

# **Sachplan geologische Tiefenlager**

## **Gutachten bezüglich Seismizität im Standortgebiet Wellenberg**

**Beurteilung der geologischen Profile und der Erdbebengefährdung im Standortgebiet Wellenberg sowie Stellungnahme zum Gutachten von Prof. Jon Mosar**

Erstellt im Auftrag der Baudirektion des Kantons Nidwalden

Abgabe am 10. Februar 2014

Bearbeiter: Prof. Dr. Gerhard Jentsch  
Annetenstr. 2  
D-53175 Bonn  
Tel. 0228-81287550 Fax: 0228-81287552

# **Gutachten bezüglich Seismizität im Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW)**

**Hier: Geologische Profile und Erdbebengefährdung im Standortgebiet  
Wellenberg sowie Stellungnahme zum Gutachten von Prof. Jon Mosar**

**Inhalt:** Vorbemerkung

1. Veranlassung
2. Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Studie
3. Prüfung der Plausibilität der geologischen Profile
4. Interpretation der Unterschiede der Profile 1996 vs. 2013
5. Interpretation der geologischen Profile hinsichtlich der Erdbebensicherheit
6. Aufzeigen der Konsequenzen der neuen Profile auf die Stellungnahme zu Etappe 1 bzw. auf das Gutachten von Prof. Jon Mosar bezüglich Seismizität
7. Offene, zusätzlich abzuklärende Fragestellungen
8. Aufzeigen von Schwachpunkten in Bezug auf das Standortgebiet Wellenberg
9. Zusammenfassung
10. Unterschrift
11. Literatur

## Vorbemerkung

Seit dem Jahr 1987, in dem der Autor seine erste Professur (für Angewandte Geophysik) an der Universität Bonn antrat, war er mit Fragen der Erdbebengefährdung von Nuklearstandorten befasst. Dabei ging es zunächst vor allem um Kernkraftwerke und Fabriken, die Brennelemente herstellen, später dann um Standorte von End- und Zwischenlagern für radioaktiven Abfall. Die Standorte lagen dabei in Deutschland, aber auch im Ausland, z.B. in Frankreich und Schweden sowie in den USA. Besonders eingehend hat sich der Autor im Arbeitskreis Endlagerstandorte (von 1998 bis 2002; AkEnd, 2002) engagiert, in dem es darum ging, im Auftrag des deutschen Umweltministeriums ein Suchverfahren für einen Endlagerstandort in Deutschland zu entwickeln.

Derzeit arbeitet der Autor im Ausschuss Endlagerung der Entsorgungskommission (ESK) des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie in wechselnden Arbeitsgruppen mit\*).

Bei diesen Tätigkeiten waren Fragestellungen zu bearbeiten, die natürlich weit über die Themenkreise der Ausbildung als Diplom-Geophysiker hinaus gehen. Auch muss an dieser Stelle betont werden, dass der Autor kein Geologe ist und daher die geologischen Profile nur aus der Sicht des Geophysikers und mit einiger Vorsicht interpretieren kann.

Mittlerweile ist bereits viel über das Standortgebiet Wellenberg geschrieben worden, so dass vermieden wird, die geologische Entwicklung und derzeitige Situation in extenso nochmals nachzuzeichnen; stattdessen wird auf die vorhandene Literatur Bezug genommen (z.B. Kanton Nidwalden, 2010; KFW, 2002; Mosar, 2010; Nagra, 1994; 1997; 2008a/b/c; 2013).

## 1. Veranlassung

Im Rahmen der ersten Etappe zum Sachplan Geologische Tiefenlager (SGT) hat die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) u.a. den Wellenberg (NW/OW) aufgrund bestehender sicherheitstechnischer und geologischer Kenntnisse als Standortgebiet für die Lagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen (SMA) vorgeschlagen. Mit Schreiben vom 29.04.2013 wurde der Autor von der Baudirektion des Kantons Nidwalden beauftragt, die geologischen Profile zu prüfen und dazu speziell unter Berücksichtigung der Erdbebengefährdung ein Gutachten zu verfassen. Diese geologischen Profile entstanden einerseits auf der Basis von Kartierungen der Oberfläche sowie von Aufschlüssen und Bohrungen, andererseits flossen aber auch Ergebnisse seismischer Untersuchungen mit ein. Hierbei handelt es sich sowohl um reflexionsseismische Messungen als auch um Untersuchungen von Erdbebenherden, deren Daten aus der seismologischen Überwachung stammen.

In KFW (2002, S. 2) ist zu lesen (Zitate in kursiv): *Die 1993 aufgrund des Vergleichs mit den drei anderen Standorten Bois de la Glaive, Oberbauenstock und Piz Pian Grand erfolgte Auswahl des Wellenbergs als möglicher Lagerstandort ist bezüglich der zur Wahl herangezogenen Kriterien schlüssig. Mit Wellenberg wurde ein Standort gefunden, dessen weitere Untersuchung angezeigt ist.*

Der Wellenberg ist als Standortgebiet für SMA-Abfälle vorgesehen (schwach- und mittelaktiv; Nagra, 2008a/b). Zur Vermeidung dass Radionuklide in das Grundwasser und damit in den Biokreislauf gelangen, müssen auch hier strenge Anforderungen an die geologische Barriere und die tektonischen Eigenschaften des Standortes gestellt werden.

Die verwendete Literatur ist am Schluss angegeben.

---

\*) Das Mandat dieser Gremien ist zunächst am 31.12.2013 ausgelaufen. Die Fortsetzung ist angekündigt.

## 2. Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Studie

Zunächst kann festgestellt werden, dass die zugrunde liegenden Arbeiten zur Analyse der geologischen und geodynamischen Situation im Bereich Wellenberg sehr umfangreich und detailliert sind. Die Ergebnisse und Überlegungen zur Interpretation sind ausführlich dargestellt und transparent.

Der **Vergleich der geologischen Profile**, die in den Jahren 1996 und 2012 erarbeitet worden sind (Nagra 1997; 2013) zeigt jedoch, dass gewisse Unsicherheiten bestehen, die zu unterschiedlichen Interpretationen führen. Dies hat im vorliegenden Fall zur Folge, dass die Abschätzung des Wirtsgesteinsvolumens für beide Interpretationen zwar zu vergleichbaren Resultaten führt, die Grenzen des zur Verfügung stehenden Gebirgsbereiches aber doch voneinander abweichen. Die Profile sind in sich zwar plausibel, die Unterschiede weisen jedoch auf Ungewissheiten bei der Interpretation hin, die möglicherweise durch weitere Untersuchungen verringert werden könnten; allerdings ist die aussagekräftige Exploration des Untergrundes aufgrund der starken Deformation sehr schwierig. Diese Unterschiede sind jedoch für die Planung eines Tiefenlagers bedeutend.

Hinsichtlich der **Erdbebengefährdung** sind zwei Blickrichtungen wichtig:

- (1) direkte Auswirkungen auf die über- und untertägigen Bauwerke und
- (2) Erdbeben als Indikatoren für tektonische Aktivitäten.

Hier ist es als unverständlich zu bezeichnen, dass das lokale seismische Array, das im Auftrag der Nagra bis 1993 (?) betrieben worden war (Nagra Interner Bericht 93-35, zitiert nach ENSI 2011), abgebaut wurde<sup>1</sup>; die Daten hätten sicherlich geholfen, die im Bericht von Mosar (2010) erwähnten Ungewissheiten zu minimieren. Der der ENSI-Aktennotiz 33128 beigefügte Bericht des Schweizerischen Erdbebendienstes vom 12. Mai 2011 zeigt die Unsicherheiten, die durch den Mangel an lokalen seismischen Stationen auftreten: Die Hypozenter-Bestimmungen können faktisch nicht mit geologischen Störungen korreliert werden. Mehr und vor allem lokal erhobene Daten wären u.U. geeignet, die rezenten Aktivitäten von einzelnen Störungen nachzuweisen<sup>2</sup>.

Hinsichtlich der Frage nach dem zerstörerischen Charakter der Erdbeben auf über-/ untertägige Bauwerke und den umgebenden geologischen Untergrund kann man sicherlich davon ausgehen, dass im tiefen Endlagerbereich kaum Befürchtungen angebracht sind, wenn nicht Risse im Bereich des Endlagers auftreten, etwa durch Aktivierung von vorhandenen Störungen, die Fließwege eröffnen. Anders ist es im Bereich des Zugangs beziehungsweise der dafür erforderlichen Schächte oder Rampen während der Betriebsphase. Hier sind auch bei relativ geringen Erschütterungen Schäden zu erwarten.

Schließlich sei hier noch angefügt, dass mit dem vorhandenen Wissensstand über den Untergrund bzw. den vorhandenen Ungewissheiten die geologischen Interpretationen sicherlich nicht eindeutig sein können und immer von Erfahrung und Intuition der Bearbeiter abhängen. Man darf daher nicht – wie in ENSI (2011) geschehen – die Stellungnahme von

---

<sup>1</sup> Wie in NTB 00-05 (S. 12) beschrieben, wurden die Stationen Flüeli-Ranft und Erstfeld im Herbst 1998 durch eine moderne Breitbandstation im Bereich des Bannalpsees ersetzt, womit die Lokalisierungsgenauigkeit – lt. Nagra – verbessert wurde. Dies wird vom Autor allerdings bezweifelt, da die Stationen nach wie vor nicht dicht genug stehen.

<sup>2</sup> Im Schreiben vom 15. März 2013 an den Autor weist die Baudirektion Nidwalden darauf hin, dass die Nagra einen weiteren Auftrag bezüglich der Analyse bisheriger Erdbebenzentren im Raum Zentralschweiz an Herrn Deichmann, einen ehemaligen Mitarbeiter des Schweizer Erdbebendienstes (SED), erteilt hat. Dieser bezweckt vor allem die genauere Lokalisierung der Erdbebenzentren in der Tiefe und würde dadurch womöglich weitere Aussagen bezüglich Auswirkungen von Erdbeben auf das Standortgebiet Wellenberg ermöglichen.

Mosar (2010) mit den gleichen Argumenten zerpflücken, die auch und vielleicht sogar noch mehr für die geologische Interpretation der Profile gelten<sup>3</sup>.

Aufgrund der rezenten Tektonik der Zentralalpen, insbesondere der Hebungsraten und der ausgeprägten tektonischen Deformationen sowie der vorhandenen Ungewissheiten, **kommt der Autor zu dem Ergebnis, dass der Standort wenig geeignet ist für ein Tiefenlager**, auch wenn es sich 'nur' um ein Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle handeln soll.

### **3. Prüfung der Plausibilität der geologischen Profile und Aufzeigen von allfälligen Lücken und Ungewissheiten**

Im Arbeitsbericht NAB 12-04 (Nagra 2013) werden bezüglich der Konstruktion der tektonischen Trennflächen ausdrücklich die neuen Informationen erläutert, die zu einer Abweichung von den früher gezeichneten Profilen führen. Leider sind die neuen Profile gegenüber den alten verschoben, so dass ein direkter Vergleich nicht möglich ist. Doch kann man auf S. 23 lesen<sup>4</sup>: *Gewisse Abweichungen ergeben sich dadurch, dass die Profilsuren (Beil. 1) nicht genau übereinander liegen. Trotzdem können die Schnitte gut miteinander verglichen werden (Tab. 1).*

Tatsächlich ist es aber so, dass die Profile eben nicht übereinander liegen: Profil D (2012, Nagra 2013) liegt z.B. schräg zwischen den Profilen A und B (1996, Nagra 1997), im südlichen Teil sogar fast genau in der Mitte. Da die Unterschiede zwischen den Profilen von 1996 bezüglich der tektonischen Trennflächen bzw. Störungen doch erheblich sind, ist die Aussage auf S. 23 (... *können die Schnitte gut miteinander verglichen werden...*) nicht nachvollziehbar. Die Profile, vor allem die neuen von 2012, sind auch wieder in sich plausibel, allerdings ist man in Anbetracht des Wissenstandes über den Untergrund mit den erheblichen Ungewissheiten verwundert über den Detaillierungsgrad, der zu sehr filigranen Strukturen führt, die sicherlich nicht realistisch sind, sondern nur modellhafte Vorstellungen zeigen, die aus anderen Informationen abgeleitet worden sind<sup>5</sup>.

**Generell lässt sich sagen, dass die geologischen Profile einander zwar ähneln, aber bei genauem Vergleich doch erhebliche Unterschiede aufweisen.** Wie später noch

---

<sup>3</sup> Der Charakter des Textes, in dem die bemängelten Punkte in Mosars Gutachten einer nach dem anderen und auch durchnummeriert aufgeführt und kritisiert bzw. sogar abqualifiziert werden, lässt sich nur mit dem Wort 'zerpflücken' charakterisieren.

Rein inhaltlich sollen hier nicht die einzelnen Punkte diskutiert werden, da dies Aufgabe des Kollegen Mosar sein müsste, stattdessen weise ich pauschal darauf hin, dass der Maßstab für die Beurteilung durchaus fragwürdig ist. Um ein Beispiel zu nennen: Unter Punkt 5 werden die Fließsysteme diskutiert und dabei den Störungszonen genau 55% der Wasserführung zugewiesen, den diskreten Scherzonen 7%, den Kalkbänken 31% und offenen Trennflächen 6%. Dies ergibt zusammen genau 99% (wo bleibt das restliche 1%?). Derartige Angaben – vor allem wenn sie ohne Fehlerangabe erfolgen – sind sehr übertrieben; selbst das ENSI kommt hier zu *etwas differenzierteren Schlussfolgerungen* (zitiert aus diesem Punkt). Und die originalen Textstellen (NTB 08-04, S. 177 und S. 182) lassen durchaus Raum für andere Interpretationen, auch wenn man sich dort auf die Version geringe Transmissivität und großes Selbstabdichtungsvermögen des Wirtgesteins festlegt. Die großen Ungewissheiten lassen m.E. derart präzise Aussagen nicht zu und können daher nicht dazu dienen, die Aussagen von Mosar in Zweifel zu ziehen.

Nachdem nun das ENSI in 20 Punkten das Gutachten Mosar kritisiert hat, wird unter Punkt 21 noch ein Argument nachgeschoben, nämlich, dass neben der Tektonik, die von Mosar bemängelt worden ist, alle im Sachplanverfahren geforderten 13 sicherheitstechnischen Kriterien bewertet werden müssten, was bei Mosar nicht erfolgte. Hierzu verweise ich auf die Tatsache, nach der ein Auto auch nicht vom TÜV akzeptiert wird, wenn es zwar allgemein einen guten Eindruck macht, jedoch die Bremsen nicht funktionieren. Und die Mängel in der tektonischen Situation sind ein derartiges Kriterium, das man nicht gegen andere aufrechnen kann und das daher den Standort ausschließt – auch wenn dies bei dem vorhandenen Gestein umgedeutet wird in einen Vorteil hinsichtlich der Dichtigkeit. Die anderen Sicherheitskriterien spielen dann nur noch eine sekundäre Rolle.

<sup>4</sup> Zitate sind kursiv gesetzt

<sup>5</sup> Auch wenn es bei den Geologen State-of-the-art ist, dass man den tektonischen Stil aufgrund von Beobachtungen in gut aufgeschlossenen Bereichen auch für weniger gut aufgeschlossene Bereiche übernimmt, ist dies im vorliegenden Falle doch irreführend, da eine zu große Detailkenntnis suggeriert wird.

ausgeführt werden wird, kommt hier auch die Tatsache zum Tragen, dass die Profile nicht genau senkrecht zum Streichen ausgerichtet sind.

#### 4. Interpretation der Unterschiede der Profile 1996 vs. 2012

Im Arbeitsbericht NAB 12-04 (Nagra 2013, S. 7) wird bezüglich der tektonischen Trennflächen ausdrücklich darauf hingewiesen, dass *der tatsächliche Verlauf dieser Flächen (...) also mit Sicherheit komplexer (ist) als in der Profildarstellung und (...) in der Lage von der Zeichnung abweichen (kann)*. In Abb. 6 dieses Berichtes wird ein Vergleich der Profile vorgenommen (hier als Abb. 1 eingefügt). Die Profile sind nicht verzerrt, daher kann man gut abschätzen, dass die Grenzen des Wirtgesteins z.T. um einige 100 Meter verschoben sind (entweder mehr oder weniger).

Wie oben bereits erwähnt entspringen derartige Profile der Erfahrung und der Intuition des Bearbeiters; sie beruhen zwar auf Daten, doch sind diese häufig mehrdeutig und der Bearbeiter muss sich ein Modell machen, das seiner Meinung nach die Situation im Untergrund bestmöglich beschreibt. Die Informationen stammen dabei einerseits von der Oberfläche (flächenhafte geologische Kartierung), andererseits aus Bohrlöchern, die allerdings nur wenige punktuelle Informationen liefern (informationstheoretisch sind dies Stichproben, die nur unter bestimmten Voraussetzungen repräsentativ sind). Mithilfe der Seismik könnte man nun diese Informationen zu einem Untergrundmodell interpolieren, wobei die Tiefen der Formationsgrenzen von der Ermittlung der seismischen Geschwindigkeiten und der Reflexionswinkel der seismischen Strahlen abhängen. Naturgemäß ist die Aussagekraft der diesbezüglichen Informationen besonders unscharf, wenn die Schichten stark verfault sind bzw. steil stehen. Dies führt nicht nur zu multiplen Reflexionen sondern auch zu Verzerrungen des Bildes – und damit zu Fehlinterpretationen.

Ein weiteres Problem der Reflexionsseismik ist die Welligkeit der Topographie: Man kann sich leicht vorstellen, dass die seismische Energie bei einem Schuss an einem Hang zwar in den Untergrund abgegeben wird, die Reflexionen aber nicht von den **Punkten unterhalb des Schusspunktes** bzw. unterhalb des Profils stammen sondern auch von Reflektoren daneben, insbesondere, wenn der Reflektor ebenfalls wellig verläuft, wie man annehmen kann<sup>6</sup>.

Die Unterschiede zwischen den alten und den neuen Profilen zeigen – abgesehen von der Tatsache, dass sie nicht genau übereinander liegen - dass die Grenzen des Wirtgesteinskörpers nicht sicher zu bestimmen sind: **Verschiebungen, bzw. Ungewissheiten im Bereich von ca. 100 m (und mehr) sind aufgetreten, und die filigrane geologische Struktur ist eher auf die Interpretation als auf die Realität zurück zu führen, auch wenn der strukturelle Stil prinzipiell richtig ist.**

---

<sup>6</sup> Die Nagra fasst die ganze Problematik im Kap. A2.1.3 des Beilagenbandes von NTB 96-01 zusammen. Die Nagra hat die Ungewissheit bei der Bestimmung der Lage der Wirtgesteinsgrenzen mittels Seismik betont. Dies ist z.B. auch in die Dokumentation zu Etappe 1 des Sachplanes Geologische Tiefenlager eingeflossen (z.B. in Nagra, 2008a).

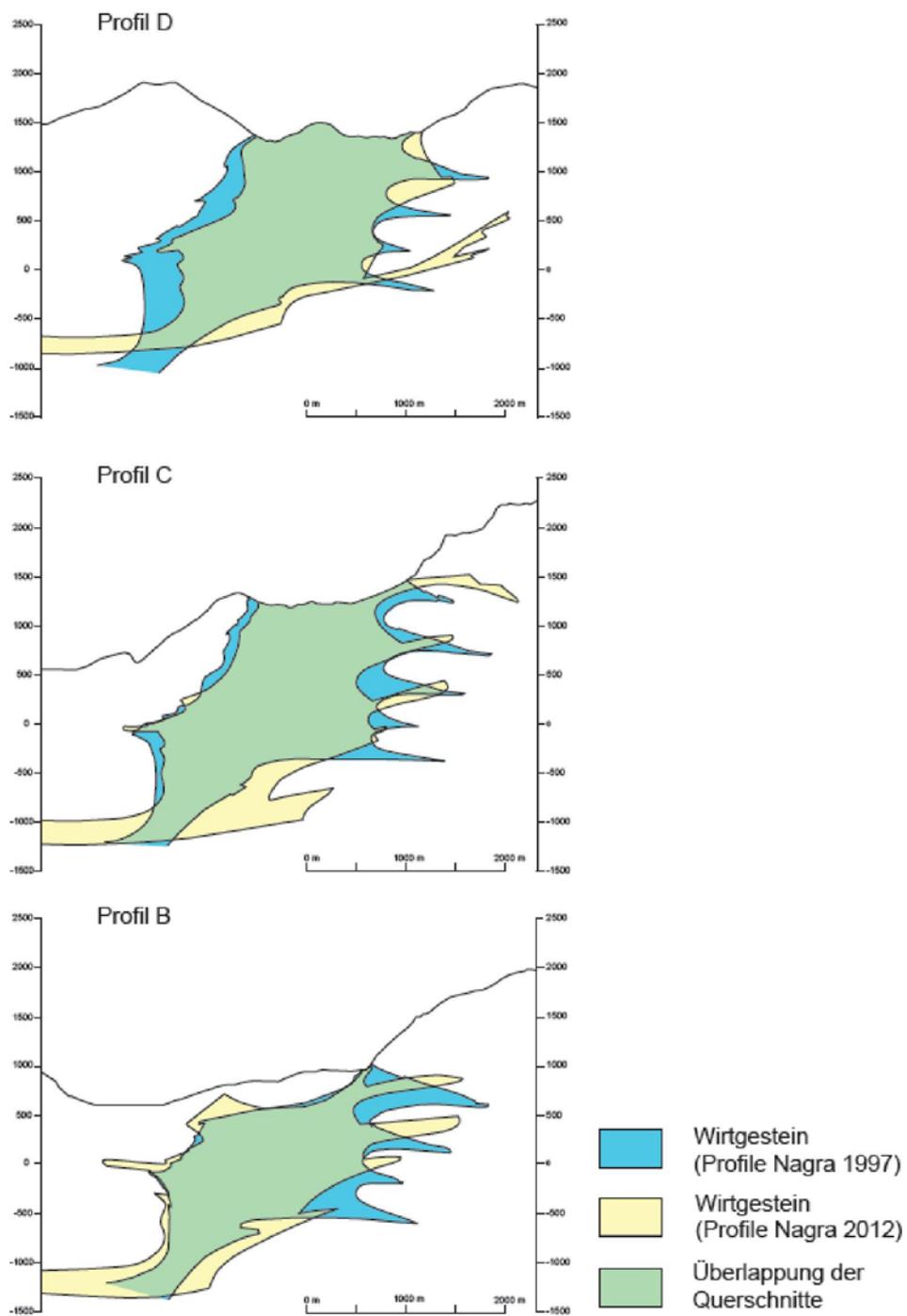


Abb. 1: Vergleich der Profile von 1996 und 2012; Fig. 6 aus Nagra (2013); vergl. Abb. 5).

## 5. Interpretation der geologischen Profile hinsichtlich der Erdbebensicherheit<sup>7</sup>

Die Interpretation der geologischen Profile soll Aussagen erlauben im Hinblick auf neotektonische Aktivitäten, welche zu Erdbeben führen können, sowie auf Auswirkungen solcher Prozesse auf den Wirtgesteinskörper.

Mosar (2010) unternimmt den dankenswerten Versuch, unterschiedliche Daten gemeinsam zu interpretieren. Hier kann man nur dem Bericht des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) folgen, in dem diese Stellungnahme kommentiert wird als *..., 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.* (auf S. 2 im Brief von D. Giardini, SED, vom 12. Mai 2011 an ENSI; der Stellungnahme von ENSI, 2011, beigelegt).

Will man die geologischen Profile hinsichtlich der Erdbebensicherheit beurteilen, so muss man sich zunächst das regionale Spannungsfeld ansehen. Dies hat auch Mosar (2010) getan, allerdings nicht explizit, sondern nur beiläufig. Man kann auf S. 5 lesen: *Die Hauptdeformationphase, die zur Bildung dieses Deckenstapels führte und mit der Entstehung der alpinen Gebirgskette (alpine Orogenese) zusammenhängt, begann vor rund 40 Millionen Jahren im Tertiär. Die Sedimentstapel wurden von ihrem Untergrund abgeschert und über 50 Kilometer nach Nordwesten über das Aar-Massiv hinweg geschoben. Diese Überschiebung entlang den Abscherhorizonten (Palfris-Formation und Vitznau-Mergel im Fall der Drusberg-Decke) ging einher mit der Bildung von Falten, Brüchen und Scherzonen. Obwohl dieser Prozess, der ungefähr 30 Millionen Jahre andauerte, ziemlich kontinuierlich war, kann man ihn in mehrere Sequenzen/Phasen unterteilen.*

Wichtig ist u.a. die Angabe der Überschiebungsrichtung, die ebenfalls der Richtung der größten Hauptspannung entspricht. In der Abb. 2 ist die aus dem Spannungsfeld resultierende Verschiebung für Zentraleuropa angegeben: Die auf GPS-Messungen basierenden Verschiebungsvektoren zeigen in Richtung Nordwest, entsprechen demnach den Vorstellungen der Tektonik (Öffnung des Nordatlantik bzw. Kollision mit der Adriatischen Platte). Aus dieser Abbildung erscheint die platteninterne Deformation im Gebiet der Zentralschweiz als relativ gleichförmig; es existieren demnach regional hauptsächlich Kompressionsspannungen, die allerdings lokal durch die Überschiebung auch zu Scherbewegungen führen<sup>8</sup>. Dadurch werden die Herdmechanismen der Erdbeben bestimmt.

Insofern ist die Wahl der Richtung der geologischen Profile (340° für die Profile von 2012 und ca. 335° für die Profile aus 1996) zwar ausreichend, aber nicht optimal.

Aber die Richtung der geophysikalischen Messlinien ist zu kritisieren: Die Richtung sollte in etwa senkrecht zum Streichen liegen, also in Richtung der maximalen Kompression; dies passt in etwa für die Reflexionsseismik aus dem Jahr 1989 (wobei man hier den Eindruck hat, dass die Profilrichtungen wie ein Fächer durch die Lage des gemeinsamen Schusspunktes festgelegt worden waren; Fig. 3.3-1 auf S. 34 in Nagra, 1997), passt aber gar nicht für die Reflexionsseismik aus dem Jahr 1994<sup>9</sup>. Die Lage der Profile im Streichen

---

<sup>7</sup> Bei der Untersuchung der Erdbebensicherheit geht es eher um das Gegenteil, nämlich die Abschätzung der Erdbebengefährdung.

<sup>8</sup> Neuere Arbeiten bestätigen diese Ergebnisse und diskutieren auch die Ungewissheiten in den GPS-Messungen (s. z.B. Kap. 2.7.1.2 in NTB 08-04, S. 49).

<sup>9</sup> Gemäss Nagra (1997, NTB 96-01) waren die Ziele der Seimik 1994 die Erfassung von Störzonen und Fremdgesteinseinschlüssen im Wirtgesteinskörper, welche nicht unbedingt senkrecht zum Streichen der Decken verlaufen müssen. Zusammen mit den Seismiklinien von 1989, bei welchen es vor allem um die Abgrenzung des Wirtgesteinskörpers ging, ergibt sich gemäss Nagra ein mehr oder weniger regelmässiges Netz parallel und senkrecht zum Streichen. Trotzdem folgert auch die Nagra im NTB 96-01, dass das Standortgebiet Wellenberg mit Seismik nur sehr beschränkt explorierbar ist.

bedeutet, dass eine 3-dimensionale Struktur nur 2-dimensional abgebildet wird. Mosar (2010) schreibt auf S. 12: *Besonders die Ergebnisse der reflexionsseismischen Untersuchungen haben es nicht ermöglicht, genauere Informationen über die Strukturen im Untergrund zur erlangen.* Dies ist möglicherweise auf die Profilrichtungen in einem geologisch sehr heterogenen Körper zurück zu führen.

In Abb. 3 (aus Nagra, 1997) sind die Herdmechanismen von sechs Erdbeben aus der Zentralschweiz zusammen gestellt. Leider werden keine weiteren Informationen wie Magnituden, Herdtiefen, Koordinaten, angegeben. Aus dem Text lässt sich aber ableiten, dass die Herde der beiden nördlichen Beben (Hochdorf und Root) im Bereich der Moho liegen, also in Tiefen von etwa 27 und 29 km. Und die Herdmechanismen passen zu der in der Nordschweiz allgemein beobachteten Einengung in Richtung NNW-SSE, während auf der anderen Seite die vier südlichen Beben mit Herdtiefen zwischen 1 und 7 km ein heterogenes Bild aufweisen:

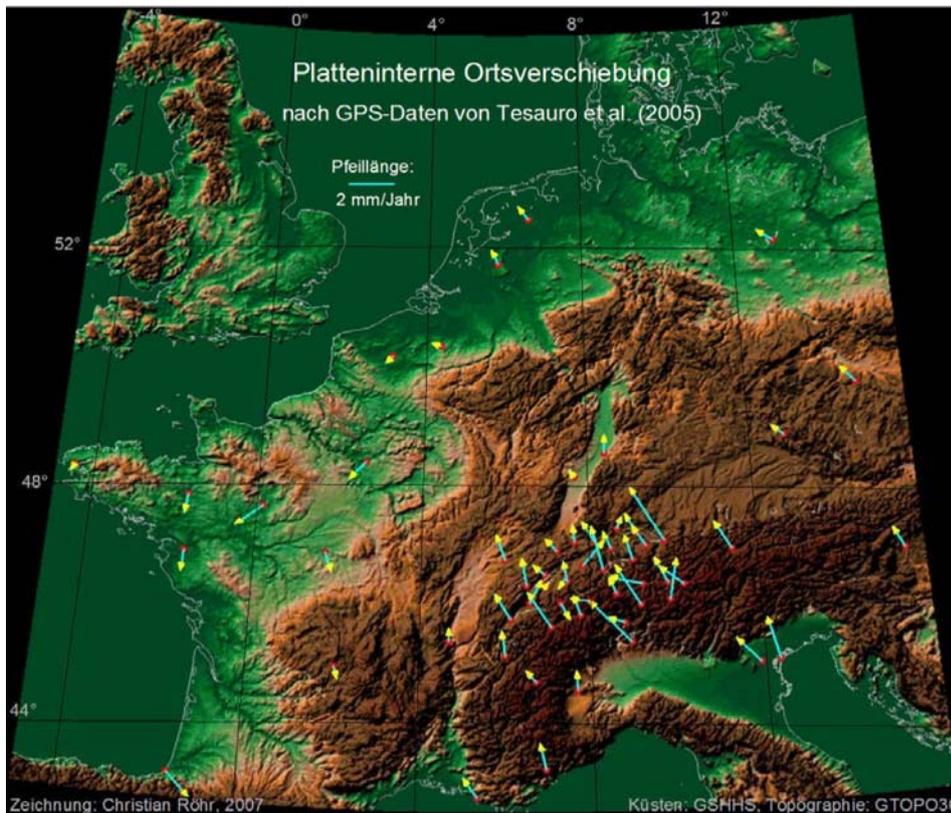


Abb. 2: Platteninterne Ortsverschiebung in Zentraleuropa (nach Tesauo et al., 2005)

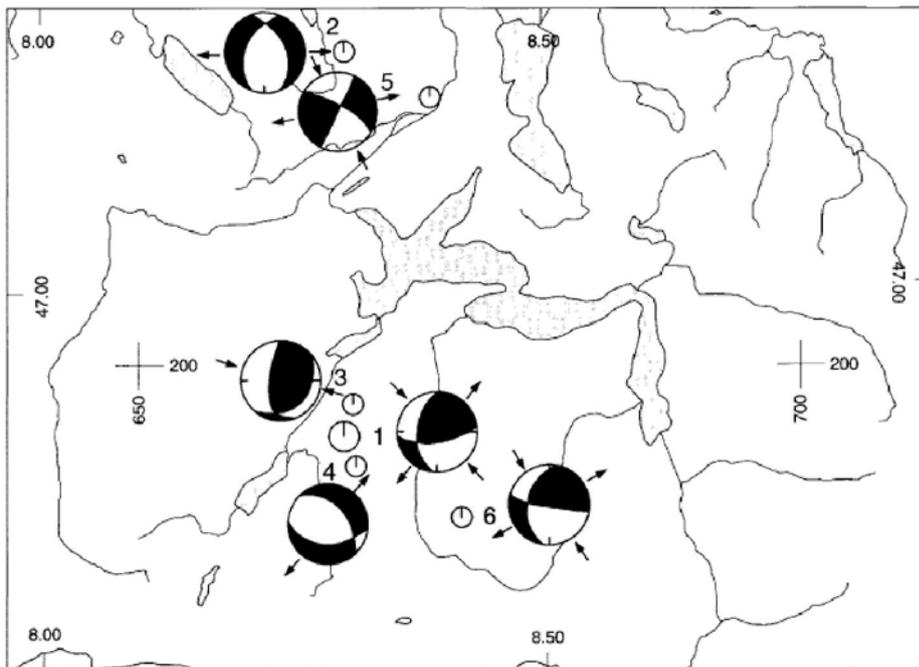


Abb. 3:  
Epizentren und  
Herdmechanismen  
von sechs  
Erdbeben aus der  
Zentralschweiz  
(Fig. 4.8-5 aus  
Nagra, 1997).

Figur 4.8-5: Epizentrenkarte mit den Herdmechanismen  
 1: Sarnen 1964      2: Hochdorf 1985      3: Kerns 1985  
 4: Sachseln 1985      5: Root 1988      6: Engelberg 1989

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass dicht benachbarte Herde (Abstand von nur 5 km) völlig andere Herdmechanismen zeigen, nämlich sowohl Aufschiebung (Sarnen und Kerns) als auch Abschiebung (Sachseln). Dies wird aber durch die komplexe Struktur der oberen Kruste klar. Es wirft auch ein Licht auf die Probleme der Interpretation der geologischen Situation im Zusammenhang mit einem Tiefenlager im Gebiet Wellenberg.

In Anbetracht der Ungewissheiten in den geologischen Profilschnitten und den Herdtiefenangaben ist es etwas befremdlich, dass in ENSI (2011) diese als Maßstab für die Beurteilung der Stellungnahme von Mosar (2010) herangezogen werden: Indem man diese als ‚richtig‘ ansieht, wird die Stellungnahme von Mosar (2010) zerpflückt<sup>10</sup>. Sicherlich kann man über einige Aussagen und Interpretationen von Mosar streiten, doch sollte man dabei immer bedenken, dass die Kritik auch und vielleicht sogar noch mehr für die geologische Interpretation der Profile gilt, zumal sie sich auf die erste Interpretation von 1996 bezieht. Die Nagra drückt sich im Arbeitsbericht NAB 12-04 (2013) deutlich vorsichtiger aus: Hier wird Mosar nur in einer Fußnote auf S. 27 widersprochen, und zwar sogar ohne ihn beim Namen zu nennen. Bei der Diskussion geht es um die Frage, ob Störungsbahnen die Deckenstapel durchschlagen haben oder dies in Zukunft zu erwarten ist und damit Fließwege eröffnet werden.

Die Ungewissheiten bei der Interpretation der geologischen Profile werden in dem Vergleich der Profile 1996 und 2012 deutlich. **Die Ungewissheiten bezüglich der Erdbebengefährdung bzw. der Erdbebensicherheit bleiben, auch wenn einige der von Mosar aufgeworfenen Punkte berücksichtigt worden sind.**

<sup>10</sup> Vergl. Fußnote 3.

## 6. Aufzeigen der Konsequenzen der neuen Profile auf die Stellungnahme zu Etappe 1 bzw. auf das Gutachten von Prof. Jon Mosar bezüglich Seismizität

Mosar (2010) bewertet die vorhandenen Informationen mit (S. 12): *Die Daten und ihre Auswertung sind durchwegs von guter Qualität!* Fährt dann aber kritisch fort: *Es werden jedoch trotz dieser neuen Daten insbesondere beim Verständnis der Geometrie der Strukturen immer noch Ungewissheiten verbleiben. Besonders die Ergebnisse der reflexionsseismischen Untersuchungen haben es nicht ermöglicht, genauere Informationen über die Strukturen im Untergrund zur erlangen. Dies liegt ganz alleine an der Zusammensetzung der Gesteinsformationen (zu homogen, zu wenig kontrastreiche Schichten) sowie der komplexen Geometrie der tektonischen Strukturen, die eine genau Erkundung mit diesen Methoden nicht zulässt.* Diese Aussage kann man uneingeschränkt unterstützen<sup>11</sup>.

Mosar führt auch an, dass die Informationen aus dem vorhandenen Erdbebenkatalog naturgemäß nur einen sehr kurzen Zeitraum umfassen (instrumentelle Seismologie); die historische Seismologie gibt zwar weitere Hinweise; da sie sich aber auf die seitens der Bevölkerung **gespürten** Erschütterungen stützt, ist die Aussagekraft sehr eingeschränkt auf starke Beben und auf die damalige Bevölkerungsdichte. Hier wäre es äußerst hilfreich gewesen, wenn das lokale Array während der letzten 20 Jahre in Betrieb gewesen wäre: Schwache Erdbeben hätten Aufschlüsse über die rezente Tektonik geben können, da die Herdlokalisierungen auf aktive Störungsbahnen hätten hindeuten können. Damit wären möglicherweise heutige Ungewissheiten von vornherein ausgeschlossen worden.

Weiterhin bietet die Paläoseismik Hinweise auf Erdbeben während der letzten 15'000 Jahre; doch diese Information ist nur für die grundsätzliche Beurteilung der Erdbebengefährdung von Bedeutung, nicht aber für die aktuellen Strukturuntersuchungen (Strasser et al., 2006).

**Konsequenzen der neuen Profile hinsichtlich Etappe 1 und das Gutachten von Mosar lassen sich wegen der verbleibenden Ungewissheiten nicht ableiten.**

## 7. Offene, zusätzlich abzuklärende Fragestellungen

Ein ganz wesentlicher Schwachpunkt der bisherigen Untersuchungen betrifft die rezente seismische Aktivität. Gerade aus dem Auftreten und der Verteilung kleiner Bebenherde lassen sich Informationen über die aktuellen tektonischen Bewegungen ableiten. Inwieweit dies aus den nochmals auszuwertenden vorliegenden Registrierungen möglich ist, bleibt abzuwarten (siehe Fußnote 1). Es ist allerdings zu befürchten, dass durch die Auswertung des Bebenkatalogs keine neuen Erkenntnisse entstehen, wenn der Katalog keine oder zu wenige lokale Beben aus dem Bereich Wellenberg enthält.

Desweiteren verwundert die Diskussion der sogenannten Unterdruckzone: Zwar ist die Argumentation plausibel, nach der die Unterdruckzone, in der das Endlager errichtet werden soll, für eine weitere Isolation des Abfalls gegenüber der Biosphäre sorgt, jedoch ist nicht klar, ob die aus wenigen Bohrungen (Stichproben!) abgeleiteten Resultate eine Verallgemeinerung erlauben<sup>12</sup>. In der Abb. 4 ist die betreffende Kurve für Wellenberg beigelegt, aus der hervorgeht, dass in Tiefen von 800 bis 1000 Metern eine ausgeprägte Unterdruckzone vorliegt.

---

<sup>11</sup> Dieser Aussage stimmt auch die Nagra zu; vgl. dazu z.B. die Aussage in NTB 96-01 (Nagra, 1997) oder NTB 08-03 (Nagra, 2008a)

<sup>12</sup> Falls das Standortgebiet Wellenberg im Rahmen der Etappe 2 nicht zurückgestellt wird, wären auch aus Sicht der Nagra umfangreiche ergänzende Untersuchungen notwendig. Diese könnten auch ungünstigere Ergebnisse zeigen.

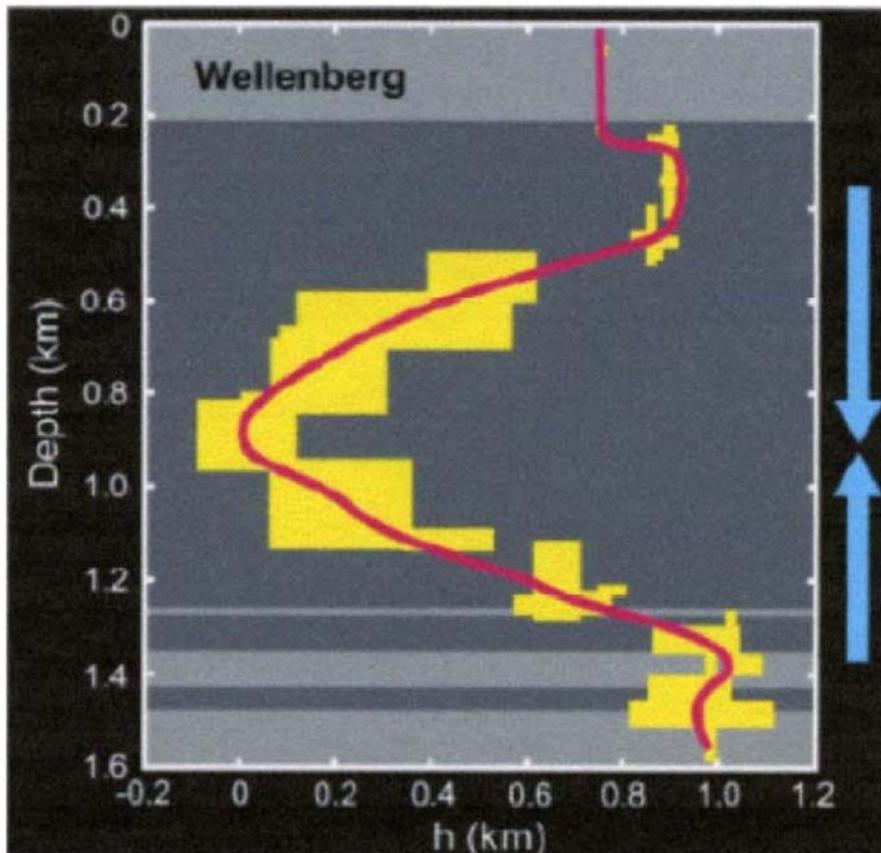


Abb. 4: Druckprofil für Wellenberg aus Neuzil (2013) basierend auf Nagra (1997): Die horizontale Achse bezeichnet den Druck im Bohrloch in der entsprechenden Tiefe.

Bemerkenswert sind hierbei die Mächtigkeit der Tongestein-Formation im Vergleich etwa zu Bure in Ostfrankreich, wo beabsichtigt ist, sogar hochaktiven nuklearen Müll einzulagern, aber auch die Fehlerbalken. Diese Ergebnisse müssten weiter untersucht und konkretisiert werden. Ferner ist auch zu überlegen, wie relevant die Unterdruckzone zeitlich ist, da sie eine Wirkung von etwa 20'000 Jahre haben soll, der Betrachtungshorizont SMA aber bei 100'000 Jahren liegt. Und was nützt eine Unterdruckzone, wenn durch die Reaktivierung bestehender, sekundärer Störzonen, welche die ganze Akkumulation durchtrennen, neue Fließpfade geschaffen werden?

## 8. Aufzeigen von Schwachpunkten in Bezug auf das Standortgebiet Wellenberg

Die wesentlichen Fragen betreffen die Ungewissheiten über die Struktur des Untergrundes, die Geodynamik/rezente Tektonik und die lokale Seismizität.

### (1) Struktur des Untergrundes:

Geologische Profile sind immer Projektionen der Befunde an der Oberfläche (Kartierung, Aufschlüsse), aus Bohrungen und aus geophysikalischen Messungen auf den Untergrund. Im vorliegenden Fall fehlen die Befunde der Geophysik fast völlig, da die Reflexionsseismik kaum klare Ergebnisse hervorgebracht hat. Die weiteren geophysikalischen Untersuchungen, z.B. der Geoelektrik, sind zu oberflächennah, um Aussagen über den Wirtgesteinskörper bzw. über den avisierten Lagerbereich machen zu können. Sie waren

auch nur angelegt, um die Mächtigkeit der Lockersedimente im Tal zu ermitteln. Gleiches gilt für refraktionsseismische Untersuchungen parallel zur Geoelektrik.

Damit konnten im Wesentlichen nur Informationen aus den wenigen Bohrungen genutzt werden, die dann im Licht der Kartierung der Oberfläche zu einer Untergrundstruktur umgesetzt worden sind. Dies beruht vor allem auf der Erfahrung und der Intuition der Bearbeiter.

## (2) Rezente Dynamik:

Die rezente Dynamik oder Geodynamik ist ein Merkmal, das Aussagen über die zukünftige Entwicklung eines Gebietes ermöglicht. Hier ist besonders der Zusammenhang mit Vertikalverschiebungen von Bedeutung: Bei einer Verschiebung um 1 mm/Jahr kommt man in 200'000 Jahren auf einen Betrag von 200 Metern. Sinkt das Gebiet ab, dann ist zu erwarten, dass dieser Absenkungsbetrag durch Erosion aufgefüllt wird – für das Lager bedeutet dies eine ständige Verbesserung durch Verstärkung der Isolationsschicht. Im umgekehrten Fall kann man sich ausrechnen, wann das Tiefenlager freigelegt werden wird – man sollte demnach grundsätzlich Gebiete meiden, die sich heben.

Zur Ermittlung der geodynamischen Bewegungen bzw. der rezenten tektonischen Deformation werden geodätische Messungen eingesetzt, seit jeher das Präzisionsnivellement. In den letzten Jahrzehnten hat allerdings die Vermessung mit Hilfe von GPS das Nivellement verdrängt, da es einerseits kostengünstiger und schneller ist, andererseits aber auch nahezu in Echtzeit Ergebnisse über ein größeres Gebiet liefert. Aus diesen Beobachtungen lassen sich generelle Bewegungen der tektonischen Platten ableiten, aber auch Relativbewegungen innerhalb der Platten (vgl. Abb. 2).

Während geodätische Beobachtungen immer einen integralen Effekt über eine bestimmte Region erfassen, kann mit Hilfe der Seismologie die Aktivität von Störungen überwacht werden.

## (3) Seismische Aktivität:

Zur Auflösung von Bewegungen entlang von Gleitflächen bzw. Überschiebungsbahnen sind mehrere Voraussetzungen zu erfüllen: Zunächst benötigt man möglichst viele schwache Erdbeben, da diese wirklich punktuelle Bewegungen repräsentieren (größere Erdbeben entstehen durch Bewegungen entlang von größeren Rissflächen). Zur Erfassung kleiner Beben benötigt man ein lokales Array von Seismometern, in dessen Zentrum idealerweise sich das Epizentrum des Bebens befindet, weil dann die Genauigkeit der Lokalisierung am besten ist. Allerdings kann man nicht erwarten, dass diese Beben nur auf den Verschiebungsbahnen zu finden sind: Durch die Scherspannung im Bereich der Verschiebung können die Beben auch in unmittelbarer Nachbarschaft oder auf einer sekundären Verschiebungsbahn auftreten.

## 9. Ergebnisse und Bewertung

Grundsätzlich muss betont werden, dass die Untersuchungen im Bereich des potentiellen Standortgebietes Wellenberg äußerst umfangreich und systematisch sind. Dennoch hat die vorliegende Studie einige Defizite speziell in der Ermittlung und Bewertung der rezenten Tektonik und damit der Erdbebengefährdung ergeben. Damit fehlen auch klärende Daten zu der Frage, ob die Verschiebungsbahnen durch die Deckenstapel durchschlagen und damit potentiell Fließwege eröffnen können.

Die folgenden Defizite sind zu benennen:

- Es fehlen die Untersuchungen der lokalen Seismizität. Hier fehlt ein lokales Array zur Überwachung der Mikroseismik, damit gegebenenfalls die Aktivitäten entlang möglicher Verschiebungsbahnen erfasst werden können.
- Die geologischen Profile sind zu detailliert bezogen auf die vorhandenen Informationen; sie suggerieren Detailkenntnisse<sup>13</sup>, die nicht vorliegen. Die Festlegungen der Formationsgrenzen sind daher unsicher, wie die Nagra selbst feststellt (Nagra, 2008b): Die Abb. 5 aus diesem Bericht zeigt die möglichen Variationen, die beträchtlich sind.

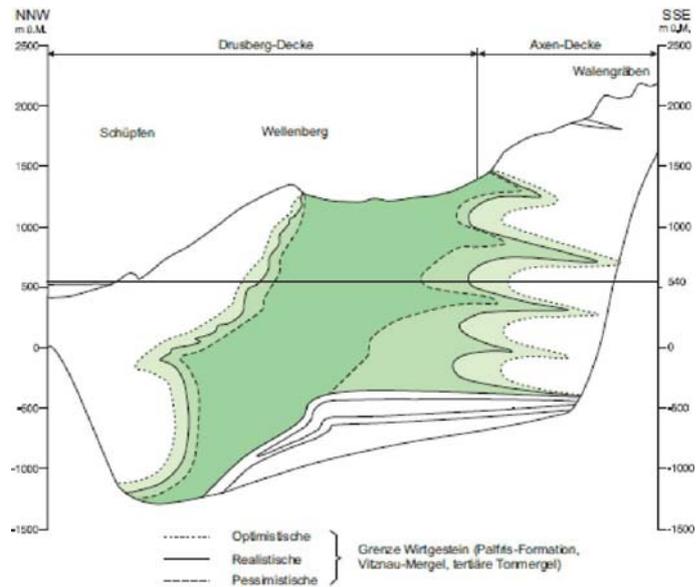


Fig. 5.3-6: Profilschnitt durch das Mergel-Vorkommen am Wellenberg (nach Nagra 1997).  
Detaillierte geologische Gliederung siehe Fig. 5.5-6.

Abb. 5: Beispiel eines Profilschnittes mit angegebenen Unsicherheiten (aus Nagra 2008a).

- Nach dem Erbebenkatalog für die Schweiz ist die Erdbebengefährdung des Gebietes zwar erhöht, aber dennoch geringer als in anderen Bereichen der Schweiz. Die starken Deformationen in den geologischen Formationen und die beobachteten rezenten Deformationen (vergl. Abb. 2) weisen allerdings auf die starken tektonischen Aktivitäten hin. Somit muss man weiterhin mit Erdbeben rechnen, die vor allem in der Betriebsphase des Endlagers zu Problemen führen können. Im Bericht Nagra 96-01 (1997) wird die Untersuchung von Rüttener (1995) zitiert, nach der in der Zentralschweiz Erdbeben der Magnitude > 7 zwar unwahrscheinlich seien, jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden können. Leider wird aber diese Information danach banalisiert und nicht weiter berücksichtigt. Gerade jüngere Untersuchungen der Seesedimente des Vierwaldstättersees zeigen, dass während der vergangenen 15'000 Jahre mehrere starke Erdbeben stattgefunden haben (Strasser et al., 2006).
- Die hydrogeologische Situation wird zu positiv eingeschätzt: Durch die Annahme eines sehr umfangreichen und homogenen Gesteinskörpers, der Palfris-Formation der Drusberg-Decke einschließlich Vitznau-Mergel, wird auch die Durchlässigkeit für Wasser als sehr gering angesehen. Aufgrund der Ungewissheiten muss allerdings mit dem Vorhandensein von Nebengestein gerechnet werden sowie mit Störungsbahnen, die aufgrund der tektonischen Bewegungen wieder aktiviert werden können. Daher ist mit einer deutlich größeren Wasserdurchlässigkeit zu rechnen. Diese Ungewissheit wird auch von der Nagra angesprochen (NTB 08-04, S. 374).
- Der Hinweis auf die Unterdruckzone weckt Hoffnungen auf eine perfekte Isolation des Tiefenlagerbereichs. Schaut man sich jedoch die Datenbasis für die hydrologische

<sup>13</sup> Gerade wissenschaftliche Berichte zu derart brisanten Themen werden auch von der Öffentlichkeit gelesen und diskutiert. Daher kann man sich nicht auf die Sprache der Geologie zurück ziehen und sagen, dass dieser Detaillierungsgrad nur diesem Stil geschuldet ist.

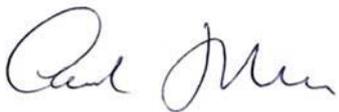
Modellierung an, dann wird deutlich, dass die zugrunde liegenden Informationen doch recht spärlich sind.

Generell bleiben Zweifel an der Eignung des Standortes, vor allem wenn man bedenkt, dass der Standort Wellenberg im frontalen Bereich der Alpen im helvetischen Deckenstapel liegt. Es existieren potenzielle Überschiebungsbahnen, die im Zusammenhang mit der Hebung des Aar-Massivs möglicherweise aktiviert werden können. Aufgrund fehlender Untersuchungen (bzw. Datenerhebungen) bleiben zeitliche wie auch genetische Zusammenhänge zwischen Erdbeben, Hebung/Erosion und Bildung offener Wegsamkeiten ungeklärt. Das Verständnis dieser Vorgänge ist aber ausschlaggebend für die Beurteilung der zukünftigen Entwicklung wasserführender Pfade und damit auch für die Sicherheit in einem Tiefenlager.

Aus diesen Gründen möchte ich mich dem Urteil von Mosar (2010) anschließen, der in seinem Fazit auf S. 15 schreibt: *Anders als die NAGRA schätze ich die Eignung des Standortgebietes Wellenberg nicht als rundum günstig ein<sup>14</sup>. Basierend auf den Studien der NAGRA und aufgrund der vorausgehenden kritischen Einschätzung der Ergebnisse sowie den Schlussfolgerungen schätze ich den Standort Wellenberg aus Sicht der Tektonik als einen ungünstigen Standort für die Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen ein. Dies hat zur Folge, dass bei einer Gesamtbewertung der Standort wahrscheinlich als ungeeignet eingestuft werden müsste.*

Dem kann der Autor nur seine oben gemachten Einwände gegen diesen Standort hinzufügen. Insbesondere die ungünstigen Explorationsverhältnisse und die Ungewissheiten bezüglich Langzeitsicherheit sind eindeutige Nachteile, die in der qualitativen Bewertung und dem sicherheitstechnischen Vergleich der Standortgebiete dazu führen sollten, dass das Standortgebiet Wellenberg im Rahmen der Etappe 2 des Sachplanes Geologische Tiefenlager zurückgestellt bzw. sogar ganz ausgeschlossen werden muss.

## 10. Unterschrift / Datum



Prof. Dr. Gerhard Jentzsch, 10. Februar 2014

## 11. Literatur

AKEnd: Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte des BMU, 2002. Auswahlverfahren für Endlagerstandorte – Empfehlungen des AkEnd. Abschlussbericht, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Referat RS III 4 (A), 260 S.

ENSI 2011. Standortgebiet Wellenberg: Stellungnahme des ENSI zum Expertenbericht von Prof. Jon Mosar. AN-Nummer ENSI 33/128, 17 S.

Kanton Nidwalden, 2010. Sachplan Geologische Tiefenlager – Auswahl Geologischer Standortgebiete (1. Etappe), geologisch-sicherheitstechnische Stellungnahme zum Standortgebiet Wellenberg. Stans, November 2010.

---

<sup>14</sup> Diese Aussage von J. Mosar ist allerdings aus Sicht der Nagra nicht korrekt. Das Standortgebiet WLB erhielt von der Nagra in der Bewertung in Etappe 1 SGT von allen 6 SMA-Standortgebieten die ungünstigste Gesamtnote und auch die ungünstigste Bewertung bezüglich der Seismizität und der Explorierbarkeit; die Bewertung war nicht rundum günstig (vgl. detaillierte Bewertung in NTB 08-03, Anhang C.4, S. 391ff.). Vergl. Fussnote 3 zur Erfüllung der Sicherheitskriterien.

- KFW, 2002. KANTONALE FACHGRUPPE WELLENBERG KFW: Bericht zur Standortwahl Wellenberg.
- Mosar, J., 2010. Sachplan geologische Tiefenlager: Beurteilung der Tektonik im Standortgebiet Wellenberg (Kt. NW/OW) hinsichtlich eines Tiefenlagers für schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Département de Géosciences, Université de Fribourg, Oktober 2010, 15 S.
- Nagra, 1994. Bericht zur Langzeitsicherheit des Endlagers SMA am Standort Wellenberg (Gemeinde Wolfenschiessen, NW). Technischer Bericht NTB 94-06. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra, 1997. Geosynthese Wellenberg 1996 – Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II. Technischer Bericht NTB 96-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra, 2008a. Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager Darlegung der Anforderungen des Vorgehens und der Ergebnisse. Technischer Bericht 08-03. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra, 2008b. Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager Geologische Grundlagen. Technischer Bericht 08-04. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra, 2008c. 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. Technischer Bericht 08-05. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra, 2013. Geologische Profile Wellenberg 2012 - Arbeitsbericht NAB 12-04. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Neuzil, C.E., 2013. Can shale safely host U.S. nuclear waste? EOS Transactions, 94, No. 30, 23. July 2013, pp. 261 – 262.
- Rüttener, E., 1995. Earthquake hazard evaluation for Switzerland. Mat. Géol. Suisse, Geophysik 29.
- Strasser, M., F.S. Anselmetti, D. Fäh, D. Giardini, and M. Schellmann, 2006. Magnitudes and source areas of large prehistoric northern Alpine earthquakes revealed by slope failures in lakes. *Geology*, Dec. 2006; Vol. 34; No. 12, p. 1005–1008; doi: 10.1130/G22784A.1.
- Tesauro, M., Hollenstein, C., Egli, R., Geiger, A., Kahle, H.-G., 2005. Continuous GPS and broad-scale deformation across the Rhine Graben and the Alps. *Int. J. Earth Sci.*, 94: 525-537.
- Vinard, P., A. Bobet, and H. H. Einstein, 2001. Generation and evolution of hydraulic underpressures at Wellenberg, Switzerland. *J. Geophys. Res.*, 106 (B12), 30,593–30,605, doi:10.1029/ 2001JB000327.