



Geologisch-Paläontologisches
Institut der Universität Basel

Abteilung Angewandte
und Umweltgeologie

Peter Huggenberger
peter.huggenberger@unibas.ch

Bernoullistrasse 32
CH-4056 Basel

Telefon 061 267 35 92
Fax 061 267 29 98

Gesundheitsdepartement des Kantons Basel-Stadt
Bereich Gesundheitsschutz
Kantonales Laboratorium
Rudolf Braun
Kannenfeldstrasse 2
CH-4012 Basel

Basel 12. Januar 2007

Stellungnahme zum Bericht der Geopower Basel AG

Sehr geehrter Herr Hermann, sehr geehrte Damen und Herren

Die vorliegende Beurteilung der Seismizität und des weiteren Vorgehens beruht auf dem **Bericht der Geopower Basel AG zur Beantwortung der Fragen der Behörden des Kantons Basel-Stadt nach dem Erdbeben vom 8. Dezember 2006**. Am 5. Januar 2007 ist der Bericht bei mir eingetroffen. Eine Kopie wurde, wie im Vertrag vereinbart, dem Institutsleiter Prof. Stefan Schmid weitergeleitet. Die Information über die beim Injektionsversuch beobachtete Seismizität und der Vorschlag für das weitere Vorgehen wurden sorgfältig studiert und mit Erkenntnissen aus der Literatur (Anhang 1) verglichen.

Der Auftrag zu dieser Stellungnahme wurde von der Kantonalen Verwaltung Basel-Stadt, vertreten durch den Bereich Gesundheitsschutz, erteilt. Die Stellungnahme beinhaltet eine Beurteilung der mit den Injektionen im Zusammenhang stehenden Seismizität und eine Überprüfung von den vorgeschlagenen Massnahmen zur Wiederaufnahme der Zerklüftungsversuche. Insbesondere waren auch die Kriterien für einen rechtzeitigen Versuchsabbruch, i.e. vor dem Eintreten von deutlich spürbaren Erschütterungen, auf ihre Eignung zu bewerten.

Die wesentlichen Fragen, die in dieser Stellungnahme erörtert werden lauten: (1) Wie lässt sich die durch den Klüftungsprozess erzeugte Seismizität beurteilen? (2) Wie ändert sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Schadenbebens mit dem Klüftungsvorgang am Standort Kleinhüningen (Vermeidung von Schadenbeben)? (3) Gibt es Kriterien, die es erlauben, bei weiteren Zerklüftungsversuchen rechtzeitig die Versuche abbrechen zu können? (4) Weiteres Vorgehen? (5) Welche Rolle spielt ein

Informationskonzept bei den Entscheidungen und allfälligen Weichenstellungen? (6)
Was ist die Rolle der Kantonsgeologie?

Zur Verfügung stehende Unterlagen:

1. Bericht und Beilagen der Geopower Basel AG
2. **Literatur: siehe Anhang 1**
3. Unterlagen zu folgenden Veranstaltungen: Advisory Board Meeting 1. September 2005 (Protokoll erstmals in Unterlagen zum vorliegenden Bericht, die Wiedergabe von verschiedenen eigenen Stellungnahmen ist nicht vollständig), Advisory Board Meeting 3. und 18. Dezember 2006 (siehe Protokoll)

Genereller Kommentar

Beim Projekt Deep Heat Mining steht man grundsätzlich vor der Herausforderung, dass eine neue Technologie (Energieerzeugung; Strom und Wärme) entwickelt werden soll, in die aus energiepolitischen Gründen (Verminderung des CO₂ - Ausstosses) sehr viele Erwartungen gesetzt werden. Gleichzeitig birgt diese Technologie jedoch auch Risiken. Der vorliegende Bericht der Geopower Basel zeigt, dass wesentliche Prozesse der Klüftentwicklung und der damit verbundenen Seismizität keinesfalls ausreichend verstanden wurden, um das Risiko für eine Zunahme des Auftretens grösserer Erdbeben infolge der Klüftungsaktivitäten zu quantifizieren und um einen Diskurs über akzeptierbare Risiken zu ermöglichen. Es wurde von Seiten der Betreiber immer wieder betont, dass es sich beim Basler Projekt um ein Pilotprojekt handle. Die Liste der beteiligten Investoren veranschaulicht das Interesse, diese Technologie in Zukunft verbreitet einsetzen zu können. Ein rein empirisches Verständnis der Reservoirbildung birgt die Gefahr, dass wichtige gefährdungsrelevante Aspekte beim Aufbau und Betrieb einer solchen Pilotanlage nicht ausreichend verstanden werden.

Obwohl von den Fachleuten seit Beginn der Projektvorbereitung immer wieder eingebracht (siehe Protokolle), wurde die Möglichkeit des Auftretens spürbarer Beben im Rahmen der Stimulation tendenziell heruntergespielt. Entsprechend gross war die öffentliche Reaktion auf die spürbaren Erdbeben von Magnitude 3.4 bzw. 3.1 im Dezember 2006 und Januar 2007.

Eine Reihe von ungelösten Fragen erfordert vertiefte Abklärungen, die nicht allein im Rahmen des Pilotprojektes der Geopower Basel verfolgt werden können. Der vorgeschlagene zeitliche Fahrplan für das weitere Vorgehen muss an die Sicherheitserfordernisse angepasst werden.

Mit dem Injektionsversuch und der gezielten seismischen Überwachung durch die Geopower Basel AG und den Schweizerischen Erdbebendienst (SED) liegt weltweit ein einmaliger Datensatz vor, der einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Nutzung der Geothermie darstellt.

Die Ereignisse, die vorläufige Auswertung der Daten und die neu aufgeworfenen Fragen illustrieren, dass mit einem Pilotprojekt allein viele relevante Fragen nicht beantwortet werden können. Der Forschungsbedarf, der für die Entwicklung dieser Technologie notwendig ist, ist erheblich. Der Bericht der Geopower Basel und die Stellungnahmen der Experten zeigen auch klar, wo Handlungsbedarf besteht. Schwierig verständlich ist für den Experten die Zurückhaltung des Bundes bei der Finanzierung der

Grundlagenerarbeitung dieser, wohlverstandenen umweltfreundlichen Technologie, inklusive der Erforschung der damit verbundenen Risiken.

Es muss gegenüber der Basler Bevölkerung signalisiert werden, dass die relevanten Prozesse der neuen Technologie verstanden und die Risiken quantifiziert werden können. Insofern müssten, im Rahmen des zu überarbeitenden Massnahmenkataloges und zeitlichen Rahmens, klar definierte Meilensteine (inkl. Abbruchkriterien) für das weitere Vorgehen gelegt werden.

Trotz aller Kritik handelt es sich beim Geothermie Projekt um ein zukunftsweisendes Vorhaben, das unbedingt weiterverfolgt werden sollte. Ob der Standort Basel für die Entwicklung der Technologie geeignet ist oder ein besser geeigneter Standort gewählt werden sollte, werden die Abklärungen der seismischen Risiken zeigen. Eine Panik ist keinesfalls gerechtfertigt. Vielmehr sollte das Ziel durch verantwortungsbewusstes Handeln und eine Zusammenarbeit von Privatwirtschaft und Hochschulen erreicht werden.

(1) Wie lässt sich die durch den Klüftungsprozess erzeugte Seismizität beurteilen?

Die Frage, ob im Rahmen des Stimulationsexperimentes ein Erdbeben der Magnitude 3.4 und einige Zeit nach dem Experiment ein solches der Magnitude 3.1 eintreten kann, wurde vom SED und vom Beauftragten der Universität Basel für Kantonsgeologie (Protokoll 8. Dezember 2005) bereits vor dem Experiment eindeutig mit „ja“ beantwortet. Begründet wurden diese Aussagen mit den vorhandenen statistischen Analysen von Erdbebenhäufigkeit und Erdbebenstärken in der Region und der Dimension des im Versuch stimulierten Gebirgsvolumens. Zudem gab es genügend Hinweise, dass Erdbeben der beobachteten Magnitude bei Injektionsversuchen erwartet werden müssen (siehe Literatur Anhang 1).

Es ist auch einen Monat nach dem 8. Dezember 2006 nicht auszuschliessen, dass weitere Erdbeben mit vergleichbarer Magnitude, die in direktem Zusammenhang zum Injektionsversuch stehen, über einen gewissen Zeitraum auftreten werden. Diese Annahme wurde mit dem Erdbeben vom 5. Januar 2007 bestätigt.

Im Bericht der Geopower Basel wird davon ausgegangen, dass Erdbeben einer Magnitude von 3.4 deutlich unter dem Schadenspotenzial liegen (Seite 24). Aufgrund der eingegangenen Schadensmeldungen wird trotzdem abzuklären sein, welche Mechanismen zu lokalen Verstärkungen der seismischen Bewegungen und vereinzelt auch zu Rissbildungen an Gebäuden geführt haben. Es macht Sinn, die gemeldeten Schäden sorgfältig zu analysieren, um allfällige Zusammenhänge zwischen dem seismischen Signal, der lokalen Geologie und der Gebäudestruktur besser zu verstehen. Die transparente Kommunikation der Ergebnisse dieser Untersuchungen ist insbesondere als vertrauensbildende Massnahme von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Entsprechend sollte mit diesen Abklärungen nicht lange gewartet werden.

(2) Wie ändert sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Schadenbebens mit dem Klüftungsvorgang am Standort Kleinhüningen (Vermeidung von Schadenbeben)?

Die Aussagen im Bericht der Geopower Basel AG sind sehr zurückhaltend bei der Beurteilung von Schadenbeben (z.B. Seite 22). Es wird dort unterschieden zwischen „induzierten“ und „getriggerten“ Erdbeben.

In der Literatur werden unterschiedliche Begriffe verwendet. Wesentlich ist, dass zwei Mechanismen bei Klüftbildung von Bedeutung sind (Rice and Cleary 1976): (1) starker hydraulischer Druckanstieg in der Tiefe durch elastische Reaktion und Reservoir Belastung (als undrainierte Reaktion des Gebirges bezeichnet) sowie (2) ein zeitlich verzögerter Druckanstieg infolge Druck und „Fluid Diffusion“ (Drainierte Reaktion). Im ersten Fall ist für die Klüftbildung ein Druckanstieg erforderlich, der grösser ist als die minimale Hauptspannung im Untergrund. Im zweiten Fall treten Erdbeben („getriggerte“ Erdbeben) dann auf, wenn eine Druckstörung (Perturbation) sich vom Injektionsort ausbreitet und dann irgendwann auf eine bereits unter Spannung stehende Bruchzone trifft. Dort spielt dann weniger der im Stimulationsexperiment aufgebrachte Druck eine Rolle, sondern lediglich die für die Bruchbildung erforderliche Druckperturbation, z.B. für die Herabsetzung des Scherwiderstandes im Bereich des Bruches.

Dies ist übrigens der Hauptgrund, weshalb das Ampel-Überwachungssystem bei Stimulationsexperimenten nur bedingt zur Steuerung, bzw. Überwachung der Seismizität verwendet werden kann.

Beim Injektionsversuch vom Dezember 2006 wurde der Stimulationsdruck langsam und schrittweise aufgebaut, obwohl ein Experte (Dr. Evans) zu einer stärkeren, jedoch zeitlich kürzeren Stimulation tendierte. Anlässlich des Advisory Board Meetings vom Dezember 2006 wurden laut Aussage der Bohrlochhydrauliker die Drücke allerdings deshalb langsam aufgebaut, um zu verhindern, dass die Bohrlochverrohrung in Zonen, mit ungenügender Stabilität der Hinterfüllung, beschädigt werden könnten (siehe Bericht S28). Experten gehen aber davon aus, dass Erdbeben der Magnitude 3.4 sowohl bei schwacher als auch kurz andauernden starken Stimulationen aufgetreten wären (siehe Dr. Evans).

Da der angetroffene Fels eine geringe Permeabilität aufweist, konnten bei den vorhandenen experimentellen Randbedingungen und infolge des Experimentabbruchs nicht so viele Klüfte generiert werden, wie für ein nutzbares Reservoir eigentlich erforderlich wären.

Die Experten Dr. Evans und Dr. Jung haben in ihren Stellungnahmen angeregt, sowohl die Anordnung des „Fracturings“ als auch das Vorgehen beim Druckaufbau umfassend zu modifizieren, mit dem Ziel, die Klüfthäufigkeit zu erhöhen. Experte Dr. Evans schliesst bei diesem Vorgehen weitere Erdbeben der Magnitude 3.4 nicht aus. Er erachtet zudem Erdbeben mit Magnitude > 4.5 als unwahrscheinlich, möchte sie jedoch nicht vollständig ausschliessen. Die Einschätzung über die Wahrscheinlichkeit von einem Erdbeben der Magnitude 4.5 in geringen Tiefen müsste anhand von sorgfältigen Recherchen überprüft werden. Offenbar sind doch mehr Fälle von untiefen Erdbeben, auch in der Region Basel dokumentiert, als im Bericht angenommen wird (mündl. Mit. SED).

Die provisorischen Auswertungen des Klüftungsprozesses deuten darauf hin, dass mit der Stimulation vor allem existente Bruchsysteme reaktiviert wurden. Die Erhöhung der Permeabilität des Granits ist nach ersten Schätzungen nur gering (zu gering, als für den

späteren Betrieb erforderlich). Hingegen wurde offenbar eine Bruchfläche in der Grössenordnung von mehreren Hundert Metern Länge reaktiviert („getriggerte“ Ereignisse). Eine der wesentlichen Fragestellungen, die es deshalb zu beantworten gilt ist, ob sich in Kleinhüningen durch stimulierte Klüftung ein Reservoir mit den erforderlichen hydraulischen Eigenschaften überhaupt entwickeln lässt, ohne Schadenbeben zu produzieren.

Wenn das Vorhandensein reaktivierbarer Bruchflächen eine so bedeutende Rolle spielt, dann kommen für die Beurteilung des Risikos von Schadenbeben, Faktoren wie die Kenntnisse von der Lage, Orientierung und Ausdehnung von Bruchstrukturen im Untergrund von Basel eine wichtige Bedeutung zu (siehe Kommentar Deichmann SED). Das bisherige 3D-Modell der geologischen Struktur der Region Basel (Zechner et al. 2001, AUG-Uni Basel) beruht auf 8 tiefen Bohrungen (i.a. bis 1.5 km, Ausnahme Otterbach mit 2.5 km). Es handelt sich um die Bohrungen Allschwil, Reinach, Otterbach und Riehen. Zusätzlich wurden die invertierten Daten von Array-Messungen berücksichtigt, die im Zusammenhang mit der „Quantitativen Erdbebenmikrozonierung der Region Basel“ erhoben wurden (Kind, 2002, Diss. ETH 14548, Fäh et al. 2006, Havenith et und Fäh 2006, Huggenberger et al. 2006). Das 3D Modell wurde 2005 im Auftrag der Geopower Basel AG für die Modellierung der induzierten Seismizität durch die Proseis AG angepasst. Die Information der neuen Bohrungen (Horchbohrungen und Tiefenbohrung) könnten in einem neuen überarbeiteten Strukturmodell durchaus integriert werden, hingegen sind auch in diesem Fall die Möglichkeiten für eine Auflösung von Bruchsystemen unter den tertiären und mesozoischen Sedimenten begrenzt. Diesbezüglich müssten Feldversuche mit neuester Seismik-Technologie zur Anwendung gelangen. Weiter könnte mittels Vergleich zwischen bestehenden Seismizitätsdaten der Geopower Basel AG und modellierter Seismizität, analog zu Kind (2002), das strukturelle 3D Modell iterativ verbessert werden. Ansonsten gibt es nur wenige Möglichkeiten, Bruchstrukturen im Untergrund von Basel in Tiefen von 5 km zu lokalisieren und Informationen über ihre Ausdehnung zu erhalten (dabei steht die Länge der Bruchfläche in Beziehung zur möglichen freisetzbaren Energie bei einem „getriggerten“ Erdbeben).

Als Alternative werden rein statistische Verfahren für die Abschätzung eines Schadenbebens vorgeschlagen. Auch in diesem Fall wird es unumgänglich sein, bestehende und neue Information über die Strukturen des Untergrundes zu integrieren, um eine möglichst gute Eingrenzung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Schadenbeben zu ermöglichen.

Fazit:

Die Frage, ob in Basel ein geklüftetes Reservoir aufgebaut werden kann, das einen wirtschaftlichen Betrieb einer solchen Anlage erlaubt, ohne die Bevölkerung effektiv zu gefährden, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht beantwortet werden. Das Ziel der nächsten Arbeitsschritte muss sein, nachzuweisen, dass es, bzw. ob es gehen könnte. Es ist jedoch klar, dass nur durch ein verbessertes Verständnis der geologischen Strukturen (Lokalisierung von tektonischen Flächen) und über die Prozesse von Druckausbreitung und Klüftung im Untergrund eine verlässlichere Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Schadenbebens abgeleitet werden kann.

Dies bedingt umfassendere geologische, seismologische und hydraulische Untersuchungen und Modellierungen als bisher im Rahmen des Pilotprojektes vorgesehen waren. Die Quantifizierung des Erdbebenrisikos erfordert einen nicht zu unterschätzenden Untersuchungs-, bzw. Forschungsaufwand.

(3) Gibt es Kriterien, die es erlauben, bei weiteren Zerklüftungsversuchen, die Versuche rechtzeitig abbrechen zu können?

Überprüfung des Lichtsignal-Modells („Traffic-Light Systems“), bzw. Eignung der Kriterien für den vorzeitigen Experimentabbruch

Das Lichtsignal-Modell mit den Kriterien für den Experimentabbruch und den drei Stufen grün, orange und rot ist aufgrund der Unsicherheiten über das zeitliche Verhalten der Bruchbildung konzeptionell nur bedingt geeignet (siehe letztes Kapitel).

Es muss sicher aufgrund der detaillierten Auswertungen des Injektionsversuches überprüft und allenfalls modifiziert werden. Der Experte Julian Bommer (Bericht Geopower AG, Punkt 8 der Vorschläge im Expertenbericht Bommer) hat diesbezüglich einige Vorschläge gemacht, die als Grundlage für die weitere Diskussion verwendet werden können. Seine Idee, die Schwelle während der Versuchsdauer zu erhöhen, erachte ich zurzeit eher als problematisch. Ein modifiziertes Vorgehen bei der Stimulation kann jedoch erst aufgrund einer sorgfältigen Analyse des Stimulationsversuchs vorgenommen werden.

(4) Weiteres Vorgehen?

Im folgenden Abschnitt werden weitere Schritte skizziert (*die Aufzählung ist nicht vollständig, viel mehr handelt es sich um einen Prozess, bzw. um ein eigentliches Projekt, das in nächster Zeit initiiert werden sollte*):

Auswertung Stimulationsexperiment inklusive Klüftungsverlauf und Orientierung.

Beantwortung der wichtigsten Fragen der verschiedenen Experten und Erarbeiten von gezielten Forschungs- und Untersuchungsfragestellungen zu Modulen (Ausarbeitung durch Expertengruppe).

Analyse der eingegangenen Schadensmuster, unter Berücksichtigung der geologisch-geophysikalischen Grundlagen der „Quantitativen Mikrozonierung der Region Basel“ (SED-ETHZ / AUG Uni-Basel).

Verbessertes Verständnis der Klüftungsprozesse durch Aufbau von gekoppelten hydromechanischen Modellen (HM- Modelle) und Herauskrallisieren von denjenigen Grössen, welche für die Klüftentwicklung und die Seismizität kritisch sind.

Quantifizierung des Risikos für ein Schadenbeben: kombiniertes Vorgehen, inkl. 3D-Strukturanalyse der Region Basel, geophysikalische Messungen, Array-Messungen, Vergleich zwischen bestehenden Seismizitätsdaten und modellierter Seismizität und Abschätzung des Risikos durch probabilistische Ansätze.

Unter vertrauensbildenden Massnahmen sind insbesondere auch begleitende Untersuchungen zu den offenen Fragen des seismischen Risikos zu verstehen.

Eine Beteiligung des Bundes und der an der Deep Heat Mining Technologie interessierten Kantone zur Finanzierung von Forschungsprojekten müsste in die Wege geleitet werden. Zudem müsste definiert werden, wie eine Zusammenarbeit zwischen beteiligten Firmen (z.B. Geopower Basel AG), Universitäten und Hochschulen sowie den für die Sicherheit und Umweltaspekte zuständigen kantonalen Fachstellen effizient aufgleist werden kann.

(5) Welche Rolle spielt ein Informationskonzept bei den Entscheidungen und allfälligen Weichenstellungen?

Die meisten Experten der Geopower Basel AG äusserten im Bericht, dass die Arbeiten nicht ohne ein umfassendes Kommunikationskonzept wieder aufgenommen werden sollten. Sie fordern zudem ein Überdenken der aktuellen Informationsstrategie.

Der aktuelle Vertrauensverlust kann sicher nicht durch „Positive Wording“ behoben werden, sondern nur durch Vertrauen schaffende Massnahmen. Voreilige Stellungnahmen oder „Glanzbrochüren“ sind eher kontraproduktiv, insbesondere dann, wenn Ereignisse die kommunizierten Aussagen überholen.

Zentrale Punkte bei einer Aufarbeitung der vorliegenden Versuchsdaten sind (1) plausible, verständliche Erklärung der Phänomene, die bei den kleineren Beben aufgetreten sind, (2) Kommunikation des Risikos für das Auftreten von Schadenbeben (was weiss man, was weiss man nicht, wie versucht man zu diesem Wissen zu gelangen, aufgrund welcher Grundlagen entscheiden die Behörden, etc.), (3) aktuelles Prozessverständnis sowie Aufzeigen von Lücken im Prozessverständnis. Ein solches Prozessverständnis vermag zum Vertrauen beitragen, erfordert jedoch eine gewisse Zeit, (4) Einbindung von Bund und interessierten Partnerkantonen in diese Arbeiten.

(6) Was ist die Rolle der Kantonsgeologie?

Bis Ende 1995 war die Kantonsgeologie Basel-Stadt direkt dem Regierungsrat unterstellt (Erziehungsdepartement). Mit der Autonomie der Universität wurde die Stelle deshalb automatisch dem Geologischen Institut angegliedert, die Rolle und die Stellung der Kantonsgeologie innerhalb der kantonalen Behörden blieben jedoch unklar. Diese Situation ist sowohl für die Universität Basel, den Beauftragten der Universität Basel für Kantonsgeologie wie auch für den Kanton Basel-Stadt unbefriedigend.

Die Kantonsgeologie ist ein Kompetenzzentrum für Urbane Geologie. Durch die Forschung erarbeiten wir, für die Nordwestschweiz und das angrenzende Ausland, umfassendes Wissen und anwendungsorientierte Grundlagen in Geologie, Hydrogeologie und Geotechnik und beraten kantonale Fachstellen. Ziel dieser Tätigkeit ist immer eine unabhängige und problemgerechte Berücksichtigung der genannten Aspekte. Konkret heisst das beispielsweise, das Schwachstellen und Probleme frühzeitig erkannt, mögliche Lösungsvarianten skizziert sowie in Zusammenarbeit mit Hochschulinstituten, kantonalen Fachstellen und der Industrie die dazu notwendigen Grundlagen erarbeitet werden.

Die Kantonsgeologie ist aber auch ein Teil der Forschungsgruppe „Angewandte und Umweltgeologie“ im Departement Geowissenschaften der Universität und nimmt als solche universitäre Aufgaben in Lehre und Forschung wahr. In dieser

Schnittstellenfunktion werden Gutachten und Projekte unterschiedlicher Ausrichtung bearbeitet.

Die im Bericht der Geopower Basel enthaltenen Protokolle illustrieren, dass die Kantonsgeologie sich mit den kritischen Aspekten des Deep Heat Mining Projektes eingehend auseinander gesetzt und immer wieder auf die Schwachstellen hingewiesen hat. So hat im Projekt Deep Heat Mining der Schweizerische Erdbebendienst (SED) nur durch insistieren unsererseits von den Geopower Basel das Mandat für die seismische Überwachung des Klüftungsversuchs erhalten.

Es zeigt sich nicht nur an diesem Projekt sehr deutlich, dass in der Region Basel in vielen Projekten vertieftes geologisch-hydrogeologisches Know-how erforderlich ist. Um das Einfließen dieser Kompetenz in Entscheidungsprozessen nicht dem Zufall zu überlassen, wäre vielleicht doch ein Überdenken der Zuständigkeiten in geologisch-hydrogeologischen Fragen erforderlich. Gerade beim Prozess der Umweltverträglichkeitsprüfung wäre eine gewisse Einheit von Fach- und Weisungskompetenz bei geologisch-hydrogeologischen Fragestellungen angezeigt gewesen.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'P. Huggenberger'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

Prof. Dr. P. Huggenberger

Leiter der Forschungsgruppe Angewandte- und Umweltgeologie des Geologischen Institutes, Beauftragter der Universität Basel für Kantongeologie

Anhang 1 Literatur

- Baisch, S., Weidler, R., Vörös, R., Wyborn, D., de Graaf, L., 2006. Induced Seismicity during the Stimulation of a Geothermal HFR Reservoir in the Cooper Basin, Austria. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 96, No. 6, 2242-2256.
- Bell, M.L., Nur, A., 1978. Strength Changes Due to Reservoir-Induced Pore Pressure and Stress and Application to Lake Oroville. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 83, No. B9, 4469-4483.
- Bommer, J.J., Oates, S., Ceoeda, J.M., Lindholm, C., Bird, J., Torres, R., Marroquin, G., Rivas, J., 2006. Control of hazard due to seismicity induced by a hot fractured rock geothermal project. *Engineering Geology*, 83, 287-306.
- Caine, J.S., Evans, J.P., Forster, C.B., 1996. Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, Vol. 24, No. 11, 1025-1028.
- do Nascimento, A.F., Lunn, R.J., Cowie, P.A., 2005. Numerical modeling of pore-pressure diffusion in a reservoir-induced seismicity in northeast Brasil. *Geophysical Journal International*, 160, 249-262.
- Fäh, D. Steiner, B., Havenith, H., Steinmen, S., Oprsal, I. 2006. INTERREG III Erdbebenmikrozonierung am südlichen Oberrhein, Teilbericht 3: Numerische Modellierung, 122p.
- Gudmundsson, A., 2000. Active fault zones and groundwater flow. *Geophysical research letters*, Vol. 27, No. 18, 2993-2996.
- Havenith, H. and Fäh, D. 2006. INTERREG III Erdbebenmikrozonierung am südlichen Oberrhein, Teilbericht 2: S-Wellen Geschwindigkeiten, 38p.
- Huggenberger, P., Fäh, E., Kirchhofer, R., Fäh, D., Steiner, B., Havenith, H., 2006. INTERREG III Erdbebenmikrozonierung am südlichen Oberrhein, Teilbericht 4: Geologische Grundlagen für die Quantitative Mikrozonierung – Teilprojekt Schweiz, 47p.
- Kind, F., 2002. Development of microzonation Methods: Application to Basle, Switzerland, Dissertation ETH No. 14548.
- Raleigh, C.B., Healy, J.H., Bredehoeft, J.D., 1976. An Experiment in Earthquake Control at Rangely, Colorado. *Science*, Vol. 191, 1230-1237.
- Rice, J.R., Cleary, M.P., 1976. Some Basic Stress Diffusion Solution for Fluid-Saturated Elastic Porous Media with Compressible Constituents. *Reviews of Geophysics and space Physics*, Vol. 14, No. 2, 227-241.

- Rutqvist, J., Noorishad, J., Tsang, Chin-Fu, Stephanson, O., 1998. Determination of fracture storativity in hard rocks using high-pressure injection testing. *Water Resources Research*, Vol. 34, No. 10, 2551-2560.
- Talwani, P., 1997. On the Nature of Reservoir-induced Seismicity. *Pure and Applied Geophysics*, 150, 473-492.
- Zechner, E., Kind, F., Faeh, D., Huggenberger, P. (2001): 3-D Geological Model of the Southern Rhinegraben compiled on existing geological data and geophysical reference modeling, Abstract Volume of the 2nd EUCOR-URGENT Workshop, Mont Saint-Odile, Strasbourg, France, 7th–11th October, 2001. Abstract volume, 43.