Vermutungen. Mosar (2010) legt nicht dar, auf welche Strukturen er sich bezieht, er erklärt aber, dass es sich durchwegs um spröde Brüche handelt, obwohl weder die Sondierbohrungen noch die Reflexionsseismik diese Brüche erfasst haben. Tatsache ist jedoch, dass das Vorhandensein solcher tektonisch aktiver Störungen im Widerspruch zu aktiver Tektonik entlang der in Abb. 2 und 6 gezeichneten Überschiebungsbahnen stehen würde: Entweder werden diese Überschiebungsbahnen durch die vertikalen Störungen versetzt und nachfolgende Bewegungen müssten ein komplexes Muster von Störungen produzieren. Oder die vertikalen Störungen sind nicht aktiv genug, um die Überschiebungsbahnen in ihrer Bewegung zu unterbrechen.
10. In Mosar (2010), S. 11, wird festgehalten, dass die Lage der Strukturen im Untergrund „oft schlecht bekannt oder nicht eindeutig“ ist und es deshalb schwierig ist ein „aussagekräftiges Modell abzuleiten“. Trotzdem zeichnet Mosar (2010) in Abb. 2 und 6 entsprechende Strukturen ein und stellt fest, dass mit überlagerten Erdbeben-Hypozentren „eindrücklich“ ein Zusammenhang zwischen Erdbeben und jüngeren Überschiebungen veranschaulicht werden kann. Diese Aussage ist aus Sicht des ENSI nicht nachvollziehbar.
11. Die von Mosar (2010), S. 11, angegebenen Hebungsraten von 0.5 mm/a im Gebiet des Wellenbergs sind korrekt, nicht korrekt ist der Verweis auf Hebungsraten von bis zu 1.5 mm/a in den Zentralalpen, denn die Zentren maximaler Hebung liegen nicht beim Wellenberg, sondern in den Gebieten um Chur und Brig. In Richtung des von Mosar angegebenen Azimuts (131°, diese Zahl wird nicht mit einer Referenz belegt), sind die heutigen Hebungsraten (surface uplift) bei 0.6 bis 0.8 mm/a. Die weiter herangezogenen „verschiedenen Vergleiche“ werden nicht weiter ausgeführt und sind daher nicht nachvollziehbar. Die Tatsache, dass die Kompression im alpinen Gebirge anhält, lässt sich aus Sicht des ENSI aufgrund der Herdflächenlösungen am Alpenrand gut zeigen. Dass dadurch eine Überschiebungsbahn durch den Wirtgesteinskörper verläuft, ist damit aber nicht gezeigt. Man könnte aufgrund der vor allem am Alpenrand auftretenden Kompressionserdbeben eher davon ausgehen, dass die Überschiebungsbewegungen unterhalb des Wirtgesteinskörpers in einem tieferen Stockwerk verlaufen.
12. In Mosar (2010), S. 11, wird auf die Erdbeben im grösseren Umfeld des Wellenbergs hingewiesen. Tatsächlich ist die in Abb. 6 dargestellte Erdbebenverteilung aus NTB 96-01 übernommen worden, welche zum Zweck der Darstellung der Tiefenverteilung der Erdbeben erstellt wurde. Die Erdbeben sind dazu von weit seitlich auf einer Profilebene gesammelt worden. Dies heisst jedoch nicht, dass diese Erdbeben alle auf dieser Projektionsfläche an einer einzigen Struktur stattgefunden haben. Die Darstellung im Expertenbericht des SED illustriert, dass die Erdbebenverteilung aus den Jahren 1995-2007 ganz ähnlich aussieht. Ob man also den von der Nagra in NTB 96-01 verwendeten Datensatz oder einen aktuelleren verwendet, ist ohne Belang. Ein einziger Aspekt, der in der damaligen Darstellung der Nagra unbeachtet geblieben ist, ist das Auftreten von oberflächennahen seismischen Ereignissen aufgrund von Starkniederschlägen, wie es 2005 im Ge-



biet des Wellenbergs beobachtet worden ist (Husen et al. 2007). Auch hier sind aufgrund der damaligen Verteilung der Seismometer die Fehlerellipsen zur Hypozentrenlokalisierung jedoch sehr gross (siehe Expertenbericht SED).

13. Die Darstellung der Erdbeben in Abb. 6 erfolgt mit Kreisen, deren Radien stufenweise die Stärke des entsprechenden Erdbebens angeben. Ohne Relokalisierung mithilfe eines dichten, lokalen Netzwerk aus Seismometer, bleibt die Unsicherheit in der Bestimmung der Herdtiefe zu gross (siehe Expertenbericht des SED) und erlauben daher keine eindeutige Zuordnung zu Bruchzonen, so auch nicht zu einer flach liegenden Überschiebungsbahn. Die horizontal angeordneten Cluster sind eher ein Artefakt durch eine für die Hypozentren gewählten Minimaltiefe. Die Nagra (NTB 96-01, S.147ff.) sieht die Gefährdung des Endlagers durch Erdbeben auch als zentralen Aspekt an und berücksichtigt dies in der Sicherheitsanalyse. Zudem bewertet die Nagra die Seismizität für diesen Standort als bedingt günstig (NTB 08-03, S.414).
14. In Mosar (2010), S. 12, wird davon gesprochen, dass zur Untermauerung der Aussage der Nagra „die Datenlage wesentlich verbessert werden“ muss. Es ist für das ENSI nicht klar, welche Datenlage hier gemeint ist und welche Methoden der Berichtersteller zur Verbesserung vorschlägt.
15. In Mosar (2010), S. 12 (Anhang Kap. 4) wird darauf hingewiesen, dass die Nagra neuere Daten erhoben hat, um ein in der Qualität gutes 3D-Blockmodell des Wellenbergs zu erstellen. Das ENSI vermutet (da vom Berichtersteller nicht angegeben), dass sich die Aussagen auf NAB 09-31 beziehen. Das ENSI bedauert, dass dieses aktuelle 3D-Blockmodell nicht in die Beurteilung eingeflossen ist.
16. Der in Mosar (2010) herangezogene und von der Nagra nur für die Nordschweizer Standortgebiete definierte Sicherheitsabstand zu potenziell wasserführenden Störungszonen von 200 m wird hier nicht korrekt angewendet. Die Nagra selbst hat in NTB 08-04 darauf hingewiesen, dass eine Anwendung im Wellenberg nicht möglich ist, da der geringdurchlässige Wirtgesteinskörper ja das Resultat einer intensiven tektonischen Überprägung ist (tektonische Akkumulation), welche im tieferen Bereich zu dieser geringen Durchlässigkeit geführt hat. Damit ist auch die von Mosar (2010) gezogene Schlussfolgerung, dass „kein Raum mehr für ein Tiefenlager“ bleibt, nicht nachvollziehbar. Um dem Aspekt des Sicherheitsabstandes Rechnung zu tragen, hat das ENSI in seinem Gutachten festgehalten, dass es sinngemäss diesen Aspekt auch beim Wellenberg berücksichtigt, indem ein entsprechender Sicherheitsabstand zu den durchlässigen Kalkgesteinen der angrenzenden Deckeneinheiten einzuhalten ist.
17. Mosar (2010), S. 14, vermerkt aufgrund seiner Betrachtung, dass die „Störungen schlecht bekannt und ihre Lage, Orientierung und Grösse“ nur „vermutet werden“ kann. Dieser Aussage folgend ist es aus Sicht des ENSI unerwartet, dass der gleiche Autor in den Abbildungen 2 und 6 Störungen eintragen kann und in Abb. 6 dann dazu feststellt, dass die Erdbeben-Cluster mit diesen Störungen zusammen fallen. Aus Sicht des ENSI werden dabei die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen am Wellenberg (detaillierte geol. Karte, sechs Bohrungen) nicht in vollem Umfang berücksichtigt.
18. Die von Mosar (2010) als „potenzielle Endlagerzone“ bezeichnete Stelle im Wirtgesteinskörper entspricht dem früheren Endlagerkonzept der 90iger Jahre mit einem horizontalen Zugangstollen von der Talsohle aus. In NTB 08-04 (S. 344) sagt die Nagra aus, dass sie das Lager deutlich tiefer unterhalb der Talsohle platzieren will. Die Darstellung in Abb. 7 ist somit nicht mehr aktuell.



19. In Mosar (2010), S. 15, wird im dritten Abschnitt darauf hingewiesen, dass es für die steil stehenden regionalen Störungen nur spärliche Evidenz gibt. Der Autor sagt nicht, welche Evidenz hier gemeint ist. Jedoch steht die Aussage in Widerspruch zur Aussage im 2. Abschnitt auf S. 11, wo die steil stehenden Störungen als Tatsache und als Beweis für neotektonische Aktivität dargestellt werden.
20. In den Schlussfolgerungen in Mosar (2010), S. 15, wird resümiert, dass zeitliche wie auch genetische Zusammenhänge zwischen Erdbeben, Hebung/Erosion und Bildung offener Klüfte „ungeklärt“ bleiben. Es ist aus Sicht des ENSI nicht nachvollziehbar, dass der Berichtersteller in Abb. 6 dann trotzdem einen solchen Zusammenhang als „eindrücklich veranschaulicht“ darstellt.
21. Im Fazit des Berichts (S. 15) wird der Wellenberg aus Sicht der Tektonik als ungünstig für die Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen eingestuft und in der Gesamtbewertung „nicht als rundum günstig“. Bei einer Gesamtbewertung der Eignung des Standortgebietes müssten aber alle im Sachplanverfahren SGT geforderten 13 sicherheitstechnischen Kriterien bewertet werden, insbesondere die hydraulische Durchlässigkeit, was im vorliegenden Expertenbericht nicht erfolgte.

4 Anlage

- Expertenbericht des SED vom 12. Mai 2011 zu Mosar (2010)

5 Referenzen

- Delacou B., Sue C., Champagnac J.D., Burkhard M. (2004): Present-day geodynamics in the bend of the western and central Alps as constrained by earthquake analysis. *Geophysical Journal International* 158, 753-774. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2004.02320.x.
- ENSI 33/070: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag geologischer Standortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, 2010.
- HSK 30/13: Geosynthese Wellenberg NTB 96-01 : Beurteilung der Wasserfließwege, ENSI, Technische Beurteilung, Villigen, 1999.
- Husen S., Bachmann C., Giardini D. (2007): Locally triggered seismicity in the central Swiss Alps following the large rainfall event of August 2005. *Geophysical Journal International* 171, 1126-1134. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2007.03561.x.
- Mosar J. (2010): Beurteilung der Tektonik im Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW) hinsichtlich eines Tiefenlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle, Expertenbericht Département de Géosciences, Université de Fribourg, Fribourg.
- NAB 09-31: Geologisches 3D-Modell Wellenberg, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Arbeitsbericht, Wetztingen, 2009.
- NTB 08-03: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager – Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wetztingen, 2008.



- NTB 08-04: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager – Geologische Grundlagen (Textband & Beilagenband), Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 08-05: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie; Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2008.
- NTB 96-01: Geosynthese Wellenberg 1996: Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 1997.
- NTB 99-08: Geologische Entwicklung der Nordschweiz; Neotektonik und Langzeitszenarien Zürcher Weinland, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra Technischer Bericht, Wettingen, 2002.
- Pfiffner O.A., Burkhard M., Hänni R., Kammer A., Kligfield R., Mancktelow N.S., Menkveld J.W., Ramsay J.G., Schmid S.M., Zurbruggen R. (2010): Structural Map of the Helvetic Zone of the Swiss Alps, including Vorarlberg (Austria) and Haute Savoie (France), ohne Erläuterungen, Tektonische Karte swisstopo, Wabern.
- Sue C., Delacou B., Champagnac J.D., Allanic C., Tricart P., Burkhard M. (2007): Extensional neotectonics around the bend of the Western/Central Alps: an overview. *International Journal of Earth Sciences* 96, 1101-1129. DOI: 10.1007/s00531-007-0181-3.



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



SED

Schweizerischer Erdbebendienst
Swiss Seismological Service

Prof. Dr. Domenico Giardini
Director, Swiss Seismological Service
ETH, NO H69.1, Sonneggstr 5
CH-8092 Zürich, Switzerland

Tel.: + 41 44 633 26 10 / 2605 (secr).
Fax: + 41 44 633 10 65
giardini@sed.ethz.ch
www.seismo.ethz.ch

Zürich, May 12, 2011 .

Dr. Thomas van Stiphout
Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Sektion Geologie
Industriestrasse 19
CH-5200 Brugg

SED evaluation of the report “Beurteilung der Tektonik in Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW) hinsichtlich eines Tiefenlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle“, by Jon Mosar

Dear Dr. Van Stiphout, dear Thomas,

On January 26, 2011, ENSI requested the SED evaluation of the report by Jon Mosar titled “Beurteilung der Tektonik in Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW) hinsichtlich eines Tiefenlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle”. You find below the SED evaluation. A more detailed analysis of the seismicity of the past 15 years and its connection to the active tectonics, would require a several man-months effort by senior scientists of the SED.

In order to perform this evaluation and define the SED position, the following steps were undertaken:

- ✓ The report was reviewed by Dr. N. Deichmann, Dr. St. Husen and Prof. E. Kissling, in addition to myself.
- ✓ Deichmann traveled to Freiburg on February 1 and interviewed Mosar on various items, including figures and statements in the report.
- ✓ The SED group met on February 5 to evaluate the Mosar report, looking also at additional material and reports issued from NAGRA, and to formulate the present evaluation.
- ✓ New figures (attached) have been produced by Husen and his group, depicting in map view and in cross sections the location and the associated location uncertainties of recent seismicity around the Wellenberg area (2001-2010), relocated with the NonLinLoc algorithm using only P-wave arrivals with a 1D local velocity model and station corrections.

As we did not have the chance to evaluate the original report submitted by NAGRA to ENSI for the site selection for the deep geological repository, the considerations below are largely based on the report by Mosar and his inferences on the NAGRA analysis.

As a general comment, the Mosar report raises questions on the process followed by NAGRA to elicit the relevant geological and seismological expertise, and on the robustness of its conclusions, and it's possible that these questions may be raised also for other selected sites.

NAGRA completed a lengthy and well documented selection process, identifying the Wellenberg as a suitable site for the deep geological repository, identifying seismic risk as an important but not excluding factor for this site. However, soon after the publication of the selected sites Jon Mosar – a leading Swiss geologist – used the same data collected by NAGRA to arrive to the opposite conclusion. This points out that the expert elicitation procedures adopted by NAGRA need to be strengthened, to make sure that the the whole informed technical community is included in the analysis.

With specific reference to the seismic hazard issues, we note that the different level of sophistication observed between the discussions and expert elicitations in PEGASOS-PRP and the discussions we have seen so far on the selection of the deep geological repository, is likely to result in inconsistencies and contrasts.

Finally, the SED pointed out in previous discussions with ENSI as well as in an expert hearing organized by NAGRA, that the shallow seismic activity and the potential surface faulting will play a significant role in the identification of a suitable site for the deep geological repository. The reassuring position of NAGRA, publicly expressed in the brochure “Erdbeben: keine Gefahr für Tiefenlager” (2010), can be easily questioned, as it is done in the Mosar report. The SED is ready to help ENSI in the assessment of the seismic risk.

With best regards

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D Giardini', with a long horizontal stroke extending to the right.

Domenico Giardini

Technical comments on the report “Beurteilung der Tektonik in Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW) hinsichtlich eines Tiefenlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle“, by Jon Mosar

Mosar wrote a clear and well explained report, based largely on information and data already published by NAGRA in the NTB 96-01, adding only few personal interpretations on the fault geometry in the region and the association to observed and potential seismic activity. The seismicity data are also taken from NTB 96-01 and simply superimposed on the geological cross-sections. The seismicity data in NTB 96-01 was taken from the NAGRA Internal Report 93-35 (cfr. Figures 3.7-3.8). Overall, the information used by Mosar is over 15 year old and does not take into account more recent information, such as NAGRA NTB 00-05 or the seismicity data collected by SED in the last 15 years.

On the basis of the information already published by NAGRA, Mosar formulates three conclusions:

1. The Alpine front in the Wellenberg section is tectonically and seismologically active.
2. Although it is not possible to univocally associate earthquakes to specific faults, the whole Wellenberg area is prone to shallow earthquake activity.
3. It will be impossible, or at least very difficult, for NAGRA to find a location for the deep geological repository under the Wellenberg, respecting the prescribed safety distance of 200m from every potentially active, seismogenic fault.

With the possible exception of the third point, which would require most robust evidence to be confirmed, the conclusions of Mosar are judged by SED to be reasonable and acceptable, and to conform to already well known evidence and knowledge.

SED evaluation of the local seismicity in the Wellenberg area

The Alpine front is indeed tectonically and seismically active, with a well recognized seismicity. When looking at a North-South cross section, seismicity increases sharply in correspondence to the Alpine front and becomes shallower, and is distributed in the shallower crustal layers (up to 12km depth) including the sedimentary upper layers.

Paleoseismic investigations in the sediments of the lakes Zurich and Lucerne provided indications for 3 large earthquakes in the last 15'000 years, in the M7 magnitude range, whose location is attributed with a large probability to beneath the Alpine front.

The determination of focal depth of local seismicity is difficult without local data collected by a high-quality, dense seismic network and local 3D velocity information. In the past NAGRA operated a three-station local array in the Wellenberg area, whose data served for the preparation of the 93-35 Interner Bericht; the stations have since been dismantled and only one SDS-Net station (Banalp) is located within a distance of about 10 km from the area of interest. Hypocenter locations available today are produced by the SED using the NonLinLoc algorithm using a specific 1D local velocity model and station corrections, showing a depth uncertainty of around 2-5 km (see attached figures). A detailed relocation and analysis of the seismic sequence of Oberrickenbach of 1996 is included in the NAGRA NTB00-05, and locates the earthquakes at a shallow depth within the sediments.

The association of individual earthquakes to specific faults is hardly possible, because:

- The deep geometry of faults is known only with large approximation; the lines drawn in the NAGRA NTB 96-01 and reported by Mosar are based on geological interpretations of shallow evidences and an overall geological model, and not on seismic profiles or geophysical investigations.

- Without the help of a dense local network, the depth uncertainty of the routinely obtained hypocenter locations is too large to allow a specific association of earthquakes and faults in the region.
- Well determined focal mechanisms for events of the last thirty years show a predominance of strike-slip mechanisms, with very few, small thrust events, with shallow focal depths; it is very difficult to identify buried strike-slip faults, and the association of strike-slip events to thrust fault geometry is very problematic.

The geological setting around the Wellenberg is very complex, and a detailed mapping of the different lithological units would be required for a more accurate earthquake location, using rays propagated in a locally calibrated 3D velocity model.

The Mosar report uses data from the NTB96-01 report, and the rain-induced seismicity of summer 2005 is therefore not included. The possible role of fluids in the genesis of the shallow earthquakes has already been proposed in the literature, and the presence of rain-induced events in the earlier dataset plotted by Mosar cannot be excluded without a careful investigation. The lithological properties in the Wellenberg area (mainly flysch and limestone) make it an ideal target for rain-induced seismicity. During the 2005 rain-induced crisis, the area experienced a few induced earthquakes, which were partly felt by the local population.

Figure Captions

Seismicity in the area of Stans/Engelberg (Wellenberg) between January 2001 and September 2010.

Figure 1 shows an overview of the area. In total, there are 210 earthquakes. The size of the red circles symbolize the magnitude of the earthquakes. Black triangles show locations of seismic stations.

Figure 2a shows horizontal and vertical cross sections of the whole area. Blue stars represent the maximum likelihood locations of the earthquakes. Figure 2b is the same as figure 2a, but only for earthquakes with minimum 8 P phase readings and a GAP of maximum 160 degrees, which results in 105 remaining earthquakes.

Figure 3 focuses on a smaller part of the area above, with 20 earthquakes. The ellipsoid shows the 68% confidence for one representative event with 9 P phase readings, GAP 119 deg, distance of closest station 21 km.







