



Originally published as:

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, 10.1002/bate.200590167.

Bergbauinduzierte seismische Aktivität als Quelle seismischer Belastungen

Zur Notwendigkeit der Ergänzung der Karte der Erdbebenzonen der DIN 4149:2005-04

G. Grünthal¹ und W. Minkley²

¹ GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion Ingenieurseismologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam

² Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Friederikenstr. 60, 04279 Leipzig

Bergbauinduzierte seismische Ereignisse erreichten in der Vergangenheit auf dem Territorium der Bundesrepublik Deutschland in Ortschaften über betroffenen Bergbaugebieten mehrfach ein bauwerksschädigendes Ausmaß. Folglich waren in der bisherigen Fassung der DIN 4149 entsprechende Gebiete im Kali-Werra-Revier mit einer Erdbebenzone ausgewiesen.

Einer probabilistischen Betrachtung der Erdbebengefährdung, wie für die Neufassung der DIN 4149:2005-04 gefordert, sind induzierte seismische Ereignisse nur unzulänglich oder gar nicht zugänglich. Daher erhält die Karte der Erdbebenzonen der Neufassung der Norm keine Aussage zu induzierten Ereignissen.

In vorliegender Arbeit werden bundesweit die Typen nicht-tektonischer induzierter seismischer Ereignisse betrachtet. Von besonderer Relevanz sind hierbei im Hinblick auf die deutschen Verhältnisse die induzierten Ereignisse in Bergbaugebieten mit stärksten Ereignissen im Saale-Kali-Revier und im Kali-Werra-Revier. Zu letzterem erfolgt eine detaillierte Darstellung der stärksten bisher aufgetretenen Ereignisse.

Die Gefahr künftiger Ereignisse mit bauwerksschädigendem Ausmaß dürfte im Saale-Kali-Revier bei Einhaltung der Sicherheitsrichtlinien gebannt sein. Im Werra-Kali-Revier werden nicht standsicher dimensionierte Grubenfelder durch Versatzarbeiten voraussichtlich bis zum Jahre 2015 stabilisiert. Die potentiell noch bestehende seismische Gefährdung wird in vorliegender Arbeit in Form einer deterministischen Aussage quantifiziert.

Mining induced seismic activity as a source for seismic design load – the necessity of an amendment of the seismic zonation map of the DIN 4149:2005-04. *Mining induced seismic events repeatedly reached a damaging extent on the territory of the Federal Republic of Germany in localities of affected mining areas in the past. Accordingly, the respective areas in the Werra potash mining district have been marked in form of a seismic zone. Induced seismic events are only insufficiently or not at all accessible for probabilistic analyses of seismic hazard. Therefore, the seismic zonation map of the new code does not include statements with respect to induced events.*

In the current paper the types of non-tectonic induced seismic events are considered for the whole territory of the Federal Republic of Germany. Of special relevance are in this respect the induced events in mining areas with strongest events in the Saale potash mining district and in the Werra potash mining district. For the latter a representation of the four strongest so far occurred events is given.

The hazard of future events with damaging extent seems to be banished in the Saale potash mining district. Not firmly dimensioned claims of the Werra potash mining district will be stabilised

by back filling presumably up to the year 2015. The still existing potential seismic hazard is quantified in this paper as a deterministic statement.

1 Einführung

Bergbauinduzierte seismische Aktivitäten auf dem Territorium der Bundesrepublik Deutschland haben in der Vergangenheit zu signifikanten, jedoch nur sehr lokal ausgeprägten Schäden an der betroffenen Gebäudesubstanz geführt. Die weltweit energiereichsten bergbauinduzierten seismischen Ereignisse bzw. Gebirgsschläge ereigneten sich in den deutschen Kali-Bergbaugebieten. Magnitudenwerte von bis zu $M_L = 5,6 \pm 0,2$ wurden erreicht – so beim Gebirgsschlag am 13.03.1989 im Kaliberbaurevier des Werratal [1]. Wegen der für seismische Ereignisse relativ geringen Herdtiefe solcher Gebirgsschläge im Bereich der Abbau-Horizonte (im Falle des Gebirgsschlages vom 13.03.1989 in ca. 700-900 m Tiefe unter dem übertägigen Geländeniveau) werden in den Ortschaften über den Bruchfeldern derartig starke strukturelle Schäden verursacht [2], die zu makroseismischen Intensitäten von bis zu ca. VIII Grad (EMS-98 [3]) führten. Ca. 2 km westlich vom Bruchfeld des Völkershausen-Ereignisses von 1989 ereignete sich am 23.06.1975 der Gebirgsschlag von Sünna mit einer Magnitude $M_L = 5,2$ und einer maximalen beobachteten Intensität $I_{max} = VIII$.

Wegen dieser nicht zu vernachlässigenden Erschütterungsauswirkungen war in den früheren Fassungen der DIN 4149 von 1981 für den hessischen sowie in der Fassung von 1992 zusätzlich für den thüringischen Teil der Erdbebenzonenkarte die Erdbebenzone 2 für entsprechende Teile des Kali-Werra-Reviers ausgewiesen.

Die deterministische Erdbebenzonenkarte der DIN 4149 in der Fassungen von 1981 und 1992 beruht auf maximal beobachteten Intensitäten für differierende Beobachtungsintervalle bezüglich einzelner Intensitäten [4]. Im Rahmen eines deterministischen Konzeptes lassen sich die flächenmäßigen Verteilungen maximal beobachteter makroseismischer Intensitäten aufgrund von Gebirgsschlägen zumindest formal gut integrieren. Dennoch besteht eine gewissen Inkonsequenz in der Logik der gemeinsamen Darstellung von sich zeitlich zufällig ereignenden tektonisch bedingten Erdbeben, die sich nicht verhindern lassen, und den durch Bergbau-Aktivitäten bedingten großräumigen Versagen von Grubenbauen. Solche Versagensfälle mit schadenverursachenden Erschütterungswirkungen sind

im Falle der Kalisalz-Abbaugruben letztlich ein Ausdruck der Unterdimensionierung von untertägigen Pfeilern zur Stützung des Hangenden im Kalisalzflöz (Carnallit). Die extreme Sprödbbruchneigung des Carnallits unter entsprechenden Gebirgsdrücken war in der Anfangsphase des Kalibergbaus versuchsstechnisch nicht nachgewiesen [5]. Folglich wurden die ersten größeren Gebirgsschläge im Kalibergbau, so am 22.02.1953 in Heringen ($M_L = 5,0$), ursächlich nicht mit der Sprödbbruchempfindlichkeit des Carnallits, insbesondere unter dynamischer Belastung, in Verbindung gebracht.

Im folgenden werden die bisher beobachteten nicht-tektonischen seismischen Ereignisse auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland diskutiert, ihre räumliche Verbreitung dargestellt sowie die Ausdehnung von schadenverursachenden Erschütterungswirkungen insbesondere im Kali-Werra-Revier. Des Weiteren wird diskutiert, inwieweit bestehende Instabilitäten insbesondere in den Kalibergbaugruben Anlass für künftige Gebirgsschläge sein können, die zu signifikanten strukturellen Gebäudeschäden führen können und dementsprechend die Erdbebenzonenkarte der DIN 4149:2005-04 ergänzenden Materials bedarf.

2 Die Erdbebenzonenkarte der DIN 4149:2005-04

Die Karte der Erdbebenzonen der DIN 4149:2005-04 beschränkt sich auf die seismischen Lastannahmen natürlicher seismischer Ereignisse [4]. Diese Karte gründet sich auf einer probabilistischen Einschätzung der Erdbebengefährdung für ein Gefährdungsniveau einer 10%igen Wahrscheinlichkeit des Eintreffens oder Überschreitens von Erschütterungsintensitäten innerhalb von 50 Jahren angenommener Standzeit normaler Hochbauten [6]. Derartige Erdbebengefährdungsberechnungen basieren auf sich zufällig ereignenden Erdbeben, die poissonverteilt sind. Werden die statistisch abhängigen Vor- und Nachbeben aus Datensätzen eliminiert, zeigen diese in der Tat eine gute Poissonverteilung. Die hier zu betrachtenden schadenverursachenden Gebirgsschläge sind jedoch eine Folge menschlicher Tätigkeit, wobei insbesondere eine nicht ausreichende Dimensionierung zu Entfestigungserscheinungen und Sprödbrüchen mit den damit verbundenen seismischen Ereignissen geführt hat.

Gebirgsschläge können ausgelöst werden, wenn dem Abbausystem plötzlich Energie zugeführt wird, die zur Überschreitung der dynamischen Anregungsschwelle für Systeminstabilität ausreicht. Bei den bisher eingetretenen Gebirgsschlägen im Kalibergbau erfolgte die Auslösung initialer Bruchvorgänge hauptsächlich durch bergmännische Eingriffe zur Hohlraumerweiterung im Abbauhorizont, bei Sprengungen, maschineller Gewinnung und Lösungsvorgängen beim Fluten mit Süßwasser.

Nach energiereichen Gebirgsschlägen mit Bruchfeldern von mehreren Quadratkilometern Ausdehnung ist in dem betreffenden Areal die Standsicherheit des Untergrundes wiederhergestellt, so dass neuerliche Ereignisse dieses Typs in dem durch Selbstversatz stabilisierten Bruchfeld nicht mehr eintreten können. Ganz anders verläuft der natürliche, tektonisch bedingte Akkumulierungsprozess von Spannungen bei Erdbeben. Daher verbietet sich die gemeinsame statistische Behandlung der natürlichen Bebenaktivität mit den induzierten seismischen Er-

eignissen. Folglich wird unter 5.1(1) in der DIN 4149:2005-04 darauf hingewiesen, dass nicht-tektonische seismische Ereignisse, z.B. in Bergbau- oder Erdfallgebieten, nicht Gegenstand der Norm der Karte der Erdbebenzonen sind. In diesem Beitrag wird diskutiert, inwieweit nicht-tektonische seismische Ereignisse Bestandteil einer Ergänzung zur neu eingeführten erdbebengerechten Bau-norm sein sollten.

3 Nicht-tektonische induzierte seismische Ereignisse

3.1 Typen nicht-tektonischer induzierter seismischer

Ereignisse

Zu den nicht-tektonischen induzierten seismischen Ereignissen im Hinblick auf die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland gehören zuallererst die bergbauinduzierten. Zur Vereinfachung der Klassifizierung dieses Ereignistyps wird hier im Folgenden von induzierten Ereignissen in Bergbaugruben die Rede sein.

Staudamminduzierte seismische Ereignisse spielten in der Bundesrepublik Deutschland bisher zumindest praktisch keine Rolle, da sie erst bei Stauhöhen ab ca. 100 m und vornehmlich bei kurzfristigen Wasserspiegelschwankungen beobachtet werden. Inwieweit solche Ereignisse im Zusammenhang mit der gerade fertiggestellten Talsperre Leibis/Lichte in Thüringen mit einer Höhe über Gründungssohle von 102,5 m eine Rolle spielen werden, ist offen. An der mit 106 m höchsten Staumauer Deutschlands, der 1959 fertiggestellten Rappbode-Talsperre im Harz, waren derartige staudamminduzierte seismische Ereignisse in der Vergangenheit nicht auffällig.

Induzierte Ereignisse im Zusammenhang mit dem Entzug von Flüssigkeiten (Öl, Wasser) und Gas aus dem Untergrund sowie beim Verpressen von Flüssigkeiten in Tiefbohrungen spielen eine zunehmende Rolle, erreichten jedoch in unserem Gebiet bisher nicht die Stärke, dass sie strukturelle Schäden verursachten. Die mit diesen Prozessen einhergehenden z. T. erheblichen Senkungserscheinungen können, wenn sie kleinräumig differentiell auftreten, durchaus schadenverursachend sein; jedoch sind derartige Senkungen nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

Dies betrifft auch die Erdfälle, die mit Erschütterungswirkungen verbunden sein können, wie z. B. beim Einbruch der Altenberger Pingel im Erzgebirge am 24. Januar 1620, die bis Dresden wahrgenommen wurden. Derartige Erdfälle oder Tagesbrüche, die Durchmesser von ca. 100 m erreichen können (z. B. im März 1975 nördlich von Staßfurt), sind relativ weit verbreitet in Gebieten, in denen im geologischen Untergrund leicht wasserlösliche Gesteine (vorwiegend Gips, aber auch Salze) verbreitet sind. Die zuständigen Fachbehörden für Erdfallerscheinungen sind i. d. R. die Landesämter für Geologie.

3.2 Bisherige induzierte Ereignisse in Bergbaugruben

Die induzierten Ereignisse konzentrieren sich auf die Steinkohleabbaugebiete des Ruhr-Reviers, des Saar-Reviers und auf das Ibbenbürener Anthrazit-Revier sowie auf die Kalisalz-Fördergebiete des Werra-Kali-Reviers und des Südharz, des Nordharz und des Saale-

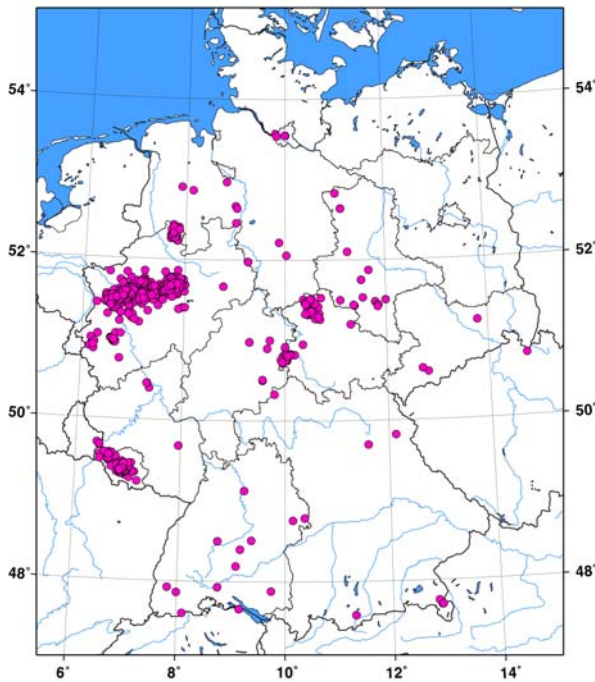


Bild 1. Lokalisierungen nicht-tektonischer seismischer Ereignisse in der Bundesrepublik Deutschland nach Angaben der Erdbebenkataloge und seismischer Bulletins des Seismologischen Zentralobservatoriums Gräfenberg seit 1994 bis 2004 (bezüglich der Quellenangaben vgl. Text)

Fig. 1. Localizations of non-tectonic seismic events in Germany according to the data of earthquake catalogues and of the seismic bulletins of the Seismological Central Observatory Gräfenberg since 1994 up to 2004 (for references see text)

Reviere östlich des Harzes (Bild 1). Unbedeutende seismische Ereignisse kommen in den tiefen Braunkohletagebauen des Rheinischen Reviers vor, in Fördergebieten von Erdgas in Teilen Nordrhein-Westfalens sowie des nordwestlichen Teils von Sachsen-Anhalt. Das Gros dieser Ereignisse ist mit einer derart kleinen Freisetzung seismischer Energie verbunden, dass diese keine Relevanz für Fragen der Sicherheit von Hochbauten darstellen – insbesondere nicht im Hinblick auf bauliche Anlagen außerhalb der Förderbetriebe.

Von bautechnischer Relevanz sind die nicht-tektonischen seismischen Ereignisse in Bergbaugebieten mit einer Lokalmagnitude $M \geq 4,5$ und einer maximalen makroseismischen Intensität $I_{\max} \geq VII$, wobei zu berücksichtigen ist, dass die relativ hohen makroseismischen Intensitäten bei den geringen Tiefen solcher Ereignisse in der Regel auf eine oder wenige Ortschaften beschränkt bleiben. In Tabelle 1 sind die induzierten seismischen Ereignisse aufgeführt, die die genannten Schwellwerte übersteigen. Um auch Gebiete zu berücksichtigen, in denen diese Schwellwerte in der Vergangenheit noch nicht erreicht wurden und für die zu diskutieren wäre, ob sie dort ebenso zu erwarten sind, werden zusätzlich die Ereignisse aufgeführt mit $M_L \geq 4,0$ oder I_{\max} bzw. $I_0 \geq VI$. In den Bildern 2a und 2b sind diese Ereignisse in Bergbaugebieten hinsichtlich ihrer Klassifizierung nach Magnituden und nach Intensitäten kartennmäßig dargestellt. Wie aus den Bildern 2a und 2b hervorgeht, konzentrierten sich die induzierten Ereignisse mit $M_L \geq 4,0$ und $I_0 \geq VI$ auf die Kalisalz-Reviere an der Werra und an der Saale östlich vom Harz bzw. unmittelbar westlich von Halle/S.

Maximale makroseismische Intensitäten von $I_0=VI$ traten wiederholt im Ibbenbürener Anthrazitkohlenrevier und im Ruhrkohlenrevier auf. Die vorhandenen Grubenbaue bzw. der dort noch umgehende Bergbau

Tabelle 1. Induzierte seismische Ereignisse in den Bergbaugebieten der Bundesrepublik Deutschland mit $M_L \geq 4,0$ oder $I_0 \geq 6$
Table 1. Induced seismic events in mining areas of the Federal Republic of Germany ($M_L \geq 4,0$ oder $I_0 \geq 6$)

Datum			Koordinaten		Lokalisierung	M_L	I_0	Referenz
Jahr	Monat	Tag	Länge	Breite				
1888	3	18	51,53	7,45	Ruhrgebiet NW	3,6	VI	[7]
1936	11	3	51,55	7,30	Ruhrgebiet NW	3,9	VI-VII	[7]
1940	5	24	51,48	11,79	Krügershall, Saale-Revier	4,9	VII	[8]
1943	3	5	51,75	11,52	Schierstedt b. Aschersleben, N-Harz	3,9	VI-VII	[8]
1953	2	22	50,92	10,00	Heringen, Werra-Revier	5	VII-VIII	[8]
1958	7	8	50,82	10,11	Merkers, Werra-Revier	4,7	VII	[8]
1961	6	29	50,82	10,11	Merkers, Werra-Revier	3,6	VI	[8]
1971	4	4	51,75	11,52	Aschersleben, N-Harz	3,9	VI-VII	[8]
1975	6	23	50,79	10,00	Sünna, Werra-Revier	5,2	VIII	[8]
1981	7	13	52,26	7,71	Ibbenbüren	4,1	VI	[7]
1989	3	13	50,80	10,05	Völkershäusen, Werra-Revier	5,6	VIII-IX	[9]
1991	5	16	52,28	7,76	Ibbenbüren	4,3	VI	[10]
1996	9	11	51,45	11,85	Teutschenthal, Saale-Revier	4,9	VII	[11]
2003	1	6	52,33	7,76	Ibbenbüren	4,2	VI	[12]

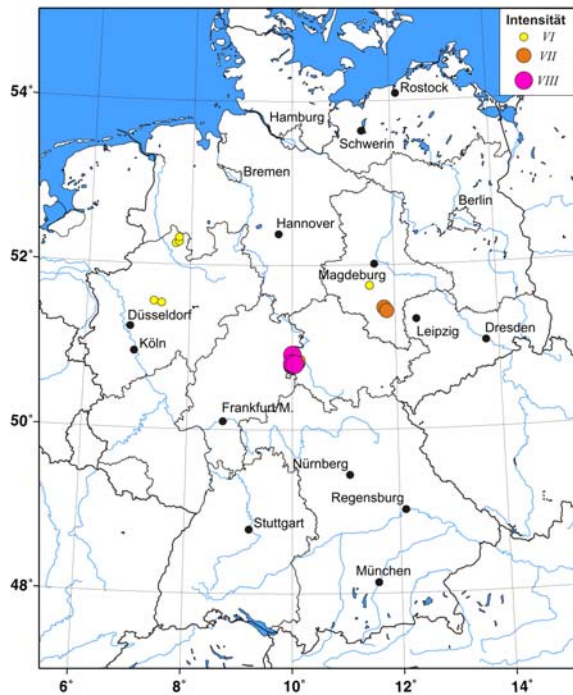


Bild 2a. Orte und maximale makroseismische Intensitäten $I_0 \geq VI$ nicht-tektonischer seismischer Ereignisse
 Fig. 2a. Locations and maximum macroseismic intensities $I_0 \geq VI$ of non-tectonic seismic events

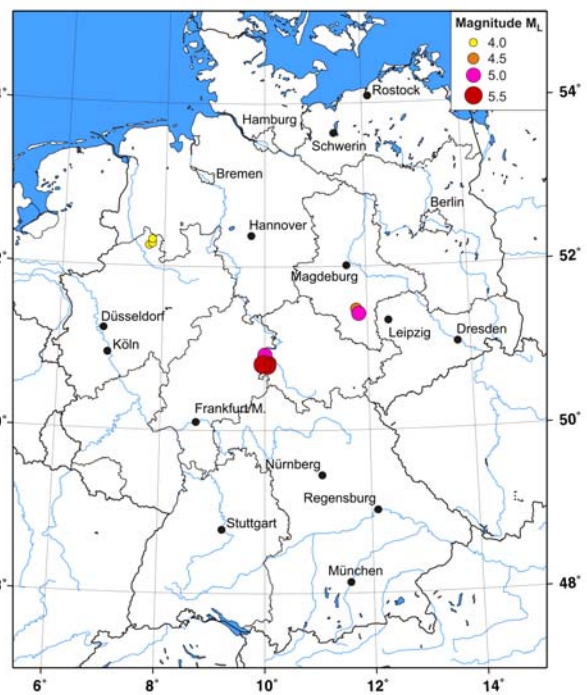


Bild 2b. Orte und Lokalbebenmagnituden $M_L \geq 4,0$ nicht-tektonischer seismischer Ereignisse
 Fig. 2b. Locations and local magnitudes $M_L \geq 4,0$ of non-tectonic seismic events

lässt Ereignisse einer signifikant größeren Energiefreisetzung bzw. Intensität als wenig wahrscheinlich erscheinen. dies dürfte auch zutreffen auf die inzwischen stillgelegten Steinsalz- und Kalisalzabbau-Revire des Südharz und des Nordharz.

Für eine nähere Betrachtung verbleiben die Gebiete an der Saale und im Werra-Revier, in denen in der Vergangenheit seismische Ereignisse mit Intensitäten $I_0 = VII$ bzw. $M_L > 5$ durch Zubruchgehen von Grubenbauten generiert wurden.

3.3 Potential induzierter Ereignisse im Saale-Kali-Revier

Die Bergbauaktivitäten im Saale-Revier konzentrieren sich auf die Grube Teutschenthal, in der in den Jahren 1908 bis 1982 auf einer Länge von ca. 9 km vorwiegend Carnallitit abgebaut wurde, welcher extreme Sprödbreuchigenschaften aufweist.

Der Abbau erfolgte „streichend“, d.h. das Abbaufeld wurde in östlicher Richtung vorangetrieben. Hierbei ergab sich eine bananenförmige, mit einer im zentralen Teil nach N ausgeweiteten Gestalt des Hauptfeldes mit annähernd 12 Mio. m³ Hohlraum auf einer Länge von ca. 7 km und einer maximalen Breite von ca. 1,8 km mit dem Abbau auf mehreren Sohlen.

Der erste starke Gebirgsschlag ereignete sich am 24.05.1940 während des Gewinnungssprengens und umfasste nahezu das gesamte zum damaligen Zeitpunkt im Carnallitit aufgefahrene westliche Grubenfeld. Der Gebirgsschlag im Ostfeld der Grube Teutschenthal am 11.09.1996 ist der erste Gebirgsschlag in der Geschichte des Kaliberg-

baus, welcher in der Nachbetriebsphase ohne Einwirkung bergmännischer Aktivitäten durch zeitabhängige Entfestigung des Carnallitits spontan ausgelöst worden ist.

Mit diesen beiden Hauptereignissen in Verbindung mit weiteren hier nicht erwähnten kleineren Gebirgsschlägen dürfte für den weitaus größten Teil der Grube ein Stabilitätszustand eingetreten sein, der zu keinen weiteren induzierten Ereignissen Anlass geben dürfte – vorausgesetzt, das weitere Verwahrungsregime folgt den einschlägigen Sicherheitsrichtlinien [13].

3.4 Potential induzierter Ereignisse im Werra-Kali-Revier

Im Werra-Kali-Revier ereigneten sich bisher vier größere Gebirgsschläge mit Magnituden $M_L > 4,7$ bzw. Intensitäten $I_0 \geq VII$: am 22.02.1953 mit dem Herd unmittelbar nördlich von Heringen, am 08.07.1958 in Merkers, am 23.06.1975 in Sünna und am 13.03.1989 in Völkershausen (vgl. Tabelle 1). Bis auf Heringen (in Hessen) liegen die übrigen Herde in Thüringen. Die erhobenen makroseismischen Beobachtungsbefunde zu diesen Ereignissen wurden von Grünthal makroseismisch ausgewertet; die erstgenannten Ereignisse von 1953 und 1958 wurden anhand der erstmals von Sponheuer u. a. [14] analysierten Daten neu bewertet, zum Sünna-Ereignis lagen unausgewertete makroseismische Erhebungsbefunde vor, während die Daten für das Völkershausen-Ereignis von 1989 für das Gebiet der Bundesländer Thüringen, Sachsen-Anhalt und Sachsen erhoben und einer makroseismischen Intensitätsbewertung zugeführt wurden. Sämtliche dieser Daten gingen in die Erdbebenkatalog-Arbeiten ein [8][9].

Die geographische Ausdehnung der Schütterwirkungen dieser Gebirgsschläge ist in den Bildern 3a-c illustriert, wobei sich die Darstellung auf Intensitäten größer/gleich VI beschränkt.

Während die Gruben Springen und Merkers seit 1992 bzw. 1993 stillgelegt sind, wird in den Gruben Unterbreizbach, Hattdorf und Wintershall weiterhin hauptsächlich Kalisalz abgebaut.

Der Abbau erfolgt unter Einhaltung großer Sicherheiten, so dass der Übergang von lokaler Instabilität zu Systeminstabilität mit kettenreaktionsartig ablaufender Pfeilerzerstörung auf einer großen Fläche blockiert ist.

Für Abbaufelder in den Gruben Merkers und Unterbreizbach, die in der Vergangenheit mit unzureichenden Sicherheitsreserven dimensioniert und im Carnallit aufgefahren worden sind, besteht Versatzpflicht. Basierend auf gutachterlichen Einschätzungen und Berechnungen wäre im Versagensfall mit Magnitudenwerten bis $M_L = 5$ und makroseismischen Intensitäten bis ca. VIII zu rechnen. Nach Beendigung der Versatzarbeiten voraussichtlich im Jahr 2015 ist die potentiell bestehende Gebirgsschlaggefährdung für die stabilisierten Grubenfelder beseitigt.

Die in Bild 3c dargestellte geografische Ausdehnung der Schütterwirkung der im Kali-Werra-Revier eingetretenen Gebirgsschläge umfasst näherungsweise auch das Gebiet, das bei einem Versagen der potentiell gefährdeten Abbaufelder betroffen wäre. Die Epizentren würden sich wahrscheinlich um einige Kilometer verlagern und zwar nach Norden bezüglich des Gebirgsschlages Völkershäusen oder in westliche Richtung bezüglich des Gebirgsschlages Sünna, da die bereits kollabierten Abbaufelder keine größere seismische Energie mehr freisetzen können.

Die getroffene deterministische Aussage zu einem Versagensfall im Sinne eines Worst Case Szenario lässt sich nur schwer in Form einer Wahrscheinlichkeitsaussage analog zur Karte der Erdbebenzonen der DIN 4149:2005-04

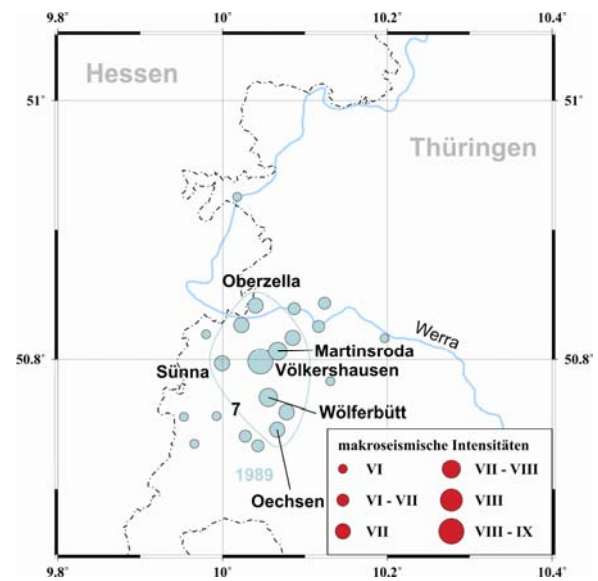


Bild 3b. Orte mit beobachteten Intensitäten $I \geq VI$ während des Gebirgsschlages im Kali-Werra-Revier am 13.03.1989 in Völkershäusen nach Intensitätsbewertungen von Grünthal
Fig. 3b. Locations with observed intensities $I \geq VI$ during the rock burst in the Werra potash mining district on 13 March 1989 in Völkershäusen according to intensity assignments after Grünthal

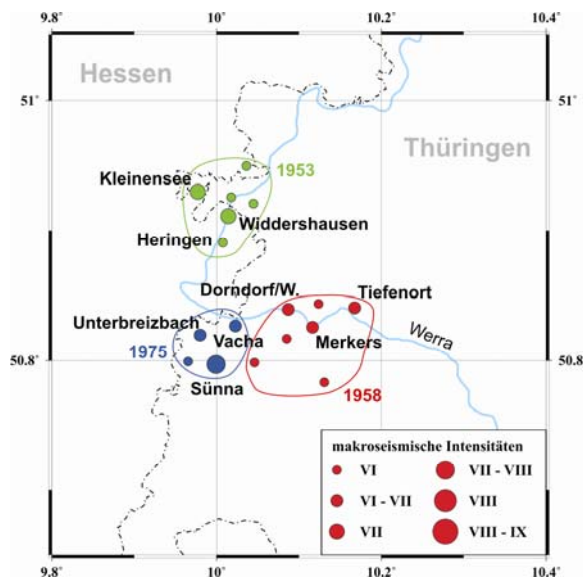


Bild 3a. Orte mit beobachteten Intensitäten $I \geq VI$ während der Gebirgsschläge im Kali-Werra-Revier am 22.02.1953 mit dem Herd unmittelbar nördlich von Heringen, am 08.07.1958 in Merkers und am 23.06.1975 in Sünna nach Intensitätsbewertungen von Grünthal
Fig. 3a. Locations with observed intensities $I \geq VI$ during the rock bursts in the Werra potash mining district on 22 Feb. 1953 with focus immediately north of Heringen, on 08 July 1958 in Merkers and on 23 June 1975 in Sünna according to intensity assignments after Grünthal

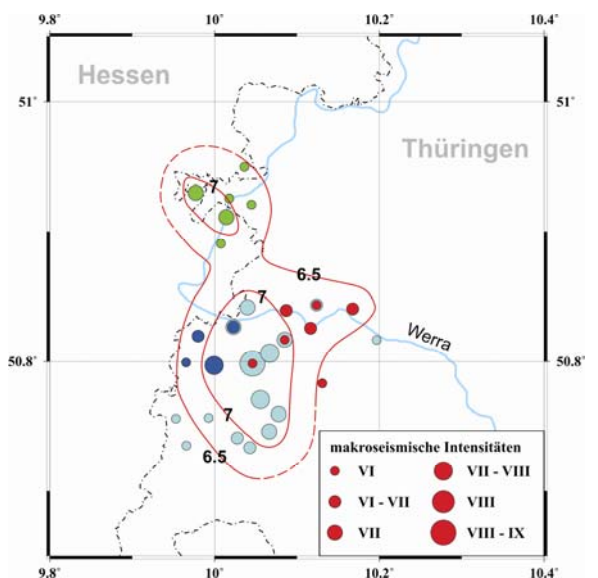


Bild 3c. Einhüllende der makroseismischen Schütterwirkungen der Intensitäten $I \geq VI-VII$ sowie für $I \geq VII$ für die Gebirgsschläge im Kali-Werra-Revier (vgl. Bilder 3a und 3b)
Fig. 3c. Envelope of macroseismic shaking effects of intensities $I \geq VI-VII$ as well as for $I \geq VII$ for the rockbursts in the Werra potash mining district (cf. Fig. 3a and 3b)

ausdrücken. Ob überhaupt ein solches Szenario einer Magnitude $M_L = 5$ und einer Intensität bis VIII einem Gefährdungsniveau des Überschreitens oder Erreichens von 10% in 50 Jahren bzw. einer mittleren Wiederkehrperiode von ca. 475 Jahren bzw. einer jährlichen Überschreitens- oder Erreichenswahrscheinlichkeit von 0,0021 p.a. entspricht oder gar einer größeren Eintreffenswahrscheinlichkeit, muss offen bleiben.

Im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie sowie des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt wird eine Gefährdungskarte zur „Bergbauinduzierten Seismizität“ für die Länder Thüringen und Sachsen-Anhalt erstellt, die 2005 herausgegeben werden soll. In dieser Karte sind die von den Bergwerksbetreibern vorgegebenen Bergwerksfelder, für die eine mögliche Gebirgsschlaggefährdung besteht, hinsichtlich einer seismischen Energiefreisetzung einer einheitlichen Bewertung unterzogen und die im Versagensfall an der Tagesoberfläche zu erwartenden makroseismischen Intensitäten ausgewiesen. Es ist vorgesehen, die Karte zur „Bergbauinduzierten Seismizität“ an den aktuellen Abbau bzw. Sanierungsfortschritt anzupassen. Auch diese Karte ist rein deterministisch und macht keine Aussage, ob solche Szenarien im Hinblick auf die probabilistischen Gefährdungsanforderungen für Bau Normen für normale Hochbauten bereits zum Restrisiko gehören oder nicht.

4 Schlussfolgerungen

Von den nicht-tektonischen induzierten seismischen Ereignissen, die bundesweit zu erwarten sind, ist anhand der bisherigen Beobachtungen, Berechnungen und gutachterlichen Betrachtungen davon auszugehen, dass bergbauinduzierte seismische Ereignisse vornehmlich im Kali-Werra-Revier für die nächsten ca. 10 Jahre noch von Belang für die Bauwerkssicherheit in betroffenen Ortschaften sein können.

In den Steinkohleabbaugebieten des Ruhr- und des Saar-Reviers sowie im Gebiet des Ibbenbürener Anthrazit-Reviers treten zwar wiederholt deutlich spürbare seismische Ereignisse auf, welche jedoch in der Vergangenheit nur unbedeutende Auswirkungen auf den betroffenen Gebäudebestand besaßen und es nicht erwartet wird, dass deutlich größere Ereignisse künftighin auftreten. Dies trifft auch zu auf die tiefen Braunkohletagebaue des Rheinischen Reviers und auf die Fördergebiete von Erdgas.

Im Saale-Kali-Revier, wo in der Vergangenheit mehrfach seismische Ereignisse mit einer Magnitude von $M_L = 4,9$ und einer Intensität bis I = VII auftraten, ist die Gefahr künftiger bauwerksschädigender induzierter seismischer Ereignisse gebannt – vorausgesetzt, das Verwahrungsregime folgt den vorgegebenen Sicherheitsrichtlinien.

Im Kali-Werra-Revier, in dem sich bisher vier größere Gebirgsschläge mit Magnituden $M_L \geq 4,7$ bzw. Intensitäten $I_0 \geq VII$ ereigneten, verbleibt bis zur Beendigung der Versatzarbeiten voraussichtlich im Jahre 2015 eine potentielle Gebirgsschlaggefahr. Mit maximalen Magnituden von $M_L = 5$ und makroseismischen Intensitäten von VIII wäre im Versagensfall zu rechnen.

Die Karte maximal beobachteter Intensitäten (Bild 3c), die anhand der bisher vier stärksten seismischen Ereignisse im Kali-Werra-Revier ermittelt wurde, umfasst näherungsweise ebenso das Gebiet, das im Hinblick auf künftige

ge Versagensfälle betroffen wäre. Derartige eventuelle neuerliche Ereignisse würden ihre Epizentren wahrscheinlich einige Kilometer weiter nördlich bezüglich des Gebirgsschlages von Völkershausen bzw. weiter westlich hinsichtlich des Gebirgsschlages Sünna einnehmen. Inwieweit solche Ereignisse im Hinblick auf ihre Eintreffenswahrscheinlichkeiten einzuordnen wären, um einen Bezug zum wahrscheinlichkeitstheoretischen Gefährdungsniveau der Erdbebenzonenkarte der DIN 4149:2005-04 herstellen zu können, muss offen bleiben. Die Frage, ob derartige Ereignisse eventuell sogar im Bereich des Restrisikos anzusiedeln sind, kann derzeit im Rahmen dieses Beitrages nicht beantwortet werden.

Literatur

- [1] *Ahomer, L.*: Entstehung und Ablauf des Gebirgsschlages von Völkershausen am 13. März 1989 im Kalibergrubegebiet des Werra-tales, Thüringen, aus seismologischer Sicht. Geol. Jb. E 55, 25-46, Hannover 1998
- [2] *Schwarz, J., Goldbach, R.*: Ergebnisse einer Ingenieuranalyse des Gebirgsschlages in Völkershausen vom 13. März 1989. Geol. Jb. E 55, 47-68, Hannover 1998
- [3] *Grünthal, G.*: European Macro seismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Luxembourg 1998
- [4] *Grünthal, G.*: Die Erdbebenzonenkarte als Bestandteil der neuen DIN 4149. Tagungsband der DGE/DIN-Gemeinschaftstagung „Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – die neue DIN 4149“ Leinfelden/Echterdingen, 3-24, Berlin 2004
- [5] *Minkley, W.*: Zum Herdmechanismus von großen seismischen Ereignissen im Kalibergrubegebiet. Geol. Jb. E 55, 69-84, Hannover 1998
- [6] *Grünthal, G., Bosse, Ch.*: Probabilistische Karte der Erdbebengefahr der Bundesrepublik Deutschland - Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8. Forschungsbericht. Scientific Technical Report STR 96/10, GeoForschungsZentrum, Potsdam 1996
- [7] *Leydecker, G.*: Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000-1981. Geol. Jb. E 36, 83 S., Hannover 1986
- [8] *Grünthal, G.*: Erdbebenkatalog des Territoriums der Deutschen Demokratischen Republik und angrenzender Gebiete von 823 bis 1984. Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde Nr. 99, 139 S., Potsdam 1988
- [9] *Grünthal, G.*: Update of the earthquake catalogue by Grünthal (1988) for the years 1985-1991. Data file. GeoForschungsZentrum, Potsdam 1991
- [10] *Leydecker, G.*: Update of the earthquake catalogue by Leydecker (1986) for the years 800-1994. Data file. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover 1996
- [11] *Tittel, B., Korn, M., Lange, W., Leydecker, G., Rappsilber, I und Wendt, S.*: Der Gebirgsschlag bei Teutschenthal bei Halle vom 11. September 1996: Makroseismische Auswertung. Zeitschrift für angewandte Geologie 47 (2001) 2, 126-131
- [12] Monatliche Bulletins lokaler seismischer Ereignisse in Deutschland und angrenzenden Gebieten des Seismologischen Zentralobservatoriums Gräfenberg
- [13] *Böttge, V.*: Geologisch-geotechnische Probleme und Wege zur langzeitsicheren Gestaltung des Versatzbergbaus in der gebirgsschlaggefährdeten ehemaligen Kaligrube Teutschenthal. Nationale Tagung der Ingenieurgeologie, Karlsruhe 2001
- [14] *Sponheuer, W.*: Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. Freiburger Forschungshefte C88: Geophysik, 1-120, Akademie-Verlag, Berlin 1960