

 <p>Bundesverband Geothermie</p>	<p align="center">BVG-Richtlinie¹</p> <p align="center">Seismizität bei Geothermieprojekten</p> <p align="center">Teil 1: Seismische Überwachung (Messnetze)</p>	<p align="center">BVG 1101</p> <p align="center">Teil 1</p> <p align="center">(Gelbdruck November 2011, überarbeitet 2023)</p>
<p>Inhalt:</p> <p>1. Vorbemerkung</p> <p>2. Induzierte Seismizität</p> <p>3. Seismische Überwachung.....</p> <p> 3.1 Seismologische Netze.....</p> <p> 3.1.1 Messgenauigkeit</p> <p> 3.1.2 Betrieb eines Seismologischen Messnetzes.....</p> <p> 3.1.3 Datenintegration der Messdaten eines Seismologischen Netzes</p> <p> 3.2 Immissionsnetze.....</p> <p> 3.2.1 Die DIN 4150</p> <p> 3.2.2 Instrumentierung und Layout eines Immissionsnetzes</p> <p> 3.2.3 Daten des Immissionsnetzes</p> <p>4. Transparenz</p> <p>5. Literatur..... 1</p>		
<p>Richtlinien, Vertrieb BVG-Service GmbH, Albrechtstrasse 22, 10117 Berlin, Deutschland</p>		

¹ Diese Richtlinie liegt in der vollen Verantwortung des Bundesverbandes Geothermie e.V. (BVG). 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, 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. Die Richtlinie wurde 2023 überarbeitet. Die Überarbeitung wurde im Fachausschuss Wissenschaft und Bildung des Bundesverbandes Geothermie e.V. verabschiedet.

1. Vorbemerkung

Induzierte Seismizität ist bei Planung, Bau und Betrieb geothermischer Anlagen immer ein Thema. Die Überwachung mit seismischen Netzen, deren Auswertung und die öffentliche Ergebnisdiskussion sind nicht nur für Fragen der Akzeptanz, sondern auch für die rechtliche Situation nach dem Bundesberggesetz (BbergG)² und das damit verknüpfte Betriebsplanverfahren³ relevant. Der Betrieb geeigneter Messnetze zur seismischen Überwachung wird in der Regel in den Betriebsplänen vereinbart und somit verbindlich.

2. Induzierte Seismizität⁴

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 berichtet in Zusammenhang mit:

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

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. Dabei werden generell natürliche Scherspannungen, welche auf den Störungsflächen wirken, reduziert. Darüber hinaus können auch, insbesondere bei längerfristigen Einwirkungen, temperaturbedingte Volumenänderungen und andere thermo-elastische Effekte Scherungen verursachen. Diese Effekte sind meist auf relativ kleine Gesteinsvolumina begrenzt.

Über seismische Effekte bei geothermischen Projekten wurde weltweit berichtet (Majer, 2011). Zumindest in Deutschland wurden nirgendwo Beben registriert, die die Tragstruktur von Gebäuden beeinträchtigt hätten, die Infrastruktur geschädigt oder sogar eine Gefahr für Menschen dargestellt hätten. Kleinere Schäden oder kosmetische Schäden wurden oft ohne nähere Ermittlung der Verursachungszusammenhänge auf dem Kulanzwege reguliert oder es wurde eine einvernehmliche Schadensabwicklung angestrebt. In diesen Fällen kommt es dann nicht zu einer endgültigen (gerichtlichen) Klärung, ob die Geothermieanlage wirklich der Verursacher war.

Die Planung eines Geothermieprojektes beinhaltet eine struktureologische Charakterisierung des Untergrundes und eine detaillierte Spannungsfeldanalyse. Alle Schritte vom Niederbringen der

² Bundesberggesetz - Textausgabe mit einführenden Vorworten, Glückauf Verlag Essen 2002, [ISBN 3-7739-1248-X](#)

³ [https://de.wikipedia.org/wiki/Betriebsplan_\(Bergrecht\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Betriebsplan_(Bergrecht))

⁴ Zu den hier verwendeten Fachbegriffen siehe: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie.html>

Bohrungen, der (eventuellen) Durchführung von Test- oder Stimulationsmaßnahmen bis zum Betrieb der Anlage sollten messtechnisch durch ein seismisches Monitoring begleitet werden. Die Messungen werden kontinuierlich statistisch und bezüglich ihrer räumlichen Verteilung ausgewertet. Auch deterministische Abschätzungen können einfließen. Des Weiteren können andere, nicht gezielt erhaltene Informationen genutzt werden. Das Ergebnis ist ein Überwachungskonzept der natürlichen und induzierten Seismizität verknüpft mit einem Reaktionsschema (Ampel, TRL = *traffic light system*, BVG-Richtlinie 1101 - Teil 2). Überwachung und Reaktionsschema begründen zusammengefasst einen ‚kontrollierten Betrieb‘ der Anlage.

3. Seismische Überwachung

Bei der seismischen Überwachung ist zu unterscheiden zwischen einer wissenschaftlich orientierten Erfassung und Bewertung der durch den Bau und den Betrieb der Geothermieanlage induzierten Seismizität und der Messung und Beurteilung der bergrechtlich relevanten möglichen Schadenseinwirkungen auf Gebäude und Menschen. Erstere Aufgabe wird üblicherweise durch ein sogenanntes ‚Seismologisches Netz‘, auch ‚Emissionsnetz‘, die zweite Aufgabe durch ein ‚Immissionsnetz‘ angegangen. Die Bezeichnung Immissionsnetz weist darauf hin, dass es hierbei um die Messung der Erschütterungen am Einwirkungsort geht.

Instrumentierung, Aufstellung und Auswertung des ‚Immissionsnetzes‘ sind weitgehend durch die DIN 4150 geregelt und werden in dieser Richtlinie entsprechend nur kurz erläutert. Für die wissenschaftlichen ‚Seismologischen Netze‘ gibt es keine entsprechenden Vorgaben des Standes der Technik, sie werden dementsprechend hier ausführlicher beschrieben.

3.1 Seismologische Netze

Die vorliegende Richtlinie beschreibt die messtechnischen Voraussetzungen zur wissenschaftsorientierten Erfassung von induzierter Seismizität im Zusammenhang mit geothermischen Anlagen in sogenannten ‚Seismologischen Netzen‘ oder ‚Emissionsnetzen‘. Die Empfehlung beschränkt sich auf die messtechnischen Mindestanforderungen zur sicheren Erfassung aller möglicherweise spürbaren induzierten Erdbeben ab einer Bodenschwinggeschwindigkeit (PGV – *peak ground velocity*) 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 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 raum-zeitlichen Entwicklung der Seismizität oder eine Diskriminierung zwischen natürlicher und induzierter Seismizität gefordert, dann ist 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.

Begründungen:

- Um eine Entwicklung hin zu spürbaren Ereignissen rechtzeitig zu beobachten, sollen bereits diejenigen Ereignisse sicher gemessen und ggf. lokalisiert werden, welche unterhalb der

Spürbarkeitsgrenze (0,3 mm/s in seltenen Fällen, vgl. DIN 4150 - Teil 2) liegen. Zudem soll u.U. eine Gutenberg-Richter-Relation aus genügend Ereignissen erstellt werden können, um eine Prognose für stärkere Ereignisse (etwa eine Magnitude größer als die beobachtete Seismizität) erstellen zu können. Bei einer Herdtiefe um 2-5 km und im Umfeld eines sedimentären Beckens entspricht diese Anforderung in etwa der Messung eines Erdbebens der Lokalmagnitude $M_L \sim 1,0$. In anderen Gebieten kann M_L 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 (PGV) als Orientierungsmaß dienen. Es muss im Seismologischen Netz ein Wert von 6 $\mu\text{m/s}$ zuverlässig gemessen werden.

- Seismische Immissionen können in Ausnahmefällen ab circa 0,3 mm/s Schwinggeschwindigkeit verspürt werden (DIN 4150 – Teil 2), wobei dies i.a. die Scherwelle betrifft. Um diesen Wert sicher zu messen und eine Gutenberg-Richter-Statistik des 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 (vertikal und 2 orthogonal horizontale Sensoren) 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 (SNR) im Zeitbereich soll das Amplitudenintervall verwendet werden, welches 95% der Amplitudenwerte (I95) der untersuchten mittelwertfreien Zeitreihe des seismischen Rauschens enthält (siehe **Error! Reference source not found.**). I95 (siehe Abbildung 1) 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 Hintergrundrauschen), dann soll im Bohrloch gemessen werden. 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 (Groos, J. & Ritter, J., 2010).
- Die zu messenden Frequenzen an der Erdoberfläche umfassen etwa 5 Hz (S-Welle) bis 40 Hz (P-Welle) für Erdbeben mit Lokalmagnituden $M_L < 3$. Für stärkere Ereignisse können kleinere Frequenzen angeregt werden. Deshalb müssen mindestens 4,5 Hz Geophone eingesetzt werden, die Messung kleinerer 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 Zeitsynchronisation empfohlen

(diese ist notwendig z.B. für die Berechnung präziser Relativlokalisierung der seismischen Ereignisse, s.u.).

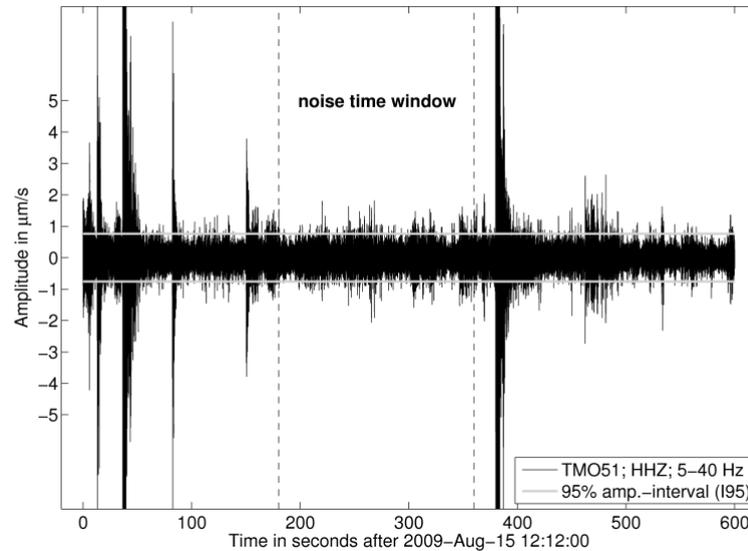


Abbildung 1: Darstellung des Amplitudenintervalls 195 (zwischen den hellen Linien) zur Evaluierung des Rauschpegels. Innerhalb 195 befinden sich 95% der gemessenen Amplitudenwerte. Transiente Rauschereignisse können diese Amplitude kurzfristig übertreffen. Die größeren, in dieser Darstellung teilweise saturierten Ereignisse sind induzierte Erdbeben. Der Standort TMO51 befindet sich im Oberrheingraben (Oberflächenstation an einem Ortsrand), 195 liegt hier mit etwa $\pm 0,7 \mu\text{m/s}$ unterhalb der geforderten $\pm 2 \mu\text{m/s}$.

3.1.2 Betrieb eines Seismologischen Messnetzes

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

Im Einzelnen:

- 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 oben genannten Anforderungen genügt, wenn zusätzlich eine hohe Datenverfügbarkeit von mindestens 98% garantiert werden kann.
- Soll darüber hinaus eine Lokalisierung von seismischen Ereignissen angestrebt werden, sollte diese zumindest die Bestimmung der Epizentralkoordinaten mit $\pm 500 \text{ m}$ 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 Kalibrationsschüssen in Bohrlöchern, initialen Stimulationsereignissen, *sonic-log- / full-wave-sonic-log*-Messungen oder durch VSP-Messungen (*vertical seismic profiling*) erfolgen. Unsicherheiten von ± 500 m in der Horizontalen und ± 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. Es werden kartographische Darstellungen der Netzperformanz empfohlen.
- 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 (z.B. 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:
 - SEED,
 - miniSEED inkl. dataless SEED Dateien mit den Metadaten und
 - GSE2 plus Metadaten. Es wird auf die Möglichkeit von seedlink und arlink zur standardisierten Datenübertragung hingewiesen

3.1.3 Datenintegration der Messdaten eines Seismologischen Netzes

Emissionsmessungen zur Quellcharakteristik und Immissionsmessungen (DIN 45669) zur Beurteilung von Erschütterungen (DIN 4150) sollen 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.

Im Einzelnen:

- Verknüpfung von Messungen nach DIN 45669 zur Beurteilung von Schäden nach DIN 4150 mit Messungen zur klassischen Überwachung: Generell sollen DIN-konforme Messungen des Immissionsnetzes zur Beweissicherung in Gebäuden auch zur Lokalisierung etc. von Ereignissen verwendet werden. Oft sind die Empfindlichkeiten jedoch geringer als in dieser Richtlinie vorgegeben, d.h. die Wellenformen der DIN-konformen Messungen sind nur für stärkere Ereignisse auswertbar. Die Hinzunahme der Daten der Immissionsnetze 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 kann versucht werden, DIN-konforme Messungen zu simulieren. Wichtig ist, dass das Seismometer mindestens alle drei Jahre kalibriert werden, indem die Übertragungsfunktion zwischen 1 Hz und 80 Hz auf geeignete Normale zurückgeführt wird (siehe DIN 45669). Diese Umrechnungen sind jedoch fehlerbehaftet und daher in Gerichtsverfahren anfechtbar.
- Den staatlichen Diensten soll zu Erfüllung ihrer Aufgaben der Zugriff auf ausgewählte seismologische Betreiberdaten gewährt werden. Dies ist insbesondere deshalb notwendig, damit nach dem 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.

3.2 Immissionsnetze

Das Immissionsnetz ist das forensisch relevante Netz zur Überwachung möglicher induzierter Seismizität bei Bau und Betrieb von Geothermieanlagen (Schadensbeurteilung). Es liefert die bei der Beurteilung von Schadensmeldungen und deren ev. gerichtlichen Aufarbeitung das für Gutachten notwendige DIN-konforme und damit gerichtverwertbare Datenmaterial. Oft übliche Umrechnungen und Umwidmungen von Daten eines Seismologischen Netzes sind oft nicht DIN-konform und vor Gericht anfechtbar.

3.2.1 Die DIN 4150

Die DIN 4150 ‚Erschütterungen im Bauwesen‘ regelt den Stand der Technik zur Messung und Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Gebäude und Menschen.

- Teil 1 beschreibt die Instrumentellen Voraussetzungen einschließlich der regelmäßigen Überprüfung der Messgeräte
- Teil 2 beschreibt die Beurteilung der Einwirkung auf den Menschen. Dieser Teil der Norm ist für geothermische Anlagen nicht relevant, da die Erschütterungseinwirkungen durch Ereignisse der induzierten Seismizität sowohl sehr kurzzeitig als auch sehr selten sind und somit keine nachhaltige Störung, auch nicht z.B. der Nachtruhe begründen.

- Teil 3 regelt die Einwirkung auf Gebäude und gibt eine Handreichung zur Beurteilung der Möglichkeit von Gebäudeschäden.

3.2.2 Instrumentierung und Layout eines Immissionsnetzes

An die Instrumentierung sind nicht dieselben Ansprüche zu stellen, wie bei der Instrumentierung eines Seismologischen Netzes. Es geht hier nicht darum, möglichst kleine Ereignisse möglichst vollständig zu erfassen, sondern darum, Ereignisse, die möglicherweise Gebäudeschäden verursachen können DIN-konform und somit auch gerichtsverwertbar aufzuzeichnen.

Es genügt also Erschütterungen ab etwa 1 mm/s Schwinggeschwindigkeit zu erfassen, so dass die Ansprüche an die Messempfindlichkeit rel. klein sind. Für das Seismologische Netz wurden 6 µm/s gefordert. Die Genauigkeitsanforderung ist also um einen Faktor 167 geringer. Ein ähnlicher Faktor gilt für die Ansprüche an die störende Bodenunruhe. Es kommen so beispielsweise auch Masssysteme mit MEMS-Technologie in Frage. Genauer regelt die DIN 4150 - Teil 1.

Beim Layout des Messnetzes sind die Ansprüche grundsätzlich unterschiedlich von denen eines Seismologischen Netzes. Letztlich muss das Messnetz gerichtverwendbare Daten zu den Schwinggeschwindigkeiten liefern im Falle einer Schadensmeldung in einem betroffenen Gebiet, für ein betroffenes Gebäude und in Bezug auf ein spezifisches seismisches Ereignis.

Das Gebiet in den Schäden grundsätzlich möglich sind wird durch den ‚Einwirkungsbereich‘^{5,6} im Sinne der Bundesberggesetzes (BbergG) eingeschränkt. Das Immissionsmessnetz muss alle für die verschiedenen Herdlokationen denkbaren Einwirkungsbereiche umfassen, ist also auf eine Fläche auszudehnen, die alle möglichen Einwirkungsbereiche einschließt.

Ein zweites Element des Layouts ist die Anzahl der Stationen resp. die Stationsdichte und die Verteilung dieser Stationen im Messgebiet. Hier ist das Kriterium die Mikrozonierung. Diese besagt, dass auch kleinräumig die an einzelnen Gebäuden gemessenen Schwinggeschwindigkeitswerte (PGV) unterschiedlich sein können. Da nicht in jedem Haus gemessen werden kann, ist die Stationsdichte so zu wählen, dass die Mikrozonierungseffekte abschätzbar bleiben. Eine zu geringe Stationsdichte würde Sicherheitsabschläge bei den Schwinggeschwindigkeits-Anhaltswerten verglichen mit den DIN-Werten nach sich ziehen.

3.2.3 Daten des Immissionsnetzes

Bei dem Seismologischen Netz ist eine kontinuierliche Datenerfassung und eine nachhaltige Speicherung dieser Daten zur Erfüllung der spezifischen Aufgaben unerlässlich. Im Immissionsnetz ist es üblich nur die Daten im zeitlichen Umfeld eines relevanten Ereignisses aufzuzeichnen und nachhaltig zu sichern. Dieses ‚Eventtriggerung‘ genannte Vorgehen wird mit einer ‚Koinzidenzbewertung‘ verknüpft, so dass ein Ereignis nur als solches bewertet wird, wenn es an mehreren Stationen zeitgleich erfasst wurde. Dieses Vorgehen minimiert den Aufwand für die Handhabung der Daten um ein Vielfaches verglichen mit dem Seismologischen Netz. Im Hinblick auf spätere Schadensmeldungen und ev. gerichtliche Auseinandersetzungen sind die Daten des Immissionsnetzes über Jahre zu sichern.

5

https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Downloads/leitfaden_einwirkungsBergV_20180702.pdf;jsessionid=9A5B31FE2FDEDEC67C1759D141AFCD1A.2_cid331?_blob=publicationFile&v=5

⁶ <https://www.gesetze-im-internet.de/einwirkungsbergv/BJNR015580982.html>

4. Transparenz

Es wird empfohlen, Messdaten beider Netze in zentralen Datenbanken offen zu legen, um Transparenz, Überprüfbarkeit und die Anwendung weitergehender Auswerteverfahren zu ermöglichen.

Im Einzelnen:

- Eine seismische Überwachung sollte transparent sein: Gegenüber den Behörden und gegenüber der betroffenen Bevölkerung.
- Eine online Offenlegung der seismischen Wellenformen (alle oder ausgewählte Messstationen), 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 geothermische 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 geothermischen Anlagen können Stationen gemeinsam genutzt werden und Daten gemeinsam verwaltet 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.

5. Literatur

DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Beuth-Verlag, 1999

DIN 45669, Messung von Schwingungsimmissionen - Teil 1: Schwingungsmesser - Anforderungen und Prüfungen, 2020

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

Staatlichen Geologischen Dienste Deutschlands, Arbeitskreis 7 „Vollzugshilfe EinwirkungsBergV“, Leitfaden zur Festlegung des Einwirkungsbereichs nach Auftritt einer Erschütterung, verursacht durch ein seismisches Ereignis, im Sinne der Bergverordnung über Einwirkungsbereiche (EinwirkungsBergV) und des Bundesberggesetzes (BBergG).

Tiefe Geothermie Vorderpfalz - mwvlw.rlp.de, 2017 (Ergebnis der Mediation).