

Erschütterungsimmissionen aus bergbaulichen Aktivitäten

- Messung, Überwachung, Prognose –

Dr. Georg Kowalle
G.U.B. Ingenieur AG, Büro Berlin

Kurzfassung:

Erschütterungsimmissionen weisen vom Standpunkt der Emission aus betrachtet zwei Aspekte auf:

- die technisch/technologische Emission und
- die bergbauinduzierte, seismologische Emission.

Aus physikalischer Sicht bestehen einerseits Unterschiede im Anregungsmechanismus, andererseits ist die durch das eigentliche Ereignis emittierte und in den geologischen Untergrund eingetragene Energiemenge deutlich unterschiedlich. Jedoch sind im Sinne der Einwirkungsmechanismen Ausbreitung und Immission gleichartig, so dass Messung und Beschreibung mit gleicher oder leicht modifizierter Methodik und Technik realisiert werden können.

Erschütterungen sind generell geeignet, Schäden an Gebäuden und Anlagen hervorzurufen und/oder belästigend oder gar schädigend auf Personen einzuwirken. Das BImSchG zählt im § 3 Erschütterungen zu den schädlichen Umwelteinwirkungen. Hieraus leitet sich ab, dass beim Aufbau bzw. der Erweiterung von einer mit der Emission von Erschütterungen verbundenen Produktion bzw. von Anlagen, die geeignet sind, stärkere Erschütterungen zu emittieren, ein entsprechendes Genehmigungsverfahren erforderlich wird.

Prinzipiell bietet die DIN 4150 mit ihren 3 Teilen eine methodische Grundlage, um die technisch/technologischen Erschütterungen aus dem Bergbau, zu denen auch Sprengungen zuzurechnen sind, zu erfassen und zu bewerten.

Der seismologische Aspekt wird bei der Analyse und Bewertung von stärkeren Ereignissen, die in der Regel ein relativ großes Gebiet erschüttern, wirksam. Die DIN 4149 kann bei bestimmten Teilaspekten herangezogen werden, obwohl die DIN 4149 aufgrund der probabilistischen Betrachtung der seismischen Aktivität für bergbauinduzierte Ereignisse nicht geeignet ist. In Erweiterung der DIN 4149 wurde deshalb beispielsweise durch Thüringen eine Ergänzung für Bergbauereignisse erlassen.

Im Vortrag werden aktuelle Beispiele von Projekten, die durch die G.U.B. Ingenieur AG bearbeitet werden, vorgestellt. Es handelt sich dabei um:

1. Die Prognose von Erschütterungsimmissionen beim Auffahren bzw. der Erweiterung eines Steinbruchs, in dem der Abbau mit Sprengverfahren erfolgt. Die Prognose gestattet einerseits die Immissionsbelastung in der Nachbarschaft des Steinbruchs zu beschreiben und andererseits die zulässigen technologischen Parameter für das Abbauverfahren festzulegen.
2. Die Messung und Bewertung von Erschütterungsimmissionen bei bergbauinduzierten seismischen Ereignissen im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Beweissicherung.
3. Die Betreuung und Wartung eines Grubenüberwachungssystems über einen langen Zeitraum.

1 Einleitung

Erschütterungen begleiten uns tagtäglich, ohne dass wir sie häufig zur Kenntnis nehmen. Sie können aber auch andererseits eine erhebliche Einwirkung auf Personen, Anlagen und Bauten darstellen. Die DIN 4150-1 definiert Erschütterungen als mechanische Schwingungen fester Körper mit potentiell schädigender oder belästigender Wirkung. Es können natürliche und technisch/technologische Erschütterungsemittenten benannt werden. Zu letzteren sind der Verkehr, die Bautätigkeit, die Produktion, der Bergbau sowie Sprengungen zuzurechnen.

In Bereichen mit seismischer Aktivität sind tektonische Erdbeben die wesentlichsten natürlichen Erschütterungsquellen. Ihre Einwirkung auf die Umwelt beschreibt die DIN 4149. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Erdbebenaktivität aus statistisch voneinander unabhängigen Einzelereignissen besteht, die der POISSON-Verteilung genügen.

Technisch/technologisch bedingte Erschütterungen sind stets an den technischen Prozess gekoppelt und folgen auch nicht einer natürlichen Verteilung, sondern sie werden durch die Anforderungen des jeweiligen Prozesses determiniert. Kompliziert gestaltet sich diese Frage in Gebieten, in denen es zu einer Überlagerung der Erschütterungseinwirkungen aus natürlichen tektonischen Beben und technogenen Erschütterungen kommt.

2 Allgemeine Grundlagen

Unabhängig davon, welcher konkrete Prozess die Erschütterungen am gegebenen Ort generiert hat, kann man davon ausgehen, dass die Stärke und der Charakter der Erschütterungen durch den Anregungsmechanismus, der dafür verantwortlich zeichnet, dass Energie im Untergrund in Form von mechanischen Wellen freigesetzt wird, den Ausbreitungsweg und die konkreten Bedingungen am Empfangsort bestimmt wird. Abb. 1 veranschaulicht diesen Prozess, wobei die Quelle sowohl an der Erdoberfläche als auch im Untergrund liegen kann.

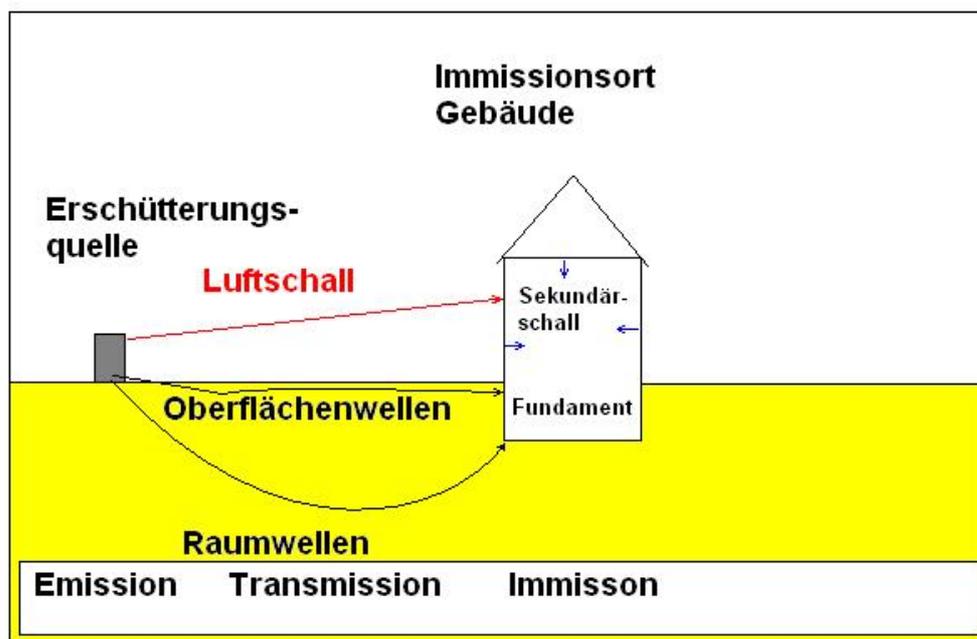


Abb. 1 Prinzipskizze zur Beschreibung der Erschütterungsausbreitung.

Die Energieausbreitung erfolgt in Form von Wellen im Untergrund, wobei drei Haupttypen auftreten, Longitudinal- (P-), Transversal- (S-) und Oberflächenwellen (R-Wellen), die jeweils eine

unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit. besitzen. Im Unterschied zur Akustik sind die Ausbreitungsgesetze komplizierter, da der geologische Untergrund deutlich komplexer und inhomogener als die Luft aufgebaut ist. Ebenfalls eine höhere Komplexität und Nichtlinearität besitzen die Zustandsgleichungen und Materialparameter. Im Hinblick auf eine mathematische Beschreibung und Modellierung der Wellenausbreitung und Interaktion mit Hindernissen, Fundamenten usw. ist es bei der Lösung von Ingenieuraufgaben, insbesondere der Prognose der Erschütterungseinwirkungen, in der Regel erforderlich eine Linearisierung in den Gleichungen vorzunehmen.

3 Vorschriften und gesetzliche Grundlagen

Eine wesentliche Grundlage des Erschütterungsschutzes stellt das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) dar, dessen Zielstellung auf den Schutz der Menschen und der Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gerichtet ist. Nach § 3 BImSchG sind Erschütterungen Immissionen, die den schädlichen Umwelteinwirkungen zuzurechnen sind, wenn Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder Nachbarschaft herbeizuführen. Somit sind in Bezug auf Erschütterungen die Anforderungen des Immissionsschutzes bei der Genehmigung und Erweiterung von entsprechenden Anlagen in Anwendung zu bringen. Das betrifft ebenfalls die §§ 26 und 28 BImSchG, die die messtechnische Überprüfung und Überwachung von Anlagen betreffen. Die G.U.B. Ingenieur AG ist eine nach § 26 bekanntgegebene Messstelle für Erschütterungen und Geräusche.

Die Immissionswirkung von Erschütterungen wird aufbauend auf dem BImSchG durch die DIN 4150-1 bis 3, die DIN 4149, die DIN 19700 sowie durch weitere Vorschriften ((VDI 2057, VDI 3831) und spezielle Normen und Vorschriften für Maschinen und Geräte charakterisiert. Diese Vorschriften bilden die Grundlagen für die Bewertung von Erschütterungsmissionen sowie für deren messtechnische Erfassung, indem Anforderungen an die Sensoren und Messtechnik sowie die Auswahl der Immissionsorte, an denen die Erschütterungsmessungen ausgeführt werden, definiert werden.

Ein standardisiertes und verbindliches Verfahren für eine Prognose der Erschütterungsmissionen liegt bisher noch nicht vor, jedoch werden durch die DIN 4150-1 grundsätzliche Regeln hierfür festgeschrieben.

Messungen der Erschütterungsmission haben grundsätzlich so zu erfolgen, dass das Schwingungsverhalten des Objektes möglichst nicht oder nur unwesentlich beeinflusst wird. Der Frequenzbereich, in dem gemessen wird, soll dem Signalangebot angepasst sein und je nach Aufgabenstellung den Forderungen der DIN 45669 entsprechen. Gewöhnlich wird der Bereich zwischen 4 Hz – 80 Hz genutzt, bei Erschütterungen aus dem Schienenverkehr erweitert sich dieser Bereich auf 1 Hz – 315 Hz. Als Messgröße definiert die DIN 4150 die maximale Bodenschwinggeschwindigkeit v in mm/s, wenn die Einwirkungen auf Bauten untersucht werden. Um die Einwirkung auf Personen zu fassen, werden die bewertete Schwingstärke K_B und weitere abgeleitete Größen herangezogen. Eine Bewertung erfolgt mittels Anhaltswerte, die einerseits dem Bauwerktyp und der Erschütterungsart Rechnung tragen, andererseits die Einwirkungsdauer auf Personen sowie den Einwirkungszeitraum berücksichtigen. Abb. 2 zeigt die einzelnen Messgrößen und -orte für die Bewertung von Erschütterungen, wobei zwischen kurzzeitigen und langandauernden Erschütterungen grundsätzlich unterschieden wird.

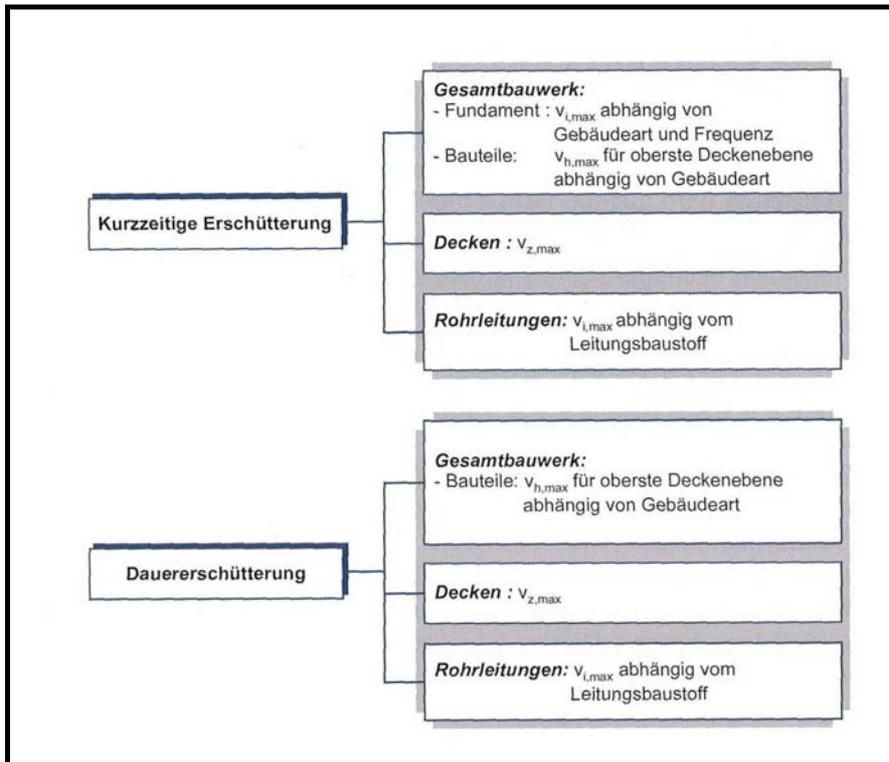


Abb. 2 Messgrößen und Messorte bei Erschütterungsmessungen nach DIN 4150.

Die jeweiligen Messgrößen sind mit den entsprechenden Anhaltswerten der DIN 4150-2 bzw. 4150-3 zu vergleichen. In Abb. 3 sind die Anhaltswerte für Fundamentalschwingungen bei kurzzeitigen Erschütterungen dargestellt.

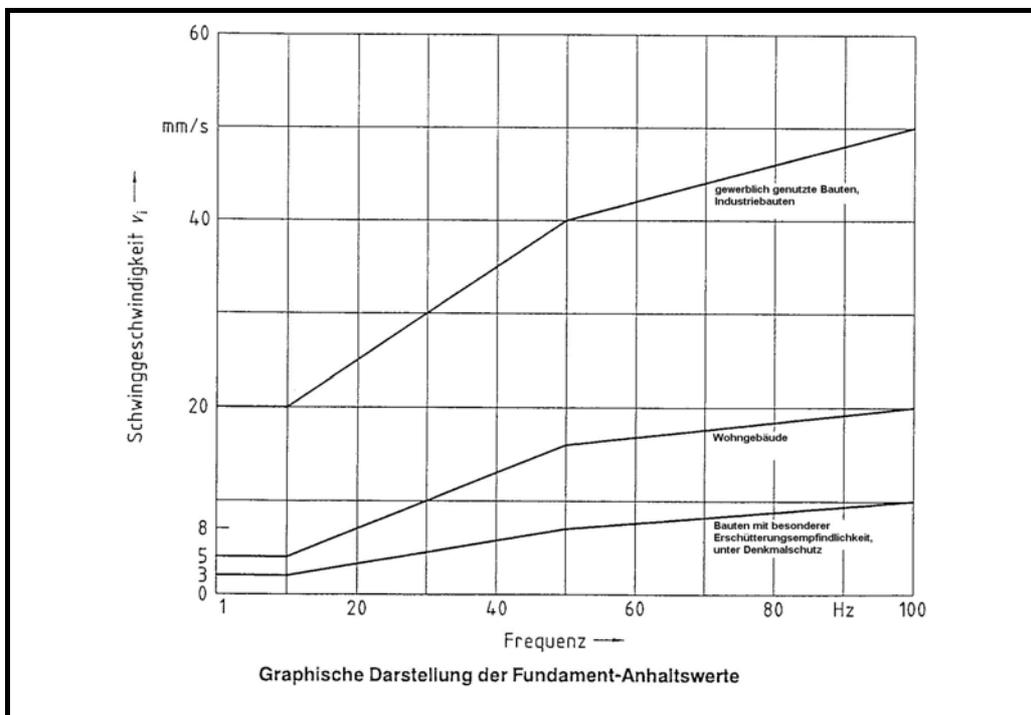


Abb. 3 Anhaltswerte der DIN 4150-3 für kurzzeitige Fundamentalschwingungen.

Um die Erschütterungswirkung von seismischen Ereignissen zu fassen, wird als Messgröße der Bodenbewegung die Verschiebung herangezogen und als Ausgangsgröße für die energetische Klassifizierung der Ereignisse in Form der Magnitude benutzt. Die Bodenbeschleunigung dient als

messtechnische Grundgröße für die Bewertung der Schütterwirkung. Zur Gewinnung von Beschleunigungs-Zeitverläufen, die auch als Starkbebenaufzeichnungen bezeichnet werden, setzt man spezielle Geräte, die Akzelerometer genannt werden, ein.

Die nichtinstrumentelle Bewertung der Schütterwirkung seismischer Ereignisse wird über die seismische Intensität vorgenommen. Diese ist im Gegensatz zur Magnitude für ein Ereignis ortsabhängig und beschreibt die Auswirkungen der Erschütterungsauswirkungen des Ereignisses auf den betrachteten Standort. Hierzu wurden spezielle Intensitätsskalen entwickelt. Abb. 4 präsentiert die für Europa modernste und verbindliche Intensitätsskala EMS.

EMS Intensität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkungen (stark verkürzt)
I	nicht fühlbar	Nicht fühlbar.
II	kaum bemerkbar	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern.
IV	deutlich	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	stark	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
VI	leichte Gebäudeschäden	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen.
VII	Gebäudeschäden	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	schwere Gebäudeschäden	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d.h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	zerstörend	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
X	sehr zerstörend	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
XI	verwüstend	Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört.
XII	vollständig verwüstend	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

Abb. 4 Kurzform der seismischen Intensitätsskala EMS-98 (GRÜNTAL, 1998).

Neben der seismischen Erschütterung ist für das Auftreten und das Ausmaß der Schäden die Vulnerabilität der Bauten von entscheidender Bedeutung. Diese wird durch die EMS-98 gleichfalls definiert (Abb. 5). In gewisser Weise spiegelt diese die Bauwerksklassen gemäß DIN 4150-3 wider. Die in Abb. 5 ausgewiesene Markierung zeigt den Umfang der betroffenen Bauten an. Rot und + steht für die Mehrzahl der Bauten, orange und (+) für viele und grün und – für wenige Bauten. Somit wird es gleichfalls möglich, eine Wahrscheinlichkeitsabschätzung für den zu erwartenden Schadensumfang bei einer vorgegebenen seismischen Intensität vorzunehmen.

Art der Struktur		Vulnerabilitätsklasse					
		A	B	C	D	E	F
Mauerwerk	Bruchstein	+					
	Adobe (Lehmziegel)	+	(+)				
	Einfacher Stein	-	+				
	Massiver Stein		(+)	+	-		
	Unverstärkt mit hergestellten Steinelementen	-	+	-			
	Unverstärkt mit Stahlbetondecken		(+)	+	-		
Stahlbeton	Verstärkt oder vorgespannt			-	+	(+)	
	Rahmen ohne erdbebensicher Bauweise (EBS)	-	(+)	+	-		
	Rahmen mit gemäßigttem Niveau der EBS		-	(+)	+	(+)	
	Rahmen mit hohem Niveau der EBS				(+)	+	(+)
	Wände ohne EBS		-	+	(+)		
	Wände mit gemäßigttem Niveau der EBS			-	+	(!)	
Stahl	Wände mit hohem Niveau der EBS				-	+	(+)
	Stahlstrukturen			-	(+)	+	(+)
Holz	Holzstrukturen		-	(+)	+	(+)	

Abb. 5 Vulnerabilität von Gebäuden nach EMS-98.

Für die Standsicherheitsbewertung eines Bauwerkes wird in der Regel nicht die Intensität, sondern eine physikalische Größe für die Erschütterungsimmission erwartet. Durch Korrelationsuntersuchungen und unter Berücksichtigung der konkreten geologischen Bedingungen am Standort ist es möglich, eine maximale Bodenbeschleunigung, ein Antwortspektrum und einen Beschleunigungszeitverlauf anzugeben, um die Erschütterungsimmission zu beschreiben.

4 Genehmigungsverfahren

Die Realisierung von großen Investitionsvorhaben setzt ein Genehmigungsverfahren voraus, bei dem auch die immissionsrechtlichen Aspekte geprüft werden. Das betrifft sowohl solche Objekte, die als Emittenten von Erschütterungen in Erscheinung treten, als auch Objekte, deren Standsicherheit durch Erschütterungsimmissionen beeinflusst wird, und/oder solche, in denen Menschen durch die Erschütterungseinwirkung betroffen sein könnten. In der Regel erfordert eine derartige Prüfung eine Erschütterungsprognose. Bislang ist durch Normen und Vorschriften kein verbindliches Prognoseverfahren vorgeschlagen. In der DIN 4150-1 werden jedoch allgemeine Grundsätze hierfür formuliert. Es ist dabei zu beachten, dass sich eine derartige Prognose in das Gesamtsystem der Gewährleistung der Anlagensicherheit einfügt.

Um die seismische Einwirkung auf einen Standort zu fassen, ist ein seismologisches Standortgutachten zu erarbeiten. Dieses stellt eine spezielle Form einer Erschütterungsprognose dar. Das Standortgutachten ist darauf gerichtet, eine Aussage über die Eintretenswahrscheinlichkeit einer seismischen Erschütterung mit vorgegebener Stärke zu treffen. Für natürliche tektonische Erdbeben definiert die DIN 4149 den für die Gewährleistung der Standsicherheit normaler Hochbauten entscheidenden Immissionswert, der die seismische Intensität bzw. maximale Bodenbeschleunigung eines Bebens mit 10 % Eintretenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren repräsentiert. Das heißt, dass zu errichtende Bauten und Anlagen dieser Einwirkung ohne Totalversagen widerstehen müssen. Die DIN 19700 wendet das gleiche probabilistische Konzept für die sichere Auslegung von Stauanlagen an.

Basierend auf dem Konzept der DIN 4149 wurde für die D-A-CH-Staaten von GRÜNTAL, MAYER-ROSA & LENHARDT (1998) eine probabilistische Karte der seismischen Gefährdung entwickelt (Abb. 6). Sie liefert eine Aussage über die maximale Standortintensität durch Beben mit einer Eintretenswahrscheinlichkeit von 10 % in 50 Jahren.

Die DIN 4149 nutzt diese Karte als Ausgangspunkt für die Definition der Erdbebengebiete auf dem Territorium der Bundesrepublik Deutschland.

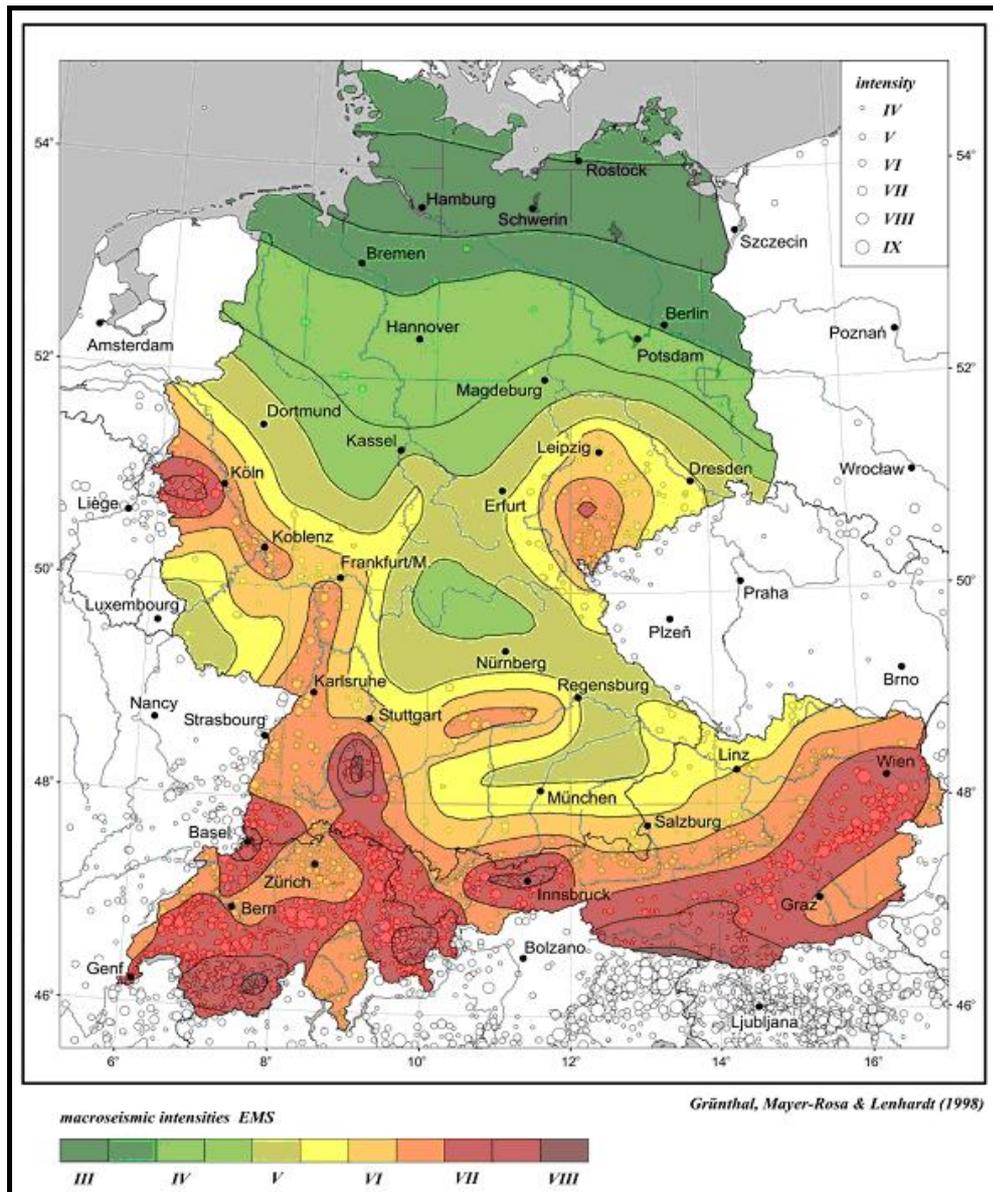


Abb. 6 Probabilistische Karte der seismischen Gefährdung der D-A-CH-Staaten.

Um ein seismologisches Standortgutachten zu erarbeiten, liefert die in Abb. 6 gezeigte Karte nur den Rahmen. Die seismische Aktivität ist im Umfeld des Standortes im Detail zu untersuchen, und die lokalen geologischen Bedingungen sind einzubeziehen, da diese die Größe der seismischen Immission (Intensität) dramatisch beeinflussen können. Ferner sind die Mikrobentätigkeit, mögliche Einsturzbeben, wie sie beispielsweise in Gebieten mit Salzstöcken und Karst auftreten, ggf. starke Gewinnungssprengungen, sowie bergbauinduzierte Ereignisse in die Untersuchungen einzubeziehen. Unter bergbauinduzierten seismischen Ereignissen werden nach LENHARDT (1995) solche verstanden, die durch abbaubedingte Spannungsumlagerungen in der Umgebung des Abbaus an tektonischen Elementen entstehen. Sie können oft deutlich stärker als diejenigen sein, die direkt an der Abbaufont entstehen.

Das Territorium der Bundesrepublik Deutschlands wurde und ist zu einem erheblichen Maße durch bergbauinduzierte seismische Ereignisse betroffen. Abb. 7 zeigt die geografische Verteilung der Herde bergbaulich induzierter seismischer Ereignisse im Zeitraum 1994 bis 2004 (GRÜNTAL & MINKLEY, 2005).

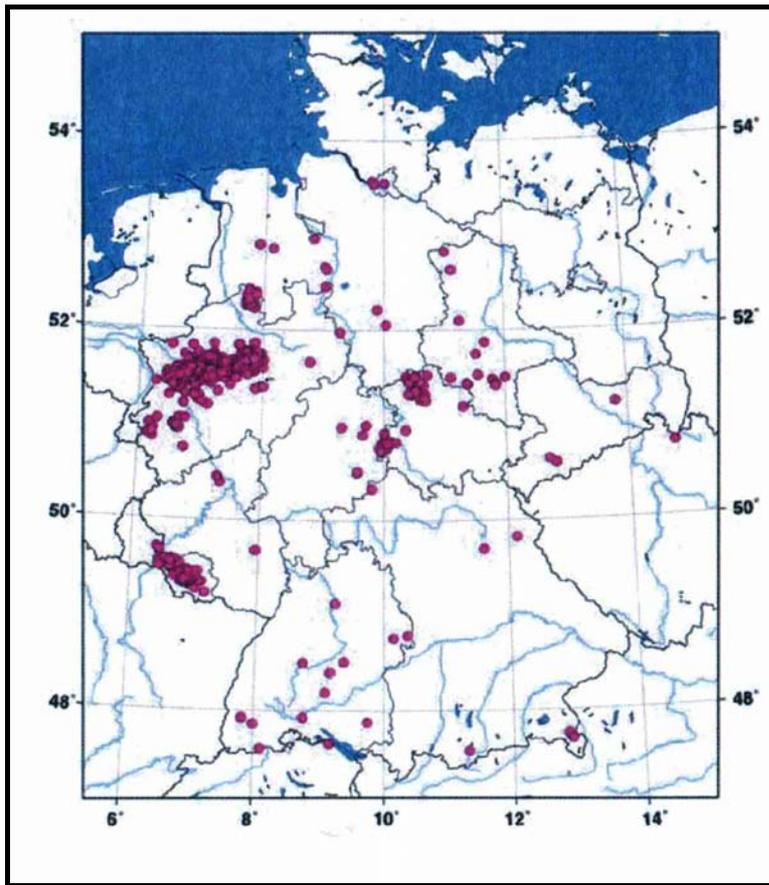


Abb. 7 Verteilung der Herde bergbauinduzierter seismischer Ereignisse im Zeitraum 1994 – 2004.

Als wesentliche Herdgebiete zeichnen sich dabei die Reviere des Steinkohleabbaus, das Ruhrgebiet, das Saarland und der Bereich Ibbenbüren, die Kaliabbaugebiete an der Werra und an der Saale, die Stein- und Kalisalzreviere des Nord- und Südharz sowie die Erdöl- und Gasfördergebiete Norddeutschlands ab. Diese induzierten seismischen Ereignisse stehen in direktem Zusammenhang mit der bergbaulichen Tätigkeit, sind aber nicht wie tektonische Erdbeben statistisch unabhängig, und sie unterliegen auch gleichfalls nicht der POISSON-Verteilung. Sie können also nicht mit der in der DIN 4149 definierten Methodik in die Analyse der seismischen Aktivität einbezogen werden. Sie werden auch nicht durch die probabilistische Karte der seismischen Gefährdung (Abb. 6) repräsentiert. Für den zu untersuchenden Standort können sie jedoch eine erhebliche Gefährdung darstellen. In Tabelle 1 sind die stärksten bergbauinduzierten seismischen Ereignisse mit einer Magnitude $M_L > 4,5$ auf dem Territorium der Bundesrepublik Deutschland zusammengestellt.

Tabelle 1 Bergbauinduzierte seismische Ereignisse mit $M_L > 4,5$ auf dem Territorium der BRD.

Datum	Herdort	Magnitude M_L	Epizentralintensität I_0
24.05.1940	Krügershall (Saale-Revier)	4,9	VII
22.02.1953	Heringen (Werra-Revier)	5,0	VII-VIII
08.07.1958	Merkers (Werra-Revier)	4,7	VII
23.06.1975	Sünna (Werra-Revier)	5,2	VIII
13.03.1989	Völkershäuser (Werra-Revier)	5,6	VIII-IX
11.09.2003	Teutschenthal (Saale-Revier)	4,9	VII

Aufgrund der geringen Herdtiefe bergbauinduzierter seismischer Ereignisse weist die Schütterwirkung eine deutlich geringere Ausdehnung als bei tektonischen Beben auf. Wie jedoch aus Tabelle 1 ersichtlich ist, ist in der Nachbarschaft des Herdgebietes von Bergbauereignissen mit einer zum Teil sehr starken Erschütterungsimmission zu rechnen. Aus dieser Erkenntnis heraus hat die Thüringer Landesregierung eine Ergänzung zur DIN 4149 erlassen, die für Ortschaften die maximale seismische

Intensität aus bergbauinduzierten seismischen Ereignissen enthält. Im normalen Baurecht ist diese Ergänzung sehr hilfreich, sie kann aber kein seismologisches Standortgutachten ersetzen.

Um die Datenbasis für seismologische Standortuntersuchen, insbesondere auch in Bergbauregionen, zu festigen und zu erweitern, ist es erforderlich, die seismische Aktivität auch messtechnisch zu überwachen. In Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung, die nach Möglichkeit sowohl mit den Betroffenen als auch dem Verursacher, im gegebenen Fall mit dem Bergbaubetrieb, abgestimmt sein sollte, sind die Messstationen bzw. das Messnetz zu konzipieren und zu betreiben.

Ist man einzig an der Schütterwirkung an einem Standort interessiert, so erfüllen Messstationen im Triggerregime diese Aufgabe. Sie starten die Aufzeichnung, wenn die Bodenbewegung einen bestimmten Schwellwert erreicht bzw. überschritten hat. Moderne Geräte übernehmen auch die gleichzeitige Benachrichtigung des Auswerters, der ggf. sofort auf die Daten mittels Datenfernübertragung (DFÜ) zugreifen kann. Dieses Konzept wird beispielsweise an 2 Industriestandorten im Saarland in Zusammenarbeit zwischen der G.U.B. Ingenieur AG, der DMT und den beiden Unternehmen realisiert, wobei hierbei die Erschütterungsimmissionen an den Standorten im Mittelpunkt stehen.

Bei der seismischen Überwachung durch den eigentlichen Bergbaubetrieb ist es häufig erforderlich, dass sowohl über- als auch untertage die seismische Immission kontinuierlich und lückenlos erfasst wird. Hierzu wurden im Kaliabbaurevier der K+S GmbH an der Werra moderne autonome seismische Stationen installiert, die die gewonnenen Daten automatisch an die Registrierzentrale online übertragen. Bei Unterbrechung der DFÜ können die Stationen die Messdaten über mehrere Tage speichern und dann bei Wiederherstellung der Kommunikation mit dem Zentralrechner diese übertragen. Die Betreuung der Hard- und Software dieser Anlagen wird seit mehreren Jahren durch die G.U.B. Ingenieur AG realisiert.

5 Das bergbauinduzierte Ereignis vom 23.02.2008

Die Bedeutung einer langfristig angelegten messtechnischen Überwachung der seismischen Immission kann am Beispiel des im Saarland an 2 Industriestandorten praktizierten Monitorings aufgezeigt werden. Wie bereits gezeigt, sind Standorte im Saarland durch bergbauinduzierte seismische Ereignisse gefährdet, wobei diese in Abhängigkeit vom konkreten Abbau variieren. Mit dem 2007 in Angriff genommenen Abbau in der Primsmulde war ein Anstieg der bergbauinduzierten seismischen Aktivität zu verzeichnen. Das führte dazu, dass in Ergänzung zum Messnetz der DMT, das in erster Linie auf die Ortung der Herde und die Stärkebestimmung ausgerichtet ist, die ersten Stationen in Zusammenarbeit zwischen G.U.B. Ingenieur AG, der DMT und den betroffenen Industrieunternehmen in Betrieb genommen wurden. In Abb. 8 wird die Entwicklung der bergbauinduzierten seismischen Aktivität und der Immission an einem untersuchten Standort gezeigt. Die Abhängigkeit der Magnitude von der Zeit ist ein Ausdruck für die Emission aus dem Steinkohleabbau in der Primsmulde. Die Variation der maximalen Schwinggeschwindigkeit mit der Zeit zeigt die Schwankungen der Erschütterungsimmission am Standort.

Wie aus Abb. 8 zu ersehen ist, wurde im Beobachtungszeitraum drei Mal eine maximale Schwinggeschwindigkeit am Standort auf dem Gelände eines Industrieunternehmens von mehr als 5 mm/s festgestellt. Da die hier betrachteten Erschütterungen eine Vorzugsfrequenz im Bereich zwischen 4 Hz und 7 Hz besitzen, wird der Anhaltswert der DIN 4150-3 für kurzzeitige Fundamentalschwingungen an Wohnbauten überschritten. Es konnte somit nicht ausgeschlossen werden, dass an Bürobauten leichte Schäden auftreten. Aus den Messdaten für die Schwinggeschwindigkeit an den einzelnen Standorten und der in großen Beobachtungsnetzen bestimmten Magnitude des jeweiligen Ereignisses wurde versucht eine Korrelationsbeziehung abzuleiten, die durch die Ausgleichsgerade in Abb. 9 repräsentiert wird, um sofort aus den Beobachtungsdaten eine Magnitudenabschätzung vornehmen zu können. Dabei zeigte es sich, dass die Streuung sehr groß ist. Eine Ursache kann dafür in der starken Variation der Abstrahlcharakteristiken der einzelnen Herdregionen begründet sein. Diese werden ihrerseits durch die komplizierte Tektonik der Region determiniert.

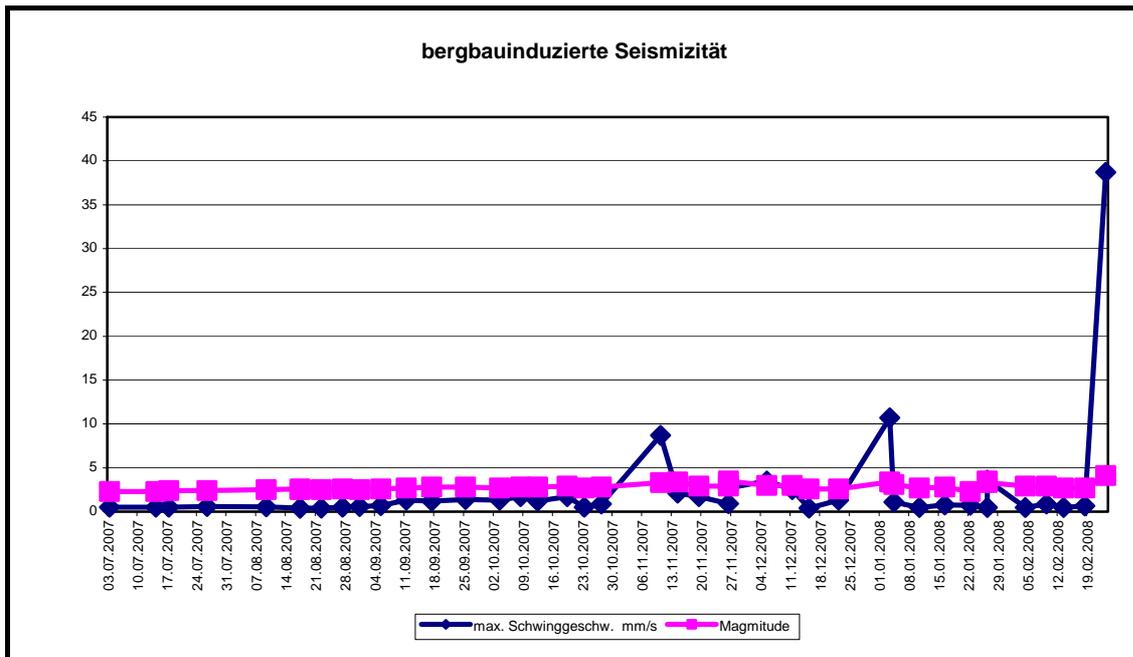


Abb. 8 Entwicklung der bergbauinduzierten Seismizität im Saarland vom 01.07.2007 bis zum 23.02.2008.

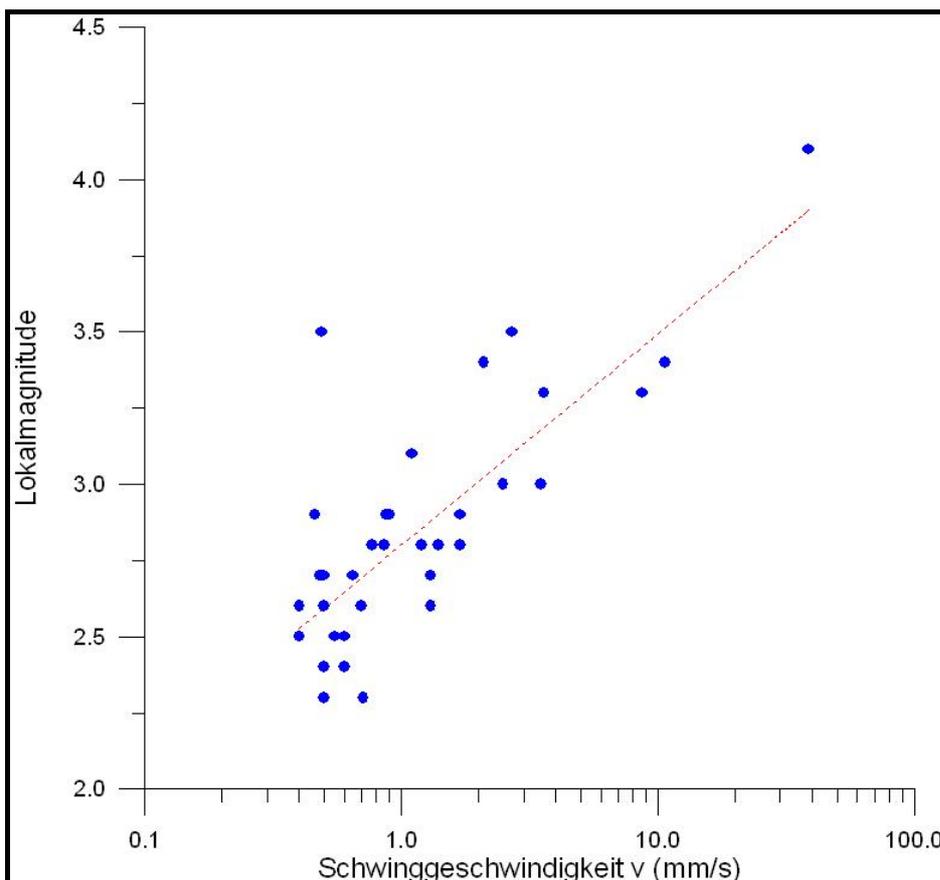


Abb. 9 Zusammenhang zwischen Schwinggeschwindigkeit und Lokalmagnitudo.

Am 23.02.2008 erreichte die Bodenschwinggeschwindigkeit an diesem Standort einen maximalen Wert von $v = 38,7$ mm/s (Abb. 10). Das entspricht einer maximalen Beschleunigung von ca. $a = 0,1g$.

Die Magnitudenangaben schwanken zwischen $M_L = 4,0$ bis $M_L = 4,2$ je nach seismischer Agentur.

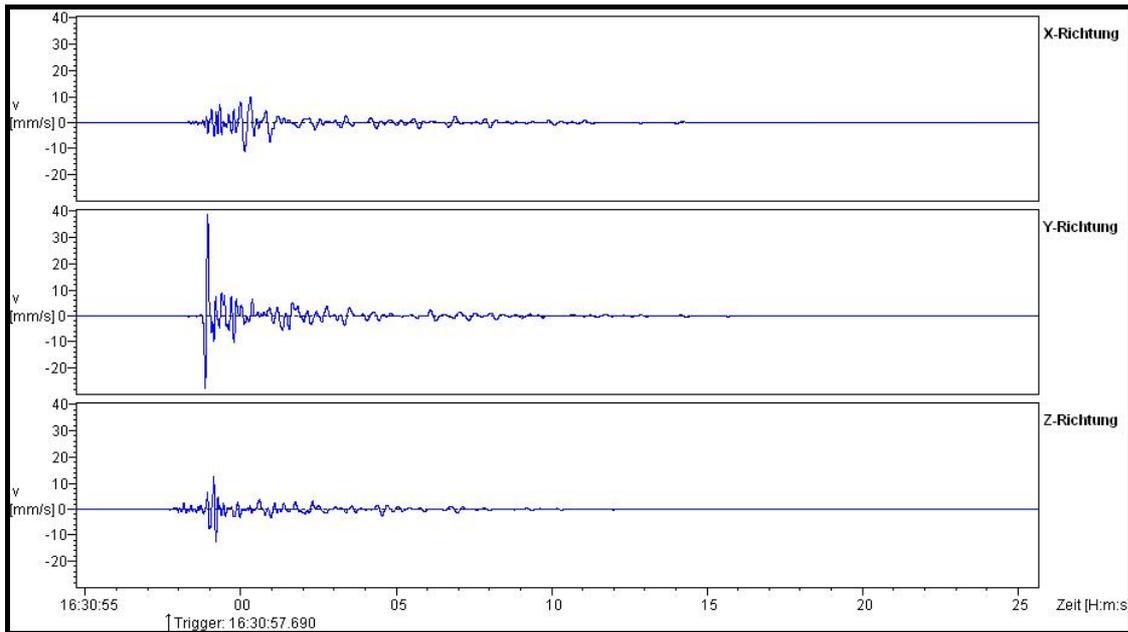


Abb. 10 Aufzeichnung des bergbauinduzierten Ereignisses vom 23.02.2008.

Die Schütterwirkung dieses Ereignisses war beträchtlich. In Abb. 10 wird eine Form der Iseisenkarte präsentiert. Aus den Messdaten des seismischen DMT-Netzes wurden die Schwinggeschwindigkeiten benutzt, um Isolinien gleicher Bodenschwinggeschwindigkeit zu berechnen.

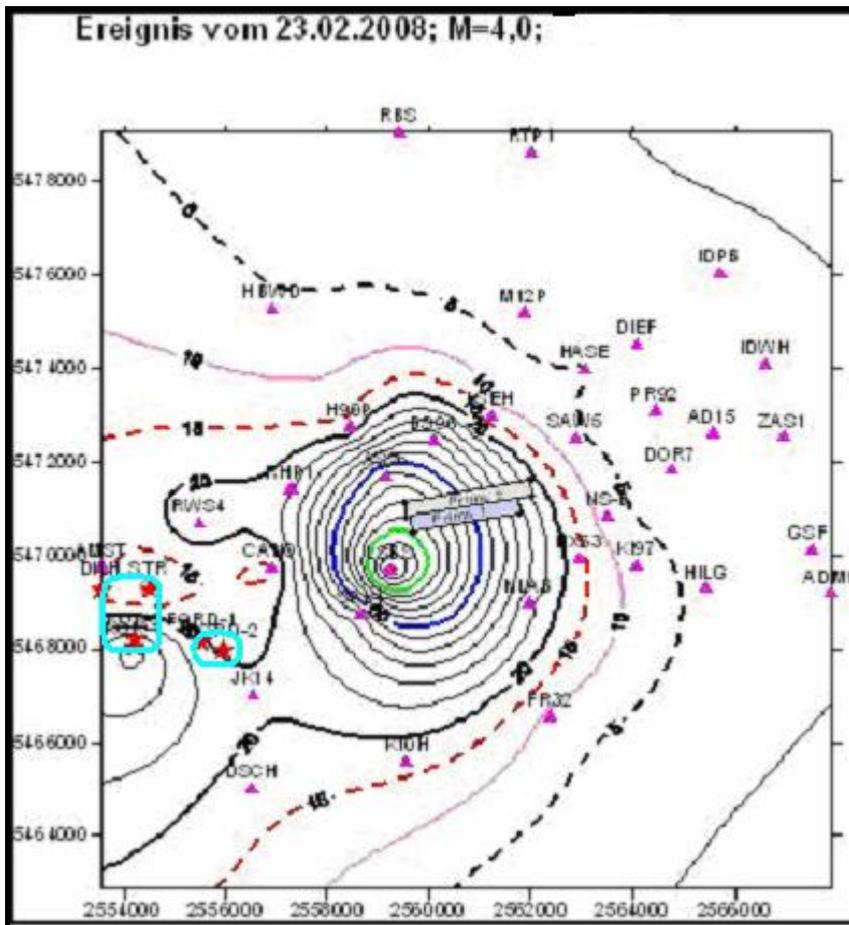


Abb. 11 Verteilung der Linien gleicher Schwinggeschwindigkeit um den Herd des Ereignisses vom 23.02.2008.

Ausgehend von Abb. 11 wird offensichtlich, dass an den Standorten der beiden Unternehmen (hellblaue Marken) Schwinggeschwindigkeiten von mehr als 20 mm/s aufgetreten sind. Nach DIN 4150-3 bedeutet das, dass die Erschütterungsimmission so groß war, dass auch bei Industriebauten Schäden, die durch diese Einwirkung entstanden sind, nicht ausgeschlossen werden können. Eine Bodenbeschleunigung von ca. $a = 0,15g$ zeigt ebenfalls eine starke Erschütterungseinwirkung an.

Die messtechnischen Befunde wurden durch eine unmittelbar nach dem Ereignis erfolgte makroseismische Untersuchung auf den Gelände der beiden Unternehmen bestätigt. Es zeigte sich, dass vornehmlich in Bürobauten Schäden in Form von Rissen und Abplatzungen aufgetreten sind. Zusätzlich konnten auch an einigen Industriebauten Schäden identifiziert werden, die eindeutig auf die Erschütterungseinwirkung des Ereignisses vom 23.02.2008 zurückzuführen sind.

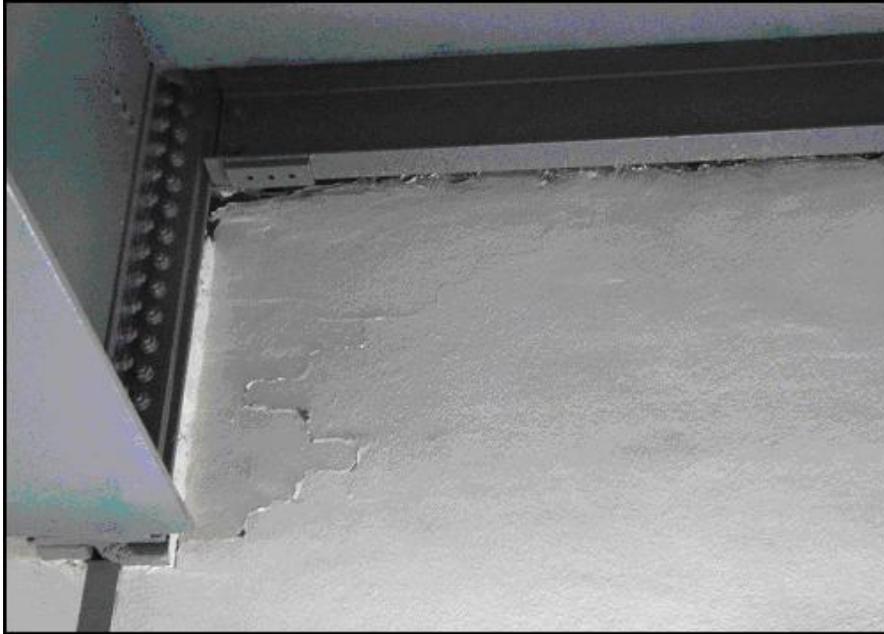


Abb. 12 Mauerwerkschaden an der Ausfachung einer Hallenwand.



Abb. 13 Ausgelaufener Stahl nach Kokillenbruch während des seismischen Ereignisses vom 23.02.2008.

Besonders markant ist der Schaden der durch den Bruch einer Kokille während des bergbauinduzierten seismischen Ereignisses am 23.02.2008 erfolgt ist. Hierdurch musste die Produktion an dieser Anlage für die Dauer einer Schicht eingestellt werden.

Wie schwer sekundäre Auswirkungen von Schäden aus starken Erschütterungsimmissionen sein können zeigt das Beispiel eines Transformatorenbrandes, der mehrere Tage nach dem seismischen Ereignis vom 23.02.2008 aufgetreten ist. Während der Erschütterungseinwirkung durch das bergbauinduzierte Ereignis schaltete die Sicherheitstechnik des Trafos diesen ab. Es konnte jedoch kein Fehler entdeckt werden. Erst durch den Brand wurde offensichtlich, dass ein Isolator beschädigt wurde, was dann seinerseits zum Brand führte. Abb. 14 zeigt den beschädigten Isolator.



Abb. 14 Beschädigter Isolator eines Trafos.

In Wohnbebauung der benachbarten Stadt wurden nach dem Beben Schäden in Form von Rissen und Putzabplatzungen festgestellt. Das stimmt gut mit der aus den Messdaten berechneten maximalen Schwinggeschwindigkeit von $v > 5$ mm/s überein.

Bei der Genehmigung neuer Anlagen in der Nachbarschaft des Kohleabbaus im Saarland ist die erreichte Größe der Erschütterungsimmission zu beachten, auch wenn der Abbau gegenwärtig in einen anderen Flöz verlegt wurde. Weiterhin folgt, dass es zweckmäßig erscheint, die seismische Überwachung der Erschütterungsimmission an den gegebenen Standorten fortzuführen, um ggf. bei einer nicht auszuschließenden Änderung des seismischen Regimes entsprechend reagieren zu können.

6 Steinbrucherweiterung

Der Neuaufschluss bzw. die Erweiterung eines Steinbruchs, in dem die Gewinnungssprengungen Hauptbestandteil des Gewinnungsprozesses sind, erfordert im Rahmen des Genehmigungsverfahrens die Vorlage einer Erschütterungsprognose. In dieser wird die Erschütterungsimmission auf die benachbarten schutzbedürftigen Objekte, wie Wohnanlagen, Krankenhäuser, Schulen, Straßen und wichtige Versorgungseinrichtungen prognostiziert.

Bei Vorhandensein von Messdaten aus dem Abbauprozess sind diese unbedingt in der Prognose zu nutzen, da diese es ermöglichen, eine den lokalen geologischen und topografischen Bedingungen adäquate Transmission der Erschütterung in das Prognosemodell einzubringen. Sollten derartige Daten nicht vorliegen, sind Literaturdaten zu nutzen, wobei besondere Sorgfalt bei der Auswahl der Ladungsmengen-Entfernungsbeziehung an den Tag zu legen ist. Abb. 15 zeigt das Beispiel einer

entsprechenden Prognoserechnung für einen Steinbruch im Raum Schwarzenberg. In dessen unmittelbarer Nähe befindet sich ein Trinkwasserhochbehälter mit der entsprechende Leitung. Die Untersuchungen sollten zeigen, welche maximale Menge an Sprengstoff pro Zeitstufe bis zu welcher Entfernung zum geplanten Rand des Steinbruchs eingesetzt werden kann.

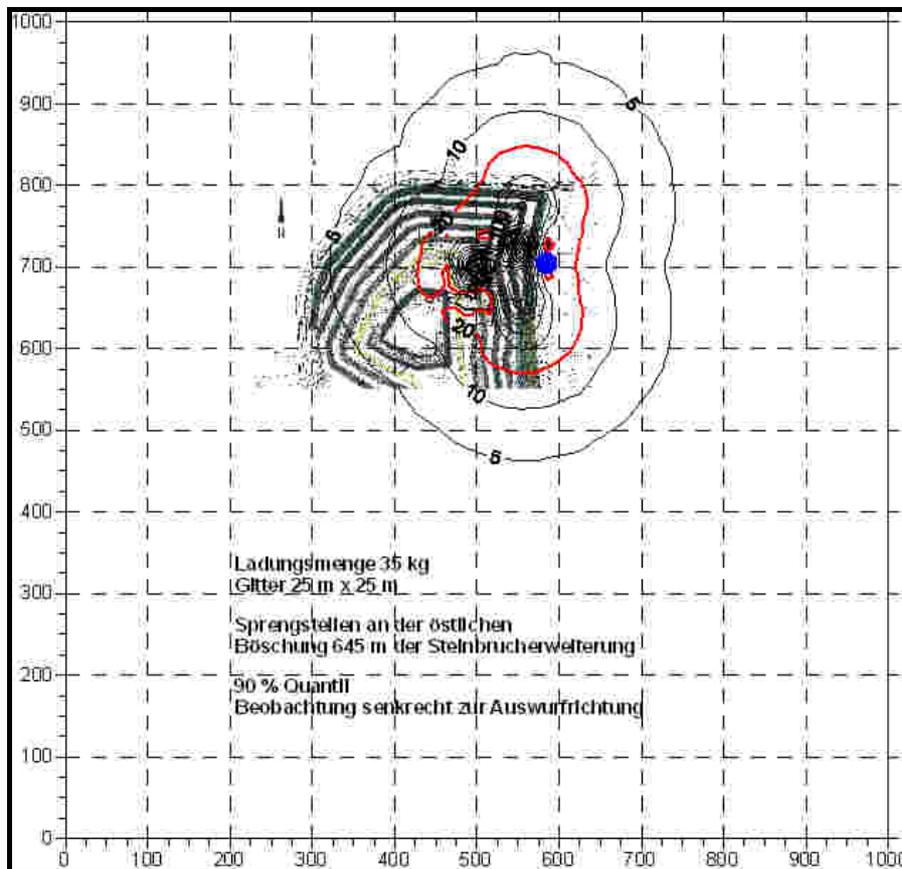


Abb. 15 Erschütterungsprognose für eine Steinbrucherweiterung.

Die Sprengung wurde am Rand des Erweiterungsbereiches des Steinbruchs angenommen. Die Ladungsmenge von 35 kg ist die gegenwärtig benutzte. Die Untersuchung zeigte, dass bei Einsatz diese Sprengstoffmenge und Ausnutzung des gesamten Erweiterungsgebietes der Hochbehälter (blauer Punkt in Abb. 15) durch die starke Erschütterungsimmission von ca. $v = 40$ mm/s gefährdet ist. Dieser Wert steht für den 90% Quantil, wobei der Median bei $v = 20$ mm/s liegt.

Um den Abbau in der Erweiterungsfläche durchzuführen sollte in der Nachbarschaft des Hochbehälters die Menge des eingesetzten Sprengstoffs pro Zeitstufe herabgesetzt und die Abbaukante etwa 5 m in Richtung Steinbruchmitte verschoben werden. Die Erschütterungsimmission am Hochbehälter sollte weiter messtechnisch überwacht werden.

7 Zusammenfassung

Obwohl noch kein generell anerkanntes Prognoseverfahren für Erschütterungsimmissionen durch Normen und Vorschriften definiert ist, stehen sowohl für seismische Einwirkungen als auch für diejenigen aus Sprengungen Mittel für die Vorhersage zur Verfügung. Eine messtechnische Erweiterung der Datenbasis und Überprüfung der Ergebnisse ist dringend erforderlich.

Danksagung

Wir danken den Kollegen der Seismik des Werkes Werra der K+S GmbH, Schacht 2 in Unterbreizbach für die lange kameradschaftliche Zusammenarbeit beim Aufbau und Betrieb der seismischen Überwachungsanlage (RefTek).

Besonderen Dank gehört der AG der Dillinger Hüttenwerke sowie den Ford-Werken in Saarlouis sowie der DMT und dem GTU Ingenieurbüro Knoll für die erfolgreiche seismische Überwachung der Standorte und die Möglichkeit zur Durchführung der makroseismischen Untersuchungen nach dem Ereignis von 23.02.2008.

8 Literatur

BImSchG: Bundes-Immissionsschutzgesetz.

DIN EN 1998-1: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004.

DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, April 2005.

DIN 4150-1: Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlungen (2001).

DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (1999).

DIN 4150-3: Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkung auf bauliche Anlagen (1999).

DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen –Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen, Prüfung (1995).

DIN 45669-2: Messung von Schwingungsimmissionen –Teil 2: Messverfahren (2005).

GRÜNTHAL, G. (1998) (Editor): European macroseismic scale 1998 EMS-98. -Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Vol.15, 99 Seiten.

GRÜNTHAL, G., MAYER-ROSA, D, & LENHARDT, W. A. (1998): Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH Staaten - Deutschland, Österreich, Schweiz. Bautechnik, 75, 753-767.

GRÜNTHAL, G. & MINKLEY, W. (2005): Bergbauinduzierte seismische Aktivitäten als Quelle seismischer Belastungen – Zur Notwendigkeit der Ergänzung der Karte der Erdbebenzonen der DIN 4149:2005-04. Bautechnik, 82, 8, 508-513.

LENHARDT, W.A. (1995): Induzierte Seismizität unter besonderer Berücksichtigung des tiefen Bergbaus. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 11, 99 Seiten.

Gehalten am 13.06.2008 auf dem 59. Berg- und Hüttenmännischen Tag 2008 im Rahmen des Kolloquiums „Management bergbaubedingter Emissionen“.

Veröffentlicht in: Freiburger Forschungshefte C525 „Geoingenieurwesen“, 2008, s. 177 – 195.