



BVG-Richtlinie¹

Seismizität bei Geothermieprojekten

Teil 2: Reaktionsschema (Ampel)

BVG 1101

Teil 2

**(Gelbdruck Dezember
2023)**

Inhalt:

1.	Vorbemerkung	1
2.	Bedeutung des Reaktionsschemas (Ampel) im Kontext ‚Kontrollierter Betrieb‘	2
3.	Reaktionsschemen international.....	2
4.	Mögliche Bezugsgröße eines Reaktionsschemas (Emission oder Immission)	2
4.1	Magnituden	3
4.2	Schwingeschwindigkeiten (<i>peak ground velocity, PGV</i>)	4
5.	Das Bergrecht, Bundesberggesetz (BBergG)	4
5.1	Einwirkungsbereich	5
5.2	Mikrozonierung	5
5.3	Bergschadensvermutung	6
6.	Die DIN 4150 - Teil 3	6
7.	Mögliche Reaktionen.....	7
8.	Die RLP-Ampel als Reaktionsschema für ganz Deutschland	8
9.	Schlussbemerkung.....	8
10.	Literatur.....	9

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

1. Vorbemerkung

Der Begriff Reaktionsschema hat sich im Zusammenhang mit der Beherrschung technischer Vorgänge eingebürgert. Die Beherrschbarkeit wird dabei durch eine Kombination aus Überwachung

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

(Monitoring) und einem Reaktionsschema hergestellt. Hierbei ist es eine Voraussetzung, dass es eine Möglichkeit zu Beeinflussung der zu beherrschenden Vorgänge gibt ('Stellschrauben').

Ampel (*traffic light system*, TLS) ist ein etwas salopper Begriff, der in der Seismologie oder genauer bei der Beschreibung der Beherrschbarkeit induzierter Seismizität anstelle des Begriffes 'Reaktionsschema' insbesondere bei der Kommunikation mit der Öffentlichkeit gerne benutzt wird. Ein weiterer oft genutzter Begriff ist 'Stufenplan'. Jede Ampel besteht aus Stufen, etwa in den Farben grün, gelb, rot oder grün, gelb, orange, rot. Manche Ampeln haben auch mehr Stufen, so z.B. der in Rheinland-Pfalz seit Jahren erfolgreich angewendete Stufenplan mit 6 Stufen.

2. Bedeutung des Reaktionsschemas (Ampel) im Kontext ‚Kontrollierter Betrieb‘

Die Ampel definiert genaue Vorgehensweisen, die einzuhalten sind, wenn das seismische Monitoring Grenzwerte erreicht oder überschreitet. Die Ampel erhält ihre Verbindlichkeit durch die Verankerung im Betriebsplanverfahren.

3. Reaktionsschemen international

Ampelsysteme sind zur Beherrschung induzierter Seismizität bei Geothermieprojekten in vielen Ländern etabliert. Erstaunlich ist die Spanne der Grenzwerte (hier der Magnituden) von M_L 0,1 bis M_L 4 für den Übergang zu 'rot', was einem Faktor von fast 1 Million in der Ereignisstärke (Energieinhalt) entspricht (Kendall et al., 2019). Unschön dabei ist zusätzlich, dass häufig die Magnituden anstelle eines Immissionsmaßes als Bezugsgröße verwendet werden, obgleich ausschließlich ein Immissionsmaß eine mögliche Schadenswirkung angemessen beschreiben würde.

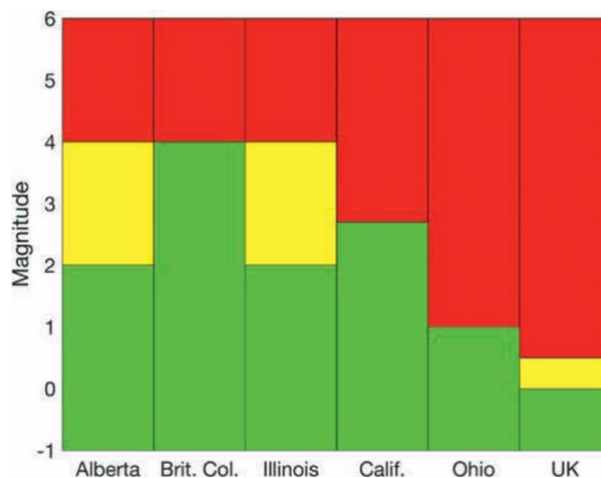


Abbildung 1: Ampelsystem (*traffic light system*, TLS) in verschiedenen Ländern. Erstaunlich ist die Spanne von M_L 0,1 bis M_L 4 für den Übergang zu 'rot', was einem Faktor von fast 1 Million in der Ereignisstärke (Energieinhalt) entspricht. Leider werden oft die Magnituden als Bezugsgrößen verwendet. Quelle: Kendall et al., 2019

4. Mögliche Bezugsgröße eines Reaktionsschemas (Emission oder Immission)

Der in Deutschland maßgebliche Grenzwert für Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude ist nach DIN 4150 - Teil 3 die maximal gemessene Schwinggeschwindigkeit (PGV). Gelegentlich werden aber im Einvernehmen zwischen Betreiber und Öffentlichkeit leider auch Magnituden als Grenzwerte vereinbart. Wegen des lokal nachzuweisenden Bezuges zwischen diesen beiden Größen ist dies tolerierbar, wenn auch unschön, da die Magnitude eben ein Emissionsmaß und kein Immissionsmaß ist. Zudem ist der Bezug zwischen diesen beiden Größen oft deutlich fehlerbehaftet.

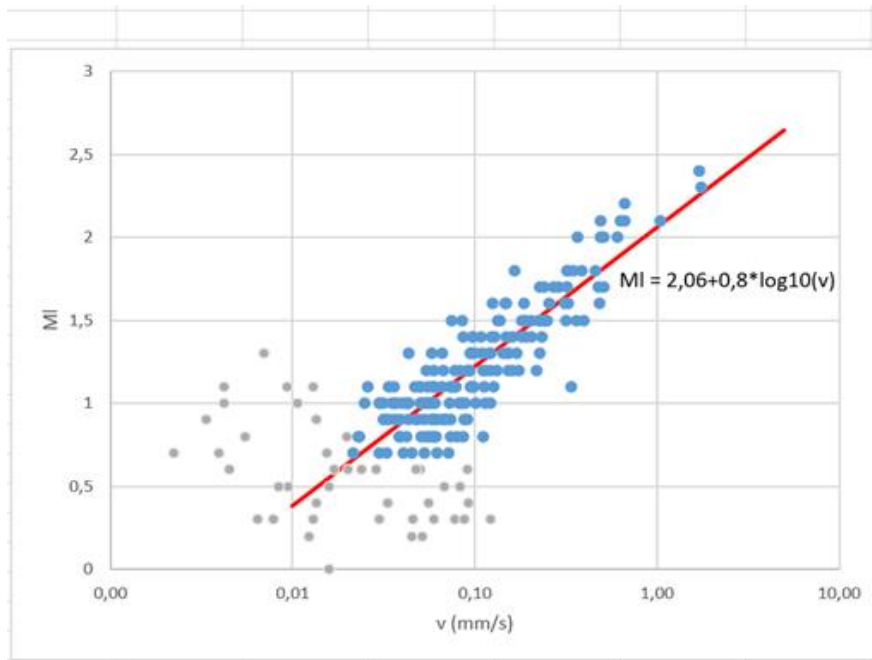


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen der Lokalmagnitude und der maximalen Schwinggeschwindigkeit (PGV) in der Umgebung einer Geothermieanlage in Deutschland. Die Abbildung zeigt die typische starke Streuung bei derartigen Umrechnungen. Zur Berechnung der Ausgleichsgeraden wurden nur die blauen Werte berücksichtigt. Quelle: DMT

Bei der Beurteilung der Einwirkung an einem bestimmten Einwirkungsort oder auf ein bestimmtes Schutzgut sind grundsätzlich Immissionswerte zu verwenden, Dies geschieht normkonform auch bei den meisten anderen Einwirkungsarten, wie Lärm, Staub, Gas (NO_x).

Sollten Magnitudenangaben verwendet werden, ist grundsätzlich festzulegen, um welche Magnituden es sich handelt, z.B. Lokalmagnitude M_L oder Momentenmagnitude M_w . Diese verschiedenen Magnituden können erheblich voneinander abweichen.

Die Wissenschaft arbeitet derzeit daran, neben den sich auf die Vergangenheit beziehenden Messgrößen auch 'prognostische' oder 'prädiiktive' Elemente in ein dann deutlich komplexeres Ampelmodell einzubauen

4.1 Magnituden

Die Magnitude ist ein Maß für die Stärke von Erdbeben. Magnituden werden überwiegend aus den Amplituden, seltener auch aus anderen Parametern von Seismogrammen bestimmt. Diese werden wiederum weltweit an Erdbebenmessstationen mit Seismografen aufgezeichnet. Im Gegensatz dazu ist die Intensität von Erdbeben, also ihre Auswirkungen auf Menschen, Gebäude und Landschaft - ohne Instrumente zu beobachten. Messtechnisch werden diese Einwirkungen an einem Einwirkungsort über die Schwinggeschwindigkeiten definiert.

Die älteste Magnitudenskala ist die aus den Medien wohlbekannte Richterskala, die in den 1930er Jahren von Charles Francis Richter zur Quantifizierung kalifornischer Erdbeben entwickelt wurde. Richter hatte erkannt, dass ein Zusammenhang zwischen dem Maximalausschlag im Seismogramm und der Entfernung vom Epizentrum besteht. Die so gefundene logarithmische Beziehung war geeignet, um aus dem Abklingverhalten der Amplitude auf die Stärke des Erdbebens zurückzuschließen.

Allerdings bezieht sich diese Magnitudenskala auf seismische Wellen, deren Strahlwege größtenteils durch die Erdkruste verlaufen. Dadurch ist die Richterskala nur für den Gebrauch bis maximal 600 bis

1000 km Abstand vom Epizentrum anwendbar. Sie wird deshalb auch als Lokalbebenmagnitude (M_L) bezeichnet.

Seismologen verwenden neben der Lokalmagnitude oft lieber die Momentenmagnitude (M_w), die einen direkteren Bezug zu der im Beben umgesetzten Energie hat. Die beiden Magnituden können sich erheblich unterscheiden (0,3 - 0,5).

4.2 Schwinggeschwindigkeiten (*peak ground velocity*, PGV)

Die Bodenschwinggeschwindigkeit (Phys.: Schnelle) der Bodenbewegung, oder genauer ihr Maximalwert (*peak ground velocity*, PGV) ist der Messwert mit dem mögliche Schadenswirkungen von Erschütterungen auf Gebäude nach DIN 4150 - Teil 3 beurteilt werden müssen. Andere Größen, wie Magnitude oder Intensität beispielsweise eines Erdbeben, sind hierzu nicht geeignet und nicht normgerecht.

In Deutschland bestimmt die normgerechte Verwendung der Schwinggeschwindigkeit die Norm DIN 4150. Die Erschütterung oder Bodenbewegung an einen bestimmten Punkt (Messpunkt) ist zunächst durch die Bodenbewegung, also den Schwingweg (Amplitude) als Funktion der Zeit bestimmt. Durch Ableiten (Differenzieren nach der Zeit) lässt sich hieraus die Schwinggeschwindigkeit und durch nochmaliges Ableiten die Schwingbeschleunigung als Funktion der Zeit bestimmen. Diese Ableitungen können auch analog im Messgerät selbst erfolgen. Aus diesen Zeitfunktionen können die Maximalwerte abgelesen werden.

Amplitude, Geschwindigkeit und Beschleunigung unterscheiden sich durch eine unterschiedliche Frequenzbewertung. Im Frequenzbereich entspricht die Ableitung jeweils einer linearen Multiplikation mit der Frequenz. Praktische Untersuchungen bei Sprengerschütterungen haben gezeigt, dass die Geschwindigkeit dem Eigenfrequenzverhalten von Gebäuden und Bauteilen am besten entspricht. Bei Großbeben und entsprechend niederfrequenten Erschütterungen wird allerdings oft auch die Beschleunigung (*peak ground acceleration*, PGA) herangezogen. Dies ist nicht konform mit der deutschen Normung zur Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Gebäude.

5. Das Bergrecht, Bundesberggesetz (BBergG)

Das im Bundesberggesetz (BBergG) verankerte Betriebsplanverfahren ist ein im Bergbau angewandtes Verfahren zur Betriebsüberwachung. Nach dem Bundesberggesetz dürfen bergbauliche Aktivitäten wie Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen nur mit einem zugelassenen Betriebsplan durchgeführt werden. Für die Zulassung und Überwachung ist die Bergbehörde zuständig. Folgende Betriebspläne sieht das Gesetz vor:

- Rahmenbetriebsplan
- Hauptbetriebsplan
- Sonderbetriebsplan
- Abschlussbetriebsplan.

Da Erdwärme ein bergfreier Bodenschatz ist, unterliegt auch die Erschließung und Nutzung von Erdwärme dem Bergrecht und damit dem Betriebsplanverfahren. Ein Reaktionsschema oder eine Ampel wird durch die Verankerung in einem Betriebsplan rechtsverbindlich.

Die, auch öffentlich kommunizierte Ampel, beschreibt zunächst, wie der Anlagenbetreiber mit den aufgezeichneten seismischen Ereignissen umgehen soll, wie er reagieren soll. Durch eine Verankerung in Betriebsplänen kann die Ampel und damit die dort vorgeschriebenen Reaktionen aber für den Betreiber rechtsverbindlich werden. Betreiber sollten darauf achten, dass die Ampel nicht,

etwa aus Gründen der öffentlichen Akzeptanz, wissenschaftlich unbegründet überkritisch formuliert wird. Auch bei einer weniger strengen Ampel kann der Betreiber noch freiwillig ergänzende Maßnahmen zur Vermeidung fühlbarer seismischer Ereignisse veranlassen.

5.1 Einwirkungsbereich

Nach dem Bundesberggesetz und der Einwirkungsbereichsverordnung hat die Bergbehörde nach dem Auftreten einer signifikanten Bodenerschütterung einen 'Einwirkungsbereich' festzulegen, in dem die Bergschadensvermutung und somit die Beweislastumkehr gilt.

Der Einwirkungsbereich ist gemäß einem derzeit (2022) gültigen Leitfaden der Länder-Bergbehörden festzulegen entlang der Linie innerhalb der Bodenschwinggeschwindigkeiten > 5 mm/s möglich waren.

Bevorzugt ist hier, auf Messwerte eines Immissionsnetzes zurückzugreifen. Sind ausreichende Messwerte nicht verfügbar, kann auch auf Aussagen der Bevölkerung zurückgegriffen werden (Makroseismik). Hier gilt dann die Grenzlinie zwischen den Intensitäten IV und V als Begrenzung des Einwirkungsbereichs. Nennenswerte, auch nur kosmetische, Schäden sind allerdings erst ab der Intensität VI zu erwarten.

Der Einwirkungsbereich muss nicht notwendigerweise eine zusammenhängende Fläche sein, sondern kann durchaus aus mehreren 'Inseln' bestehen. Diese wären dann jeweils durch ein Perimeter zu beschreiben. Da sich bezogen auf Einzelgebäude rechtliche Konsequenzen daraus ergeben, ob diese innerhalb oder außerhalb des Einwirkungsbereiches liegen, sollte der Einwirkungsbereich grundstücksgenau festgelegt werden.

Genauerer regeln die Einwirkungsbereichsbergverordnung (EinwirkungsBergV) und ein Leitfaden der Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe (BGR) zusammen mit den Bundesländern.

Dieser Leitfaden gilt für die Festlegung eines Einwirkungsbereichs „nach Auftritt einer Erschütterung“ (EinwirkungsBergV §3, Abs. 4). Der vorliegende Leitfaden unterstützt die Bergbehörden der Länder bei der Erstellung der Vollzugshilfe zur Umsetzung der Anforderungen der EinwirkungsBergV. Er enthält weiterhin detaillierte Ausführungen für die praktische Umsetzung bei der Festlegung des Einwirkungsbereichs. Der Einwirkungsbereich ist „auf Grund von Ergebnissen seismologischer Messungen und sonstiger Daten, der makroseismischen Intensität und festgestellten Bodenschwinggeschwindigkeit [...] festzulegen“ (EinwirkungsBergV §3, Abs. 4). Es wird davon ausgegangen, dass die Erschütterung durch einen Bergbaubetrieb verursacht wurde und nicht „durch natürlich bedingte geologische ...Gegebenheiten“ (BBergG §120). Der seismologische Fachbegriff hierfür ist „bergbau-induziertes seismisches Ereignis“ oder „bergbau-induziertes Erdbeben“. Im Leitfaden wird in diesem Sinne der Begriff „seismisches Ereignis“ benutzt. Der Leitfaden soll eine bundesweit einheitliche Behandlung für die Festlegung der Grenze des Einwirkungsbereichs sicherstellen.

5.2 Mikrozonierung

Gegenstand von seismischen Mikrozonierungen ist die Kartierung der veränderten Erdbebeneinwirkung aufgrund von räumlichen Unterschieden in den geologischen und topografischen Verhältnissen des Untergrunds (Bebenverstärkung/ -schwächung durch Standorteffekte). Unterschiede in den genannten lokalen Untergrundverhältnissen, insbesondere bei dem Verlauf der Scherwellengeschwindigkeiten mit der Tiefe, beeinflussen die Dauer, den Frequenzgehalt und die Stärke der Erdbebeneinwirkung (Verstärkung oder Abmilderung der

Erschütterung). Standorteffekte können innerhalb kurzer Distanzen zu teilweise gravierenden Unterschieden bei den von einem Erdbeben verursachten Schäden führen.

Ziel der seismischen Mikrozonierung ist daher die räumliche Bestimmung der Verstärkung/Abschwächung (z. B. der Bodenbeschleunigung, Schwinggeschwindigkeit) durch den lokalen Untergrund und ggf. durch die Geometrie des Felsuntergrunds (2D und 3D Effekte in Tälern und Bergrücken).

5.3 Bergschadensvermutung

Das Bergrecht kennt den Begriff der Bergschadensvermutung, der besagt, dass innerhalb des Einwirkungsbereichs beim Auftreten relevanter Schäden, davon ausgegangen wird, dass der Bergbaubetreiber (hier der Betreiber der Geothermieanlage) den Schaden verursacht hat und dementsprechend auch regeln (reparieren oder entschädigen) muss. Ist der Betreiber der Ansicht, nicht der Verursacher zu sein muss er dies nachweisen (Beweislastumkehr). Im Zusammenspiel von Messüberwachung und Ampel kann er dies in der Regel meist zunächst nur, indem er nachweist, die Anhaltwerte der DIN 4150 - Teil 3 nicht überschritten zu haben.

6. Die DIN 4150 - Teil 3

Die DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlage legt verbindlich fest, wie Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke zu messen und zu beurteilen sind.

Die folgende Tabelle listet die ‚Anhaltwerte‘, wobei dieser Begriff bedeutet, dass bis zu diesen Werten Schäden an Gebäuden, auch kleine kosmetische Schäden wie Putzrisse mit Sicherheit auszuschließen sind. Strukturelle Schäden sind erst bei deutlich größeren PGV-Werten (etwa ab 70 mm/s) zu erwarten. Bei Messwerten, die oberhalb der genannten Anhaltwerte ist somit eine Einzelfallbetrachtung notwendig.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v in mm/sec			
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 bis 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 - 100 Hz*)	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8

*) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt

werden

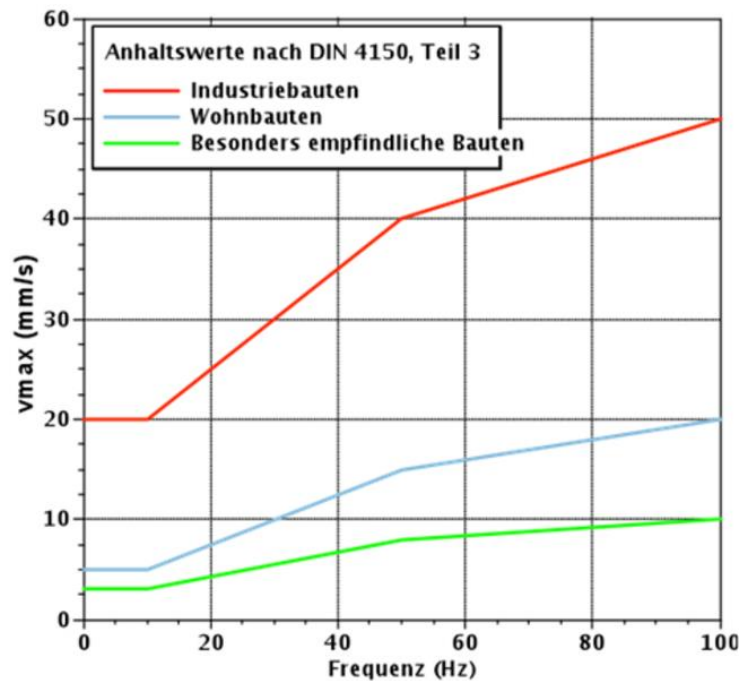


Abbildung 3: Graphische Darstellung der Anhaltswerte. Quelle: DIN 4150 – Teil 3

7. Mögliche Reaktionen

Der Sinn der Ampel ergibt sich maßgeblich aus den möglichen Reaktionen. Nur wenn solche Reaktionen möglich und wirksam sind ist ein kontrollierter Betrieb zusammengesetzt aus Ampel und Reaktionsplan möglich. Die jahrelang erfolgreich eingesetzte Ampel in Rheinland-Pfalz nennt folgende Reaktionen von schwach zu stark:

- Keine Reaktion
- Benachrichtigung der Behörde und Dokumentation aller Erschütterungen
- Benachrichtigung der Behörde und vorübergehende Verringerung der Fließrate
- Benachrichtigung der Behörde und Auswertung der Ereignisse; vorübergehende stufenweise Reduktion der Fließrate
- Benachrichtigung der Behörde und Auswertung der Ereignisse; weitere Reduktion der Fließrate
- Benachrichtigung der Behörde und Betrieb mit minimierter Fließrate über einen längeren Zeitraum in Absprache mit der Bergbehörde
- Herunterfahren des Kraftwerks in Absprache mit der Bergbehörde.

Wesentlich ist hier die letztgenannte Reaktion. Bewusst wird sie ‚Herunterfahren des Kraftwerks‘ und nicht ‚Abschalten des Kraftwerks‘ genannt. Ein plötzliches Abschalten könne eine zusätzliche seismische Gefährdung begründen. Es ist also mit der Bergbehörde ein behutsames Herunterfahren über einen längeren Zeitraum zu vereinbaren.

8. Die RLP-Ampel als Reaktionsschema für ganz Deutschland

Eine typische Ampel ist die aus in Rheinland-Pfalz, wo richtigerweise die Schwinggeschwindigkeit als Bezugsmaß benutzt wird. Es ist das einvernehmliche Ergebnis eines großen öffentlichen Mediationsverfahrens mit allen Beteiligten und seit Jahren von der Bergbehörde anerkannt (Tiefe Geothermie Vorderpfalz, 2017)

Diese Ampel hat sich in Landau und Insheim über viele Jahre in der Praxis bewährt. Mediation und Praxiserprobung sind die beiden wichtigsten Gründe, diese Ampel in Deutschland generell anzuwenden.

Stufenplan (nach Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz)

Stufe	Schwinggeschwindigkeit	Maßnahme
	$V < 0,2 \text{ mm/sec}$	Keine Reaktion
1	$0,2 \text{ mm/sec} < V < 0,5 \text{ mm/sec}$	Benachrichtigung und Dokumentation aller Erschütterungen
2	$0,5 \text{ mm/sec} < V < 1,0 \text{ mm/sec}$ oder 5 Ereignisse in 12 h nach 1.	Benachrichtigung und vorübergehende Verringerung der Fließrate
3	$1,0 \text{ mm/sec} < V < 3,0 \text{ mm/sec}$	Benachrichtigung und Auswertung der Ereignisse; vorübergehende stufenweise Reduktion der Fließrate
4	$3,0 \text{ mm/sec} < V < 5,0 \text{ mm/sec}$	Benachrichtigung und Auswertung der Ereignisse; weitere Reduktion der Fließrate
5	$5,0 \text{ mm/sec} < V < 10,0 \text{ mm/sec}$	Benachrichtigung und Betrieb mit minimierter Fließrate über einen längeren Zeitraum in Absprache mit der Bergbehörde
6	$V > 10 \text{ mm/sec}$, d.h. 1 Ereignis $> 20 \text{ mm/sec}$ oder 5 Ereignisse $> 10 \text{ mm/sec}$	Herunterfahren des Kraftwerks in Absprache mit der Bergbehörde

9. Schlussbemerkung

Reaktionsschemata oder Ampeln (*TLR-systems*) sind weltweit als Bestandteile eines kontrollierten Betriebs von Geothermianlagen in Kraft und haben sich bewährt. Je nach Land und dem dort maßgebliche gesetzlichen Hintergrund und den zugrundeliegenden Normen können sie sehr unterschiedlich sein. Diese Unterschiede sind offensichtlich nicht etwa in unterschiedlichen geologischen Gegebenheiten begründet.

Zumindest in Deutschland sollten wir zu einer einheitlichen insbesondere länderunabhängigen Ampel kommen so wie dies hier vorgeschlagen und begründet wird. Die einzige Ampel, die Ergebnis eines öffentlichen Medianverfahrens mit Beteiligung von

- Fachexperten
- Planern und Betreibern
- Behörden und
- Bergerinitiativen

ist, ist die in Rheinland-Pfalz gültige Ampel (RLP-Ampel). Sie hat sich für die Anlagen in Landau und Insheim langjährig bewährt. Sie sollte daher deutschlandweit Anwendung finden. Strengere Ampeln sind wissenschaftlich nicht begründet.

10. Literatur

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

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

Gaucher, E.: Microseismic monitoring of geothermal fields: More than a traffic light system. In: Aspects of geothermal power plants in operation, eds. Dittman, E. & Schneider, J. Enerchange GbR, Freiburg im Breisgau, Germany S. 14-18

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).

Groos, Jörn C., Fritschen, Ralf; Ritter, Joachim R. R. (2013): Untersuchung induzierter Erdbeben hinsichtlich ihrer Spürbarkeit und eventueller Schadenswirkung anhand DIN 4150, Bauingenieur, S. 344-384

GtV-BV Geothermie e.V., Induzierte Seismizität, Position des GtV-BV Geothermie e.V., <https://www.geothermie.de/verband/politische-positionen.html>

Hofmann H., Zimmermann G., Zang A., Min K.-B.: Cyclic soft stimulation (CSS) (2018): a new fluid injection protocol and traffic light system to mitigate seismic risks of hydraulic stimulation treatments. In: Geothermal Energy Nummer 6, 10.1186/s40517-018-0114-3

Kendall J.M., Butcher, A., Stork, A.M., (2019): How big is a small earthquake? Challenges in determining microseismic magnitudes, First Break 37, S. 51-56, DOI: 10.3997/1365-2397.n0015

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

Peter Meier, Andreas Alcoles Rodriguez, Falko Bethmann: Lessons Learnt from Basel: New EGS Projects in Switzerland using Multistage Stimulation and a Probabilistic Traffic Light System for the Reduction of Seismic Risk

Staatliche Geologische 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)