

Bürgerinitiative



Menschenverursachte Erdbeben, ihr Bezug zu Geothermie und mögliche Auswirkungen

Dr. Luisa F. Jiménez-Soto, Dipl.-Ing (Physik) Hermann Edelmann



Als Teil von der Informationsoffensive der
Bürgerinitiative für umweltverträgliche und nachhaltige
Nutzung alternativer Energiequellen

Januar 2010

Inhaltverzeichnis

INHALTVERZEICHNIS	2
1 EINLEITUNG	3
2 ALLGEMEINES WISSEN ÜBER ERDBEBEN	4
2.1 DEFINITION.....	4
2.2 ERDBEBENSKALEN	4
VERGLEICH NATÜRLICHER- UND MENSCHENVERURSACHTER ERDBEBEN	5
2.2.1 <i>Natürliche Erdbeben</i>	5
2.2.2 <i>Menschenverursachte Erdbeben (getriggerte Erdbeben)</i>	6
2.3 WIE KANN MAN EIN NATÜRLICHES ERDBEBEN VON EINEM MENSCHENVERURSACHTEN ERDBEBEN UNTERSCHIEDEN?	6
3 ERDBEBEN NACH FLÜSSIGKEITSINJEKTION	8
3.1 DEFINITION.....	8
3.2 ERDBEBEN FÄLLE IN VERBINDUNG MIT FLÜSSIGKEITSINJEKTION	8
3.2.1 <i>Abfallwasser tiefe Injektion</i>	8
3.2.1.1 Rocky Mountain Arsenal , Colorado USA.....	9
3.2.1.2 Schwarm Erdbeben in Trinidad (Colorado, USA)	10
3.2.2 <i>Erdöl und Erdgas Förderung</i>	11
3.2.2.1 Rangely Ölfeld (Colorado, USA).....	11
3.2.2.2 Rongchang Erdgasfeld (Rongchang, China)	12
3.2.3 <i>Geothermie Nutzung</i>	12
3.2.3.1 Europäisches experimentelles Geothermiekraftwerk „Soulz-sous-Forêts“(Frankreich)	13
3.2.3.2 Geothermiekraftwerk The Geysers (Califonia, USA)	14
3.2.3.3 Der Fall am Geothermiekraftwerk Cerro Prieto (Baja California, Mexico)	17
4 DISKUSSION	19
4.1 ÜBER FLÜSSIGKEITSINJEKTION UND ERDBEBEN	19
4.2 ÜBER HYDROTHERMALE GEOTHERMIE UND HOT-DRY-ROCK	19
4.3 AUCH ERDBEBEN MIT $M \leq 3$ KÖNNEN SCHÄDEN VERURSACHEN.....	21
4.4 DIE RECHTSLAGE BEI MENSCHENVERUSACHTEN ERDBEBEN	21
5 SCHLUSSKOMMENTAR	23
6 HAFTUNGSAUSSCHLUSS	25
7 ANHANG A: BIBLIOGRAFIE VON DURCH GEOTHERMIE VERURSACHTEN ERDBEBEN 26	
8 ANHANG B: BIBLIOGRAFIE VON DURCH GEOTHERMIE UND ÖLFÖRDERUNG VERURSACHTEN ERDBEBEN	29
9 REFERENZEN	38

1 Einleitung

Mit diesem Dokument wollen wir eine Diskussion über die Erdbebengefahr durch Geothermieprojekte anstoßen.

Im ersten Kapitel, gehen wir auf das Grundlagenwissen zu Erdbeben ein. Im folgenden Kapitel werden einige Fälle von Erdbeben, die von durch Menschen durchgeführte Flüssigkeitsinjektion verursacht wurden, dargelegt. Danach, haben wir die Daten des von der BE Geothermal GmbH geplanten Geothermiekraftwerks mit den vorher betrachteten Fällen verglichen. Am Ende folgt ein Schlusskommentar mit Fragen die in unserer Bürgerinitiative immer präsent sind.

Wir hoffen, dass das Risiko von Erdbeben durch Geothermie Aktivitäten von unserer Regierung und deren politischen Entscheidungsträgern wahrgenommen wird.

Die Bürger sollen die Möglichkeit haben im Wissen über die Risiken eine Entscheidung für oder gegen die Geothermie zu treffen.

2 Allgemeines Wissen über Erdbeben

2.1 Definition

Erdbeben sind großräumige Erschütterungen des Erdbodens. Diese Erschütterungen breiten sich von einem Ursprungsort (Epizentrum, oberflächlich; Hypozentrum, unter der Erdoberfläche) über einen großen Teil der Erdoberfläche aus.

2.2 Erdbebenskalen

Zur Kennzeichnung der Stärke von Erdbeben benutzen die Geologen Erdbebenskalen.

Die *Richter-Skala* basiert auf der von Erdbeben freigesetzten Energie. Die Richter Skala wird in arabischen Ziffern oft nach einem „M“ (Magnitude) dargestellt (e.g. M4).

Die *Mercalli-Skala* (heute auch *Modifizierte-Mercalli-Skala*) registriert die Erschütterungsgrade nach fühl- oder sichtbaren Wirkungen an der Erdoberfläche. Die Mercalli-Skala wird in römischen Ziffern dargestellt (e.g. IV oder MM IV).

Wegen der Ungenauigkeit der „fühlbaren Wirkung“ wurden in 1999 Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte zu jeder Stufe der Mercalli-Skala hinzugefügt (Abbildung 2-1)¹. Die Geschwindigkeit und die Beschleunigung werden von an der Oberfläche installierten Geräte gemessen. Somit beschreiben sie die wirkliche Bewegung der Erdoberfläche und der Gebäude im Gebiet der Erschütterungen.

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC (%g)	<0.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL (cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X _s

Abbildung 2-1. Modifizierte Mercalli-Skala in grösster Beschleunigung (Peak Acceleration) und höchsten Geschwindichkeits Werten (Peak Velocity). Die Beschleunigung ist in Anteilen der durchschnittlichen Erdegravitation (% von g) und die Geschwindigkeit in Zentimeter pro Sekunde (cm/s) angegeben.

Bei natürlichen Erdbeben korrespondieren die Werte der Richter- und Mercalli Skalen miteinander. Ein Beben nach Richter-Skala M3 entspricht in etwa einem Beben nach modifizierter Mercalli-Skala III. Jedoch ist die Korrelation zwischen beiden Skalen abhängig von der geologischen Zusammensetzung des Gebietes, in dem sich Epi- und Hypozentrum befinden, sowie von der Tiefe des Hypozentrums. (Abbildung 2-2)

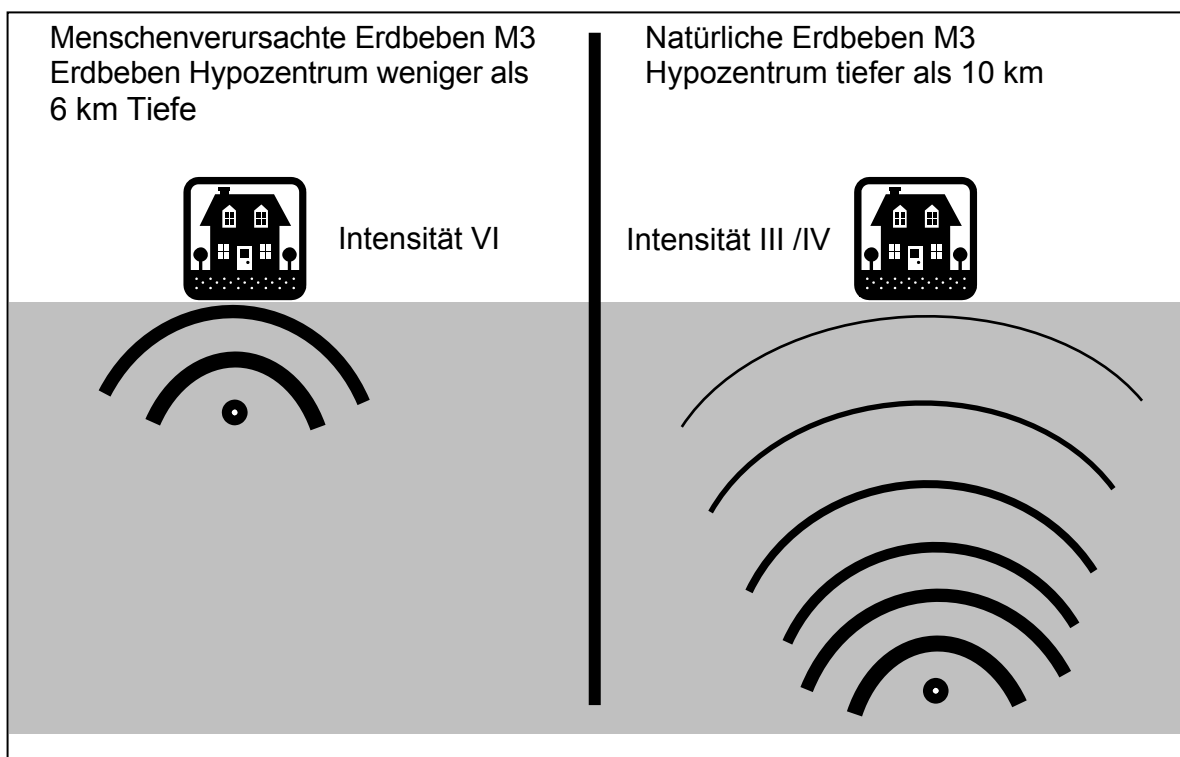


Abbildung 2-2. Unterschiede der Intensitäten bei tiefen und oberflächigen (weniger als 6 Km tief) Erdbeben. Je tiefer das Hypozentrum des Erdbebens ist, desto weniger freigesetzte Energie kommt an der Oberfläche an. Ein oberflächennahes Erdbeben konzentriert sich auf eine geringere Fläche (Abbildung dargestellt nach persönlicher Besprechung mit Jeffrey Gospe (Anderson Springs) und E-Mail Kontakt mit Dr. David Oppenheimer (US Geological Survey).

Vergleich natürlicher- und menschenverursachter Erdbeben

2.2.1 Natürliche Erdbeben

Ausgelöst werden Erdbeben durch plötzliche Ausgleichsbewegungen in der Erdkruste, nach Einsturz von unterirdischen natürlichen Hohlräumen (Einsturzbeben), durch Vulkanausbrüche oder durch Brüche oder Verschiebungen in der Erdkruste (tektonische oder Dislokationsbeben).

Natürliche Erdbeben-Hypozentren sind in der Regel mehr als 6 km tief, und werden nur in Erdbebenzonen gemessen.

2.2.2 Menschenverursachte Erdbeben (getriggerte Erdbeben)

Der Ursprung dieser Erdbeben steht im Zusammenhang mit menschlichen Aktivitäten, wie z.B. der Bau von Wasserreservoirien, unterirdische Flüssigkeitsinjektion, unterirdische Wasserentnahme, Bergbau sowie Öl- oder Erdgas Förderung.

2.3 *Wie kann man ein natürliches Erdbeben von einem menschenverursachten Erdbeben unterscheiden?*

Laut Davis and Frohlich (1993) kann man sagen, dass ein Erdbeben nach Flüssigkeitsinjektion Menschenverursacht wurde, wenn mehrere der folgenden 7 Fragen mit „Ja“ beantwortet werden können. Außerdem sollten diese Fragen überprüft werden, sobald neue Information oder Beweise verfügbar sind.

1. Frage 1 (Erdbeben Hintergrund): Sind die Ereignisse die ersten bekannten Erdbeben gleicher Art in der Region?
2. Frage 2 (Zeitkorrelation): Gibt es eine zeitliche Beziehung zwischen der Reinjektion und der Erdbebenaktivität? (Zeitgrenze ist 1 Jahr nach der Injektion)
3. Frage 3a (örtliche Korrelation): Sind die Epizentren in der Nähe der Bohrungen?
4. Frage 3b (örtliche Korrelation): Wurden die Erdbeben in ähnlichen Tiefen der Bohrungen verursacht? (+/- 3000 m gilt als „Ja“)
5. Frage 3c (Lokale Geologie): Falls einige Erdbeben weit entfernt von der Bohrungsstelle sind, gibt es bekannte geologische Strukturen, welche die Flüssigkeiten in die Erdbebenregion transportieren können?
6. Frage 4a (Injektionsmethoden): sind die Druck-Änderungen am Grund der Bohrung ausreichend um ein Erdbeben zu verursachen?

7. Frage 4b (Injektionsmethoden): sind die Änderungen im Flüssigkeitsdruck im Bereich des Hypozentrums der Erdbeben ausreichend um ein Erdbeben zu verursachen?

3 Erdbeben nach Flüssigkeitsinjektion

3.1 Definition

Im dtv Brockhaus Lexikon, Ausgabe 1989 findet sich unter dem Begriff Erdbeben folgender Hinweis: „Nach dem Bau von Staudämmen sowie dem Einpressen von Flüssigkeit in tiefe Bohrlöcher traten Schadenbeben in bis dahin seismisch ruhigen Gebieten auf, die einen ursächlichen Zusammenhang zwischen diesen menschlichen Eingriffen und den Erdbeben vermuten lassen (Man-made-earthquakes).“

3.2 Erdbeben Fälle in Verbindung mit Flüssigkeitsinjektion

In der Literatur findet man viele Beispiele von Erdbeben, die mit Flüssigkeitsinjektion in Verbindung gebracht wurden.

Im Fall von Stauseen, wurde im Buch von Götz Schneider „Erdbeben“ 2 auf Seite 95 folgendes publiziert: „Einen Nachweis zwischen den Füllphasen eines Stausees und der damit verbundenen Erdbebentätigkeit erbringt *Carder* (1954) für den Hoover-Damm im Colorado-River ...“ Nach einer Häufung solcher Phänomene in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts sprach man von „Staudamm-Seismizität. Als Erklärung wurde zunächst die Zusatzbelastung durch die aufgebrauchten Wassermassen angesehen.“

3.2.1 Abfallwasser tiefe Injektion

In den 50er und 60er Jahren, hat sich die Idee von unterirdischem Abwasser Entsorgung ausgebreitet. Nach dem Einpumpen von Abwasser (1967 – 1968) in einen zerklüfteten Fels in den Rocky Mountains bei Denver/Colorado in 3 bis 5 km Tiefe wurden ebenfalls Erdbebenserien ausgelöst. In diesem Fall kam natürlich als Ursache nicht eine größere Zusatzbelastung durch überlagerte Wassermassen in Frage. Vielmehr hatte das eingepumpte Abwasser zweierlei „Begünstigungen“ bewirkt: Sein Druck erhöhte den sog. Porendruck, wodurch sich vorhandene Scherspannungen über seismische Bewegungen leichter abbauen konnten. Außerdem wurde durch das Abwasser die Reibung auf den Scherflächen

verringert („Schmiereffekt“). Die von Menschen induzierte Seismizität hat nach den Aktivitäten von Denver ganz allgemein die Bedeutung von Fluiden (der Sammelbegriff für Flüssigkeiten und Gase) für tektonische Prozesse verdeutlicht.

Die Verknüpfung von seismischen Erscheinungen mit Injektionen in tiefe Bohrungen wurde allerdings bei Denver bereits 1962 festgestellt. Seit damals hat man durch Injektionen getriggerte Erdbeben weltweit beobachtet und zwar in großer Zahl.

3.2.1.1 Rocky Mountain Arsenal , Colorado USA

Um eine bessere Vorstellung vom Effekt der Abwasser Injektionen zu geben, folgt hier eine detaillierte Beschreibung der Ereignisse beim Rocky Mountain Arsenal³.

Jahr	Ereignis	Merkmale
1961	Bohrungsbeginn	Tiefe 3657 m
1962	Injektionsbeginn im März	Bis Ende Dezember 1962, wurden 190 Erdbeben gemessen
1962	Erdbeben, 4. Dezember	Erdbeben verursacht Schäden an Stromleitungen in Irondale
1965	Erdbeben, Februar, September und November	MM VI. entsprechende Schäden in Commerce City
1966	Erdbeben im Oktober	Schäden an Fenstergläsern, Putzrisse, Wandrisse in Aguilar, Trinidad, Segundo und Trinchera
1966	Erdbeben im November	Schäden in Commerce City und Eastlake
1967	Erdbeben im April	Erdbeben M5. Strukturelle Schäden an Gebäuden und Straßen
1967	Erdbeben 14. November	Spürbare Erdbeben
1967	Erdbeben 15. November	Erdbeben M4,1. Keine Schäden gemeldet
1967	Erdbeben 25. November	Erdbeben M2,1. Gebäuderisse
1967	Erdbeben 26. November	Erdbeben M5,1. Kleine Schäden an Gebäuden

Tabelle 3-1. Beschreibung der wichtigsten Erdbeben / Ereignisse in der Nähe des Colorado Rocky Mountain Arsenal zwischen 1963 und 1967. Zwischen diesen Jahren, wurden über 1300 Erdbebenereignisse gemessen.

Das US-Militär hat in 1968 damit begonnen das Abwasser aus dem unterirdischen Reservoir wieder zu entfernen.

Trotzdem, wurden in den folgenden Jahren mehrere Erdbeben von M2 bis M4,1 gemessen. Ungeachtet der Magnituden, wurden bis 1981 zahlreiche Schäden in einem Gebiet von mehr als 10 km Umkreis (Radius) verursacht.

3.2.1.2 Schwarm Erdbeben in Trinidad (Colorado, USA)

Schwarm Erdbeben sind Ereignisse die innerhalb eines begrenzten Zeitraums und in einer kleinen Region vorkommen.

In Trinidad (Colorado, USA) wurden zwischen August und September 12 Erdbeben (M2,8 bis M4,6) gemessen. Das United States Geological Survey (USGS) hat die Ereignisse bewertet und konnte die Erdbeben weder als natürlich, noch als menschenverursacht klassifizieren. Für die Klassifizierung, wurden die Fragen in Kapitel 2.3 benutzt. Sie kamen zu dieser unentschiedenen Schlussfolgerung mit drei „Ja“, zwei „möglichen Ja“ und zwei „Nein“ Fragen.

Wegen der zahlreichen Erfahrungen mit Abwasser-Entsorgung in tiefen Bohrungen, wurde in 1980, vom US-Bundesstaat Virginia ein Dokument in Auftrag gegeben, in dem eine kritische Bewertung der Gefahren dieses Vorgehens durchgeführt wurde. 4.

In diesem Dokument werden die mögliche Auswirkungen und Probleme von tiefen Abwasser-Entsorgungssystemen, welche die gesamten Systemkosten erhöhen können, klar dargestellt. Laut Stallman (1973) wurden folgende 5 Möglichkeiten genannt:

1. Verschmutzung des Grundwassers
2. Verschmutzung der oberflächigen Wasserreservoirs durch Leckage des Systems
3. Änderung in der Permeabilität wegen Temperatur-, chemischen- und mechanischen Änderungen im Gestein, was die Voraussage des Abwasserflusses schwierig macht.
4. Erdsenkungen oder Erdbeben.

5. Mögliche Verschmutzung von Bodenschätzen.

3.2.2 Erdöl und Erdgas Förderung

Nicht nur mit Abwasserentsorgung werden Erdbeben in Verbindung gebracht. In der Erdöl-Industrie ist schon lange der Zusammenhang zwischen Flüssigkeits-Injektion bzw. Förderung mit Erdbeben bekannt.

3.2.2.1 Rangely Ölfeld (Colorado, USA)

Ein solcher Fall ereignete sich im Rangely Ölfeld (Colorado, USA)⁵. Dort wurden Erdbeben mit M2 bis M4,9 in bis zu 15 km Entfernung von der Injektions-Bohrung gemessen (Abbildung 3-1).

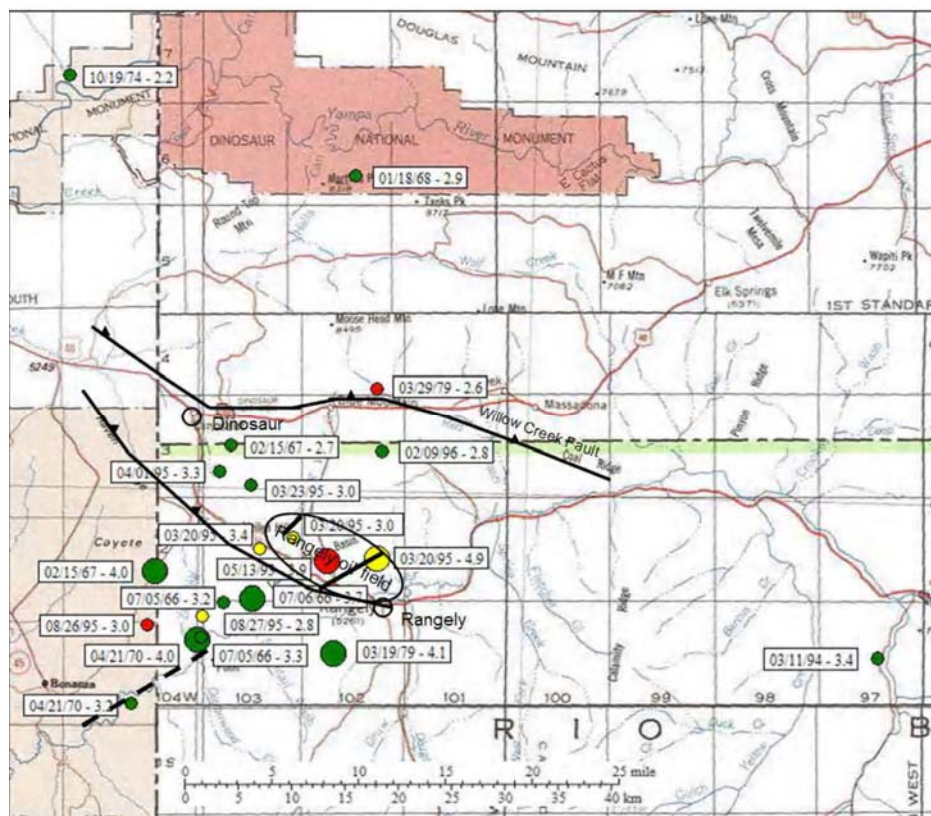


Abbildung 3-1. Karte vom Rangely Ölfeld und Umgebung. Daten von 1962 bis April 2007.. Die Grösse der Kreise ist abhängig von der Magnitude (Richter-Skala) der Beben. Die Farben richten sich nach der Tiefe des Hypozentrums. Rot (2-4 km), Gelb (4-6 km), Grün (mehr als 6 km). Neben jedem Hypozentrum befindet sich das Datum und die Magnitude der Erdbeben. Die Linien stellen die bekannten geologischen Störungen dar. Mikrobenen (M<2) wurden hier nicht dargestellt. Entfernungsskala in Meilen und Kilometer am unteren Ende der Karte.

3.2.2.2 Rongchang Erdgasfeld (Rongchang, China)

In einer wissenschaftlichen Publikation aus 2008, wurde der Fall des Rongchang Erdgasfeldes (China) beschrieben. In diesem Fall wurde Abwasser aus der Erdgasförderung in 3 km Tiefe unter die Erde injiziert. Mehr als 1.000.000 m³ Wasser wurden zwischen 1988 und 2006 injiziert (durchschnittlich 152 m³ / Tag). Es wurden über 32.000 Erdbeben bis Ende 2006 gemessen, davon zwei über M5, 14 über M4 und mehr als 100 über M3.

3.2.3 Geothermie Nutzung

In unserem früheren Dokument „Geothermie - eine kritische Analyse“ werden die verschiedenen Arten der Geothermienutzung erklärt. Deshalb wird hier nicht mehr auf die Unterschiede zwischen oberflächenaher- und tiefer Geothermie eingegangen. Im Fall von Erdbeben bei Geothermieprojekten, unterscheiden die meisten Geologen zwischen Hot-Dry-Rock (HDR) Verfahren und der Hydrothermalen Geothermienutzung.

Um diese Unterscheidung verstehen zu können, gehen wir im Folgenden auf die wichtigsten Unterschiede dieser Techniken ein:

Die **HDR Geothermie** nutzt nur die Hitze im Gestein selbst, da hierbei in der Regel kein natürlich vorkommendes Tiefenwasser vorliegt. Um die Gesteinshitze nutzen zu können pressen die Ingenieure Wasser in das Gestein um so eine Fließmöglichkeit zur Förderbohrung zu schaffen. Durch die Fraktur des Gesteins während der Stimulation, kann so ein künstliches Wasser-Reservoir in großer Tiefe geschaffen werden. Nachdem das injizierte Wasser die gewünschte Temperatur erreicht hat, wird es wieder gefördert und damit Strom produziert oder als Fernwärmequelle benutzt.

Bei der **hydrothermalen Geothermie**, wird existierendes Tiefenwasser gefördert. Dabei wird mittels einer Stimulation das poröse Gestein noch durchgängiger gemacht um den Fluss des Wassers zwischen den Bohrungstellen zu erleichtern. Diese Stimulation kann chemisch oder hydraulisch sein. Weil diese Prozesse

keine großen neuen Frakturen des Gesteins verursachen, werden die Gefahren von Erdbeben bei dieser Technik noch immer ignoriert.

In unserer Region findet man nicht nur „trockenes Gestein“ sondern in großer Tiefe bestehende Tiefenwasser-Vorkommen (Aquifer). Allerdings muss das Wasser, nachdem es gefördert wurde, wie beim HDR Verfahren ebenfalls wieder in den Untergrund verpresst werden (Reinjektion). Dies gilt ebenfalls für das bei Bernried geplante Projekt.

Allerdings gibt es bereits bei einigen Hydrothermalen Geothermie Projekten Fälle in denen Erdbeben verursacht wurden. In einigen Fällen, wurden Erdbeben schon bei der Wasser-Förderung festgestellt. Die meisten Probleme sind jedoch im Zusammenhang mit der Reinjektion aufgetreten.

3.2.3.1 Europäisches experimentelles Geothermiekraftwerk „Soultz-sous-Forêts“(Frankreich)

Als Teil eines europäischen Forschungsprojekts, wurde in Soultz-sous-Fôrets (Frankreich) ein experimentelles Geothermiekraftwerk gebaut. Dieses Kraftwerk ist ein Hot-Dry-Rock (HDR) Projekt. Das Ziel war die Erforschung der Effekte dieser Technologie. Obwohl die Experimente zur Fraktur des Gesteins im Jahr 2000 und im Jahr 2003 durchgeführt wurden, wurden die ersten Ergebnisse erst im Jahr 2008 und 2009 veröffentlicht. Hier eine Zusammenfassung der in 2008 publizierten Daten. 6:

Experiment im Jahr 2000

Stimulationszeitraum:	30.Juni bis 6. Juli 2000
Wasser Injiziert:	23400 m ³ (Durchschnitt 139 m ³ /Stunde)
Wasserförderung:	31 l/s, 41 l/s und 51 l/s
Erdbeben während der Stimulationsphase:	mehr als 100 Ereignisse pro Stunde.
Erdbeben nach der Stimulationsphase:	circa 10 Ereignisse pro Stunde
Stärkstes Erdbeben:	M2,9

Experiment im Jahr 2003

Stimulationszeitraum:	27. Mai bis 27. Juni 2003
Wasser Injiziert:	34000 m ³ (Durchschnittlich 118 m ³ /Stunde)
Wasserrförderung:	nicht angegeben (N/A)
Erdbeben während der Stimulationsphase:	mehr als 300 Ereignisse pro Stunde (maximal 580 per Stunde).
Erdbeben nach der Stimulationsphase:	circa 100 Ereignisse pro Stunde
Stärkste Erdbeben:	M2,9 und M2,7

Die Autoren zeigen auch, dass sich die Erdbeben-Aktivität (oder freigesetzte Energie) mit der Steigerung der Wassereinjektion erhöhte (Abbildung 3-2).

Daraus leiten die Autoren ab, dass die Erdbebenaktivitäten möglicherweise in einigen Fällen durch Einstellen der Reinjektion oder durch Reduktion des Pumpendruckes gestoppt werden könne. Allerdings hat das Rocky Mountain Arsenal Experiment gezeigt, dass dies keine allgemein gültige Regel ist.

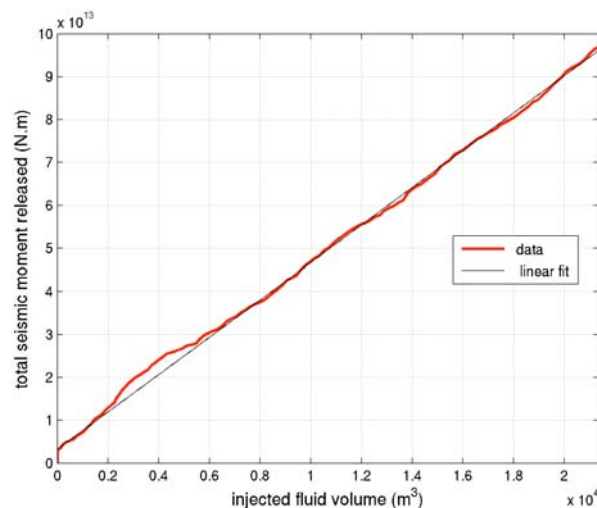


Abbildung 3-2. Beziehung der Flüssigkeitsinjektion (Injected Fluid Volume) (m³) und der freigesetzten Energie in Erdbebenereignissen (N.m). Die Rote Linie stellt die Daten dar, während die schwarze Linie, die Trendlinie für diese Daten ist.

3.2.3.2 Geothermiekraftwerk The Geysers (Kalifonia, USA)

Das Geothermiekraftwerk The Geysers in Kalifornien (USA) wird als Heiß-Dampf Geothermie Kraftwerk bezeichnet. In diesem Feld, gibt es zwar kein normales Aquifer, allerdings gibt es ein heisses Wasser-Vorkommen in Dampfform. Das



Geysers Feld besteht seit den 1860er Jahren und Strom wird seit 1920 mit 1 kW_{el} produziert. In 1966 wurden die ersten Seismographen installiert. In 1987 hatte die geothermische Stromproduktion eine Leistung von 1800 MW_{el} mit einer Wassertemperatur zwischen 235°C und 342°C . Damals betrug der Dampfdruck ca. $3,5 \text{ MPa}$, und reduzierte sich durch die industrielle Ausbeutung auf $1,5 \text{ MPa}$ (Barker et al., 1992). Wegen der Reduzierung des Reservoirsdrucks wurde in 1997 entschieden, Abwasser zu injizieren. Zwei Bohrungen wurden dafür benutzt. Alwyn Ross *et al*, haben Erdbeben vor der Reinjektion gemessen und ihre Daten in 1999 publiziert⁷. Hier findet man, dass die Erdbeben in der Region mit der Erhöhung der Dampfförderung korrelieren, unabhängig von der natürlichen Erdbebenaktivität der Region.

Die meisten Erdbeben waren im Bereich M2, M3 (Abbildung 3-3). Aber seit 2002 wurden mindestens 2 Erdbeben M4 gemessen und drei M4 in Jahren 2006 und 2008. Trotz der geringen Magnituden der Erdbeben, haben die Bewohner in der Nähe der Injektionsbohrungen diese Erdbeben gespürt und mehrere Beben haben Schäden verursacht. In Zusammenarbeit zwischen dem US Erdbeben-Dienst in Kalifornien (US Geological Service) und der Bürgerinitiative von Anderson Springs, Kalifornien (Anderson Springs Comittee Alliance)⁸ wurden 2003 zwei Beschleunigungsmessgeräte in Anderson Springs installiert. Ziel war es eine Korrelation zwischen den Erdbeben-Magnituden und der Intensität der an den Häusern gespürten Erschütterungen zu erhalten. Im Oktober 2009 wurden die Messergebnisse von 6 Jahren der US Regierung vorgetragen. Jeffrey Gospe hat uns freundlicherweise diese Daten zur Verfügung gestellt. Diese sind in Abbildung 3-4 und Abbildung 3-5 dargestellt. Hier kann man erkennen, dass trotz der geringen Intensitäten der Erdbeben, Schäden verursacht werden können. In den Jahren 2003, 2007 und 2008 wurden M3 Erdbeben mit einer Intensität VII (Schadenerdbeben) in Anderson Spring gemessen. Einige dieser Erdbeben hatten ihre Epizentren 5 Meilen (8 km) entfernt von den Messgeräte (Daten nicht dargestellt). Die Messungen in Anderson Springs haben gezeigt, dass Erdbeben Magnituden nicht immer der potenziellen Schädenskapazität entsprechen.

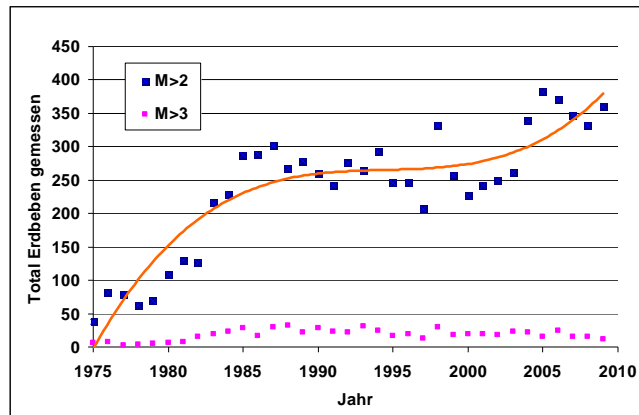


Abbildung 3-3. Erdbeben M>2 und M>3 in the Geysers Geothermiefeld seit 1975. Die Abwasserreinjektion begann im Jahr 1997. Seitdem hat sich die Zahl der Erdbeben erhöht.

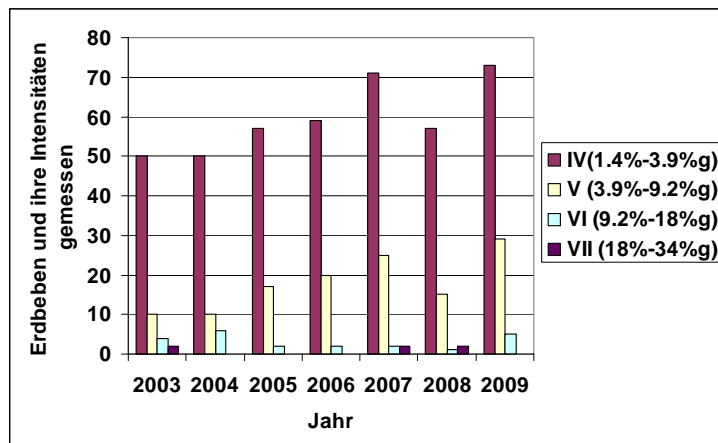


Abbildung 3-4. Erdbeben Intensitäten in Anderson Springs zwischen Juni 2003 und November 2009. Die verschiedenen Intensitäten sind entsprechend der folgenden Abstufung von Erschütterungen: Spürbar, ohne Schäden (IV), moderat mit leichten Schäden (V), stark mit leichten Schäden (VI) und sehr stark mit moderaten Schäden (VII).

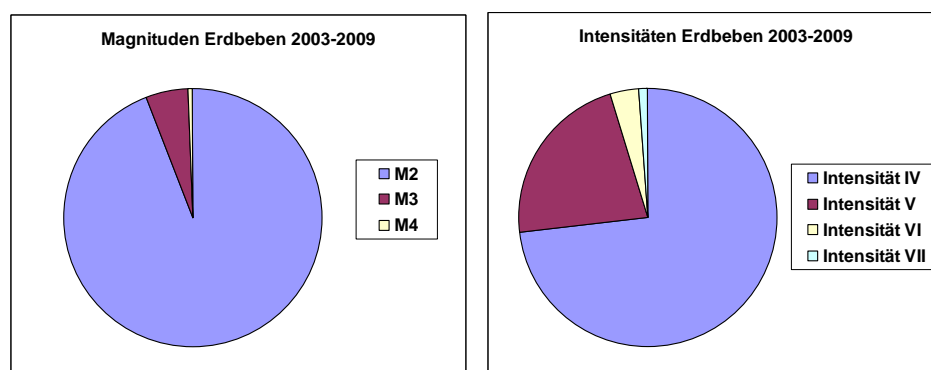


Abbildung 3-5. Vergleich zwischen Magnituden und Intensitäten der Erdbeben im Geysers Geothermiefeld. Im Feld, wurden 2538 Erdbeben zwischen 2003 und 2009 gemessen. Davon wurden 512 (20%) Erdbeben in Anderson Springs gespürt. Von 512 gespürten Erdbeben konnten 26% als Schadens-Erbeben klassifiziert werden.

3.2.3.3 Der Fall am Geothermiekraftwerk Cerro Prieto (Baja California, Mexico)

Das Geothermiekraftwerk Cerro Prieto ist ein hydrothermales Geothermiekraftwerk. Es ist deshalb mit dem durch BE Geothermal GmbH geplanten Kraftwerk vergleichbar.

Das Aquifer Gebiet findet sich zwischen 1500 m und 4000 m Tiefe.

In der folgenden Tabelle, ist eine chronologische Liste der Ereignisse dieses Kraftwerkes aufgeführt.

Jahr	Ereignis	Merkmale
1969	Anfang der Erdbeben Messungen	Neue Seismographen installiert
1973	Anfang der Thermalwasserförderung	620 MWe. Keine Reinjektion
1982	Erste Berichte von erhöhter Erdbeben Aktivität	Erdbeben haben eine Verbindung mit der Thermalwasserförderung (Majer und McEvilly, 1982)
1989	Anfang der Relnjektion	
1995	Beschreibung der Relnjektion	Nur 42% der Flüssigkeiten wurden reinjeziert. 58% verdunsteten in die "Laguna de Evaporacion".
1996	Berichte von erhöhter Erdbebenaktivität (Mikroerdbeben) um die Reinjektionsbohrung (Domingez et al 1996)	Daten wurden 1993 innerhalb von 3 Monaten gesammelt.
1996	Berichte von Erdbebenaktivität nach Flüssigkeitsförderung (Glowacka and Nava)	Daten von 1979 bis 1991. Starke Erdbeben können durch erhöhte Produktion getriggert werden.
1997	Berichte von Mikroerdbebenaktivität mit Zeit- und Ortbeziehung von Cerro Prieto (Hubert Fabriol and Ewa Glowacka)	Daten mit Erdbeben gleich oder höher (\geq) als M3 und gleich oder höher als M1,5

Tabelle 3-2 Ereignisse im Cerro Prieto Geothermiefeld zwischen 1969 und 1997. Diese Daten wurden von Glowacka *et al* zusammengefasst. Die Autoren beschreiben bis 1993 viele Erdbeben über M3 in einen Umkreis von 10 km Radius.

In der Publikation von 1997 (Glowacka et al, 1997) wurden die Daten von 1988 bis 1996 gesammelt und analysiert. Hier ist eine Zusammenfassung der Publikation:

Nach 1993, wurden genauere Daten mit besserer Ortsbestimmung gesammelt. Die Daten haben zwei Orte von Gruppierungen der Erdbeben $M \geq 3$ gezeigt. Einer



davon befand sich 10 km südöstlich, der andere war 15 km westlich von der Reinjektionsbohrung zu finden. Die Gruppierungen hatten eine Länge von 5 und 10 km. Es wurde ebenfalls eine Beziehung zwischen höherer Erdbebenenergie-Freisetzung (dynes/cm) und höherer Injektionsrate festgestellt.

Das injizierte Volumen zwischen 1989 bis 1990 betrug circa 600.000 m³/Monat. In dieser Zeit wurden bereits Erdbeben gemessen.

Die Injektion von Abwasser hat eine Energie freigesetzt (0,1 m³/sec; 1,5 to 2,8 x 10²⁰ dynes/cm kumulative per Monat), durch die Erdbeben entstanden sind. Im Vergleich, BE Geothermal plant 648.000 m³/Monat (0,25 m³/sec).

Die Erdbeben haben mit einer 6-8 monatigen Verzögerung begonnen. Sie erklären gleichzeitig, dass alle Erdbeben eine durchschnittliche Tiefe von 2 km hatten (1994 to 1996), jedoch konnten überall im Aquifer Erdbeben gemessen werden.

4 Diskussion

In dem vorherigen Kapitel, haben wir über bestehende Erfahrungen mit Erdbeben nach Flüssigkeitsinjektion berichtet.

Um diese Daten mit dem von BE Geothermal GmbH geplanten Geothermiekraftwerk vergleichen zu können, müssen wir die geplanten Daten kennen (Tabelle 4-1).

Tiefe Förderbohrungen	2 Bohrungen in je 4900 m Tiefe
Tiefe Reinjektionsbohrung	2 Bohrungen in je 4100 m Tiefe
Wasserrförderung	250 l/s (0,25 m ³ /s), 900 m ³ /Stunde
Wasserinjektion	250 l/s (0,25 m ³ /s), 900 m ³ /Stunde

Tabelle 4-1. Daten des geplanten Geothermiekraftwerks in Bernried. Daten wurden von der BE Geothermal GmbH angegeben.

Damit können wir das geplante Kraftwerk mit den anderen Fällen vergleichen.

4.1 Über Flüssigkeitsinjektion und Erdbeben

Im Kapitel 3 haben wir mehrere Beispiele gezeigt, in denen die Beziehung zwischen Flüssigkeitsinjektion und Erdbeben bestätigt wurde. Darüber hinaus zeigt sich, dass bereits die Injektion von kleineren Wassermengen Schadensbeben auslösen kann, wie die Fälle in Rongchang (China), Cerro Prieto (Mexico) zwischen 1989 bis 1990 und Soultz-sous-Forêts (Frankreich) gezeigt haben.

4.2 Über Hydrothermale Geothermie und Hot-Dry-Rock

Jedes mal, wenn wir Erdbeben mit Geothermie in Verbindung bringen, wird von den Betreibern auf die Unterschiede zwischen dem Hot-Dry-Rock Verfahren und der hydrothermalen Geothermie hingewiesen. Wegen des „Fracking“ oder der Gesteins-Fraktur durch das Einpressen mit hohem Druck werden Erdbeben ausgelöst. Das wurde bereits in Soultz-sous-Forêts (M2,9) gezeigt und erneut in Basel festgestellt (M3,4). Jedoch das Cerro Prieto Geothermie Projekt und Landau in der Pfalz haben gezeigt, dass auch hydrothermale Geothermie Erdbeben auslösen kann.

Im Fall von Landau in der Pfalz wurden fünf Erdbeben vom Erdbebendienst Rheinland-Pfalz gemessen. Diese hatten die folgenden Magnituden: M1,7, M1,6, M1,9, M2,7 und M2,4⁹. Es ist interessant zu sehen, dass bei Analyse der Erdbeben von Landau mit den Fragen von Kapitel 2.4, mehrere Fragen mit „ja“ beantwortet werden können. Dennoch, konnten die Landesregierung und ihre Geologen bislang keine eindeutige Schlussfolgerung treffen. Darüber hinaus wurden die Erdbeben in Insheim in der Pfalz nie in den Medien diskutiert. Bei Insheim befindet sich ebenfalls ein neues Geothermiekraftwerk in der Test-Phase. Die zweite Bohrung wurde im Mai 2009 abgeschlossen. Kurz darauf wurden, laut dem Rheinland-Pfälzischen Erdbebendienst, fünf Erdbeben (M2,1, M1,5 und 3 mal M2) gemessen. (4 Erdbeben am 8. Mai 2009, 1 Erdbeben am 18. Oktober 2009). Es ist schwierig eine Verbindung zwischen den Geothermiekraftwerken und den Erdbeben zu leugnen, um so mehr wenn in dieser Region von Januar 2000 bis März 2009 keine Erdbeben registriert wurden (Abbildung 4-1, links). Jedoch von März 2009 bis Januar 2010, kurz nach dem Beginn des Testbetriebs, wurden mehrere Erdbeben gemessen (Abbildung 4-1, rechts)

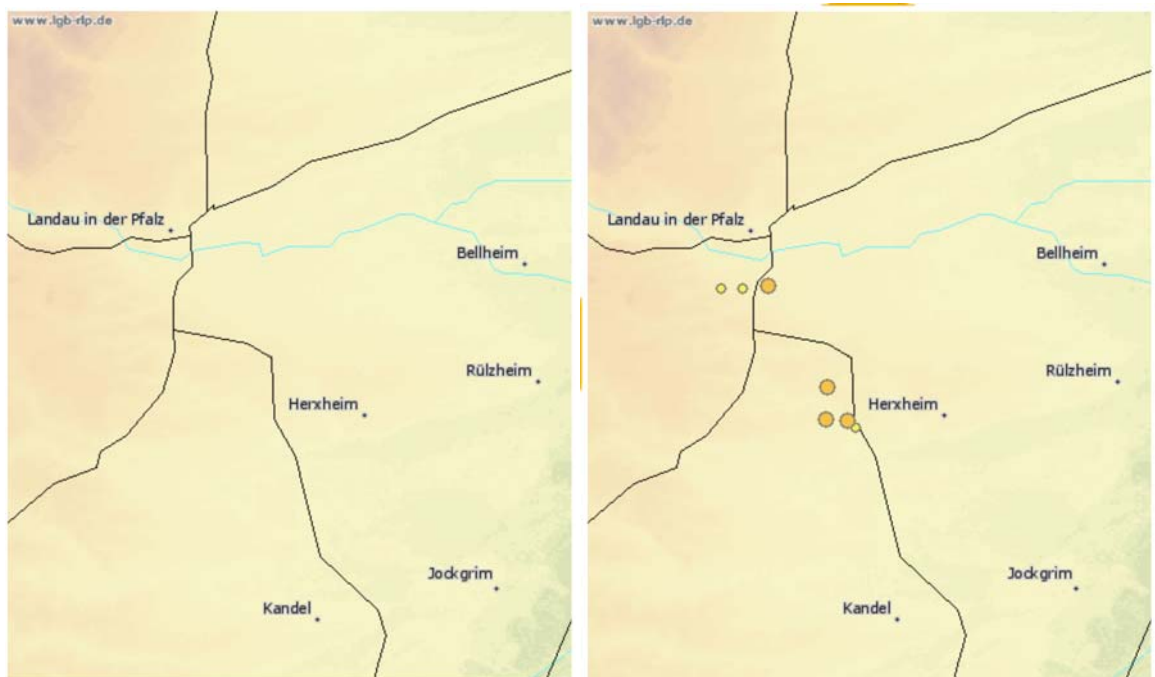


Abbildung 4-1. Landkarte von der Region in der Nähe von Landau und Insheim. Die linke Karte zeigt die Erdbeben zwischen Januar 2000 und März 2009. Die rechte zeigt die Erdbeben, die zwischen März 2009 und Januar 2010 gemessen wurden.

4.3 Auch Erdbeben mit $M \leq 3$ können Schäden verursachen

In einer Informationsveranstaltung von BE Geothermal GmbH, wurden von Prof. Wassermann (LMU-München) bestätigt, dass hydrothermale Geothermiekraftwerke Erdbeben verursachen können. Allerdings, hat er gesagt, dass die Wahrscheinlichkeit von Schadens-Erdbeben ($M3$ oder höher) sehr niedrig sei. Die erste Aussage, dass hydrothermale Geothermiekraftwerke Erdbeben in Bayern verursachen, kann unter anderem mit den Erdbeben von Unterhaching ($M2$) bestätigt werden. Allerdings zeigen die Erfahrungen und Messungen des US-Erdbebendienst (US Geological Survey) in Anderson Springs, dass auch Erdbeben mit $M2$ Schäden verursachen können (Abbildung 3-4).

4.4 Die Rechtslage bei menschenverursachten Erdbeben

Basel, Landau, The Geysers und Rocky Mountain Arsenal dokumentieren eine Serie von Erdbeben, die Gebäudeschäden verursacht haben. Alle Fälle, unabhängig vom Land, haben einen gemeinsamen Faktor. Keine Elementar-Versicherung bezahlt die Schäden. Es stellt sich die Frage wie die Gesetzlage in Deutschland ist? Mehrere Mitglieder unserer Bürgerinitiative haben ihre Versicherungen kontaktiert und gefragt ob sie für einen durch ein Geothermiekraftwerk verursachten Schaden bezahlen würden. Bei allen lautete die Antwort „Nein“. Obwohl Staufen im Breisgau (Deutschland) nur eine oberflächige Geothermiebohrung war, gibt es keinen klaren „Verantwortlichen“ für die Schäden, die entstanden sind.

Wenn wir die Daten der anderen Geothermiekraftwerke analysieren, können wir eine Vorstellung von den möglichen Effekten in unserer Region bekommen.

Für das geplante Geothermiekraftwerk der BE Geothermal GmbH wurde als Reinjektionstelle ein Gebiet zwischen Kampberg und Haunshofen vorgeschlagen. Wenn wir die eher konservativen Daten von Anderson Springs übertragen, kann ein Umkreis von 8 km Radius um die Reinjektionsbohrung, als das für Schadens-Beben gefährdete Gebiet betrachtet werden (Abbildung 4-2).

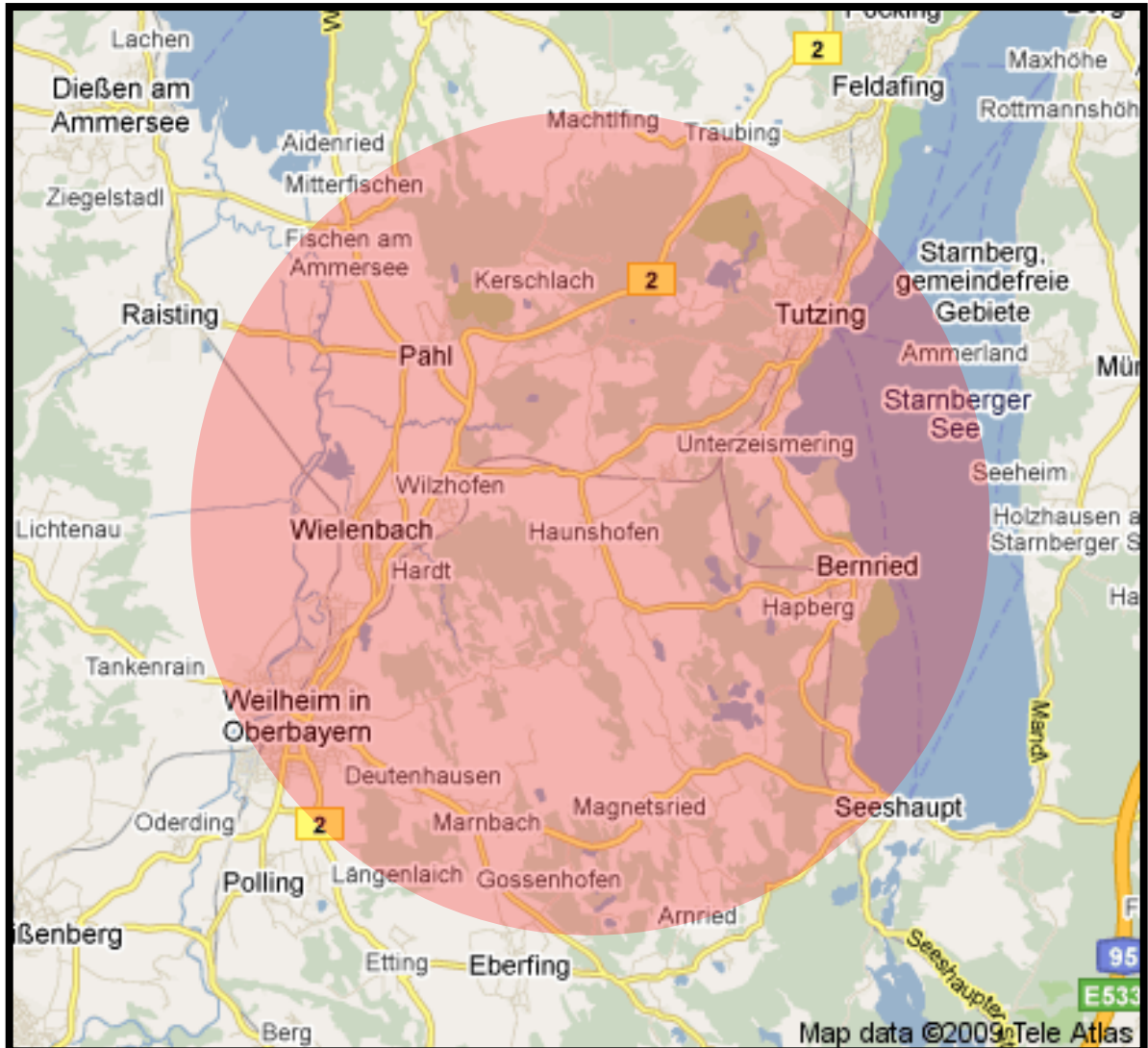


Abbildung 4-2. Umkreis mit 8 km Radius um die vorgeschlagene Reinjektionsbohrung zwischen Haunshofen und Kampberg. Karte von Google Maps, roter Kreis definiert einen 8 km Radius Umkreis mit die vorgeschlagene Reinjektionsbohrung bei Kampberg-Haunshofen.

5 Schlusskommentar

Sowohl Meteorologie als auch Geologie sind Wissenschaften, die noch keine akkuraten Vorhersagen machen können. Es gibt zu viele Variablen und keine ausreichenden Kenntnisse aus der Grundlagenforschung.

Unabhängig von den Gründen, kann kein Geologe die bereits bekannten Daten ignorieren. Alle Prozesse, welche Wasserförderung und Wasser-Reinjektion in tiefe Gebiete der Erdkruste beinhalten, haben das Potential Erdbeben auszulösen. Egal ob Erdöl, Erdgas oder Geothermie - Erdbeben wurden ausgelöst.

Die Fälle, die wir hier präsentiert haben, zeigen nur einen kleinen Teil von Fällen die bereits publiziert wurden. Am Ende dieses Dokument befindet sich eine vollständige Publikationsliste über Erdbeben in Verbindung mit Geothermie (Anhang A) und Öl- und Erdgas Exploitation (Anhang B). Diese Listen wurden von der amerikanischen Anwältin Darlene Cypser zusammengefasst. Sie beschäftigt sich seit Jahren mit den Änderungen der Rechtslage in den Vereinigten Staaten zum Schutz der Anwohner.

In Deutschland hat uns der Mangel an Erfahrung mit Geothermie und großen Ölfeldern in eine merkwürdige Situation gebracht. Die Regierung hat die Aufgabe die Zukunft unserer Erde und unserer Wirtschaft zu sichern. Dafür haben sie das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) geschaffen, mit dem Ziel Anreize für die Entwicklung Erneuerbarer-Energie-Technologien in Deutschland zu schaffen. Leider hat die Bundesregierung die Gier der aktuellen Wirtschaft und Industrie unterschätzt. Die Wirtschaft hat nur hohes Wachstum und schnellen Gewinn in Kopf. Diese Prioritäten haben uns in die aktuelle problematische wirtschaftliche Lage gebracht. Die Sicherheit neuer Technologien, und damit die Sicherheit der Bewohner, sind in Vergessenheit geraten. Jahrzehnte von Kohleabbau haben die heutigen Rechtsrichtlinien des Bergbaugesetzes gestaltet. Leider sind diese Richtlinien nicht anwendbar für mögliche Schäden welche die extensive Geothermienutzung anrichten könnte: Erdbeben, Land-Absenkungen und Hebungen. Vor kurzem, hat Prof. Dr. Domenico Giardini vom Institut für Geophysik



in der Schweiz gesagt: „Jede tiefe Geothermiebohrung sollte als Experiment betrachtet werden.“

Wie viele Anwohner sollen noch als Versuchskaninchen benutzt werden ?

Wie lang müssen wir warten bis der Schutz der Bürger vor dem Gewinnstreben der Investoren den ersten Platz einnimmt?

6 Haftungsausschluss

Die nachfolgenden Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen recherchiert und zusammengestellt. Sie sollen einen Überblick über die Aspekte der menschenverursachte Erdbeben (Wasserreinjektion und Geothermie) geben, die von Geothermie-Investorensseite nicht genannt werden. Die Unterlage hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Allerdings wurden die aus unserer Sicht wichtigsten Themenfelder dargestellt.

Wir verstehen diese Unterlage auch als unsere rechtlich zugesicherte, freie Meinungsäußerung.

Wir weisen ausdrücklich darauf hin und versichern, dass wir kein wirtschaftliches oder finanzielles Interesse mit dieser Veröffentlichung verfolgen.

Unser Ziel ist der Schutz unserer Häuser und unserer Umwelt

7 Anhang A: Bibliografie von durch Geothermie verursachten Erdbeben

(Induced Earthquake Bibliography: Geothermal Induced Earthquake References)

<http://www.nyx.net/~dcypser/induceq/iis.html> (Compiled by Darlene Cypser. Last update: 9/15/2007)

1. R. G. Allis, "[Mechanisms of Induced Seismicity at The Geysers Geothermal Reservoir, California.](#)" 9 **Geophys. Res. Lett.** 629 (1982).
2. F. Batani, R. Console, & G. Luongo, "Seismological Study of the Larderello-Travelle Geothermal Area," 14 **Geothermics** 255 (1985)
3. R. Batra, J.N. Albright & C. Bradley, "Downhole Seismic Monitoring of an Acid Treatment in the Beowawe Geothermal Field," 8 **Trans. Geothermal Resources Council** 479 (1984)
4. A. Beauce, H. Fabriol, D. LeMasne, C.Cavoit, P. Mechler & X. K. Chen, "Seismic Studies on the HDR Site of Soultz-forets (Alsace, France)" 3 **Geotherm. Sci. Tech.** 239 (1991)
5. B. Brandsdottir, P. Einarsson, K. Arnaso & H. Kristmannsottir, "Results from an Injection Experiment at the Svartsengi Geothermal Field, on the Reykjanes Peninsula, Iceland" [abstract], **Abstracts XXI General Assembly Int'l Union Geodesy & Geophys.** A372 (1995)
6. C.J. Bromley, C.F. Pearson, D.M. Rigor Jr. and PNOC-EDC, "Microearthquakes at the Puhagan Geothermal Field, Philippines - A Case of Induced Seismicity," 31 **J. of Volcanology & Geothermal Res.** 293 (1987)
7. R. P. Denlinger & C.G. Bufe, "[Reservoir Conditions Related to Induced Seismicity at the Geysers Steam Reservoir, Northern California.](#)" 72 **Bulletin Seismol. Soc. Am.** 1317 (1982).
8. Donna Eberhart-Phillips & David H. Oppenheimer, "[Induced Seismicity in The Geysers Geothermal Area, California.](#)" 89 **J. Geophys. Res.** 1191 (1984).
9. M. C. Fehler, "Stress Control of Seismicity Patterns Observed during Hydraulic Fracturing Experiments at the Fenton Hill Hot Dry Rock Geothermal Energy Site, New Mexico," 26 *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geochem. Abstr.*, 211 (1989)
10. Q. Feng & J.M. Lees, Microseismicity, "Stress and Fracture within the Coso Geothermal Field" [abstract], **Abstracts XXI General Assembly Int'l Union Geodesy & Geophys.** A372 (1995)
11. V. Ferrazzini, B. Chouet, M. Fehler & K. Aki, "Quantitative Analysis of Long-Period Events Recorded during Hydrofracture Experiments at Fenton Hill, New Mexico," 95 *Jour. Geophys. Res.* 21871 (1990).
12. Joan Gomberg, "Field Observations of Triggered Earthquakes: Implication for Rupture Initiation," *EOS, Trans. Am. Geophysical Union* F532 (1995).
13. Joan Gomberg & Scott D. Davis, "Stress/Strain Changes and Triggered Seismicity at The Geysers," *California, 101 Jour. Geophys. Research* 733 (1996).
14. A.S.P. Green, R. Baria, A. Madge & R. Jones, Fault-Plane Analysis of Microseismicity Induced by Fluid Injections into Granite, *Engineering Geology of Underground Movements, Geological Soc. Eng. Geol. Spec. Pub. No. 5* 415 (F.G. Bell, M.G. Culshaw, J.C. Cripps & M.A. Lovell, eds., 1988)

15. Roger W. Greenfelder, "New Evidence of the Causative Relationship Between Well Injection and Microseismicity in the Geysers Geothermal Field," 17 **Trans. Geothermal Res. Council** 243-247
16. J. R Henderson, D. J Barton, G. R Foulger, "[Fractal Clustering of Induced Seismicity in The Geysers Geothermal Area, California.](#)" 139 **Geophysical Journal International** 317 (1999)
17. L.S. House, "Locating Microearthquakes Induced by Hydraulic Fracturing in Crystalline Rock," 14 **Geophys. Res. Lett.** 919 (1987)
18. L.S. House, M.C. Fehler & W. S. Phillips, "Studies of Seismicity Induced by hydraulic Fracture in a Geothermal Reservoir, Pre-Workshop Volume for the Workshop on Induced Seismicity," 33rd U.S. Symp. on Rock Mech. 186 (1992).
19. L.J. Hutchings, S. Jarpe, P. Kasameyer & T. Hauk, "Microseismicity of the Salton Sea Geothermal Field" [abstract] 69 EOS, Trans. Am. Geophys. Union 1312 (1988)
20. T.M. Hunt & J.H. Latter, "A Survey of Seismic Activity near Wairakei Geothermal Field, New Zealand," 14 J. Volcan. Geotherma. Res. 319 (1982).
21. C.F. Knutson, "Some Pleasant Bayou Area, Brazoria County, Texas, Brine Injection Experience," Fifth Conf. on Geopressured-Geothermal Energy 101 (D.G. Bebout & A. L. Bachman, ed. 1981)
22. R.S. Ludwin, V. Cagnetti and C.G. Bufe, Comparison of Seismicity in the Geysers Geothermal Area with the Surrounding Area, 72 Bulletin Seismol. Soc. Am. 863 (1982)
23. E.L. Majer & T.V. McEvelly, "Detailed Microearthquake Studies of the Cerro Prieto Geothermal Field," Proceedings, Third Symp. on the Geothermal Field, Baja California, Mexico, Lawrence Berkeley Laboratory LBL-11967, 347 (1981)
24. F.J. Mauk, "Results of the Seismic Monitoring Programs at the Pleasant Bayou and Bayou Parcperdue, Geopressured-geothermal Design Wells," 6th Conf. on Geopressured-Geothermal Energy (M.H. Dorfman & R.A. Morton, ed. 1985)
25. F.J. Mauk, G.G. Sorrells & B. Kimball, "Microseismicity Associated with Development of Gulf Coast Geopressured-Geothermal Wells: Two Studies, Pleasant Bayou No. 2 and Dow L.R. Sweezy No. 1," in: Geopressured-Geothermal Energy, Proc. 5th U.S. Gulf Coast Geopressured Geothermal Energy Conf., 105 (D.G. Bebout & A.L. Bachman, eds., 1981)
26. Antony Mosson, "Induced Seismicity at the Geysers, Northern California," EOS, Trans. Am. Geophysical Union 444 (1994)
27. A. Mossop & P Segall, "Stresses Induced by Injection of Cold Fluids into Hot Fractured Rock," 76 EOS, Trans. Am. Geophys. Union 354 (1995).
28. A. Mossop & P. Segall, "Induced seismicity at The Geysers, Northern California," [abstract only] 75 EOS Proceedings of the Amer. Geophys. Union 444 (1994).
29. Dan R. O'Connell & L.R. Johnson, "Second-order Moment Tensors of Microearthquakes at The Geysers Geothermal Field, California," 78 Bull. Seismol. Soc. Am., 1674 (1988).
30. Dan R. O'Connell & L.R. Johnson, "Progressive Inversion for Hypocenters and P wave and S wave Velocity Structure: Application to The Geysers, California, Geothermal Field," 96 J. Geophys. Res., 6223 (1991).

31. David H. Oppenheimer, "Extensional Tectonics at The Geysers Geothermal Area, California," 91 **J. Geophys. Res.** 11,463 (1986).
32. R. Parker, "The Cambourne School of Mines Hot Dry Rock Geothermal Energy Project," 1 **Scientific Drilling** 34 (1989)
33. C. Pearson, H. Keppler, J. Albright & R. Potter, "Rock Fracture During Massive Hydraulic Stimulation of the Baca Location Geothermal Reservoir," 6 **Trans. Geothermal Res. Council** 157 (1982)
34. Alwyn Ross, G. R. Foulger, & Bruce R. Julian, "[Source Processes of Industrially-induced Earthquakes at The Geysers Geothermal Area, California,](#)" 64 **Geophysics**, 1877 (1999)
35. Z. F. Sarmiento, "Waste Water Reinjection at Tonganan Geothermal Field: Results & Implications," 15 **Geothermics** 295 (1986)
36. S. Sherburn, "Seismic Monitoring during Cold Water Injection Experiment, Waikei Geothermal Field: Preliminary Results," **Proc. 6th NZ Geothermal Workshop** 129 (1984)
37. S. Sherburn, R. Allis & A. Clotworthy, "Microseismic Activity at Wairakai and ahaaki Geothermal fields," **Proc. 12th NZ Geothermal Workshop** 51 (1990)
38. Mitchell Stark, "Imaging Injected Water in the Geysers Reservoir Using Microearthquake Data," 14 **Trans. Geothermal Res. Council** 1 (1990).
39. D. A. Stevenson, "Louisiana Gulf Coast Seismicity Induced by Geopressured-Geothermal Well Development," 6th Conf. Geopressured- Geothermal Energy 319 (M.H. Dorfman & R.A. Morton, ed., 1985)
40. Tereza Higashi Yamabe & Valiya M. Hamza, "Geothermal Investigations in a Area of Induced Seismic Activity," Northern Sao Paulo State, Brasil, 253 **Tectonophysics** 209 (1996)

Compiled by Darlene Cypser

Last update: 9/15/2007

8 Anhang B: Bibliografie von durch Geothermie und Ölförderung verursachten Erdbeben

<http://www.nyx.net/~dcypser/induceq/iis.html> (Compiled by Darlene Cypser. Last update: 9/15/2007)

1. M.U. Ahmad & J.A. Smith, Earthquakes, Injection Wells, and the Perry Nuclear Power Plant, Cleveland, Ohio," 16 **Geology** 739 (1988)
2. M.U. Ahmad & J.A. Smith, "Reply to Comment on "Earthquakes, injection Wells, and the Perry Nuclear Power Plant, Cleveland, Ohio," 17 **Geology** 383 (1989)
3. Jon Ake, Kenneth Mahrer, Daniel O'Connell and Lisa Block, "[Deep-Injection and Closely Monitored Induced Seismicity at Paradox Valley, Colorado,](#)" 95 *Bulletin of the Seismological Society of America*, 664 (2005)
4. Jon Ake, Ken Mahrer, Lisa Block & Dan O'Connell, "[What's Shaking in Bedrock? The Paradox Valley Deep-Well Injection Program,](#)" 51(4) **Outcrops: Newsletter of the Rocky Mountain Association of Geologists** 1 (March 2002)
5. Jon P. Ake, "Induced Microseismicity Associated with Deep-well Disposal of Brine at Paradox Valley, Colorado," [abstract only] **EOS, Proc. Amer. Geophys. Union, Abstracts** 473 (1994)
6. Jon P. Ake, "Microseismicity Induced by Fluid Injection in the Paradox Valley of Southwestern Colorado," [abstract only] 63 **Seismological Research Letters** 19 (1992)
7. John G. Armbruster, Leonardo Seeber, K. Evans, "The July 1987 Ashtabula Earthquakes (M=3.6) Sequence in Northeastern Ohio and a Deep Fluid Injection Well," 58 **Seismological Research Letters** p.###? (Sept.-Dec. 1987).
8. J.G. Armbruster & Leonardo Seeber, "Natural and Induced Seismicity in the Lake Erie - Lake Ontario Region," [abstract] **EOS, Trans. Am. Geophysical Union** 288 (1993)
9. D. Bane & Michael Fehler, Observations of Long Period Earthquakes Accompanying Hydraulic Fracturing, 13 *Geophys. Res. Lett.* 149 (1986)
10. George E. Bardwell, Some Statistical Features of the Relationship Between Rocky Mountain Arsenal Waste Disposal and Frequency of Earthquakes, 3 *Mountain Geologist* 37 (1966).
11. George Bardwell, Some Statistical Features of the Relationship Between Rocky Mountain Arsenal Waste Disposal and Frequency of Earthquakes, *Engineering Geology Case Histories* No. 8, 33, Geological Society of America (1970).
12. S. Baisch & H.-P. Harjes, "[A model for fluid-injection-induced seismicity at the KTB, Germany,](#)" 152 **Geophysical Journal International** 160 (2003)
13. Stefan Baisch, Marco Bohnhoff, Lars Ceranna, Yimin Tu and Hans-Peter Harjes, "[Probing the Crust to 9-km Depth: Fluid-Injection Experiments and Induced Seismicity at the KTB Superdeep Drilling Hole, Germany,](#)" 92 **Bulletin of the Seismological Society of America** 2369 (2002)
14. Lisa V. Block, Jon P. Ake, and Dan R.H. O'Connell, Using Induced Hypocenters to Characterize Subsurface Fluid Flow at The Paradox Valley, Colorado,

- Injection Well, [abstract only] 76 EOS Proceedings of the Am. Geophys. Union Fall Meeting Abstracts F354 (1995).
15. Lisa V. Block, C. H. Cheng, Michael C. Fehler, and W. Scott Phillips Seismic imaging using microearthquakes induced by hydraulic fracturing, 59 Geophysics 102 (1994)
 16. M. Board, T. Rorke, G. Williams & N. Gay, Fluid Injection for Rockburst Control in Deep Mining, Proceedings, U.S. Symp. on Rock Mechanics, 111 (1992)
 17. Marco Bohnhoff, Stefan Baisch & Hans-Peter Harjes, "[Fault Mechanisms of Induced Seismicity at the Superdeep German Continental Deep Drilling Program \(KTB\) Borehole and Their Relation to Fault Structure and Stress Field.](#)" 109 **Journal of Geophysical Research** B02309 (2004)
 18. Rabee F. Bou & Pradeep Talwani, "Was the Magnitude 4.7 Earthquake of June 1993 near Burgan Oil Field, Kuwait, Induced?," 74 EOS, Proceedings of the Am. Geophys. Union Fall Meeting Abstracts 448 (1993).
 19. Martin Brudy, "Stress Magnitude and Orientation to a Depth of 9 km at the KTB Drill Site," [abstract] EOS, Trans. American Geophysical Union F558 (1995)
 20. S. Carlson, **Investigations of Recent and Historical Seismicity in East Texas**, Master's Thesis, Univ. Texas at Austin, 197pp. (1984)
 21. F. H. Cornet & Yin Jianmin, "[Analysis of Induced Seismicity for Stress Field Determination.](#)" 145 **Pure and Applied Geophys.** 677 (1995)
 22. F. H. Cornet & O. Scotti, "Analysis of Induced Seismicity for Fault Zone Identification," [Abstract] 30 **Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.** 789 (1992)
 23. F. H. Cornet, Y. Jianmin & L. Martel, "Stress Heterogeneities and Flow Paths in a Granite Rock Mass," **Pre-Workshop Volume for the Workshop on Induced Seismicity, 33rd U.S. Symposium on Rock Mechanics** 184 (1992)
 24. F. H. Cornet & P. Julien, "[Stress Determination from Hydraulic Test Data and Focal Mechanisms of Induced Seismicity.](#)" 26 **Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.** 235 (1993)
 25. Randal Tom Cox, Possible Triggering of Earthquakes by Underground Waste Disposal in the El Dorado, Arkansas Area, 62 Seismological Res. Letters 113 (1991).
 26. S. Crampen & D.C. Booth, Shear-wave Splitting Showing Hydraulic Dilation of Pre-existing Joints in Granite, 1 Scientific Drilling 21 (1989)
 27. R.V. de la Cruz & C. B. Raleigh, Absolute Stress Measurements at the Rangely Anticline, Northwestern Colorado, 9 Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 625 (1972)
 28. Darlene A. Cypser & Scott D. Davis, The State of Corporate Knowledge on Injection Induced Earthquakes: An Informal Survey, [[abstract](#) only] **EOS, Trans. Amer. Geophys. Union Abstracts** 472 (1994)
 29. Scott D. Davis, Investigations of Natural and Induced Seismicity in the Texas Panhandle, Master's Thesis, University of Texas at Austin, 230 pp. (1985)
 30. Scott D. Davis Investigations Concerning the Nature of Aftershocks and Earthquakes Induced by Fluid Injection, Doctoral Thesis, University of Texas at Austin 157 pp. (1989)

31. Scott D. Davis & Cliff Frohlich, New Objective Criteria to Determine if Fluid Injection Has Induced Earthquakes [abstract] 68 EOS, Trans. Am. Geophys. Union 1369 (1987)
32. Scott D. Davis & Cliff Frohlich, Potential for Earthquakes Associated with Fluid Injection [abstract] 69 EOS, Trans. Am. Geophys. Union 1315 (1988).
33. Scott D. Davis & Cliff Frohlich, Did (or Will) Fluid Injection Cause Earthquakes: Criteria for a Rational Assessment, 64 Seismol. Res. Letters 207 (1993).
34. Scott D. Davis & Wayne D. Pennington, Induced Seismic Deformation in the Cogdell Oil Field of West Texas, 79 Bull. Seismol. Soc. Am. 1477 (Oct. 1989).
35. Department of the Army, Summary History of Rocky Mountain Arsenal, (manuscript -- available at the Western History Collection, Denver Public Library) (1967-1980)
36. J. H. Dieterich, C. B. Raleigh & J. B. Bredehoeft, Earthquake Triggering by Fluid Injection at Rangely, Colorado, Proc. Int. Soc. Rock Mech. and Int. Assoc. Eng. Geol. Symp: Percolation Through Fissured Rock Paper T2-B (1972)
37. Donald S. Dreesen, Mark V. Malzahn, Michael C. Fehler & Zora V. Dash, Identification of MHF fracture Planes and Flow Paths; A Correlation of Well Log Data with Patterns in Locations of Induced Seismicity, 11 Trans. Geothermal Resources Council 339 (1987)
38. D. G. Evans & D.W. Steeples, Microearthquakes near the Sleepy Hollow oil field, southwestern Nebraska, 77 Bull. Seismol. Soc. Am. 132 (1986).
39. David M. Evans, The Denver Area Earthquakes and the Rocky Mountain Arsenal Disposal Well, 3 The Mountain Geologist 23 (1966). [Reprinted in Engineering Case Histories No. 8, 25, Geological Society of America (1970)]
40. David M. Evans, Man-Made Earthquakes in Denver, Geotimes 11 (May-June 1966).
41. K.F. Evans, Assessing Regional Potential for Induced Seismicity from Crustal Stress Measurements: an Example from northern Ohio, Proc., Symp. Seismic Hazards, Ground Motions, Soil-Liquefaction and Engineering Practice in North America, National Center for Earthquake Engineering Res., 99 (Jacob, Klaus H., ed. 1987)
42. Michael Fehler, L. House & H. Kaieda, Determining Planes along which Earthquakes Occur: Method and Application to Earthquakes Accompanying Hydraulic Fracture 92 J. Geophys. Res 9407 (1987)
43. Michael Fehler & W. S. Phillips, Simultaneous Inversion for Q and Source Parameters of Microearthquakes Accompanying Hydraulic Fracturing in Granitic Rock, 81 Bull. Seismol. Soc. Am. 553 (1991)
44. Joseph A. Fischer, Warren E. Latimer, James A. Rhodes, Injection Wells and The January 31, 1986 Ohio Earthquake, 3 Pacific Conference on Earthquake Engineering 173 (1987)
45. Joseph A. Fischer & Richard W. Greene, Deep Well-Induced Seismicity, 25 Proc. Symp. Eng. Geol. & Geotech. Eng. 267 (1989)
46. Joseph A. Fischer, Natural and Induced Seismicity in Ohio, Engineering Seismology and Site Response: Proc. 4th Annual International Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering 12 (Cakmak, A.S., ed. 1989)

47. Joseph A. Fischer, Engineering Mechanics Theory and Natural and Induced Seismicity in Ohio and Western New York, 1 Proc. 4th US National Conference on Earthquake Engineering 649 (1990)
48. Jon B. Fletcher & Lynn R. Sykes, Earthquakes Related to Hydraulic Mining and Natural Seismic Activity in Western New York State, 82 J. Geophys. Res. 3767 (1977)
49. Zhao Genmo, Chen Huaran, Ma Shuquin & Zhang Deyuan, Research on Earthquakes Induced by Water Injection in China, 145 Pure & Applied Geophys. 59 (1995)
50. James F. Gibbs, John H. Healy C. Barry Raleigh & John Coakley, Earthquakes in the Oil Field at Rangely Colorado, U.S. Geological Survey Open-File Report (1972)
51. James F. Gibbs, J.H. Healy, B. Raleigh & J. Coakley, Seismicity in the Rangely, Colorado, area: 1962-1970, 63 Bulletin Seismol. Soc. Am. 1557 (1973)
52. A.S.P. Green, R.H. Jones & R. Baria, A Correlation between Induced Seismicity and Fluid FLOW during Fluid Injection into the Carnmenellis Granite, Symp. Proc. Int. Conf on Fluid Flow in Fractured Rocks 447 (1988)
53. B. C. Haimson, Earthquake Stresses at Rangely, Colorado, New Horizons in Rock Mechanics; Earthquakes and Other Dynamic Phenomena, 14 Symp. Rock Mech. Proc. 689 (H. R. Hardy & R. Stefanko, ed.,1972)
54. Hans-Peter Harje, Triggering Earthquakes in the Continental Crust at 9km Depth, [abstract] EOS, Trans. Am. Geophysical Union F559 (1995)
55. S.T. Harding, Induced Seismicity in the Cogdell Canyon Reef Oil Field, USGS Open File Report 81-167 (1981)
56. S.T. Harding, D. Carver, R.F. Henrisey, R.L. Dart & C.J. Langer, The Scurry County, Texas, Earthquake Series of 1977-1978, Induced Seismicity? [abstract] 49 Earthquake Notes 3, 14-15 (1978)
57. Schulte-Theis Hartwig, Cluster Analysis and Location of Seismic Events Induced by Fluid Injection in the KTB-Borehole, Bavaria, Germany, [abstract] EOS, Trans. Am. Geophysical Union F559 (1995)
58. J. H. Healy, W.W. Rubey, D.T. Griggs & C.B. Raleigh, The Denver Earthquakes, 161 Science 1301 (1968).
59. J.H. Healy, et al, Geophysical and Geological Investigations Relating to Earthquakes in the Denver Area, Colorado, U.S. Geological Survey Open File Report #832 (1966)
60. Robert B. Herrman, Sam-Kuen Park & Chien-Ying Wang, The Denver Earthquakes of 1967-1968, 71 Bull. Seismol. Soc. Am. 731 (1981)
61. John J. Hickey & John Vecchioli, Subsurface Injection of Liquid Waste with Emphasis on Injection practices in Florida, Hydrogeology and Management of Hazardous Waste by Deep-Well Disposal, 12 Int'l Contrib. Hydrogeology 99 (Philip E. La Moreaux & Jaroslav Vrba, ed., 1990)
62. John C. Hollister & Robert J. Weimer, Geophysical and Geological Studies of the Relationship between the Denver Earthquakes and the Rocky Mountain Arsenal Well, 63 Q. Colo. School Mines 1, 2 (Jan. 1968).
63. D. B. Hoover & J.A. Dietrich, Seismic Activity During the 1968 Test Pumping at the Rocky Mountain Arsenal Disposal Well, U.S. Geological Circ. 613 (1969).

64. Robert B. Horner, J.E. Barclay, J.M. MacRae, R.J. Wetmiller & I. Asudeh, Earthquakes and Hydrocarbon Production in the Fort St. John Area of Northeastern British Columbia, *EOS Trans. Amer. Geophys. Union*, Abstracts 472 (1994)
65. Leigh House & W. Scott Phillips, "Earthquakes Induced by Hydraulic Injections at Yosemite National Park," [abstract] **EOS Trans. Amer. Geophys. Union, Abstracts** 582 (1993)
66. Paul A. Hsieh & John D. Bredehoft, "[A Reservoir Analysis of the Denver Earthquakes: A Case of Induced Seismicity](#)," 86 **J. Geophys. Res.** 903 (1981).
67. Richard V. Hughes, "Denver's Man-Made Earthquakes - Fact or Fancy," 58 **The Mines Magazine** 22 (1968)
68. Yasufumi Ishiwada, "[Experiments on Water Injections in the Niigata Gas Field](#)," (PDF) IASH-Unesco, 629-634 (1969)
69. M. L. Jost, T. Bübelberg, Ö. Jost and H.-P. Harjes, "[Source parameters of injection-induced microearthquakes at 9 km depth at the KTB Deep Drilling site, Germany](#)," 88 **Bulletin of the Seismological Society of America** 815 (1998)
70. H. Kanamori & E. Hauksson, "A Slow Earthquake in the Santa Maria Basin, California," 82 **Bull. Seismol. Soc. Am.** 2087 (1992)
71. S. Kapotas & E.R. Kanasewich, "Microseismic Activity & Stress Orientations in Cold Lake Oilfields, Alberta" [abstract only] 60 **Seismol. Res. Lett.** 31 (1989)
72. R.T. Kent & N.E. Bentley, **Risk Assessment of Deep Well Injection Systems, Hazardous Wastes in Ground Water: A Soluable Problem**, National Water Well Association, Dublin, OH 233 (1985)
73. Robert M. Kirkham & William P. Rogers, **Earthquake Potential in Colorado**, (Colorado Geological Survey Bulletin 43, 1981)
74. Robert M. Kirkham & William P. Rogers, **Colorado Earthquake Data and Interpretations 1867 to 1985**, Colorado Geological Survey Bulletin 46, (1985)
75. Robert M. Kirkham & William P. Rogers, "An Interpretation of the November 7, 1882 Colorado Earthquake," **Contributions to Colorado Seismicity and Tectonics--A 1986 Update** 122 *Colo. Geol. Surv. Spec. Publ.* 28, W. Rogers & R. Kirkham, ed. (1986).
76. W. B. Klemm, "Deep Well Injection of Industrial Hazardous Waste In Texas, Issues in Groundwater Management," **12th Water Res. Symp.** 403 (1985)
77. P. J. Kendrick, "Deep Well Injection: Sweeping the Problem Under the Carpet," 49 **J. Water Pollution Control Fed.** 187 (1977)
78. Peter Knoll, "The Fluid-Induced Tectonic Rockburst of March 13, 1989 in the "Werra" Potash District of the GDR (first results)," 99 **Gerland Beitrage zur Geophysik** 239 (1990)
79. Peter Knoll, "The Dynamic Excess Pore Pressure Concept - A New Possible Fracture Mechanism for Fluid-Induced Seismic Events," 99 **Gerland Beitrage zur Geophysik** 247 (1990)
80. Amie Lucier, Mark Zoback, Neeraj Gupta and T. S. Ramakrishnan, "[Geomechanical aspects of CO2 sequestration in a deep saline reservoir in the Ohio River Valley region](#)," 13 *Environmental Geosciences* 85 (June 2006)
81. E. L. Majer & T.W. Doe, "Studying Hydrofractures by High Frequency Seismic Monitoring," 23 **Int. J. Rock Mech. Min Sci & Geomech** 185 (1986)

82. Maurice W. Major & Ruth B. Simon, A Seismic Study of the Denver (Derby) Earthquakes, 63 **Q. Colo. School Mines** 9 (Jan. 1968).
83. J. C. Martin, The Effect of Fluid Pressure on Effective Stresses and Induced Faulting, 80 **J. Geophys. Res.** 3783 (1975).
84. K. Masuda, Laboratory Study of Effects of In Situ Stress State and Strength on Fluid-Induced Seismicity 30 **Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.** 1-10 (1993)
85. R. E. Mattick & D.B. Hoover, Seismic-reflection records from a Survey at the Rocky Mountain Arsenal near Denver, Colorado, U.S. Geological Survey Open-file Report (1970).
86. D.M. McCann, "Induced Seismicity in Engineering," 23 **Eng. Geol Spec. Pubs** 397 (1988)
87. W. C. McClain, **On Earthquakes Induced by Underground Fluid Injection**, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL-TM-3154 (October 1970).
88. R. F. Mereu J. Brunet, K. Morissey, B. Price & A. Yapp, "A study of Microearthquakes of the Gobles Oil Field Area of Southwestern Ontario," 76 **Bull. Seismol. Soc. Am.** 1215 (1986).
89. W. G. Milne & M.J. Berry, "Induced Seismicity in Canada," 10 **Engin. Geol.** 219 (1976)
90. R. C. Munson, Relationship of Effect of Waterflooding of the Rangely Oil Field on Seismicity, Engineering Geology Case Histories #8, Geological Society of America (1970).
91. Alexander C.G. Nagelhout, Induced Seismicity Associated with Hydrocarbon Extraction, Fluid Injection and Underground Gas Storage, Master's Thesis, Delft University of Technology, Delft, Netherlands (1996)
92. Craig Nicholson, Earthquakes Associated with Deep Well Activities--Comments and Case Histories, 33rd U.S. Symposium on Rock Mechanics 1079 (1992).
93. Craig Nicholson & Robert L. Wesson, Earthquake Hazard Associated with Deep Well Injection--A Report to the U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Geol. Surv. Bull. #1951 (1990).
94. Craig Nicholson & Robert L. Wesson, Triggered Earthquakes and Deep Well Activities, 139 **Pure & Applied Geophysics** 562 (1992)
95. Craig Nicholson, E. Roeloffs & Robert L. Wesson, "The Northeastern Ohio Earthquake of 31 January: Was it Induced?" 78 **Bull. Seismol. Soc. Am.** 188 (1988)
96. Masakazu Ohtake, "Seismic Activity Induced by Water Injection at Matsushiro, Japan," 22 **J. Phys. Earth** 163 (1974)
97. M. Parotidis & S. A. Shapiro, "[A Statistical Model for the Seismicity Rate of Fluid-injection-induced Earthquakes.](#)" 31 **Geophysical Research Letters** L17609 (2004)
98. G.R. Pickett, Properties of the Rocky Mountain Arsenal Disposal Reservoir and Their Relationship to Derby Earthquakes, 63 **Q. Colo. School Mines** 73 (Jan. 1968).
99. R. J. Pine & A.S. Batchlor, Downward Migration of Shearing on Jointed Rock During Hydraulic Injections, 21 **Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.** 249 (1984)

100. Arthur M. Piper, Disposal of Liquid Wastes by Injection Underground -- Neither Myth nor Millennium, U.S. Geological Survey Circular #631 (1970)
101. L.M. Plotnikova, M.G. Flynova & V.I. Machmudova, Induced Seismicity in the Gazly Gas Field Region, 99 Gerlands Beitrage zur Geophysik 389 (1990)
102. C. B. Raleigh, J. H. Healy & J. D. Bredehoeft, An Experiment in Earthquake Control at Rangely, Colorado, 191 Science 1230 (1976).
103. C. B. Raleigh, Earthquakes and Fluid Injection, Underground Waste Management and Environmental Implications, American Assoc. Pet. Geol. 273 (1972)
104. C. B. Raleigh, J.H. Healy and J.D. Bredehoeft, Faulting and Crustal Stress at Rangely, Colorado, Flow and Fracture of Rocks, Geophysical Monograph #16, American Geophysical Union (Heard, et al ed. 1972)
105. E. Roeloffs, Craig Nicholson & Robert L. Wesson, "Comment to 'Earthquakes, injection wells, and the Perry Nuclear Power Plant, Cleveland, Ohio,'" 17 **Geology** 382 (1989).
106. G. R. Rothe & C. Lui, "Possibility of induced Seismicity in the Vicinity of the Sleepy Hollow Oil Field, Southwestern Nebraska," 73 **Bull. Seismol. Soc. Am.** 1357 (1983)
107. Ben F. Rummerfield, A. Peter Olsons and D. B. Hoover, "Seismic Survey in the Region of Recent Earthquake Activity near Denver, Colorado," 33 **Geophysics** 915 (1968).
108. Louis J. Scopel, "Pressure Injection Disposal Well, Rocky Mountain Arsenal, Denver, Colorado," **Engineering Case Histories No. 8**, Geological Society of America (1970)
109. Leonardo Seeber & John G. Armbruster, Natural and Induced Seismicity in the Lake Erie-Lake Ontario Region: Reactivation of Ancient Faults with Little Neotectonic Displacement, (in English) 47 *Geographie Physique et Quaternaire* 363 (1993)
110. Leonardo Seeber & John. G. Armbruster, Recent and Historic Seismicity in Northeastern Ohio: Reactivation of Precambrian Faults and the Role of Deep Fluid Injection, Preliminary Report to the Nuclear Regulatory Commission (1988).
111. Sergei A. Shapiro, J. Kummerow, C. Dinske, G. Asch, E. Rothert, J. Erzinger, H.-J. Kämpel & R. Kind, "[Fluid induced seismicity guided by a continental fault: Injection experiment of 2004/2005 at the German Deep Drilling Site \(KTB\).](#)" 33 **Geophysical Research Letters** L01309 (2006)
112. S. A. Shapiro, R. Patzig, E. Rothert, & J. Rindschwentner, "[Triggering of Seismicity by Pore-pressure Perturbations: Permeability-related Signatures of the Phenomenon.](#)" 160 **Pure & Applied Geophysics** 1051 (2003)
113. Sergei A. Shapiro, Ernst Huenges & Günter Borm, "[Estimating the crust permeability from fluid-injection-induced seismic emission at the KTB site.](#)" 131 **Geophysical Journal International** F15 (1997)
114. Joel Sminchak, Neeraj Guptam, "[Issues Related to Seismic Activity Induced by the Injection of CO2 in Deep Saline Aquifers.](#)" Proceedings of First National Conference on Carbon Sequestration (2001)
115. David T. Snow, Fracture Deformation and Changes of Permeability and Storage Upon Changes of Fluid Pressure, 63 *Q. Colo. School Mines* 201 (Jan. 1968).

116. A. Spicak, "[Earthquake Swarms and Accompanying Phenomena in Intraplate Regions: A Review.](#)" 44 **Studia Geophysica et Geodaetica**, 89 (2000)
117. Stephen H. Stow & Kenneth S. Johnson, Environmental Impacts Associated with Deep-Well Disposal, Hydrogeology and Management of Hazardous Waste by Deep-Well Disposal, 12 Int'l Contrib. Hydrogeology 77 (Philip E. La Moreaux & Jaroslav Vrba, ed., 1990)
118. Synthetic Record Study and Velocity Determinations of U.S. Corps of Engineers Rocky Mountain Arsenal, Adams County, Colorado, Open-File Report 69-306(1969)
119. S. Tabeli & F. Cornet, "Analysis of Microseismicity Induced by a Fluid Injection in a Granitic Rock Mass," 14 *Geophys. Res. Lett* 227 (1987)
120. K. Tadokoro, M. Ando, K. Nishigami, "[Induced Earthquakes Accompanying the Water Injection Experiment at the Nojima Fault Zone, Japan: Seismicity and its Migration.](#)" 105 *Journal of Geophysical Research* 6089 (2000)
121. T. L. Teng, C.R. Real & T.L. Henyey, Microearthquakes and Waterflooding in Los Angeles 63 *Bull. Seismol. Soc. of Am.* 859 (1973).
122. T. Terashima, Survey on Induced Seismicity at Mishraq in Iraq, 29 *J. Phys. Earth* 371 (1981)
123. Busselburg Thorsten, Source Parameters of Seismic Events Induced by Fluid Injection at 9 km Depth in the KTB-Borehole [abstract] *EOS, Trans. Am. Geophysical Union* F559 (1995)
124. Robert L. Wesson & Craig Nicholson, USGS Study of the Northeastern Ohio Earthquake of January 31, 1986, U. S. Geological Survey Preliminary Open File Report (1986)
125. Robert L. Wesson, Studies of the January 31, 1986 Northeastern Ohio Earthquake, Report to the U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S. Geological Survey Open File Report 86-331 (1986)
126. J.K. Whyatt, T.J. Williams, W. Blake & D. Cuvelier, Fault Injection Experimentation at the Luck Friday Main: a Progress Report, **Pre-Workshop Volume for the Workshop on Induced Seismicity, 33rd U.S. Symp. on Rock Mech.** 195 (1992)
127. Ivan G. Wong, "[Seismicity of the Paradox Basin and the Colorado Plateau interior.](#)" DOE Technical Report, April 1, 1984
128. Ivan G. Wong, J.R. Humphrey, W. Silva, D.A. Gahr & J. Huizingh, "A Case of Microseismicity Induced by Solution Mining, Southeastern Utah," [abstract only] 56 **Earthquake Notes** 18 (1985)
129. Tu Yi-min & Chen Yun-tai, "[The Accurate Location of the Injection-induced Microearthquakes in German Continental Deep Drilling Program.](#)" 15 **Acta Seismologica Sinica** 616 (2002)
130. J. M. Yin & F. H. Cornet, "Fracture Reactivation and Induced Microseismicity Under Variable Pore Pressure," [abstract] **EOS, Trans. Am. Geophysical Union** 444 (1994)
131. Bochnog Zhang, Rui Chang, Hong Li, Yingman Qi, Jizhen Mao, Peng Liu & Fangquan Li, "Relationship between Seismicity and Water Injection in Ziliujing Anticline," 6 **Acta Seismologica Sinica** 769 (1993)

132. Genmo Zhao, Huaran Chen, Shuquin Ma and Deyuan Zhang, Research of Earthquakes Induced by Water Injection in China, 145 Pure & Applied Geophys. 59-68 (1995).
133. Gen Mo Zhao & Gang sheng Yang, Focal Stress Field by Water Injection-Induced Earthquakes and Characteristics of Coda Wave Attenuation, (Includes a summary in English), 12 Ti chen ti chih (Seismology and Geology) 303 (1990)
134. Mark D. Zoback, Frictional Analysis of Induced Earthquakes near 9km Depth at the KTB site: Evidence for the Brittle/Ductile Transition? EOS Trans. Amer. Geophys. Union, Abstracts F533 (1995)
135. Mark D. Zoback, Hans-Peter Harjes, ["Injection-induced earthquakes and crustal stress at 9 km depth at the KTB deep drilling site, Germany,"](#) 102 Journal of Geophysical Research 18,477 (1997)

Compiled by Darlene Cypser. Last update: 9/15/2007

9 Referenzen

1. Wald, D. J., V. Quitoriano, T. H. Heaton, H. Kanamori (1999a), Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Modified Mercalli Intensity in California, Earthquake Spectra, 15, 557-564)
2. Erdbeben. 2007 - Elsevier GmbH München, Spektrum Akademischer Verlag
3. Colorado Rocky Mountain Arsenal <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/states/>
4. .Measuring the Risks of Waste Disposal by Deep-Well Injection Charles H. Breedon. Virginia Water Resources Research Center 1980.
5. Earthquakes at Rangely Oil Field, Colorado, Rick Moran - April 2007 ES 767, Tectonics, Emporia State University.
6. Characterizing the Mechanics of Fracturing from Earthquake Source Parameter and Multiplet Analyses: Application to the Soultz-sous-Forêts Hot Dry Rock site. Sophie Michelet, Nafi Toksöz. 2008. Earth Resources Laboratory. Dept. of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA 02139
7. Source processes of industrially-induced earthquakes at The Geysers geothermal area, California. 1999. Alwyn Ross, G. R. Foulger, and Bruce R. Julian. GEOPHYSICS, Vol. 64, No. 6 (November - Dezember 1999); P. 1877–1889
8. www.andersonsprings.org
9. <http://www.lgb-rlp.de/>