



GtV
Bundesverband
Geothermie

GTV- Richtlinie¹

Seismizität bei Geothermieprojekten

Blatt 1: Seismische Überwachung

- Gelbdruck -

GTV 1101

Blatt 1

(Dezember 2011)

Inhalt:

1. Vorwort	2
2. Induzierte Seismizität	2
3. Seismische Überwachung	3
3.1 Emissionsnetz.....	3
3.1.1 Messgenauigkeit.....	3
3.1.2 Betrieb eines Messnetzes	5
3.2 Immissionsnetz.....	6
4. Datenintegration.....	7
5. Transparenz	7
6. Literatur	8

GTV - Richtlinien, Vertrieb GTV Service GmbH, Albrechtstrasse 22, 10117 Berlin, Deutschland

¹ Diese Richtlinie liegt in der vollen Verantwortung des GtV-Bundesverbandes Geothermie e.V. Inhaltlich beruft sie sich in weiten Teilen auf Ergebnisse der FKPE- Arbeitsgruppe ‚Induzierte Seismizität‘. Dort werden als Autoren genannt: Dr. Stefan Baisch, Q-con GmbH, Bad Bergzabern, Dr. Ralf Fritschen, DMT GmbH & Co. KG, Essen, Dr. Jörn Groos, Karlsruher Institut für Technologie, Geophysikalisches Institut, Dr. Toni Kraft, Schweizer Erdbebendienst, Zürich, Dr. Thomas Plenefisch, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Priv. Doz. Dr. Joachim Ritter, Karlsruher Institut für Technologie, Geophysikalisches Institut, Dr. Joachim Wassermann, Ludwig-Maximilians Universität, München

1. Vorwort

Die Richtlinie GTV 1101 (Blatt 1) befasst sich mit der seismischen Überwachung von Geothermieprojekten. **Sie regelt nicht, ob eine solche Überwachung sinnvoll oder notwendig ist, sondern beschreibt ausschließlich, wie diese zu erfolgen hat, wenn sie durchgeführt wird.**

Die Richtlinie unterscheidet bei den Überwachungsnetzen zwischen einem Immissionsnetz (DIN 4150-konformes Netz) und einem Emissionsnetz (seismologisches Netz). Das Immissionsnetz dient dazu, Erschütterungen bezüglich einer möglichen Schadenswirkung zu beurteilen. Es ist Grundlage eines auf Überwachung und Reaktionsschema beruhenden kontrollierten Betriebs der Anlage. Das Emissionsnetz dient der Erarbeitung von Detailkenntnissen über die natürliche und induzierte Seismizität der Lokation und ist Grundlage von Abschätzungen des Gefährdungspotenzials induzierter Seismizität (Gefährdungsanalyse).

2. Induzierte Seismizität

Alle größeren Eingriffe in den Untergrund haben eine Änderung des lokalen Spannungsfeldes zur Folge und haben somit das Potenzial, seismische Ereignisse auszulösen. Seismische Ereignisse wurden beispielsweise berichtet im Zusammenhang mit:

- der Errichtung von Staudämmen
- Bergbauarbeiten
- dem Bau von Verkehrstunneln
- Ausgrabungen
- der Öl-/Gasproduktion
- dem Bau von Unterspeichern (Gas, Druckluft)
- Flüssigkeitsverpressungen
- Niederbringung von Mineralwasserbrunnen
- Hydraulischer Stimulation von Öl-/Gaslagerstätten

Induzierte Seismizität bei geothermisch bedingten Stimulationsmaßnahmen oder beim Betrieb von Geothermieanlagen hat denselben physikalischen Grund wie bei anderen Fluidinjektionen. Der Hauptmechanismus ist, dass der zusätzlich aufgebrachte Porendruck die Normalspannung und somit die Reibungskräfte auf einer Störung zwischen zwei Gesteinsblöcken reduziert. Folge kann eine plötzliche Scherbewegung entlang dieser Störung sein. Darüber hinaus können auch thermoelastische Effekte die Reibungskräfte auf Störungsflächen reduzieren. Diese Effekte sind jedoch meist auf sehr kleine Gesteinsvolumina begrenzt.

Über seismische Effekte bei geothermischen Projekten wurde weltweit berichtet (Majer, Protokoll, 2011). Nirgendwo wurden Beben registriert, die die Tragstruktur von Gebäuden beeinträchtigt, die Infrastruktur geschädigt oder sogar eine Gefahr für Menschen dargestellt hätten. Kleinere Schäden oder kosmetische Schäden wurden in der Regel ohne nähere Ermittlung der Verursachungszusammenhänge auf dem Kulanzwege reguliert oder es wurde eine einvernehmliche Schadensabwicklung angestrebt.

Die Planung eines Geothermieprojektes beinhaltet eine strukturgeologische Charakterisierung des Untergrundes und eine detaillierte Spannungsfeldanalyse. Alle Schritte vom Niederbringen der Bohrungen, der Durchführung von Stimulationsmaßnahmen bis hin zum Betrieb der Anlage sollten messtechnisch durch ein seismisches Monitoring begleitet werden, auch wenn beim Niederbringen einer Bohrung noch nie fühlbare seismische Ereignisse beobachtet wurden. Die Messungen werden kontinuierlich statistisch und bezüglich ihrer räumlichen Verteilung ausgewertet. Auch deterministische Abschätzungen können einfließen. Darüber hinaus können andere nicht gezielt erhaltene Informationen genutzt werden. Das Ergebnis ist ein Überwachungskonzept der natürlichen und induzierten Seismizität mit einem Reaktionsschema. Überwachung und Reaktionsschema gewährleisten zusammengefasst einen kontrollierten Betrieb der Anlage.

3. Seismische Überwachung

3.1 Emissionsnetz

Das Emissionsnetz dient der Erarbeitung von Kenntnissen über die natürliche und induzierte Seismizität der überwachten Lokation, als Basis für eine Gefährdungsanalyse der induzierten Seismizität. Die Richtlinie beschreibt hierzu die messtechnischen Voraussetzungen. Die Empfehlung beschränkt sich auf Mindestanforderungen, die eine auswertbare Erfassung von Ereignissen sicherstellen. Diese sind um eine Größenordnung kleiner als die möglicherweise spürbaren induzierten Ereignisse (etwa ab einer Schwinggeschwindigkeit von 0,3 mm/s), die im Zusammenhang mit der Anlage stehen.

Der technische notwendige Aufwand für eine Überwachung induzierter seismischer Ereignisse hängt entscheidend von der Art der Anlage und damit von den Anforderungen der Genehmigungsbehörde an die Überwachung ab. Wird beispielsweise nur eine generelle Beobachtung der Seismizität gefordert, so kann dies mit einer 3-Komponenten-Messstation erreicht werden, die die unten beschriebenen Anforderungen an die Messgenauigkeit und Datenverfügbarkeit erfüllt. Wird eine Lokalisierung der Ereignisse, eine Erfassung der raumzeitlichen Entwicklung der Seismizität oder eine Unterscheidung natürlicher von induzierter Seismizität gefordert, dann ist unter Umständen ein umfangreicherer instrumenteller Aufwand erforderlich.

3.1.1 Messgenauigkeit

Es muss an den einzelnen Messstellen eine Kompressionswelle mit mindestens der Schwinggeschwindigkeitsamplitude von 6 $\mu\text{m/s}$ bei einem Signal/Stör-Verhältnis von mindestens 3 im Frequenzbereich 5-40 Hz gemessen werden können. Es müssen 3 orthogonale Komponenten der Schwinggeschwindigkeit erfasst werden, wobei die Genauigkeit der Zeitbasis mindestens im Millisekundenbereich liegen muss.

- Um eine Entwicklung hin zu spürbaren Ereignissen rechtzeitig zu beobachten, sollen auch die Ereignisse sicher gemessen und ggf. lokalisiert werden, welche unterhalb der Spürbarkeitsgrenze (0,3 mm/s in seltenen Fällen, vgl. DIN 4150-2²) liegen. Zudem soll u.U. eine Gutenberg-Richter-Relation aus einer genügend großen Zahl von Ereignissen erstellt werden können, um eine Prognose für stärkere Ereignisse (etwa eine Magnitude größer als die beobachtete Seismizität) zu erreichen. Bei einer Herdtiefe um 2-5 km und im Umfeld eines sedimentären Beckens entspricht diese Anforderung in etwa der Messung eines Erdbebens der Lokalmagnitude $ML \sim 1,0$. In anderen Gebieten kann ML einen anderen Wert annehmen (abhängig von Herdtiefe, Verstärkungsfaktoren der oberflächennahen Sedimentschichten usw.). Um sich von der Lokalmagnitude und ihren Unsicherheiten (Stationsmagnitude, Mittelung, fehlende Aussagekraft bzgl. der Intensität bzw. Auswirkung) zu lösen, soll hier die Schwinggeschwindigkeit als Orientierungsmaß dienen.
- Seismische Immissionen können in Ausnahmefällen ab circa 0,3 mm/s Schwinggeschwindigkeit verspürt werden (DIN 4150-2), wobei dies i.a. die Scherwelle betrifft. Um diesen Wert sicher zu messen und eine Gutenberg-Richter-Statistik des

² Dieser Wert gilt für Messungen am Fundament von Gebäuden. Die DIN 4150-2 nennt als Spürbarkeitsgrenze KBF_{max} -Werte von 0,1 bis 0,2. Der KBF_{max} -Wert (maximale bewertete Schwingstärke) ist hierbei das Maximum des gleitenden Effektivwertes eines frequenzbewerteten Erschütterungssignals, dessen Bestimmung in der DIN 4150-2 erläutert wird. Den Wert $v_{\text{max}} = 0,3 \text{ mm/s}$ enthält man unter der Berücksichtigung, dass Erschütterungen zu den Obergeschossen hin verstärkt werden und dass der KBF_{max} Wert für Einzelereignisse kurzer Dauer ca. $1/3$ des v_{max} Wertes beträgt.

Auftretens von Ereignissen bestimmen zu können, soll im Folgenden ein Faktor 0,1 berücksichtigt werden (d.h. 0,03 mm/s oder 30 $\mu\text{m/s}$). Um von diesem Amplitudenwert für Scherwellen (S) zu Kompressionswellen (P) zu gelangen, wird ein empirischer Faktor von 0,2 angesetzt. Dies führt dann zu einer aufzulösenden Schwinggeschwindigkeit von 6 $\mu\text{m/s}$. Die Messung und Identifizierung von P- und S-Wellen ist notwendig, um seismische Ereignisse zu erkennen und ggf. zu lokalisieren. Zur Phasenidentifikation und Einsatzzeit-Bestimmung ist mindestens ein Signal/Stör-Verhältnis von 3 notwendig. Diese untere Empfindlichkeitsgrenze stellt für herkömmliche Seismometer/Geophone kein Problem dar. Es müssen 3-Komponenten zur Erfassung des räumlichen Signalverlaufs verwendet werden.

- Ab einem Signal/Stör-Verhältnis (SNR) von etwa 3 kann eine seismische Welle zuverlässig identifiziert und ihre Einsatzzeit bestimmt werden. Dies ist das entscheidende Kriterium der Messung und erfordert somit Rauschamplituden, die geringer als 6/3 $\mu\text{m/s}$ bzw. 2 $\mu\text{m/s}$ sind. Als Bezugsgröße für die Berechnung des Signal/Stör-Verhältnisses im Zeitbereich soll das Amplitudenintervall verwendet werden, welches 95% der Amplitudenwerte (I95) der untersuchten mittelwertfreien Zeitreihe des seismischen Rauschens enthält (siehe Abbildung 1). I95 sollte innerhalb von $\pm 2 \mu\text{m/s}$ liegen. Kann SNR > 3 bei Messungen an der Oberfläche nicht erreicht werden (z.B. wegen zu starkem Hintergrundrauschens), dann kann daran gedacht werden, in einem ausreichend tiefen Bohrloch zu messen. Der Richtwert I95 (s.u.) muss im Dauerbetrieb (24/7) eingehalten werden. Um das Signal/Stör-Verhältnis an einer potenziellen Messstation zu bestimmen, werden Testmessungen vor deren Einrichtung empfohlen. Diese Testmessungen sollen die Variation der mittleren Rausch-Messamplituden bestimmen (I95) sowie das Auftreten von transienten Störsignalen im Mess-Frequenzbereich abschätzen (Zur Rauschanalyse von Standorten siehe auch: Groos J. & Ritter, J., 2010. Seismic noise: A challenge and opportunity for seismological monitoring in densely populated areas).
- Die zu messenden Frequenzen an der Erdoberfläche umfassen etwa 5 Hz (S-Welle) bis 40 Hz (P-Welle) für Erdbeben mit Lokalmagnituden $ML < \sim 3$. Für stärkere Ereignisse können niedrigere Frequenzen angeregt werden. Deshalb müssen mindestens Geophone mit einer Eigenfrequenz kleiner oder gleich 4,5 Hz eingesetzt werden, die Messung niedrigerer Frequenzen ist optional. Die Abtastrate muss mindestens 100 Hz betragen. In Bohrlöchern sollte versucht werden, Signale mit einem Frequenzgehalt bis mindestens 80 Hz zu messen (200 Hz Abtastrate), da dort höhere Frequenzen beobachtet werden können.
- Die Genauigkeit der Zeitbasis der seismischen Messdaten muss im Millisekundenbereich liegen. Eine Zeitsynchronisation im Millisekundenbereich oder präziser ist bei standardmäßiger Synchronisation der Uhr der Datenerfassung mit einem externen Zeitzeichen i.a. problemlos realisierbar. Es wird GPS zur hochgenauen Zeitsynchronisation empfohlen (diese ist notwendig z.B. für die Berechnung präziser Relativlokalisierung der seismischen Ereignisse, s.u.).

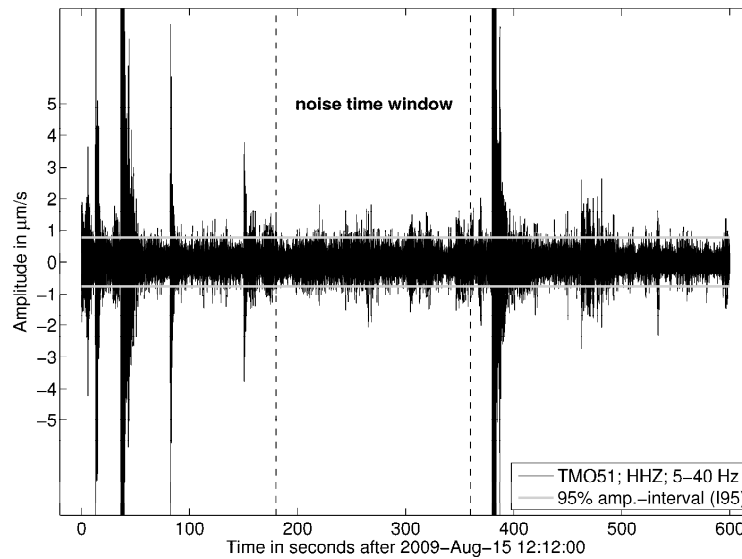


Abbildung 1: Darstellung des Amplitudenintervalls I95 (zwischen den grauen Linien) zur Evaluierung des Rauschpegels. Innerhalb I95 befinden sich 95% der gemessenen Amplitudenwerte. Transiente Rauschereignisse können diese Amplitude kurzfristig übertreffen. Die größeren, in dieser Darstellung teilweise saturierten Ereignisse sind induzierte Erdbeben. Der Standort TMO51 befindet sich im Oberrheingraben (Oberflächenstation an einem Ortsrand), I95 liegt hier unterhalb der geforderten $\pm 2 \mu\text{m/s}$. Quelle: Ritter 2011

3.1.2 Betrieb eines Messnetzes

Sollen über eine generelle Beobachtung hinausgehend Herdparameter bestimmt werden, dann müssen mindestens 5 Messstationen im Umfeld einer geotechnischen Anlage (in einer Entfernung $< 10 \text{ km}$ von der geotechnischen Anlage) kontinuierlich betrieben werden. Die Aufstellungsorte sollen so gewählt werden, dass erstens Spezifikation 3.1 erfüllt wird und zweitens eine Hypozentralbestimmung mit einer 2σ -Genauigkeit von horizontal $\pm 500 \text{ m}$ sowie vertikal $\pm 2000 \text{ m}$ im Reservoirbereich und dem direkten Umfeld erreicht wird.

- Die Konfiguration eines Messnetzes orientiert sich an den zu erzielenden Ergebnissen einer Überwachungsmaßnahme: Detektion von Einzelereignissen, Präzision der Hypozentralparameter-Bestimmung (Breite, Länge, Tiefe und Herdzeit) sowie der lokalen Gegebenheiten (Signal/Stör-Verhältnisse, Genehmigungen für Messstandorte, Infrastruktur etc.).
- Ist im Rahmen einer generellen Beobachtung nur die sichere Detektion einzelner spürbarer Ereignisse gefordert, so genügt eine Messstation, die den unter 3.1 genannten Anforderungen an die Messgenauigkeit entspricht, wenn zusätzlich eine hohe Datenverfügbarkeit von mindestens 98.5% sichergestellt ist.
- Wenn darüber hinaus eine Lokalisierung von seismischen Ereignissen angestrebt wird, sollte diese zumindest die Bestimmung der Epizentralkoordinaten von $\pm 500 \text{ m}$ Genauigkeit erreichen (die Unsicherheit ist hier 2σ). Neben gut bestimmten P- und S-Welleneinsatzzeiten (Kompressions- und Scherwellen) benötigt man hierfür auch ein passendes Geschwindigkeitsmodell.
- Die Bestimmung der Hypozentraltiefe hängt stark von der Güte des seismischen Geschwindigkeitsmodells ab, vor allem für die Scherwellen. Es wird empfohlen, das Geschwindigkeitsmodell und/oder die Laufzeiten zu kalibrieren. Dies kann beispielsweise mit Kalibrationssprengungen in Bohrlöchern, initialen Stimulationsereignissen, Sonic-Log-

/ Full-Wave-Sonic-Log-Messungen oder durch VSP-Messungen (vertical seismic profiling) erfolgen. Unsicherheiten von ± 2000 m (2σ) in der Hypozentraltiefen-Bestimmung sollen nicht überschritten werden.

- Zur Erreichung der oben genannten Lokalisierungsziele sind verschiedene Messkonfigurationen denkbar. Es werden erfahrungsgemäß mindestens 5 Messstationen notwendig. Es ist weiterhin zu bedenken, dass wegen technischer Stationsausfälle, unzureichenden Beobachtungsmöglichkeiten (Stationslage auf Nodalfläche, ungewöhnliche Rauschereignisse etc.) u.U. eine Redundanz zusätzlich notwendig ist. Um eine gute Tiefenlokalisierung zu erreichen, sollen nicht alle Stationen in derselben Entfernung von der möglichen Quelle platziert sein. Die Azimutwinkel zwischen den Stationen sollen möglichst klein sein, um eine gute horizontale Auflösung der Lokalisierung zu erreichen. Es soll kein Azimutbereich größer 90° von der seismischen Quelle ohne Messstation entstehen.
- Neben den oben beschriebenen absoluten Lokalisierungen wird auch auf die Technik der relativen Lokalisierung hingewiesen. Entsprechend bestimmte Hypozentren sind untereinander sehr genau festgelegt und helfen beispielsweise die Entwicklung der Seismizität im Reservoir zu charakterisieren.
- Der Nachweis zur Auflösungsfähigkeit des Netzwerks sollte durch numerische Modellierungen vor Beginn der Überwachung erbracht werden.
- Stand der Technik ist die kontinuierliche Echtzeit-Datenübertragung (wenige Sekunden Zeitverzögerung) in ein Datenzentrum (z.B. beim Anlagenbetreiber und/oder ein öffentliches Datenportal), automatische Qualitätskontrolle der Registrierungen und automatische Detektion sowie Meldung (an Anlagenbetreiber u.a.). Bei technischen Problemen der Datenübertragung muss ggf. im Hybrid-Modus (z.B. nur Übertragung von Stationszustand (state of health) und getriggerten Ereignis-Wellenformen) oder gar teilweise ohne Echtzeit-Datenübertragung gemessen werden. Die Weiterentwicklung der Mobilfunktechnik (LTE-Standard etc.) wird heute noch auftretende Probleme aber in kurzer Zeit lösen.
- Im Hinblick auf eine online Datenübertragung, die kompatibel mit anderen seismologischen Einrichtungen ist, wird empfohlen, die Schnittstellen und das Datenformat vor Beginn der Einrichtung des Netzwerkes mit interessierten Behörden, Datenzentren etc. abzusprechen. Als Austauschformate werden empfohlen:
 1. SEED,
 2. miniSEED inkl. dataless SEED Dateien mit Metadaten und
 3. GSE2 plus Metadaten. Es wird auf die Möglichkeit von seedlink und arclink zur standardisierten Datenübertragung hingewiesen

3.2 Immissionsnetz

Messtechnische Voraussetzungen wie Anforderungen an die Messgeräte und deren Aufstellung sind in der DIN 4150 bzw. DIN 45669 geregelt und es bedarf hier keiner weiteren Festlegung. Im Gegensatz zu der Erfassung von Erschütterungen, die von diskreten Tätigkeiten (wie Steinbruchsprengungen) herrühren, sind hier Ort und Zeit der Entstehung eines Erschütterungsereignisses nicht bekannt. Dies bedingt die Aufstellung von meist mehreren Stationen an möglichst repräsentativen Standorten. Sollte sich während der Überwachung zeigen, dass die Messwerte aufstellungsbedingte Verstärkungs- oder Abschwächungseffekte zeigen, so dass in der Interpolation zwischen Stationsstandorten Fehler von mehr als einem Faktor 2 zu erwarten sind, ist das Netz zu verdichten. So wird gewährleistet, dass auch Aussagen zur Erschütterungseinwirkung auf Gebäude gemacht werden können, die nicht mit einer Messstation bestückt wurden.

Da der Zeitpunkt des Auftretens von Ereignissen nicht vorab bekannt ist, sind die Messstationen mit einer Dauerregistrierung auszustatten. Da das Netz nicht nur zur Beweissicherung dient, sondern auch die Eingangsdaten für das System „Überwachung/ Reaktionsschema“ bildet, sind die Messdaten in Echtzeit an eine Überwachungszentrale zu übertragen.

4. Datenintegration

Das Emissionsnetz und das Immissionsnetz können gemeinsame Messstationen enthalten, wenn diese den Anforderungen beider Netze genügen. In jedem Fall sollen Emissionsmessungen zur Quellcharakteristik und Immissionsmessungen zur Beurteilung von Erschütterungen (DIN 4150) zusammengeführt werden, um eine möglichst umfangreiche Datenbasis für seismologische Analysen zu erhalten. Seismologische Messdaten ausgewählter Betreiberstationen sollen den zuständigen seismologischen Diensten zur Erfüllung ihrer Aufgaben zur Verfügung gestellt werden. Umgekehrt sollen seismologische Messdaten von Industrie, Ämtern und Forschungsinstitutionen in das Betreibermessnetz integriert werden.

- Verknüpfung von Messungen nach DIN 45669 zur Beurteilung von Schäden nach DIN 4150 mit Messungen zur klassischen Überwachung: Generell können DIN-konforme Messungen zur Beweissicherung in Gebäuden auch zur Lokalisierung etc. von Ereignissen verwendet werden. Oft lassen die Rauschverhältnisse in Gebäuden jedoch eine Messung mit hoher Empfindlichkeit, wie in 3.1.1 beschrieben, nicht zu. Das bedeutet, die Wellenformen der DIN-konformen Messungen sind nur für stärkere Ereignisse auswertbar. Die Hinzunahme der Daten der DIN-konformen Messungen zu der seismologischen Auswertung ist aber anzustreben, da hierdurch zusätzliche Informationen zur Charakterisierung größerer Ereignisse geliefert werden (z.B. zusätzlich abgedeckte Azimute bei Herdflächenlösungen usw.).
- Nicht DIN-konforme Messstationen, die aber modernen seismologischen Ansprüchen genügen, übertreffen technisch oft die Anforderungen der DIN 45669. Durch digitale Filterung können dann DIN-konforme Messungen simuliert werden. Wichtig ist, dass das Seismometer mindestens alle drei Jahre kalibriert wird, indem die Übertragungsfunktion zwischen 1 Hz und 80 Hz auf geeignete Normale zurückgeführt wird (siehe DIN 45669), dass das Seismometer gemäß den Anforderungen der DIN 4150 aufgestellt wird und dass eine genügend große Abtastrate zur sicheren Erfassung der hohen Frequenzen verwendet wird.
- Den staatlichen Diensten soll zu Erfüllung ihrer Aufgaben der Zugriff auf ausgewählte seismologische Betreiberdaten gewährt werden. Dies ist insbesondere deshalb notwendig, damit nach Auftreten eines spürbaren induzierten Erdbebens belastbare Aussagen zu Ort und möglicher Ursache des Ereignisses möglich sind.
- Umgekehrt sollen in den Überwachungssystemen der Betreiber auch seismologische Messdaten von staatlichen Diensten und Forschungsinstitutionen herangezogen werden. Hierdurch werden die Unsicherheiten der Herdparameter u.U. verringert.

5. Transparenz

Es wird empfohlen, Messdaten in zentralen Datenbanken offenzulegen, um Transparenz, Überprüfbarkeit und die Anwendung weitergehender Auswertungsverfahren zu ermöglichen.

- Eine seismische Überwachung sollte transparent sein gegenüber den Behörden und gegenüber der betroffenen Bevölkerung.
- Eine Offenlegung der seismischen Wellenformen (alle oder ausgewählte Messstationen) im Internet, z.B. über das Datenportal der BGR oder eine Webseite des Betreibers, kann die Transparenz der seismischen Überwachung fördern (proaktive Öffentlichkeitsarbeit etc.).

- Bereits eine teilweise Offenlegung der Registrierungen von beispielsweise nur 2 Messstationen pro geotechnischer Anlage kann die überprüfbare seismische Überwachung in Kombination mit den staatlichen Messnetzen deutlich verbessern, ohne schützenswerte Betriebsgeheimnisse aus dem Reservoirbereich offen zu legen. Dies erlaubt beispielsweise die schnelle Überprüfung der Hypozentralparameter seismischer Ereignisse durch Behörden oder die unterstützende Auswertung durch Forschungsinstitute.
- Bei eng zusammenstehenden geotechnischen Anlagen können Stationen offen vorliegender Daten gemeinsam genutzt werden. Die Abstimmung der Stationsstandorte verschiedener Betreiber kann insgesamt eine Reduzierung der erforderlichen Stationsanzahl möglich machen.
- Wenn die seismischen Daten verschiedener Netzwerke in einem gemeinsamen Datenformat zugänglich vorliegen, dann können sie dahingehend ausgewertet werden, dass die Prozesse der induzierten Seismizität besser verstanden werden. Verschiedene Auswertemethoden (z.B. Herdflächenlösungen) können nur mit einer integrierten Datenbasis mehrerer kleiner Netzwerke zuverlässig durchgeführt werden.

6. Literatur

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 3 „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“ (02-1999)

DIN 45669-1 „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 1 „Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung“ (09-2010)

DIN 45669-2 „Messung von Schwingungsimmissionen“, Teil 2 „Messverfahren“ (06-2005)

Groos J. & Ritter, J., 2010. Seismic noise: A challenge and opportunity for seismological monitoring in densely populated areas. In Ritter, J. and Oth, A. (eds.), Proceedings of the workshop Induced Seismicity, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 30, 157 pp., ISBN N° 978-2-91989-709-4).

Majer, Ernie; James Nelson, Ann Robertson-Tait, Jean Savy, and Ivan Wong: Protocol for Addressing Induced Seismicity Associated with Enhanced Geothermal Systems (EGS) Final Draft - May 31, 2011