

Wortmeldung zum Problem: Diskriminierung und Analyse Induzierter Seismizität

1. Ausgangspunkte

Das Phänomen „Induzierte Seismizität“ ist wissenschaftlich seit langem bekannt (Knoll, 1992; McGarr, 1993; Knoll et al., 1996) dennoch wenig erforscht und aus wirtschaftlicher und zeitweise auch aus politischer Sicht bisher wegen der damit unmittelbar verbundenen wirtschaftlichen Konsequenzen immer ein „heißes Eisen“ gewesen. Diese Feststellungen kann ich aus eigener Erfahrung nur bestätigen.

In der jüngsten Vergangenheit kann dem Problem aber nicht mehr – wie noch vor wenigen Jahren - weitgehend ausgewichen werden, weil zahlreiche technische Prozesse, die mit Eingriffen in den Gleichgewichtszustand der obersten Bereiche der Erdkruste verbunden sind, immer wieder induzierte seismische Ereignisse hervorrufen, die zwar vielfach keine schädigenden Auswirkungen auf die Erdoberfläche haben, fallweise aber doch mittleren Erdbeben nahekommen, beträchtliche Schäden an der Erdoberfläche nach sich ziehen und nicht selten zur Einstellung an sich effektiver technischer Prozesse führen. Beispiele für solche Vorgänge sind auch in Mitteleuropa zahlreich, wie das Geothermieprojekt „Deep Heat Mining“ in Basel, der Steinkohlenbergbau im Saarland (s. Abschnitt 2ff), der Kalibergbau im Salzgestein Carnallit im Werra-Kalirevier, die Erdgasgewinnung im Erdgas-Förderfeld Groningen (Quelle: Internet-1) u.v.a. Bei anderen Projekten tritt ebenfalls Induzierte Seismizität (IS¹) auf oder sie sind potenziell IS-gefährdet, ohne dass bisher durch IS die Schadensschwelle der Erschütterungen an der Erdoberfläche erreicht bzw. überschritten wurde. Dazu zählen Versuche der CO₂ Speicherung in der obersten Erdkruste, Fracing-Maßnahmen bei der unkonventionellen Gas- und Ölförderung, Bau von Basistunneln im Hochgebirge u.v.a.

Es mangelt an einer praktikablen geowissenschaftlichen Vorgehensweise, bei technischen Eingriffen in die obersten Bereiche der Erdkruste das am Standort vorhandene Potential für das Zustandekommen von IS, insbesondere schadensverursachender IS, möglichst frühzeitig zu bewerten und Prognosen der maximal dabei freisetzbaren Energien zu erstellen.

Diese Sachverhalte haben auch die europäischen Geowissenschaftler in jüngster Zeit veranlasst, sich dem Problem stärker zuzuwenden. Die Bezeichnung IS – Induzierte Seismizität legt dabei nahe, die Problematik primär aus seismologischer Sicht zu betrachten und sich auch bei ihrer Aufklärung von der seismologischen Seite anzunähern. Ein Beispiel dafür ist die DGG-FKPE²-Arbeitsgruppe „Induzierte Seismizität“, die sie jüngst mit einem Artikel zur Frage der Diskriminierung induzierter Seismizität (Dahm et al., 2013) zu Wort gemeldet hat. In (Dahm et al., 2013) wird u.a. ausgeführt:

¹ IS – Induzierte Seismizität: Durch anthropogene Eingriffe, wie Bergbau, Öl- und Gasförderung, Fracing, Anlegen von Stauseen, Injektionen von Flüssigkeiten und Gasen, geothermischen Energiegewinnungsanlagen usw. in die obersten Bereiche der Erdkruste hervorgerufene Bruchprozesse, die mit Energieemission verbunden sind

² DGG – Deutsche Geophysikalische Gesellschaft; FKPE – Forschungskollegium Physik des Erdkörpers e.V.

„Am 22. November 2012 ereignete sich bei Verden in Niedersachsen ein schwaches Erdbeben ($M_L = 2,8$), das von der Bevölkerung wahrgenommen wurde. Bereits in den Jahren zuvor traten in der näheren Umgebung mehrere Mikrobeben mit Magnituden $M > 1$ auf. Die Epizentren befinden sich in unmittelbarer Nähe konventioneller Gasfelder (z.B. Völkersen-Feld), die seit Jahrzehnten ausgebeutet werden und zu den produktionsstarken Gasfeldern Deutschlands auf dem Festland gehören. Darüber hinaus wird für diese Region der Einsatz von Fracing-Verfahren zur zukünftigen Förderung aus unkonventionellen Gaslagerstätten erörtert. ... Ein eindeutiges und allgemein akzeptiertes Verfahren zur Unterscheidung von induzierter, getriggelter und natürlicher Seismizität ... existiert bisher nicht.“

Und weiter: „Die Absicht der Expertengruppe liegt darin, aufzuzeigen, wie man mit Hilfe probabilistischer Ansätze gekoppelt mit Bayesschen Netzen transparente Ansätze treffen kann, um die Ursachen eines seismischen Ereignisses zu ermitteln. ... Die probabilistische Diskriminierung bietet jedoch keine Entscheidungshilfe, wie die Gesellschaft, die Betreiber oder die Aufsichtsbehörden mit der gefundenen Wahrscheinlichkeit umgehen sollen.“

Dieses Vorgehen ist zumindest ein Ansatz für die systematische Erfassung und Analyse der Erscheinungen, ein Schritt zur gezielten Ursachenaufklärung und zur Klärung des Mechanismus induzierter seismischer Ereignisse ist es sicher nicht. Die Unterscheidung in „ausschließlich getriggerte Erdbeben“ und „ausschließlich induzierte Erdbeben“ (Dahm et al., 2013, S. 6) sind bzgl. des zu Grunde liegenden Bruchvorgangs relativ unscharf definiert und die Konzentration auf die Unterscheidung dieser Typen ohne die Aufklärung des geomechanischen Bruchvorgangs im Herd dieser Ereignisse, d.h. des geomechanischen Mechanismus der Ereignisse, scheint nicht zielführend.

Als ein Beitrag zu dieser Diskussion soll im Folgenden das Beispiel der Analyse induzierter seismischer Ereignisse, die durch den Steinkohlenbergbau im Saarland hervorgerufen wurden, an Hand eines speziellen, durch die in diesem Fall nur beschränkt verfügbare Datenbasis bedingten Vorgehens, dargestellt und in die Diskussion eingebracht werden.

2. Steinkohlenbergbau im Flöz Primsmulde im Saarland

Nach zunehmend energiereicheren seismischen Ereignissen im Steinkohlenbergbau des Saarlandes in den letzten Jahren der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts und vor allem zu Beginn des 21. Jahrhunderts mussten ab April 2008 alle Abbauarbeiten im hochproduktiven Flöz Primsmulde (Abb. 1) des damaligen Bergwerkes Saar (BW Saar³) schlagartig eingestellt werden, nachdem am 23.02.2008 - für die Bergbautreibenden trotz zahlreicher Gutachten unerwartet - ein bergbauinduziertes seismisches Ereignis der Lokalmagnitude $M_L = 4,0$ aufgetreten war, das erhebliche Schäden an der Erdoberfläche hervorgerufen (z.B. an der Kirche in Saarwellingen) und nur durch einen glücklichen Umstand keine Personenschäden nach sich gezogen hatte.

Das Potenzial für bergbauinduzierte seismische Ereignisse in diesem Gebiet war grundsätzlich bekannt, nachdem vor allem in den Abbaufeldern Dilsburg-Ost und Nordfeld (Abb. 1) bereits früher induzierte seismische Ereignisse im Magnitudenbereich bis nahe $M_L = 3,0$ aufgetreten waren. Dennoch wiesen offizielle Gutachten für das Feld Primsmulde vor dem Abbaubeginn in diesem Feld

³ Bergwerk Saar (BW Saar) zuletzt noch in Förderung befindlicher Steinkohlenbergbaubetrieb der RAG/DSK (Ruhrkohle AG / Deutsche Steinkohle GmbH) im Saarland

keine Gefährdung durch bergbauinduzierte seismische Ereignisse mit Schadenspotenzial für die Erdoberfläche außerhalb der Senkungsgrenze (Abb. 3) aus, so dass der Abbau von der Aufsichtsbehörde genehmigt wurde. Von außerhalb der Senkungsgrenze liegenden, durch bergbauinduzierte Seismizität potentiell gefährdeten Industriebetrieben wurden jedoch weitere Begutachtungen organisiert, über deren Ergebnisse und Schlussfolgerungen nachfolgend in hier interessierenden Auszügen berichtet wird.



Abb. 1: Bergbaufelder Dilsburgfeld, Feld Primsmulde, Nordfeld des Bergwerkes Saar (BW Saar) der RAG/DSK (Mitteilung der RAG/DSK 2008)

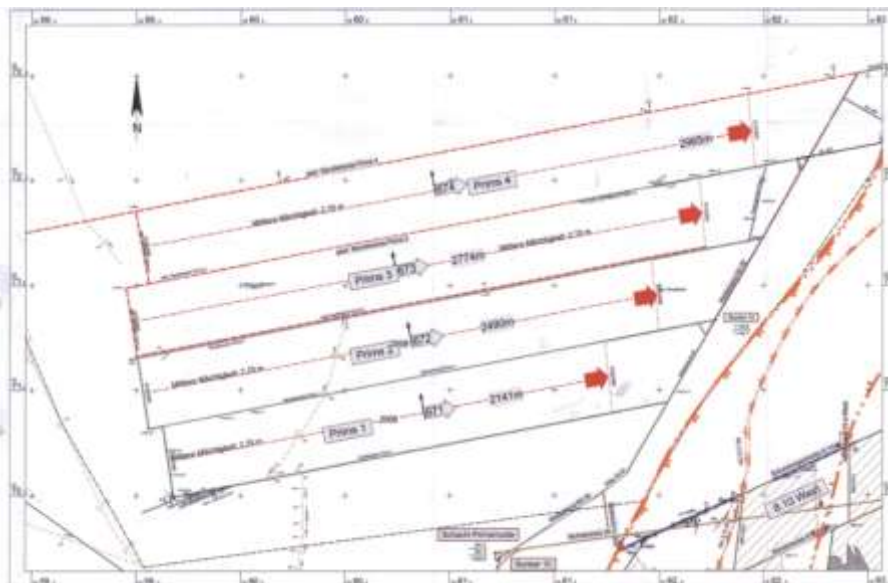


Abb 2: Strebe Prim 1 bis Prim 4 im Abbaufeld Primsmulde-Süd – Planung (Mitteilung der DSK, 2009); bis zur Stilllegung wurden nur die Strebe Prim 1 und 2 in Verhieb genommen. Die roten Linien in der unteren rechten Bildecke bezeichnen unter Tage aufgeschlossene tektonische Störungen

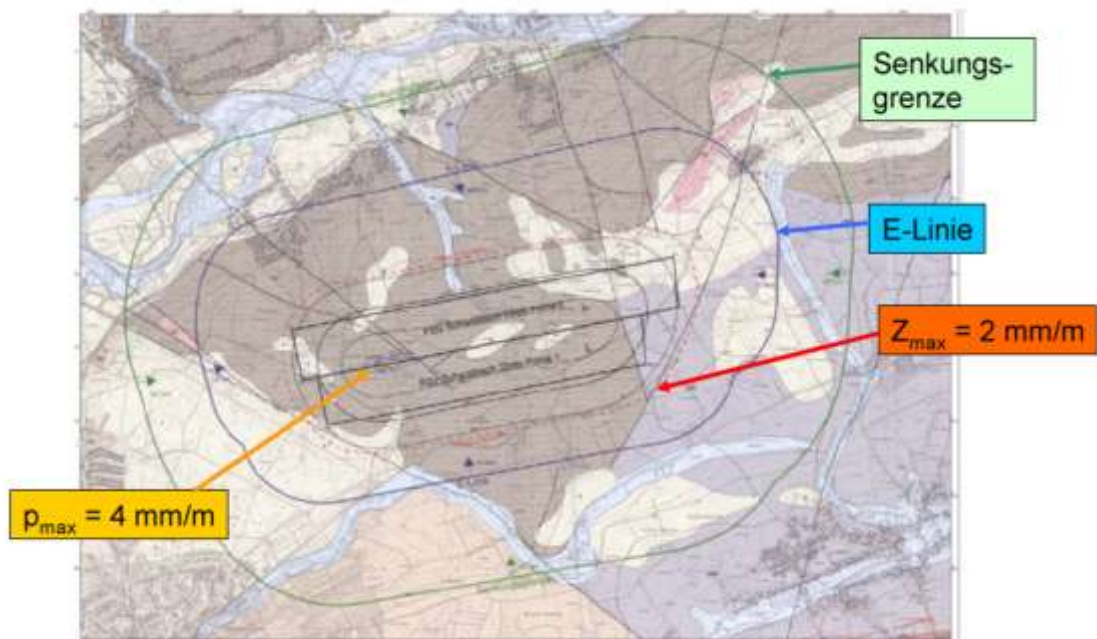


Abb. 3: Abbaufeld Primsmulde-Süd: in Verbieb genommene Strebe Prim 1 und 2 mit rechnerischer Prognose der bergschadenkundlichen Auswirkungen des Abbaus (nur quasistatische Deformationen Senkungen, Hebungen, Zerrungen, Stauchungen) an der Erdoberfläche. (Mitteilung der Deutschen Steinkohle DSK (2009))

Die genannten Gutachten der potentiell beeinflussten Industrieunternehmen (Abschlussgutachten: Knoll, 2012a) gingen von den geologisch-tektonischen Verhältnissen im Untersuchungsraum aus und konzentrierten sich vor allem auf die gebirgsmechanischen Bedingungen in der unmittelbaren Umgebung der Abbauposition im Hinblick auf das gebirgsmechanische Potenzial für induzierte Seismizität. Dabei konnte auf die umfangreichen Erschütterungsmessungen an der Erdoberfläche, die durch den Bergbaubetreiber veranlasst und im Internet veröffentlicht worden waren, zurückgegriffen werden (Abb. 4).

Direkte Daten aus dem Bergbau (untertägige Erschütterungsmessungen, konkrete geologische und tektonische Daten aus der unmittelbaren Flöz-Umgebung sowie detaillierte Abbauparameter) standen nicht zur Verfügung.

Bergbaugebieten, den bergbaulichen Gebirgsschlägen (Typ 1) und den tektonischen Gebirgsschlägen (Typ 2) (Knoll et al., 1980) und (Knoll, 1987) entsprachen und in einigen Merkmalen, den in (Dahm et al., 2013) etwas unscharf definierten „*ausschließlich induzierten Erdbeben*“ bzw. den „*ausschließlich getriggerten Erdbeben*“ vergleichbar sind. Dabei konzentrierten sich die Untersuchungen vorwiegend auf den Typ 2 (tektonische Gebirgsschläge), da allein sie im Untersuchungsraum wegen der größeren Energiefreisetzung Schäden an der Erdoberfläche bewirken konnten.

Die Zusammenhänge sind in (Knoll, 2012, Knoll & Kowalle, 2009) ausführlicher erläutert worden.

4. Ergebnisse der Erschütterungsanalyse an der Erdoberfläche

Im Zuge der Analyse der Erschütterungsverteilung an der Erdoberfläche wurden im Bereich des Bergwerkes Saar mehrere hundert Ereignisse analysiert. Dank der zahlreichen auf Veranlassung der DSK an der Erdoberfläche in diesem Bereich installierten und auf Forderung von potentiell geschädigten Unternehmen noch ergänzten übertägigen Erschütterungsmessstationen konnten Erschütterungsfelder gut bestimmt und Isolinien gleicher Erschütterungsstärke (Linien maximaler Schwinggeschwindigkeiten, hier auch „*Isoseisten*“ genannt) für die induzierten Ereignisse an der Erdoberfläche mit großer Zuverlässigkeit konstruiert werden (Knoll & Kowalle, 2009). Dabei zeigte sich, dass auch an den Erschütterungsverteilungen an der Erdoberfläche (d.h. hier am Verlauf der Isoseisten) zwischen bergbauinduzierten Ereignissen, die dem Gebirgsschlagtyp 1 entsprechen, und solchen, die dem Typ 2 zuzuordnen sind, unterschieden werden kann. Bei den erstgenannten bilden sich die Erschütterungs-Isolinien an der Erdoberfläche nahezu kreisförmig aus. Man kann davon ausgehen, dass die Energieabstrahlung des Ereignisses weder im Herd noch im umgebenden Gebirge von der tektonischen Struktur der Umgebung wesentlich beeinflusst wird. Die Energiefreisetzung im Bereich der Abbaufont ist bei diesen Ereignissen offensichtlich nicht groß genug, um die geomechanischen Schwächeflächen im umgebenden Gebirge (bestimmte Typen tektonischer Störungen, Knoll et al., 1978) in den Bruchvorgang einzubeziehen.

Abb. 5 zeigt ein solches Erschütterungsmuster für ein Ereignis des Typs 1. Die nahezu kreisförmige Erschütterungsausbreitung an der Erdoberfläche ist besonders deutlich an den Isolinien für 2 mm/s und für 5 mm/s zu erkennen. Ein weiteres Merkmal der Ereignisse vom Typ 1 ist das annähernde örtliche Zusammenfallen des Maximums der Schwinggeschwindigkeit an der Erdoberfläche (in Abb. 5 Magenta farbiges Dreieck an der Station K10H) und dem seismologisch vom Betreiber des Messnetzes DMT⁴ ermittelten Epizentrum des Ereignisses (in Abb. 5: blauer Punkt).

Demgegenüber zeigen Ereignisse des Typs 2 eindeutig Zusammenhänge der Erschütterungsverteilung an der Erdoberfläche mit dem Muster der tektonischen Störungen in diesem Gebiet. Die Lage der übertägigen Maxima der Erschütterungen können zudem – je nachdem welche tektonische Störung und welcher Abschnitt dieser Störung in das Ereignis einbezogen wurde – örtlich sehr deutlich von der Projektion des Ortes der Abbauarbeiten auf die Erdoberfläche und vom seismologisch bestimmten Epizentrum des Ereignisses (Bestimmung durch den Betreiber des Überwachungsnetzes DMT) verschieden sein.

⁴ DMT – Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT GmbH), Essen

Diese Zusammenhänge kommen beispielhaft in den Abb. 6 bis 8 zum Ausdruck.

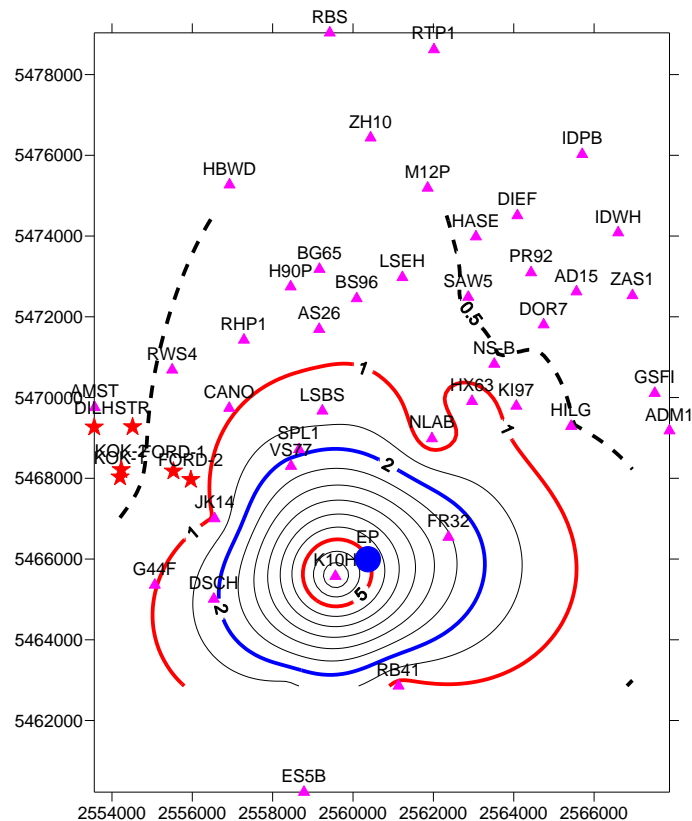


Abb. 5: Erschütterungs-Isolinien des bergbauinduzierten seismischen Ereignisses aus dem Nordfeld des BW Saar am 28.09.2008 (BH 20.4 O, Flöz Grangeleisen, $M_L = 2,5$ (Knoll & Kowalle, 2009)

In den folgenden Abbildungen der Isolinienverläufe stellen die Magenta farbigen Dreiecke die Standorte übertägiger Erschütterungsmessstationen der DSK/DMT dar (Messung der Schwinggeschwindigkeiten in 3 Komponenten; s.a. Beispieltabelle in Abb. 4). Die mit roten Sternen markierten Messpunkte zeigen zusätzliche, auf Betreiben von 2 Industrieunternehmen der Region installierte Mess-Stationen des gleichen Typs. Die grauen Rechtecke in den Darstellungen der Abb. 6 bis 8) zeigen die Projektionen der dem Abbau unterliegenden Flöze Prims 1 und Prims 2 auf die Erdoberfläche (die Orte der Abbauarbeiten sind jeweils die östlichen Enden der Rechtecke); die Ziffern an den Isolinien bezeichnen die maximalen Schwinggeschwindigkeiten an der Erdoberfläche in mm/s und die gestrichelten schwarzen Linien stellen Richtungen bekannter tektonischer Störungszonen (Geologische Karte GK25) sowie Knoll & Kowalle, 2009, Bild 6) im betrachteten Gebiet dar.

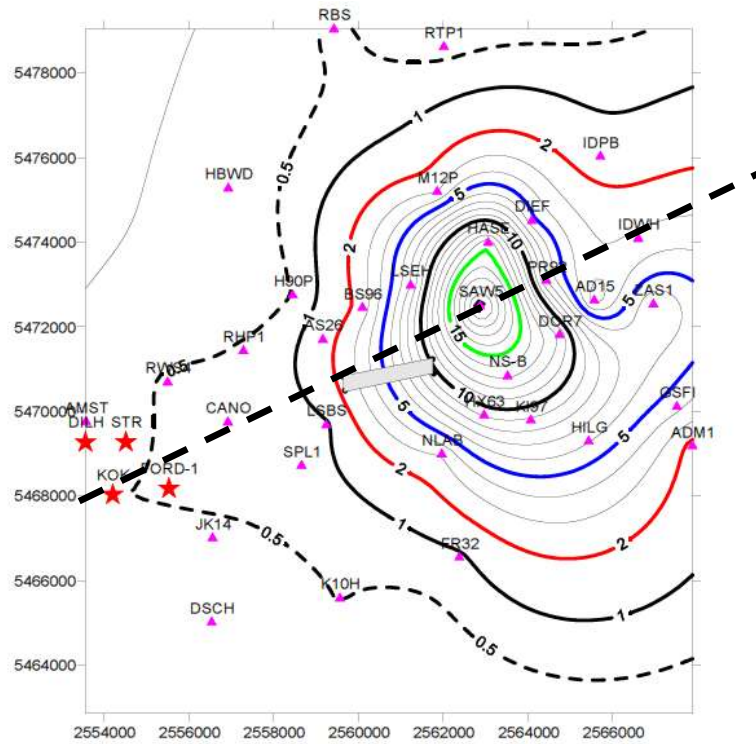


Abb. 6: Erschütterungs-Isolinien des bergbauinduzierten seismischen Ereignisses aus dem Feld Primsmulde-Süd des BW Saar am 26.01.2008, 05:15 Uhr $M_L = 3,4$ (Knoll, 2012)

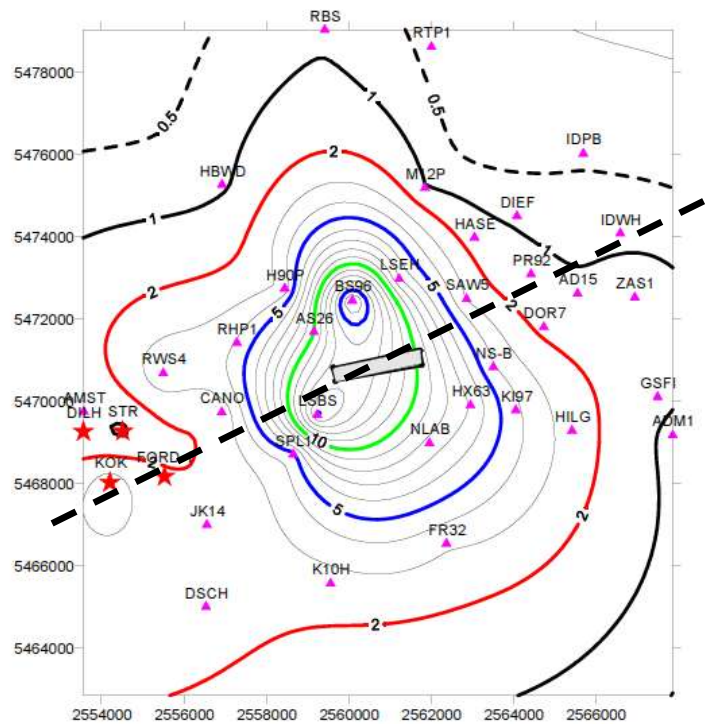


Abb. 7: Erschütterungs-Isolinien des bergbauinduzierten seismischen Ereignisses aus dem Feld Primsmulde-Süd des BW Saar am 26.01.2008, 06:44 Uhr $M_L = 3,2$ (Knoll, 2012)

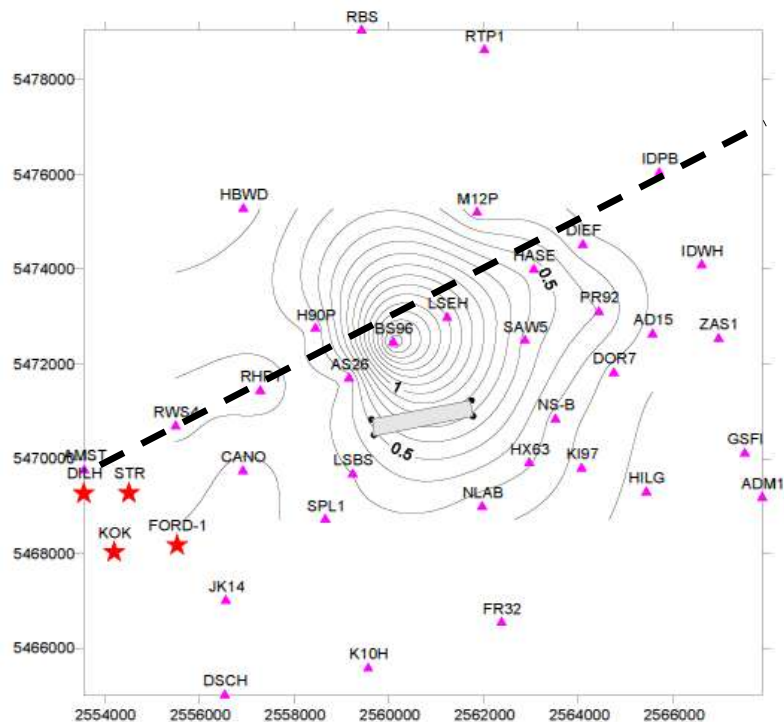


Abb. 8: Erschütterungs-Isolinien des bergbauinduzierten seismischen Ereignisses aus dem Feld Primsmulde-Süd des BW Saar am 26.01.2008, 16:33 Uhr $M_L = 2,3$ (Knoll, 2012)

Am 26.01.2008 fanden 3 bergbauinduzierte seismische Ereignisse statt, die die Mitwirkung tektonischer Störungen im Gebirge beim Zustandekommen der bergbauinduzierten Ereignisse und bei der Ausbreitung der Erschütterungsenergie zeigen. Es handelt sich dabei um Ereignisse mit praktisch dem gleichen Entstehungsort im Abbaufeld Primsmulde-Süd:

- Ereignis vom 26.01.2008, **05:19 Uhr**, $M_L = 3,4$, Nr. 13/08 (Abb. 6)
- Ereignis vom 26.01.2008, **06:44 Uhr**, $M_L = 3,2$, Nr. 14/08 (Abb. 7)
- Ereignis vom 26.01.2008, **16:33 Uhr**, $M_L = 2,3$, Nr. 15/08 (Abb. 8).

Die Ereignisse nach Abb. 6 und 7 liegen zeitlich sehr dicht beieinander. Der Unterschied in der Herdzeit beträgt nur etwa 85 Minuten. In dieser Zeit haben sich natürlich weder die geologisch-tektonischen noch die Gebirgsspannungparameter verändert. Die bergbaulichen Bedingungen haben sich ebenfalls kaum verändert, weil das Gewinnungsgerät (Abbauwalze) bei dem ca. 350m breiten und ca. 2.100m ... 3.000m langen Abbaustreb gerade einmal $< 0,5m$ weiter vorangekommen ist, so dass die durch den Bergbau in der Zeitspanne zwischen den Ereignissen eingetragene Energie vernachlässigt werden kann und die geometrischen Verhältnisse im Streb ebenfalls praktisch identisch waren. Dennoch fanden die Ereignisse getrennt voneinander statt und es ergaben sich für beide Ereignisse sehr unterschiedliche Ausbreitungsmuster der Erschütterungsenergie, dargestellt an

der Erschütterungs-Isoseisten an der Erdoberfläche, wie z.B. in den Abb. 6 und 7 die Isoseisten für 1, 2 und 5 mm/s Schwinggeschwindigkeit deutlich belegen.

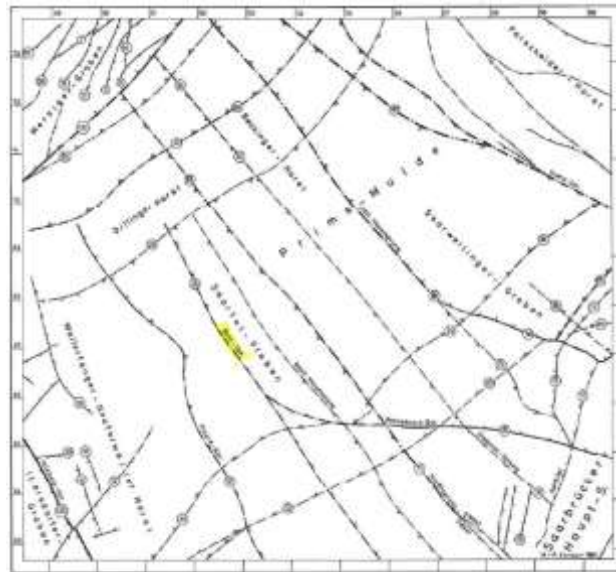


Abb. 9: Tektonisches Störungsmuster im Bereich des BW Saar lt. Geologischer Karte GK 25, Blatt Saarlouis, Anlage 2 (Geologische Karte des Saarlandes GK25). Die tektonischen Elemente, die die Ereignisse nach Abb. 6 und 7 wesentlich mitbestimmt haben, sind im Grundmuster bereits angelegt.

Bei beiden Ereignissen sind die Isoseisten in SW-NE-Richtung sehr deutlich verlängert. Im ersten Fall (Abb. 6) mit einer starken Ausbuchtung der Isolinienverläufe nach NE im zweiten Fall mit einer ebenso deutlichen Ausbuchtung nach SW. Legt man in diese Streckungsrichtungen der Isoseisten eine Gerade (gestrichelte schwarze Linie in den Abb. 6 und 7), dann weist diese für beide Ereignisse etwa die Streichrichtung $N60 \dots 65^\circ E$ auf, wobei der Schwerpunkt der Erschütterungen sich im ersten Fall vom Abbauort einige Kilometer weit nach NE; im zweiten Fall vom Abbauort einige Kilometer nach SW verschoben hat. Da es sich in beiden Fällen praktisch um den gleichen Ort der Ereignisauslösung (Abbauort) handelt, kann diese Asymmetrie der Energieausbreitung nur mit dem Einfluss des geologisch-tektonischen Bau des Gebirges in der Umgebung auf die Energiefreisetzung, und mit großer Wahrscheinlichkeit mit einem komplexen Herdvorgang im Zusammenhang stehen, bei dem das Initial durch den Bergbau erzeugt, der gesamte Energieumsatz jedoch von der Mitwirkung des umgebenden Gebirges bei der Bruchentwicklung und –ausbreitung bestimmt wird. Im Falle von Abb.6 wäre das so zu interpretieren, dass vom Bergbauvorgang zunächst der NE-Abschnitt der betroffenen tektonischen Störung zum Abbau der gespeicherten Energie durch abschnittswises Versagen (Bruch) angeregt wurde und im Falle von Abb.7 entsprechend der SW-Abschnitt.

Das ist das Merkmal tektonischer Gebirgsschläge (Typ 2 nach Knoll et al., 1980 und Knoll, 1987).

Ebenfalls am 26.01.2008 fand das in Abb.8 dargestellte Ereignis statt. Es fand ca. 678 min nach dem ersten Ereignis am gleichen Tag statt. Auch hier war die untertägige Abbausituation gegenüber dem Ereignis von Abb.6 und 7 nur unwesentlich verändert. Es war jedoch deutlich energieärmer und der Einfluss der tektonischen Struktur des Gebirges auf den Verlauf der Isolinien war schwächer ausgeprägt. Das kann bedeuten, dass die Energiefreisetzung und deren Ausbreitung offensichtlich nur in der Nähe der bergbaulichen Anregung stattfinden und durch tektonische Elemente wenig in Richtung der tektonischen Störungen ausgeweitet wurde. Die in der tektonischen Störung gespeicherte Deformationsenergie war durch die Ereignisse nach Abb. 6 und 7 im Nahbereich der bergbaulichen Anregung bereits weitgehend abgebaut. Weitere Reaktionen der tektonischen Störung erforderten zunächst die neue Einleitung bergbaulicher Energie durch größeren Abbaufortschritt.

Mit dem Ereignisripel vom 26.01.2008 bietet sich zusammenfassend eine naheliegende Interpretation der Bruchverläufe am 26.01.2008 an. Angeregt durch den bergbaulichen Energieeintrag wird auf einer, dem Gewinnungsort nahe liegenden präexistenten tektonischen Störung im Gebirge ein Bruchvorgang ausgelöst. Beim ersten Ereignis hat sich der Bruchvorgang vorwiegend im NE gelegenen Abschnitt der tektonischen Störung vollzogen und zu verstärkten Erschütterungen an der Erdoberfläche nordöstlich des Abbauortes geführt. Dadurch ist auf dem SW-Abschnitt der tektonischen Störungszone eine erhöhte mechanische Beanspruchung entstanden, die – ohne wesentlichen neuen bergbaulichen Energieeintrag – wenig später zum Nachbrechen des SW-Abschnittes der Störungszone geführt hat. Die Folge davon ist die nunmehr in diesem Abschnitt gemessene stärkere Erschütterungswirkung an der Erdoberfläche. Sie findet im Verlauf der Isolinien gleicher Erschütterungsstärke in diesem Abschnitt (Abb. 7) ihren Ausdruck.

Schließlich stellt sich nach beiden Ereignissen – ebenfalls ohne wesentlichen neuen bergbaulichen Energieeintrag – auf der vorher aktiven Störungszone ein neues mechanisches Gleichgewicht ein, das nach bergbaulicher Anregung nur mit einem kleineren und energieärmeren Nachbruchvorgang im zentralen, der Anregungsquelle näher liegenden Teil der Störungszone einhergeht (Abb. 8).

Nach dieser Interpretation ergab sich aber die Wahrscheinlichkeit, dass im Falle einer erneuten größeren Anregung der tektonischen Störung (nach einem größeren Vorrücken der Abbaufont), neue, fernere und größere Abschnitte des Störungselements in den Energiefreisetzungprozess einbezogen werden können mit der Folge größerer seismischer Erschütterungswirkungen. Dieser Sachverhalt führte - zusammen mit anderen Faktoren - zu der Prognose der Unternehmensgutachter, dass in diesem Gebiet bei unveränderter Fortsetzung der Bergbautätigkeit induzierte seismische Ereignisse mit größeren Magnituden (Prognose: $M_L = 4,0$) nicht mehr auszuschließen waren. Diese Prognose wurde schriftlich niedergelegt im Januar 2008 (Knoll, 2008).

Ein Ereignis der prognostizierten Magnitude trat bekanntlich am 23.02.2008 an dieser Stelle tatsächlich ein mit dem Ergebnis der sofortigen Stilllegung des gesamten Bergbaus im Feld Primsmulde.

Mit dieser Ereignisreihe wird messtechnisch belegt, dass für tektonischen Gebirgsschlägen (Typ 2 nach KNOLL) zweiphasige Ereignisse typisch sind: zum Ersten eine (u.U. relativ energiearme bergbauliche Anregung), die zum Zweiten einen Bruchvorgang auf einer nahe liegenden und gebirgsmechanisch „günstig“ orientierten tektonischen Störungsfläche im umgebenden Gebirge

auslöst und somit ihre meist wesentlich energiereichere Fortsetzung findet. Der gesamte Energieumsatz und die Erschütterungsausbreitung an der Erdoberfläche werden vom komplexen Gesamt ereignis bestimmt und stehen nur zum (meist sogar kleineren) Teil mit dem bergbaulichen Energieeintrag (Abbauvorgang) im direkten Zusammenhang.

Die Konsequenz dieses Sachverhaltes ist, dass es unverzichtbar ist, bei existierendem Potential für tektonische Gebirgsschläge den komplexen geomechanischen Bruchmechanismus im betroffenen Gebirgsbereich aufzuklären, um einerseits Konsequenzen für die Auswirkungen in der Umgebung zutreffend einzuschätzen und andererseits die richtigen Maßnahmen für Prognose, Bekämpfung bzw. Vermeidung dieser Erscheinung einleiten zu können.

5. Schlussfolgerungen

Den Anstoß für die Wortmeldung mit den oben dargelegten Untersuchungsergebnissen einer sehr speziellen Art induzierter seismischer Ereignisse waren Veröffentlichungen über neuere Untersuchungen induzierter seismischer Ereignisse in der Fachliteratur und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen. Vor allem aber Arbeit (Dahm et al., 2013) gab den Anstoß zu weiteren Überlegungen.

Bei verschiedenen Ergebnisdarstellungen, so auch in (Dahm et al., 2013) sind nach Auffassung des Autors zutreffende Überlegungen zum Wesen induzierter seismischer Ereignisse angestellt worden. Die Rolle des geomechanischen Mechanismus, der den induzierten seismischen Ereignissen zu Grunde liegenden Bruchvorgängen im Herd und in seiner Umgebung sollte jedoch stärker in die Betrachtungen und Untersuchungen einbezogen werden. Erst diese Betrachtungsweise ermöglicht es, bei der Analyse der Ursachen der induzierten seismischen Ereignisse, bei der Prognose der dabei maximal freigesetzten Energie und bei der Bewertung der maximal möglichen Auswirkungen auf die nähere und weitere Umgebung des Herdes konkreter zu werden und wirksame Schlussfolgerungen zu ziehen. Selbstverständlich bilden seismologische Untersuchungen und seismische Überwachungen sowie deren Interpretation und statistischer Verarbeitung einen unverzichtbaren Bestandteil für die Untersuchungen insgesamt, sie sind aber nur auf der Basis zutreffender geomechanischer Modellvorstellungen umfassend bzgl. der Verursachung interpretierbar.

Es liegt in der Sache selbst, dass die Entstehung, Untersuchung und Beherrschung induzierter seismischer Ereignisse im starken Maße Bedeutung für die öffentliche Sicherheit und für die Nutzung natürlicher Ressourcen eines Gebietes hat. Dazu ist eine möglichst deterministische Vorgehensweise bei der Aufklärung der Erscheinung erforderlich. Wenn man ein induziertes seismisches Ereignis in erster Linie als einen geomechanischen Bruchvorgang in den obersten, wirtschaftlich genutzten Bereichen der Erdkruste und zusätzlich als seismisches Ereignis betrachtet, eröffnen sich alle gegenwärtig sehr fortgeschrittenen Wege der geomechanischen bzw. physikalischen Modellierung und rechnerischen Behandlung der geomechanischen Bruchvorgänge. Der Analyst nimmt dann eine mehr aktive Rolle ein, im Gegensatz zu der mehr passiven Vorgehensweise, die immer dann entsteht, wenn allein statistische und probabilistische Analysen zu Grunde gelegt werden.

Die geomechanischen Kenntnisse für die Analyse der Ereignisse als Bruchvorgänge in den obersten Bereichen der Erdkruste sind für diese Anwendungen bereits gut entwickelt. Notwendige Kenntnisse

des tektonischen Grundspannungszustandes im Gebirge können heute messtechnisch erreicht werden, sind in Bergbaugebieten oft bereits hinreichend vorhanden oder sie sind zumindest richtungsmäßig aus verallgemeinerten Untersuchungsergebnissen abgreifbar (Internet-2, Wehrle, 1998). Ebenso sind die tektonischen Strukturen im Untersuchungsgebiet, dort, wo anthropogene Aktivitäten stattfinden, grundsätzlich bekannt und oft bereits kartenmäßig gut erfasst (z.B. Geologische Karte des Saarlandes GK25). Eine Unterscheidung solcher tektonischer Elemente, die zu Herden seismischer Ereignisse werden können und solcher, die diese Eigenschaft nicht besitzen, scheint möglich (Knoll et al., 1978). Erschwerend gilt in Bergbaugebieten allerdings die vorwiegend lagerstättenkundliche und weniger strukturell und mit Relevanz zu gebirgsmechanischen Verhaltensweisen orientierte Erfassung der geologisch-tektonischen Verhältnisse (vgl. auch Abb. 2). Mit Hilfe moderner numerischer Berechnungsverfahren und Stoffgesetze lassen sich die abgeleiteten geomechanischen Modelle rechnerisch behandeln und die erforderlichen geomechanischen Parameter der anstehenden Gesteine und der beteiligten Schwächeflächen des Gebirges sind bestimmbar bzw. aus Rückrechnungen bereits stattgefundenen induzierter seismischer Ereignisse an einem Standort näherungsweise zu ermitteln.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Dahm, T. u.a. (DGG-FKPE-Arbeitsgruppe und externe Experten): Zur Diskriminierung induzierter Seismizität; DGG-Mitteilungen 2/2003, S. 5-9

Geologische Karte GK 25, Blätter Saarlouis, Saarbrücken und Heusweiler; Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz des Saarlandes

Internet-1: <http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de/>

Internet-2: <http://www.uni-muenster.de/NiederlandeNet/aktuelles/archiv/2013/februar/0213erdgas.shtml> und <http://www.zeit.de/wirtschaft/2013-02/niederlande-erdgas-foerderung>

Knoll, P. (Ed.): Induced Seismicity; Verl. Balkema Rotterdam, Brookfield 1992, 469 S.

Knoll, P. und Kowalle, G.: Analyse der Erschütterungsausbreitung bergbauinduzierter seismischer Ereignisse auf geomechanischer Basis; 10. Geokinematischer Tag, 7. Und 8. Mai 2009; Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der TU BAF, Heft 2009 – 1; S. 104 – 124

Knoll, P.: Abschluss-Gutachten Auswirkungen bergbauinduzierter Erschütterungen im Bereich des Bergwerkes Saar auf den Standort der AG der Dillinger Hüttenwerke, GTU-6-06/06/12; GTU Potsdam 21.06.2012

Knoll, P.: Sachstandsbericht: Entwicklung der bergbauinduzierten Erschütterungen auf dem Betriebsgelände der AG der Dillinger Hütte, Dillingen, Saarland – Stand 31.01.2008-; GTU-6-03/02/08; GTU Potsdam, 01.02.2008

- Knoll, P.: Untersuchung des geomechanischen Mechanismus von Gebirgsschlägen mit seismologischen Methoden; Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jhg. 132, H. 4, 1987, S. 97-103
- Knoll, P.; Kowalle, G. (Eds.): Induced Seismic Events; aus Pure and applied geophysics, Vol. 147, 1996; Birkhäuser Verl. Basel, Boston, Berlin, 1996
- Knoll, P.; Schwandt, A.; Thoma, K. (1978): Die Bedeutung geologisch-tektonischer Elemente im Gebirge für den Bergbau, dargestellt am Beispiel des Werra-Kalireviers der DDR; Proc.- 5th Int. Symp. on Salt, Hamburg, 1978; Northern Ohio Geol. Soc., Vol.1 /1979), pp. 105-113
- Knoll, P.; Thoma, K.; Hurtig, E.: Gebirgsschläge und seismische Ereignisse in Bergbaugebieten; Rock Mech. Wien, Suppl. 10 (1980) 85-102
- McGarr, A. (Ed.): Induced Seismicity; Birkhäuser Verl. Basel, Boston, Berlin, 1993, 800 S.
- Wehrle, V.: Analytische Untersuchung intralithosphärischer Deformationen und Numerische Methoden zur Bestimmung krustaler Spannungsdomänen; Diss. Uni Karlsruhe, 1998