

Aspekte der Erdbebengefährdung im Zusammenhang mit dem Deep Heat Mining Projekt in Basel

Stellungnahme des Schweizerischen Erdbebendienstes zu Handen der Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit des Kantons Basel-Stadt zum Bericht von Geopower Basel AG als Folge des induzierten Erdstosses vom 8. Dezember 2006.

15. Januar 2007

Inhalt

1. Einleitung

2. Die Rolle des Schweizerischen Erdbebendienstes, SED

2.1 Rolle des SED in der Planungs- und Bohrphase

2.2 Rolle des SED während der Stimulationsphase

2.3 Gegenwärtige Rolle des SED

3. Grundsätzliche Erwägungen

3.1 Zu der Unterscheidung zwischen "induzierten" und "getriggerten" Erdbeben

3.2 Zu der Unterscheidung zwischen tieferen und flacheren Erdbebenherden

3.3 Zu den Messgrössen für die beobachteten Erschütterungen

3.4 Zu den angewendeten Massnahmen zur Kontrolle der seismischen Gefährdung

3.5 Zu der Kommunikation mit der Oeffentlichkeit

4. Offene Fragen

4.1 War das Magnitude 3.4 Beben grösser als das was man erwarten konnte?

4.2 Hatte das Magnitude 3.4 Beben vom 8. Dezember unerwartete Folgen?

4.3 Warum scheinen die Magnituden in Basel grösser zu sein als im vergleichbaren Projekt in Soultz-sous-Fôrets?

4.4 Haben die aufgetretenen Beben die Gefährdung verändert?

4.5 Ist die Anzahl und Stärke induzierter Beben eher eine Funktion der Menge oder des Druckes des eingepressten Wassers?

4.6 Wie kann man in Echtzeit die Auftretenswahrscheinlichkeit von induzierten Beben während der Stimulation abschätzen und steuern?

4.7 Wie breitet sich der jetzt noch im Untergrund vorhandene Wasserdruck aus?

4.8 Wie gross ist die grundsätzliche Gefahr, ein Schadensbeben auszulösen?

5. Notwendige Massnahmen

5.1 Massnahmen sowohl im Falle einer Weiterführung als auch einer Aufgabe des Projektes

5.2 Zusätzliche Massnahmen im Falle einer Weiterführung des Projektes

6. Abschliessende Bemerkungen

1. Einleitung

Als Folge des am 8. Dezember 2006 im Zusammenhang mit den Arbeiten am Geothermie Projekt Deep Heat Mining (DHM) aufgetretenen Erdbebens wurde am 15. Dezember 2006 an einem Treffen von Vertretern der Behörden des Kantons Basel-Stadt, der Betreiber des Projektes, Geopower Basel AG und Geothermal Explorers Ltd., sowie des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) beschlossen, dass die Betreiber einen Bericht zu Händen der Regierung des Kantons Basel-Stadt zur Beantwortung eines vom Kanton aufgestellten Fragenkatalogs verfassen sollten. Ausserdem wurde beschlossen, dass der SED als unabhängiges beratendes Fachorgan für den Kanton zu diesem Bericht von Geopower sowie allgemein zu Fragen der seismischen Gefährdung Stellung nehmen soll. Der Bericht von Geopower ist den Abmachungen entsprechend am 5. Januar 2007 abgeliefert worden. Mit diesem Gutachten nimmt der SED seinerseits Stellung dazu.

Im Folgenden werden wir erst die Rolle des SED im Zusammenhang mit dem DHM Projekt klarstellen, dann einige grundsätzliche Erwägungen zum Zusammenhang zwischen der Stimulation eines tiefen geothermischen Reservoirs und der Seismizität anstellen, und schliesslich die kritischen Fragen sowie die sich daraus ergebenden Empfehlungen erörtern. Dieser Bericht stellt somit nicht eine detaillierte Begutachtung des Berichtes von Geopower vom 5. Januar 2007 dar, sondern beschränkt sich auf eine Stellungnahme zu den für die Abschätzung der seismischen Gefährdung relevanten Punkten. Auf den Bericht von Geopower wird nur direkt Bezug genommen, wo unsere Einschätzung von denjenigen von Geopower abweichen und wo dies für die hier zur Diskussion stehenden Fragen relevant ist.

2. Die Rolle des SED

2.1 Rolle des SED in der Planungs- und Bohrphase

Obwohl Kontakte zwischen dem SED und Geothermal Explorers Ltd. schon früher bestanden (zur Nutzung des ersten Sondierbohrloches Otterbach-1 als Standort für ein Breitband Seismometer, sowie als Berater bei der Auswahl der einzusetzenden Bohrloch-Seismometer) wurde der SED erst im Dezember 2005, also fast ein Jahr nach Erteilen der Baubewilligung durch den Kanton Basel-Stadt, zur Erörterung der erdbebenrelevanten Aspekte des Projektes kontaktiert. Das Protokoll des Treffens vom 8. Dez. 2005 an dem auch der Geologie-Beauftragte des Kantons, Dr. P. Huggenberger, teilnahm, ist als Anlage 18 dem Bericht von Geopower beigelegt. Am 5. April 2006 erhielt dann der SED eine erste Version des von Geothermal Explorers verfassten Berichtes "Massnahmen zur Ueberwachung und Kontrolle induzierter Seismizität und Erschütterungen, Projekt Deep Heat Mining Basel". Am 7. Mai 2006, hat der SED in einem Brief an Geothermal Explorers mit Kopie an Herrn Huggenberger zu diesem Bericht Stellung genommen (Geopower Bericht, Anlage 22) und am 6. Juni 2006 hat ein Treffen von Geopower, Geothermal Explorers, Herrn Huggenberger und dem SED stattgefunden, um die Konsequenzen dieser Stellungnahme zu besprechen (Geopower Bericht, Anlage 23). An dieser Besprechung wurde vereinbart, dass Geothermal Explorers einen revidierten Massnahmen-Bericht verfassen würde und der SED einen Vorschlag zur Ueberwachung der Seismizität während der Stimulationsphase ausarbeiten würde. Am 4. Juli 2006 ist dieser Vorschlag mit dem Titel "Massnahmen und Kosten für die Erdbeben-Ueberwachung und -Alarmierung während der ersten Injektionsphase (Oktober 2006)" an Geothermal Explorers geschickt worden. Da dieses Dokument in den Anlagen zum Geopower Bericht vom 5. Januar 2007 fehlt, zitieren wir hier die

Einleitung dazu, weil sie die Einschätzung der Lage seitens des SED im Vorfeld der Stimulation dokumentiert (damals ging man noch davon aus, dass diese schon im Oktober 2006 beginnen könnte):

Zitat:

Die zur Zeit laufende Bohrung in Kleinhünigen (Basel) soll Ende September oder Anfang Oktober 2006 die Endtiefe von 5 km erreichen. Anschliessend wird eine rund drei Wochen andauernde Stimulationsphase beginnen, während derer mittels Injektion grösserer Mengen Wasser unter hohem Druck die Durchlässigkeit des Gesteins in 5 km Tiefe erhöht werden soll. Es wird erwartet, dass dadurch mehrere zehntausend mikroseismische Ereignisse induziert werden. Die grosse Mehrheit dieser Beben wird eine Magnitude kleiner als 1 aufweisen und weder von der Bevölkerung gespürt noch vom nationalen Netz des SED aufgezeichnet werden. Einige könnten jedoch auch Magnituden erreichen, so dass sie nicht nur von SED Netz aufgezeichnet werden sondern auch von der Bevölkerung wahrgenommen und eventuell sogar Schäden verursachen könnten. Ausserdem ist es möglich, dass die Injektion von Wasser im Untergrund und die damit verbundenen Veränderungen der Spannungsverhältnisse und der Gesteinsfestigkeit einzelne Beben oder Bebenschwärme auslösen, die nicht in unmittelbarer Nähe des Injektionspunktes liegen. Letztlich ist nicht auszuschliessen, dass genau während dieser Zeit sich ganz ohne Beeinflussung durch die Injektionen die natürliche Seismizität in Basel wieder bemerkbar macht.

In Anbetracht der möglichen Auswirkungen hat der Kanton Basel-Stadt gefordert, dass der Schweizerische Erdbebendienst als unabhängige Instanz die Öffentlichkeit rasch und objektiv über allfällig spürbare Ereignisse informiert. Insbesondere wird der SED für die Bestimmung der offiziell gültigen Magnitude zuständig sein. Geothermal Explorers Ltd. haben ausserdem ein Vorgehen erarbeitet, der je nach Stärke und Anzahl der aufgetretenen seismischen Ereignisse zu Massnahmen wie Reduktion des Injektionsdruckes oder sogar zu einem Unterbruch der Injektion führen muss. Die entsprechenden Magnituden und Erschütterungswerte müssen vom SED innert kürzester Zeit sowohl an den Unternehmer als auch an die Behörden kommuniziert werden können.

Im günstigsten Fall wird die seismische Aktivität über M 1 in dieser Zeit nur wenig höher sein als normal. Wahrscheinlicher ist es aber, dass man mit Hunderten von kleinen Erdbeben konfrontiert sein wird, die dicht aufeinander folgen und sowohl die Automatik als auch den manuellen Auswerter zumindest zeitweise überfordern. Auf letzteren Fall muss man also vorbereitet sein. Ausserdem ist damit zu rechnen, dass die Bevölkerung durch die Medien sensibilisiert sein wird und nach dem ersten verspürten Beben sehr sensibel reagieren wird. Bei einem Schadensbeben sind Schadensersatzklagen zu erwarten. Eine grosse Datendichte mit instrumentellen Aufzeichnungen sowie makroseismische Erhebungen werden in diesem Zusammenhang von grosser Bedeutung sein, um das mögliche Schadensgebiet einzuschränken.

Der genaue Zeitpunkt der Stimulation ist noch nicht absehbar. Falls sie Ende September oder Anfang Oktober stattfindet, wird sie sich mit der Erdbeben-Ausstellung in Martigny, den Herbstferien und der Rheintal-Erdbebenübung sowie der Gedenkfeier zum Basler Beben von 1356 überschneiden.

Ende Zitat.

Parallel zur Aushandlung eines Zusammenarbeitsvertrages zwischen Geopower und dem SED, der die Modalitäten und die Abdeckung der Kosten der Erdbebenüberwachung und Dokumentation für Basel sowie den dazu erforderlichen Datenaustausch regeln sollte, hat der SED sofort mit den Arbeiten zur Erstellung der notwendigen Soft- und Hardware begonnen. Nachdem der SED am 20. September in einem Brief an Geopower und Geothermal Explorers seine Sorgen bezüglich der aus seiner Sicht nach der Besprechung vom 6. Juni noch offenen Fragen geäussert hatte, stellte sich heraus, dass der Massnahmen-Bericht, wie er nun in Teil 3

des Geopower Berichtes vom 5. Januar 2007 enthalten ist, schon im Juli 2006 revidiert und an alle Beteiligten verschickt worden war, aber aus bislang ungeklärten Gründen dem SED nicht zu Gesicht gekommen war. Eine formale Stellungnahme seitens des SED zu der Endfassung dieses Massnahmen-Berichtes wurde von keiner Seite angefordert und liegt auch nicht vor. Hingegen wurde der SED zusammen mit Geopower und Geothermal Explorers am 27. September zu einer Sitzung der RSKO in Basel eingeladen. Dort wurde das Projekt seitens Geothermal Explorers vorgestellt und die geplanten Ueberwachungsmassnahmen seitens des SED erläutert. In einem Brief an die RSKO hat der SED am 26. September 2006 seinen damaligen dargelegt ist. Darin stand unter Anderem:

Zitat:

The Deep Heat Mining Basel (DHMB) project is an important step toward the future national energy infrastructure and policy. Drilling a deep borehole and changing the state of stress in the near proximity of active faults that already in the past generated devastating earthquakes carries the intrinsic risk of enhancing the probability of occurrence of the next earthquake. While there is no undisputable method to prove or disprove that this is indeed the case, a project of this magnitude has to fully engage to ensure that during all phases of the project (exploration and long-term exploitation) all possible data are acquired and all possible monitoring and modeling are carried out to detect any significant sign of enhanced danger. Such activities are required when working in the seismically active zone under an urban area. The seismic risk in Basel cannot be underestimated.

.....

§ *The contract will include the commitment of Geopower-Basel AG and specific provisions to ensure that the monitoring can continue beyond the first stimulation phase, to make the data available for further monitoring and modeling, to replace faulty instrumentation and install new ones in case of need. A second contract covering the second part of the exploration phase following the first injection will be prepared on the basis of the observed conditions during the first injection.*

§ *An integral component of a comprehensive monitoring strategy is a deep understanding of the reservoir dynamic and evolution and its relation to induced seismicity. Geopower-Basel AG engages to initiate a comprehensive modeling effort to understand how the stimulation and operational phases will affect rock properties, water circulation, temperature field, fluid-fault interactions, earthquake probabilities and triggering, and to model the ground scenarios to be expected in Basel in case of triggered events. This research program aims at providing results in the long-term exploitation phase. The precise research agenda will be defined during the next month by Geopower-Basel AG and by the SED, with the aim of submitting a comprehensive research proposal to KTI and the Kanton Basel-Stadt by the end of November.*

We would like confirmation from the Kanton Basel-Stadt that this plan – covering both a long-term policy for monitoring as well as a comprehensive program of investigations – meets the expectations of the Kanton authorities.

Ende Zitat.

Der Vertrag mit Geopower, welcher die Rolle des SED während der Stimulationsphase und die Zusammenarbeit mit Geothermal Explorers regelt, wurde schliesslich Mitte November unterschrieben.

2.2 Rolle des SED während der Stimulationsphase

Zur Erfüllung der im oben zitierten Bericht vorgeschlagenen Massnahmen sowie der mit Geopower vertraglich geregelten Verpflichtungen, hat der SED am 13. November 2006 eine spezielle, für das Basel Geothermie Projekt erstellte, Web-Seite öffentlich aufgeschaltet

(<http://www.seismo.ethz.ch/basel/>). Dort enthalten ist eine ausführliche Dokumentation zu den seismologischen Aspekten der Stimulation eines tiefen Geothermie-Reservoirs. Mit Beginn der Stimulation am 2. Dezember 2006 wurden ausserdem in nahezu Echtzeit alle vom SED in Basel und Umgebung registrierten Ereignisse in einer Liste und auf verschiedenen Epizenterkarten dargestellt. Bei Auftreten von Beben ab Magnitude 2.0 wurden die Verantwortlichen von Geothermal Explorers direkt informiert. Für Beben ab Magnitude 2.5 ging ausserdem eine Meldung an die Nationale Alarmzentrale und ab Magnitude 3.0 auch an verschiedene Amtsstellen der Kantone Basel-Stadt und -Land. Die seismologischen Institutionen in Strasburg und Freiburg i. Brsg. wurden mittels der üblichen Prozeduren per Internet über die jeweilige seismische Aktivität in Basel informiert. Das Ueberwachungs- und Alarmierungssystem hat mit wenigen Ausnahmen über die gesamte Stimulationsphase, nicht zuletzt auch Dank des reibungslosen Informations- und Datenaustausches mit Geothermal Explorers, ausgezeichnet funktioniert.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass Unterschiede in der Lokalisierung und Magnitude der registrierten Erdbeben, wie sie zeitweise auf unseren Web-Seiten und in den Medien wahrzunehmen sind, durch die verwendeten Prozeduren bedingt und normal sind. Eine erste automatische Lokalisierung wird in der Regel schon innerhalb der ersten Minute nach dem Erdbeben berechnet und bekannt gegeben. Diese Angaben beruhen auf einem reduzierten Satz von Beobachtungen und einer auf 10 km fixierten Herdtiefe. Eine manuelle Lokalisierung, welche alle Daten berücksichtigt, ist erst später verfügbar. Abgesehen davon dass generell Magnituden-Werte eine Unsicherheit von 0.2-0.3 Einheiten aufweisen, gibt es zwischen den verschiedenen europäischen seismologischen Institutionen systematische Unterschiede in der Art wie die Magnituden berechnet werden. So sind die Magnituden-Angaben des Landeserdbebendienstes von Baden-Württemberg in der Regel rund 0.2 Einheiten und die der Franzosen sogar um 0.4-0.5 Einheiten höher als diejenigen des SED. Diese Unterschiede sind in der Fachwelt bekannt und in verschiedenen Berichten dokumentiert. Wichtig dabei ist, dass die verwendeten Werte konsistent mit den daraus ableitbaren Erschütterungen an der Erdoberfläche sind. Es ist also nicht so, wie verschiedentlich in der Oeffentlichkeit unterstellt worden ist, dass der SED die Stärke der in Basel aufgetretenen Erdbeben zu minimisieren versucht.

2.3 Gegenwärtige Rolle des SED

Der SED nimmt weiterhin den oben erläuterten Ueberwachungs- und Kommunikationsauftrag wahr. Für seinen Aufwand wird er noch bis 15. Januar 2007 von Geopower entschädigt. Die Bedingungen für eine Weiterführung sind noch zu regeln. Ausserdem hat der SED am 18. Dezember 2006 zwecks Informationsaustausch an einem von Geothermal Explorers einberufenen Experten Treffen teilgenommen. Die vom SED dort vertretenen Meinungen decken sich mit dem Inhalt dieses Berichtes. Der SED verpflichtet sich weiterhin zu einer objektiven und unabhängigen Information und Beratung aller Beteiligten bezüglich der mit dem Geothermie Projekt in Basel verbundenen seismischen Aktivität und möglichen Gefährdung.

3. Grundsätzliche Erwägungen

3.1 Zu der Unterscheidung zwischen "induzierten" und "getriggerten" Erdbeben

Sowohl im Geopower Bericht als auch in der Oeffentlichkeit wird manchmal von "induzierten" Beben und manchmal von "getriggerten" Beben gesprochen, ohne dass genau definiert wird, was der Unterschied zwischen den zwei Begriffen sein soll. So wird in Abschnitt 3.4.2.2 des Geopower Berichtes der Eindruck erweckt, dass die induzierten Beben mit den gewollten, nicht spürbaren Beben gleichzusetzen sind, während alle spürbaren und somit zu verhindernden Beben als getriggerte Beben gelten. In einem späteren Abschnitt (3.5.1, sowie in Anlage 14)

werden getriggerte Beben mit dem Abbau von prä-existenten Scherspannungen im Untergrund gleichgesetzt, was den Eindruck erwecken könnte, dass in ihrem Gebrauch des Begriffes induzierte Beben einen grundsätzlich anderen physikalischen Prozess als getriggerte Beben darstellen.

Tatsächlich ist das Gestein in 5 km Tiefe von unzähligen Rissen und Brüchen aller Grössenordnungen und verschiedener Orientierung durchzogen. Die meisten dieser Risse sind mehr oder weniger geschlossen und das natürlich vorhandene Grundwasser oder andere Fluide zirkulieren nur sehr langsam. Zu einem Erdbeben kommt es in der Regel dann, wenn die durch grossräumige tektonischen Bewegungen aufgebauten Spannungen die Scherfestigkeit dieser Risse und Klüfte übersteigt und so eine plötzliche ruckartige Verschiebung der zwei Seiten dieser Risse ausgelöst wird. Ob nun diese Bruchvorgänge im Erdinneren als starkes oder schwaches Erdbeben oder überhaupt wahrgenommen werden, hängt in erster Linie mit der Grösse der bewegten Bruchfläche sowie vom Betrag und der Geschwindigkeit der darauf ablaufenden Bewegung ab. Kommt zusätzliches Wasser unter hohem Druck in die vorhandenen Risse und Klüfte, dann verringert das den effektiven Reibungswiderstand zwischen den zwei Seiten dieser Risse so dass es schon bei geringeren tektonischen Spannungen zu einer ruckartigen Bewegung kommt. Die Stimulation eines geothermischen Reservoirs macht sich die Tatsache zu Nutze, dass nach dem Bruchvorgang und auch nachdem der Wasserdruck wieder abgenommen hat die zwei Seiten der Klüfte nicht mehr so gut aufeinander passen wie vorher und somit die Wasserdurchlässigkeit erhöht wird. Eine erfolgreiche Reservoir-Stimulation hängt also in erster Linie davon ab, dass die tektonischen Spannungen Bewegungen auf den vorhandenen Rissen und Klüften verursachen. Der durch die Injektion erhöhte Wasserdruck dient lediglich dazu, diese Bruchvorgänge auszulösen. Somit sind aus physikalischer Sicht alle durch den Stimulationsprozess verursachten seismischen Ereignisse getriggerte Erdbeben.

Im Zusammenhang mit der Stimulation eines geothermischen Reservoirs macht es aber trotzdem Sinn, zu unterscheiden zwischen **induzierten Beben**, deren Herde sich innerhalb des unmittelbar von der Wasserinjektion betroffenen Gesteinsvolumen befinden und dessen Herddimensionen die Ausdehnung dieses Volumens nicht überschreiten, und **getriggerten Beben**, deren Herde entweder ausserhalb dieses Volumens liegen oder, falls sie darin liegen, deren Herdausdehnung wesentlich grösser ist als dieses Volumen. Nach dieser Definition wären alle bisher im Zusammenhang mit dem Basler Geothermie Projekt registrierten seismischen Ereignisse induzierte Beben. Ein typisches getriggertes Beben würde dann vorliegen, wenn zum Beispiel nach drei Monaten sich das noch im Untergrund befindende Wasser mit genügendem Druck so weit ausgebreitet hat, dass es auf einen vom stimulierten Gesteinsvolumen getrennten Bruch trifft und dort eine Erdbebenserie auslöst. Aus dieser Definition folgt jedoch nicht notwendigerweise, dass alle induzierten Beben klein und harmlos sind, während alle getriggerte Beben potentielle Schadensbeben sind. .

3.2 Zu der Unterscheidung zwischen tieferen und flacheren Erdbebenherden

Unter Abschnitt 6.1 des Geopower Berichtes wird behauptet, dass im Gegensatz zu den induzierten Beben die Herde natürlicher Erdbeben in der Nordwestschweiz vorwiegend tiefer als 15 km oder sogar um 20 bis 25 km tief liegen. Diese Aussage beruft sich auf eine Arbeit über Erdbeben im südlichen Rheingraben und angrenzenden Schwarzwald sowie unter dem Dinkelberg. Tatsache ist jedoch, dass bis zur Installation der Bohrloch-Seismometer von Geothermal Explorers keine Möglichkeit bestand, die Herdtiefen der Beben im Raum Basel mit genügender Genauigkeit zu bestimmen. In anderen Teilen der Nordwestschweiz konnten jedoch viele Erdbeben in Tiefen zwischen 2 und 10 km nachgewiesen werden, inklusive solche mit Magnituden zwischen 3 und 4. Eine geringe Herdtiefe ist ausserdem keine Garantie für schwache Erdbeben: 1996 hat das Beben von Annecy südlich von Genf, mit einer Magnitude von 5 und einer Herdtiefe von 2-3 km, Schäden in der Grössenordnung von 300 Millionen französische Francs verursacht.

3.3 Zu den Messgrössen für die beobachteten Erschütterungen

An mehreren Stellen im Bericht von Geopower (Abschnitt 3.1.3 und 6.1) werden die durch Erdbeben verursachten Erschütterungen in Form von V_{rms} Werten (Wurzel des mittleren Quadrates der Schwinggeschwindigkeit) quantifiziert. Dieses Mass ist sinnvoll für die Messung von länger andauernder Erschütterungen, so wie sie zum Beispiel vom Verkehr oder von Bauarbeiten verursacht werden, und entspricht der Norm SN640312a für Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke. Für kurzfristige und impulsive Einwirkungen wie die der induzierten Erdbeben von Basel ist dieses Mass jedoch wenig sinnvoll, und entsprechende Richtwerte für die Einwirkungen von Erdbeben fehlen in dieser Norm. Darum sind die Grenzwerte für die zu Ergreifenden Massnahmen auch als PGV Werte (maximale Schwinggeschwindigkeit) angegeben.

Eine Tabelle, welche die Beziehung zwischen PGV sowie PGA (maximale Bodenbeschleunigung) und der erwarteten makroseismischen Intensität aufzeigt, ist als Anlage 32 dem Geopower Bericht beigelegt, und ist auch zusammen mit einer Karte im Massnahmen-Bericht (S. 21 und 22) vom Juli 2006 enthalten.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass das Verhältnis zwischen den in Basel gemessenen PGV und PGA Werten sowie zwischen PGV und der beobachteten makroseismischer Intensität nicht mit den entsprechenden Werten in diesen Tabellen und Karten übereinstimmen. Entweder sind die dort aufgeführten PGV Werte falsch oder nicht auf schweizer Verhältnisse übertragbar (Siehe Abschnitt 4.2).

3.4 Zu den angewendeten Massnahmen zur Kontrolle der seismischen Gefährdung

Ausgehend von der Annahme, dass die Anzahl pro Zeit und somit auch die Magnituden der induzierten Beben über die Injektionsrate und dem Wasserdruck steuerbar sind, wurde ein Ampel System eingeführt dass, in Funktion der registrierten Magnituden und der an der Erdoberfläche beobachteten Erschütterungen, Massnahmen wie Reduktion der Pumprate oder Stopp der Injektion ausgelöst hat. Dies an einem ähnlichen Projekt in El Salvador erprobte Verfahren wurde von Geothermal Explorers im Laufe der Stimulationsphase auch genau befolgt und hat schliesslich noch vor dem Magnitude 3.4 Beben erst zu einer Reduktion und dann zum Stopp der Injektion geführt. Obwohl dieses Ampelsystem eine rationale Entscheidungshilfe darstellt, kann es sich nicht leicht an eine sich rasch verändernde Sachlage anpassen. In diesem Sinne wäre es sinnvoll das Ampelsystem durch ein statistisches Vorhersageverfahren, wie es heute für natürliche Erdbeben in Kalifornien bereits erprobt wird, zu ergänzen (Siehe Abschnitt 4.6).

3.5 Zu der Kommunikation mit der Oeffentlichkeit

Sowohl der SED als auch die von den Betreibern zugezogenen Experten haben wiederholt auf die Notwendigkeit aufmerksam gemacht, die Erdbebengefährdung zu berücksichtigen und diese sowohl den Behörden als auch der Oeffentlichkeit zu kommunizieren. Obwohl das laufende Geothermie Projekt immer wieder ein Thema in den Medien war, und die speziell dafür eingerichtete und seit dem 13. November oeffentlich zugängliche Web-Seite des SED auf das mögliche Auftreten von Erdbeben während der Stimulationsphase hinwies, war die Bevölkerung von Basel nicht genügend informiert und vorbereitet. Die Pressemitteilung vom 28. November seitens Geopower wurde von den Medien zu wenig beachtet. Somit war dann, als die Stimulation im Gang war und die ersten schwachen Ereignisse gespürt wurden, nicht bekannt, dass diese durch das Geothermie Projekt verursacht sein konnten, und dass man sich auf der Web-Seite des SED darüber hätte informieren können. Dazu wäre eine sehr viel gezieltere Informationskampagne aller Beteiligte lang im Voraus nötig gewesen. Auch innerhalb und zwischen den verschiedenen Behörden des Kantons scheint die Tragweite des Themas nicht erkannt worden zu sein.

4. Offene Fragen

Im Folgenden sollen die Fragen diskutiert werden, die aus seismologischer Sicht für die Weiterführung des DHM Projektes in Basel relevant sind.

4.1 War das Magnitude 3.4 Beben grösser als das was man erwarten konnte?

Nein. Das Verhältnis der Anzahl schwacher induzierter Beben zu derjenigen der stärkeren Erdbeben, welches sich im sogenannten b-Wert ausdrückt, scheint gleich zu sein wie für natürlich auftretende Beben ($b = 0.9$) und steht ganz im Einklang mit dem wahrscheinlichen Auftreten eines Bebens mit Magnitude 3-3.5. Auch die zeitliche Abfolge der zunehmenden Anzahl und Magnituden der Beben liess ein Ereignis dieser Stärke erwarten. Auf ein Magnitude 2.3 Ereignis am 7. Dezember folgte mit zunehmender Injektionsrate in den frühen Morgenstunden des 8. Dezembers ein Beben der Magnitude 2.6. Als Folge davon wurde, den vorgesehenen Massnahmen (Ampelsystem) folgend, die Injektionsrate gedrosselt und schliesslich am Mittag des 8. Dezembers die Injektion ganz gestoppt. Im Laufe des Nachmittags trat dann noch ein weiteres Ereignis der Magnitude 2.7 auf, bevor eine Stunde später das Magnitude 3.4 Beben stattfand. Die möglichen Konsequenzen dieser Beobachtungen für das Verständnis der abgelaufenen Prozesse sowie für die Möglichkeit, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens solcher Beben vorauszusagen, werden in den Abschnitten 4.5 und 4.6 nochmals aufgenommen.

4.2 Hatte das Magnitude 3.4 Beben vom 8. Dezember unerwartete Folgen?

Erdbeben der Magnituden zwischen 3 und 4 treten in der Schweiz und unmittelbarer Umgebung im langjährigen Mittel alle paar Monate auf, ohne grosses Aufsehen, geschweige denn Schäden zu verursachen. Das Beben vom 8. Dezember scheint hingegen nicht nur deutlich gespürt worden zu sein, sondern hat auch eine hohe Anzahl Schadensmeldungen zur Folge gehabt. Auch wenn zur Zeit nicht fest steht, ob die gemeldeten Schäden tatsächlich durch das Erdbeben verursacht wurden, hat das Beben doch zu einer aussergewöhnlichen Verunsicherung der Bevölkerung geführt. Sicher haben folgende Aspekte zu dieser Verunsicherung beigetragen: der laute Knall, welcher Erdbeben in dieser Nähe zum Herd normalerweise begleiten, der Unterschied der Wahrnehmungen gegenüber den weiter entfernten Erdbeben, die in den vergangenen Jahren in Basel gespürt wurden, und nicht zuletzt die mangelhafte Information im Vorfeld der Stimulation.

Es stellt sich nun auch im Hinblick auf eine mögliche Wiederaufnahme der Stimulation die Frage, in wie weit dies auf physikalische Ursachen zurück zu führen ist (Herdtiefe, Eigenschaften des Erdbebenherdes, Beschaffenheit des Lokalen Untergrundes und Bausubstanz) oder ob dies eine Folge der Umstände ist (Mangelnde Aufklärung der Bevölkerung im Vorfeld und dem verständlichen Unmut nach Erkenntnis der Tatsache, dass das Beben durch menschliche Tätigkeiten ausgelöst worden war). Eine noch ausstehende sorgfältige Auswertung des umfangreichen Datenmaterials der im Vorfeld installierten Instrumente von Geothermal Explorers und des SED, sowie ein Vergleich mit den Wahrnehmungen der Bevölkerung, und die Untersuchung der Schadensmeldungen durch die Versicherungen, wird auf diese Frage eine Antwort geben können.

4.3 Warum scheinen die Magnituden in Basel grösser zu sein als im vergleichbaren Projekt in Soultz-sous-Fôrets?

Obwohl weder die Projektbetreiber noch der SED ausgeschlossen hatten, dass es während der Stimulationsphase zu Beben mit Magnituden grösser als 3 kommen könnte, hat sich doch die Planung des Stimulationsprogramms an den Erfahrungen des ähnlichen Projektes in Soultz-sous-Fôrets (Frankreich) orientiert. Dort erreichte das stärkste bisher beobachtete Beben eine Magnitude von 2.9. Mit den zwei Beben vom 8. Dezember 2006 und vom 6. Januar 2007, mit Magnituden von 3.4 und 3.1, scheinen zumindest die grössten Beben im Fall von Basel einiges stärker ausgefallen zu sein. Im Hinblick auf eine Prüfung von Alternativen zu dem in der ersten Stimulationsphase praktizierten Vorgehen stellt sich die Frage, ob die induzierte Seismizität in Basel allgemein höher war als in Soultz oder ob nur die Verteilung der Anzahl kleinerer Ereignisse relativ zu der Anzahl der grössten Ereignisse verschieden ist. Es ist zu erwarten, dass ein sorgfältiger Vergleich der bisher im Rahmen des DHM Projektes in Basel gewonnenen Daten mit denjenigen von Soultz Aufschluss über allfällig vorhandene Unterschiede zwischen dem tektonischen Spannungszustand der zwei Gebiete geben kann. Das könnte einen nützlichen Hinweis zur Planung zukünftiger Stimulationsversuche liefern.

4.4 Haben die aufgetretenen Beben die Gefährdung verändert?

Von verschiedener Seite (insbesondere von der Deutschen Vereinigung für Geothermie) wird die Meinung geäussert, dass die in Basel durch die Stimulationsversuche induzierten Beben zu einem Spannungsabbau geführt haben und somit dazu beitragen, das Auftreten eines nächsten Grossbebens im Raum Basel zu verzögern. Diese Behauptung ist falsch. Massgebend für den durch ein Erdbeben verursachten Spannungsabbau im Untergrund ist die Deformationsenergie. Von einer Magnitudeneinheit zur Nächsthöheren nimmt diese Deformationsenergie um das 30-fache zu. Das bedeutet, dass es 30 Beben der Magnitude 3 braucht, um die gleiche Wirkung wie ein einziges Magnitude 4 Beben zu entfalten. Folglich entspricht ein einziges Beben der Magnitude 6 rund 30'000 Beben der Magnitude 3. Dieses enorme Missverhältnis zwischen der Wirkung kleiner Beben im Vergleich zu derjenigen eines grossen Erdbebens lässt sich auch an Hand des Grössenunterschieds zwischen den jeweiligen Bruchflächen veranschaulichen: Die Ausdehnung der Bruchfläche eines Bebens der Magnitude 6 liegt in der Grössenordnung von 20 km, diejenige eines Magnitude 3 Bebens beträgt hingegen lediglich einige 100 Meter. Die bisher als Folge der geothermischen Reservoirstimulation aufgetretenen Beben haben also bestenfalls einen lokalen Spannungsabbau bewirkt. Zum Abbau der grossräumigen tektonischen Spannungen unter Basel und somit auch zur Verringerung der allgemeinen Erdbebengefährdung haben sie jedoch nichts beigetragen.

Erdbeben bewirken nicht nur einen Spannungsabbau, insbesondere auf der Bruchfläche auf der das Beben stattgefunden hat, sondern sie führen auch zu einer Spannungumlagerung. An den Rändern der Bruchfläche, dort wo der Bruchvorgang nicht stattgefunden hat, werden die Spannungen lokal erhöht, was sich in der Regel auch bei natürlichen Beben durch das Auftreten von sogenannten Nachbeben bemerkbar macht. Es bleibt also die Frage offen, in wie weit die stärkeren induzierten Beben die Wahrscheinlichkeit des Auftretens weiterer Beben zumindest lokal und kurzzeitig sogar erhöht haben könnten.

4.5 Ist die Anzahl und Stärke induzierter Beben eher eine Funktion der Menge oder des Druckes des eingepressten Wassers?

Aus den verschiedenen Protokollen und Experten-Berichten, welche dem Geopower-Bericht vom 5. Januar 2007 beiliegen, geht hervor, dass sowohl in der Planungsphase als auch am Experten-Treffen in Pratteln am 18. Dezember 2006 (also nach der ersten Stimulationsphase) die Frage diskutiert wurde, ob die Stimulation eher mit niedrigem Druck über längere Zeit oder in einer

kürzeren Zeit mit hohem Druck betrieben werden soll. Unter den Experten besteht zur Zeit kein Konsens darüber, welche Vorgehensweise zu einer geringeren Auftretenswahrscheinlichkeit von stärkeren induzierten Beben führen könnte. In rein seismologischem Zusammenhang lautet diese Frage: ist die Anzahl und Stärke induzierter Beben eher eine Funktion der Menge oder des Druckes des eingepressten Wassers?

Bei der Erörterung dieser Frage darf man nicht vergessen, dass es nicht der Wasserdruck selber ist, der die Beben verursacht, sondern die schon natürlich vorhandenen tektonischen Spannungen. Das zusätzlich eingepresste Wasser trägt lediglich dazu bei, dass die Scherfestigkeit der im Untergrund vorhandenen Risse und Bruchflächen soweit verringert wird, dass es zu einem Bruch kommen kann. Vergleicht man die zeitliche Entwicklung der Anzahl induzierter Beben mit der des eingepressten Wasservolumens und des angelegten Druckes (Geopower Bericht, Anlage 24) könnte man zum Schluss kommen, dass die Magnituden der induzierten Beben in direktem Zusammenhang mit dem Wasserdruck stehen, und dass die stärkeren Beben verhindert werden könnten, wenn die Stimulation einfach mit geringerem Druck durchgeführt würde. Es stellt sich hier insbesondere die Frage, ob ein Wasserdruck, der grösser ist als die kleinste Hauptspannung im Untergrund (was ab ca. 6. Dezember in Basel der Fall war, und was zumindest lokal sogar zu einem Aufspreizen vorhandener Klüfte führen kann) die Wahrscheinlichkeit grössere Beben auszulösen, grundsätzlich erhöht. Andererseits war nicht nur schon beim Auftreten des Magnitude 3.4 Bebens am 8. Dezember der Wasserdruck in der Bohrung schon um 100 bar gegenüber dem Maximum gesunken, sondern das zweite Beben mit Magnitude grösser als 3 fand sogar erst am 6. Januar statt, als der Wasserdruck im Bohrloch schon lange wieder sein natürliches Niveau erreicht hatte. Es besteht somit durchaus die Möglichkeit, dass das Magnitude 3.4 Beben auch bei einem geringerem Injektionsdruck passiert wäre, wenn auch vielleicht zu einem anderen Zeitpunkt.

Fazit aus dieser Diskussion ist, dass das Prinzip der Interaktion zwischen dem Einpressen von Wasser in den Untergrund und den induzierten Beben bekannt ist. Trotzdem ist es uns nach vorhandenem Wissensstand nicht möglich, im Einzelnen die Ereignisse eindeutig zu erklären, geschweige denn vorherzusagen. Eine Verbesserung unseres Wissenstandes wäre aber durchaus zu erreichen. Fluide spielen nicht nur bei den von Menschenhand induzierten Beben eine Rolle, sondern es wird schon lange vermutet, dass Fluide auch bei der Auslösung von natürlichen Beben eine Schlüsselfunktion ausüben. In den letzten Jahren sind, insbesondere zur Erklärung des Auftretens von sogenannten Erdbebenschwärmen, Rechenmodelle entwickelt worden, mit denen das Auslösen von Beben durch die Einwirkung von Wasser modelliert werden kann. Im Falle des Geothermie-Projektes von Basel könnten nun die in der Vorerkundung und während der ersten Stimulationsphase gewonnenen Messdaten dazu dienen, diese Rechenmodelle so zu eichen, dass damit nicht nur ein besseres Verständnis der abgelaufenen Ereignisse zu erreichen wäre, sondern dass sich aus diesen Erkenntnissen auch eine Entscheidungshilfe für die Planung einer möglichst Gefährdungsfreien zweiten Stimulationsphase ergeben könnte.

4.6 Wie kann man in Echtzeit die Auftretenswahrscheinlichkeit von induzierten Beben während der Stimulation abschätzen und steuern?

Wie schon in Abschnitt 4.1 erwähnt, wenn man die zeitliche Entwicklung der in Basel induzierten Beben betrachtet, so sieht man, dass die Anzahl pro Zeit und die Magnitude der Ereignisse miteinander zu korrelieren scheinen. Es drängt sich damit die Frage auf, ob es nicht möglich wäre, aus einer laufenden statistischen Analyse der auftretenden Ereignisse eine probabilistische Aussage über die in Zukunft zu erwartenden Ereignisse zu machen. Solche Verfahren werden probeweise für Erdbeben in Kalifornien bereits betrieben. Diese Prozeduren könnten mit den vorhandenen Daten aus der ersten Stimulationsphase in Basel getestet werden, und könnten dann in einer späteren Stimulationsphase als Ergänzung zum schon angewendeten Ampelsystem als Entscheidungshilfe zur Steuerung der Stimulation dienen.

4.7 Wie breitet sich der jetzt noch im Untergrund vorhandene Wasserdruck aus?

Aus anderen Stimulationsversuchen und aus den auch schon in Basel gemachten Erfahrungen weiss man, dass die induzierten Beben nicht aufhören sobald die Wasserzufuhr gestoppt und der Druck abgesenkt wird. Die Anzahl Ereignisse pro Zeit nimmt zwar ab, aber es muss auch noch Monate oder sogar Jahre danach mit weiteren Beben gerechnet werden. Im Fall von Basel befinden sich rund 2/3 des eingepressten Wasservolumens weiterhin im Untergrund. Dort wird es auch weiterhin seine destabilisierende Wirkung haben, wobei diese Wirkung mit zunehmender Zeit und sinkendem Wasserdruck allmählich kleiner wird. Wie lange dieser Prozess dauert und wie gross das davon betroffene Gesteinsvolumen ist, hängt nicht nur vom anfänglichen Druck und Volumen des eingepressten Wassers ab, sondern auch von der Permeabilität des Gesteins und der herrschenden Spannungsverhältnisse. Dies abzuschätzen bedarf wiederum entsprechender Rechenmodelle, welche mit den relevanten Gesteinsparametern aus den inzwischen vorhandenen Messergebnissen der ersten Stimulationsphase zu eichen sind und mit einer andauernden Ueberwachung der seismischen Aktivität verifiziert werden müssen.

4.8 Wie gross ist die grundsätzliche Gefahr, ein Schadensbeben auszulösen?

Die Antwort auf diese Frage ist nicht ganz einfach, weil das Schadenspotential eines Erdbebens einerseits von den dynamischen Eigenschaften des Herdes abhängt (z.Bsp. Bruchgeschwindigkeit, Spannungsabfall und Ausrichtung der Bruchfläche) und andererseits von der Beschaffenheit des lokalen oberflächennahen Untergrundes (z.Bsp. frequenzabhängige Verstärkung der Erschütterungen). Dank der schon seit mehreren Jahren betriebenen Bemühungen um eine sogenannte Mikrozonierung des Kantons Basel existiert schon ein relativ aussagekräftiges Modell des oberflächennahen Untergrundes. Die aus den Messdaten der induzierten Beben gewonnenen Erkenntnisse werden diese Mikrozonierung noch verbessern. Damit liessen sich relativ zuverlässige Erschütterungs-Szenarien für verschiedene Annahmen bezüglich der Herdprozesse berechnen und somit abschätzen, ab welcher Magnitude tatsächlich mit Schäden zu rechnen ist.

In einem zweiten Schritt muss dann die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Schadensbeben ausgelöst werden könnte, abgeschätzt werden. Für den Fall, dass so ein Beben im Sinne der in Abschnitt 3.1 gegebenen Definition als ein induziertes Beben zu bezeichnen ist, liesse sich diese Wahrscheinlichkeit mit statistischen Methoden und unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4.5 erörterten physikalischen Modelle für verschiedene Stimulationsvorgehen abschätzen. Schwieriger ist hingegen die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines getriggerten Schadensbeben auf eine der grösseren Verwerfungen, die in der Umgebung von Basel vorhanden sind, und die im schlimmsten Fall durch das sich ausbreitende Wasser aktiviert werden könnte. Diese Möglichkeit kann nicht ausgeschlossen werden. Damit es zu so einem Beben kommen kann, muss es eine genügend grosse vorgespannte Bruchfläche im Einflussbereich des eingepressten Wasservolumens geben, und die Scherspannungen sowie die Festigkeit müssen so sein, dass der zusätzliche Wasserdruck genügt, um genau an dem Ort, an dem das Wasser auftritt, den Bruchvorgang so auszulösen, dass er sich schliesslich über den gesamten Bruch ausbreitet. Um zu entscheiden, ob die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Zusammentreffen all dieser Bedingungen und somit auch die Wahrscheinlichkeit des Auslösens eines grossen Erdbebens klein oder gross ist, bedarf es einer gezielten probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse. Dazu muss man wissen, wo im Untergrund unter Basel sich Brüche befinden, die gross genug sind, um ein schadenverursachendes Erdbeben zu produzieren, und man muss über Rechenverfahren verfügen, mit denen das zeitliche und räumliche Verhalten des eingepressten Wassers modelliert werden kann. Nur eine solche umfassende probabilistische seismische Gefährdungsanalyse hat eine Chance das Risiko so zu quantifizieren, dass es auch mit anderen technologischen Risiken unserer Zivilisation verglichen werden kann. Da diese Analyse nicht schon in der Planungsphase des Projektes durchgeführt wurde, muss sie jetzt nachgeholt werden. Auf Grund der bis jetzt vorliegenden Erkenntnisse kann

nur festgestellt werden, dass die bis jetzt lokalisierten Herde der induzierten Beben auf ein vom eingepressten Wasser betroffenes Gesteinsvolumen schliessen lassen, das sich etwa 1.5 km von der mutmasslichen Verlängerung in die Tiefe der Ostrand-Verwerfung des Rheingrabens befindet.

5. Notwendige Massnahmen

Basierend auf den in Abschnitt 4 diskutierten Fragen sind aus seismologischer Sicht die untenstehenden Massnahmen zu empfehlen. Da aus der ersten Stimulationsphase sich bereits eine grosse Menge Wasser im Untergrund befindet, und den natürlichen Spannungszustand verändert hat, sind ein Teil der Massnahmen auch dann zu verwirklichen, wenn entschieden werden sollte, dass das Geothermie-Projekt in Basel nicht weiter verfolgt wird.

5.1 Massnahmen sowohl im Falle einer Weiterführung als auch eines Abbruchs des Projektes

1. Weiterführung der Ueberwachung der Erdbebenaktivität, inklusive der schwachen, nur von den Bohrlochsensoren detektierbaren Ereignisse, bis die Aktivität wieder auf das natürliche Mass gesunken ist.
2. Durchführung einer umfassenden Risikoanalyse welche folgende Punkte beinhaltet:
 - Basierend auf statistischen Kriterien und den beobachteten Zusammenhängen zwischen Injektionsrate und seismischer Aktivität ist eine Prozedur zu entwickeln, und mit den Beobachtungen der ersten Stimulationsphase zu eichen, um die Auftretenswahrscheinlichkeit von stärkeren induzierten Beben abzuschätzen.
 - Erstellen eines möglichst umfassenden Modells des geologischen Untergrundes und der Lage möglicher Brüche (ev. mittels aktiver Seismik zwischen Oberfläche und der Bohrungen Basel-1 sowie Otterbach-2).
 - Entwickeln eines Rechenmodells zur Simulation der Ausbreitung des in den Untergrund eingepressten Wassers und der Interaktion dieses Wassers mit möglichen Brüchen (geeicht mit den Daten und Beobachtungen aus Basel-1).
 - Berechnen von Erschütterungs- und Verlust-Szenarien für verschiedene Annahmen über Stärke und Ort möglicher Erdbeben.

5.2 Zusätzliche Massnahmen im Falle einer Weiterführung des Projektes

3. Erarbeitung und Implementierung einer umfassenden Informationskampagne (unter Einbezug der Betreiber, des Kantons, der Fachleute und der Medien), mit der die Chancen und Risiken der Geothermie im Vergleich zu anderen technologischen Risiken und im Lichte einer nationalen Energiepolitik öffentlich diskutiert wird.

6. Abschliessende Bemerkungen

In Kapitel 12 des Geopower-Berichtes sind aus Sicht der Betreiber des Projektes die nächsten Arbeitsschritte samt Zeitplan bei einer Weiterführung des Projektes aufgeführt. Erdbebenrelevant sind dabei die Nachstimulation (ab Anfang März 2007, 1 Woche) und eine zusätzliche Hauptstimulation (ab April 2007).

Die Nachstimulation soll dazu dienen, die zur Zeit vorherrschenden felsmechanischen und hydraulischen Eigenschaften des Reservoirs zu charakterisieren, und wäre zur Beschaffung der notwendigen Erkenntnisse auch für die Abschätzung der seismischen Gefährdung bestimmt von Nutzen. Eine solche Nachstimulation war von Anfang an als integraler Bestandteil des Stimulationsprogramms geplant, und ist in Teil 3 der Anlagen zum Geopower-Bericht dokumentiert. Aus dieser Dokumentation geht nur die maximal in Betracht gezogene Flieβrate, nicht jedoch der maximal zu erreichende Wasserdruck sowie das total noch einzupressende Wasservolumen hervor. Somit ist es im jetzigen Zeitpunkt schwierig abzuschätzen, in wie weit so eine Nachstimulation ebenfalls zu spürbaren seismischen Ereignissen führen könnte.

Wie aus dem Geopower-Bericht sowie aus den Äusserungen verschiedener Experten hervorgeht, hat die bisherige Stimulation noch nicht zu einem kommerziell nutzbaren Wärmereservoir geführt. Aus diesem Grunde müssen noch weitere Massnahmen zur Vergrösserung des Volumens ergriffen werden.

Eine Bewilligung weiterer Nach- oder Hauptstimulationen zur Vergrösserung des Reservoir-Volumens müsste von den Ergebnissen der Abklärungen der in Abschnitt 4 dieses Gutachtens aufgeworfenen Fragen sowie der daraus abgeleiteten Empfehlungen (Abschnitt 5.1) abhängig sein. Ein Wiederaufnahme der Stimulation bereits im April 2007 scheint aus diesem Grunde nicht realistisch zu sein.

Sicher ist die Region Basel auf Grund ihrer Geschichte und ihrer tektonischen Lage bezüglich Erdbeben vorbelastet. Es ist jedoch festzuhalten, dass Erdbeben an jedem Ort, der für eine geothermische Nutzung in Frage kommt, ein Thema sind, und es aus seismologischer Sicht nie möglich sein wird, ein Nullrisiko zu definieren. Auf Grund der ungenügenden Vorarbeiten und des heutigen beschränkten Wissenstandes ist es nicht möglich, eine fundierte Aussage darüber zu machen, ob das Risiko einer Weiterführung des Geothermie Projektes in Basel tragbar ist, aber es ist ebenso unmöglich, das Gegenteil zu behaupten. Mit dem Einsatz entsprechender Mittel sollte es zumindest möglich sein, die Bandbreite des möglichen Risikos zu quantifizieren. Es ist jedoch sicher, dass die bisherigen Arbeiten am Geothermie-Projekt in Basel weltweit einzigartige Grundlagen geschaffen haben, und somit eine seltene Gelegenheit darstellen, die für die Entwicklung der Geothermie entscheidenden Fragen zu beantworten.

Verfasser des Berichtes:

Prof. Dr. D. Giardini
Dr. N. Deichmann