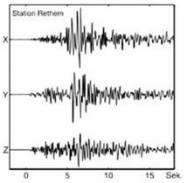
Landesamt für
Bergbau, Energie
und Geologie

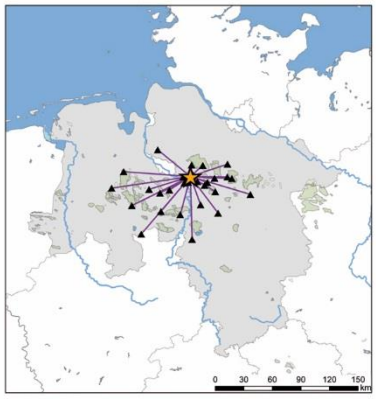
Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Monika Bischoff
Lars Ceranna
Joachim Fritz
Nicolai Gestermann
Thomas Plenefisch

Kurzbericht zum Erdbeben bei Völkersen (Landkreis Verden) am 22. April 2016, M_L 3,1

Seismologische Auswertung





Hannover, Dezember 2016

Abbildung Frontseite

Oben: Seismogramm einer Erdbebenmessstation (Beispiel), unten: Laufwege (lila) seismischer Wellen vom Epizentrum (oranger Stern) zu Erdbebenmessstationen (schwarze Dreiecke).

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Kurzbericht

zum Erdbeben bei

Völkersen (Landkreis Verden)

am 22. April 2016, M_L 3,1

Seismologische Auswertung

Sachbearbeiter: Monika Bischoff[1], Lars Ceranna[2],
Joachim Fritz[1], Nicolai Gestermann[2],
Thomas Plenefisch[2]
[1] LBEG, [2] BGR

Datum: Dezember 2016

Seiten: 29

Anhang: 2

TK 25: 2920, 2921, 3021

Archiv-Nr.:

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 6
1 Einleitung 8
2 Erdgaslagerstätte Völkersen 9
3 Erdbeben bei Völkersen am 22. April 2016, M_L 3,1 12
3.1 Bisherige Seismizität 12
3.2 Instrumentelle Auswertung 14
3.3 Auswirkungen an der Erdoberfläche 18
4 Bewertung der Ergebnisse 23
4.1 Entwicklungen seit 2012 23
4.2 Instrumentelle Auswertung des Bebens am 22. April 2016 24
4.3 Auswirkungen des Bebens am 22. April 2016 25
Literatur 27
Anhang 28
Ahang 1 - Europäische Makroseismische Skala (EMS-98) 28
Ahang 2 - Tabelle der verwendeten Stationen 29

Zusammenfassung

Am 22.April 2016 um 19:45 Uhr lokaler Zeit ereignete sich ein Erdbeben am Erdgasfeld Völkersen im Landkreis Verden. Das Epizentrum des Bebens liegt gut einen Kilometer westlich von Völkersen, einem Ortsteil von Langwedel. Die Stärke des Erdbebens weist eine Lokalmagnitude (M_L) von 3,1 auf und ist damit die größte am Erdgasfeld Völkersen. Die Herdtiefe wurde instrumentell mit 4,1 km ± 1,4 km abgeschätzt. Bereits seit 2008 werden am Erdgasfeld Völkersen Erdbeben registriert. Insgesamt wurden am Erdgasfeld Völkersen 16 Erdbeben mit Magnituden von 0,5 bis 3,1 registriert, zuletzt am 15. November 2016. Die zuvor stärksten Beben ereigneten sich am 22. November 2012 (M_L 2,9) und am 3. April 2008 (M_L 2,8). Grundlage der Untersuchungen des Erdbebens bei Völkersen am 22. April 2016 bilden zum einen die instrumentellen seismologischen Daten von Bund, Ländern, Universitäten und der erdgasfördernden Industrie, zum anderen die Beobachtungen aus der Bevölkerung (Makroseismik).

Für das Erdbeben am 22. April 2016 liegen 144 Angaben über Erschütterungen vor, die von der Bevölkerung verspürt wurden. Sie stammen überwiegend aus dem Flecken Langwedel und aus Teilen der Stadt Verden. Sie beschreiben starke Erschütterungen. Die maximalen Auswirkungen der Erschütterungen werden nach EMS-98 (Grünthal et al., 1998) mit der Intensität V - VI bewertet. Die gemessenen maximalen PGV-Werte an Erschütterungsstationen des Bundesverband Erdöl, Erdgas und Geoenergie e. V. (BVEG) und der Deutsche Erdoel GmbH (DEA) und an seismologischen Stationen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) stützen diese Einschätzung. Die höchsten Werte betragen 5,5 mm/s und 4,9 mm/s. Sie wurden in Entfernungen von 6,4 km bzw. 3,3 km gemessen. Entsprechend der DIN 4150 ist daher davon auszugehen, dass an einigen Gebäuden vorrangig empfindlicher Bauart kleine Schäden durch die Erschütterungswirkung entstanden sein können. Die Variabilität der PGV-Werte deutet darauf hin, dass zudem Standorteffekte im Landkreis Verden zu berücksichtigen sind.

An der Lagerstätte Völkersen wurden zuletzt im Juni 2011 Fracking-Maßnahmen durchgeführt. Fracking-Maßnahmen sind daher als Ursache für das Erdbeben am 22. April 2016 auszuschließen. Auch wird Lagerstättenwasser im Erdgasfeld Völkersen nicht versenkt. Auch in der Vergangenheit wurde in dieser Region kein Lagerstättenwasser in der Tiefe des Hypozentrums versenkt, so dass hiermit zusammenhängende Prozesse ebenfalls als Ursache auszuschließen sind.

Als Ursache für das Erdbeben wird angenommen, dass die Druckabsenkung infolge der Erdgasproduktion zur Veränderung des Spannungsfeldes im tiefen Untergrund führt. Erhöhte Spannungen können durch die Reaktivierung vorhandener tektonischer Störungen impulsartig durch ein seismisches Ereignis abgebaut werden. Im Bereich des Epizentrums am 22. April 2016 sind tektonische Störungen bekannt, deren Richtungen mit der instrumentell bestimmten Ausrichtung der Bruchfläche übereinstimmen. Es ist daher anzunehmen, dass eine Schwächezone eines N-S bzw. NNW-SSE-streichenden Störungssystems aktiviert worden ist. Das

Erdbeben am 22. April 2016 ist sehr wahrscheinlich auf die Erdgasförderung im Erdgasfeld Völkersen zurückzuführen.

1 Einleitung

Am Freitag, dem 22. April 2016 um 19:45 Uhr Ortszeit ereignete sich im Landkreis Verden im Bereich der Erdgaslagerstätte Völkersen ein Erdbeben mit der Lokalmagnitude (M_L) 3,1. Im Epizentrum und den umliegenden Orten wurde das Erdbeben als starke Erschütterung wahrgenommen. Makroseismische Meldungen gingen noch aus Entfernungen vom instrumentell bestimmten Epizentrum bis 13 km ein.

Die erste Information über das Erdbeben erreichte den Niedersächsischen Erdbebendienst (NED) im Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) über ein automatisches Alarmsystem wenige Minuten nach dem Beben. Ebenso erreichte sie den seismologischen Bereitschaftsdienst des Seismologischen Zentralobservatoriums (SZO) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), mit dem eine enge fachliche Kooperation besteht. Die manuelle Auswertung erfolgte umgehend. Die Ergebnisse dieser Erstauswertung wurden noch am Freitagabend über das Internet und am Samstagmorgen, 23. April 2016 in einer Pressemitteilung veröffentlicht:

http://www.lbeg.niedersachsen.de/aktuelles/pressemitteilungen/titel-143103.html.

Im Vergleich zu vorherigen Beben im Bereich der Erdgaslagerstätte Völkersen im Raum Verden, die vergleichbar stark waren, gingen beim seismologischen Bereitschaftsdienst zunächst nur wenige Anfragen zu Lage, Stärke und Ursache des Bebens ein. Am Freitagabend meldeten sich eine Zeitungsredaktion und zwei Anwohner auf dem Bereitschaftstelefon des SZO sowie sieben Anwohner per Email. Ein großes Interesse an dem Beben belegt aber die Berichterstattung durch viele Regionalredaktionen in Niedersachsen. Insgesamt gingen innerhalb der drei Wochen nach dem Erdbeben etwa 40 Anfragen von Bürgern, von Medien und aus Politik beim NED ein.

Eine detaillierte Auswertung und eine ausführliche Bewertung des Erdbebens am 22. April 2016 bei Völkersen werden in diesem Kurzbericht vorgelegt. Zur abschließenden Auswertung des Erdbebens werden Daten herangezogen, die nicht unmittelbar nach dem Beben zur Verfügung standen. Dies sind etwa Daten von Stationen, die noch nicht in Echtzeit an das Datenzentrum angebunden sind. Ebenso kann die Auswertung der Beobachtungen aus der Bevölkerung erst nach ihrer Erfassung über den Internet-Fragebogen erfolgen.

Eine bewertende Übersicht der Seismizität in Norddeutschland mit dem Schwerpunkt auf den Erdgasförderregionen gibt der frühere Bericht zum Erdbeben bei Völkersen (Bischoff et al., 2013). Dort sind die auch hier verwendeten Auswertemethoden genauer erläutert. Dieser Bericht ist auf der Internet-Seite des NED im LBEG zur Verfügung gestellt (http://www.lbeg.niedersachsen.de/Erdbebendienst/).

2 Erdgaslagerstätte Völkersen

Die Lagerstättenverhältnisse wurden bereits im Bericht zum Erdbeben bei Völkersen am 22.11.2012 (Bischoff et al., 2013) dargestellt, zur besseren Lesbarkeit und Vollständigkeit dieses Berichtes werden sie hier mit aktualisierten Daten erneut beschrieben. Abbildung 1 zeigt die Lage der Erdgaslagerstätte Völkersen nördlich von Verden. Ein geologischer Tiefenschnitt ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die Erdgaslagerstätte Völkersen wurde 1992 mit der Explorationsbohrung Völkersen Z1 in den Gesteinsschichten des Rotliegend in einer Tiefe von ungefähr 4800 m u. NN entdeckt. Die Lagerstätte konnte sich an dieser Stelle vor Jahrmillionen bilden, weil hier eine geologische Fallenstruktur ausgebildet ist, in der sich das in den Kohleflözen des Oberkarbon generierte Erdgas im Porenraum darüberliegender Rotliegend-Gesteine sammeln und anreichern konnte. Überlagernde abdichtende Gesteinsschichten verhinderten ein Weiterwandern des Erdgases in höher liegende Schichten und sorgen dauerhaft für die Abschirmung der Lagerstätte gegen die höher liegenden Gesteinsschichten und die Atmosphäre.

Das Rotliegend ist in dieser Region als eine Abfolge von z.T. gut porösen Sandsteinen ausgebildet, die im höheren Teil mit Tonsteinen wechsellagern. An der Basis der Abfolge ist ein bis zu einige hundert Meter mächtiger Sandstein entwickelt. Dieser Sandstein stellt in der Erdgaslagerstätte Völkersen das wichtigste Reservoirgestein dar. Im höheren Teil der Abfolge sind zwei weitere, wenige Meter mächtige Sandsteinhorizonte als Reservoirgesteine entwickelt und ebenfalls gasführend.

Seit dem Fund 1992 wurden bislang 16 Bohrungen zur weiteren Erkundung und Ausförderung der Lagerstätte durchgeführt. Die Förderung wurde nach dem Bau der erforderlichen obertägigen Betriebsanlagen 1994 aufgenommen. Die zeitliche Entwicklung der jährlichen Rohgasproduktion ist in Abbildung 3 dargestellt. Die bisher höchsten jährlichen Fördermengen wurden im Zeitraum 2008 bis 2010 mit jeweils rund 1,3 Mrd. m³ erreicht. Von 2011 bis 2014 ist die Fördermenge auf rund 1,0 Mrd. m³ pro Jahr zurückgegangen. 2015 war sie mit rund 1,1 Mrd. m³ pro Jahr wieder etwas höher. Bedingt durch die Tiefenlage der Lagerstätte stand das Erdgas ursprünglich unter einem Druck von mehreren hundert bar. Bei der Förderung von Erdgas macht man sich das Ausdehnungsbestreben des Gases zu Nutze. Aufgrund dieses Bestrebens fließt das Gas im Porenraum des Gesteins dem Bohrloch zu und wird über das Bohrloch an die Oberfläche geführt. Wegen der Entnahme des Erdgases nimmt der Druck innerhalb der Lagerstätte immer weiter ab. Durch diesen Druckabfall werden im Reservoirgestein und letztendlich auch in den Gesteinen in der räumlichen Umgebung der Lagerstätte Spannungsänderungen hervorgerufen, die zu seismischen Ereignissen führen können.

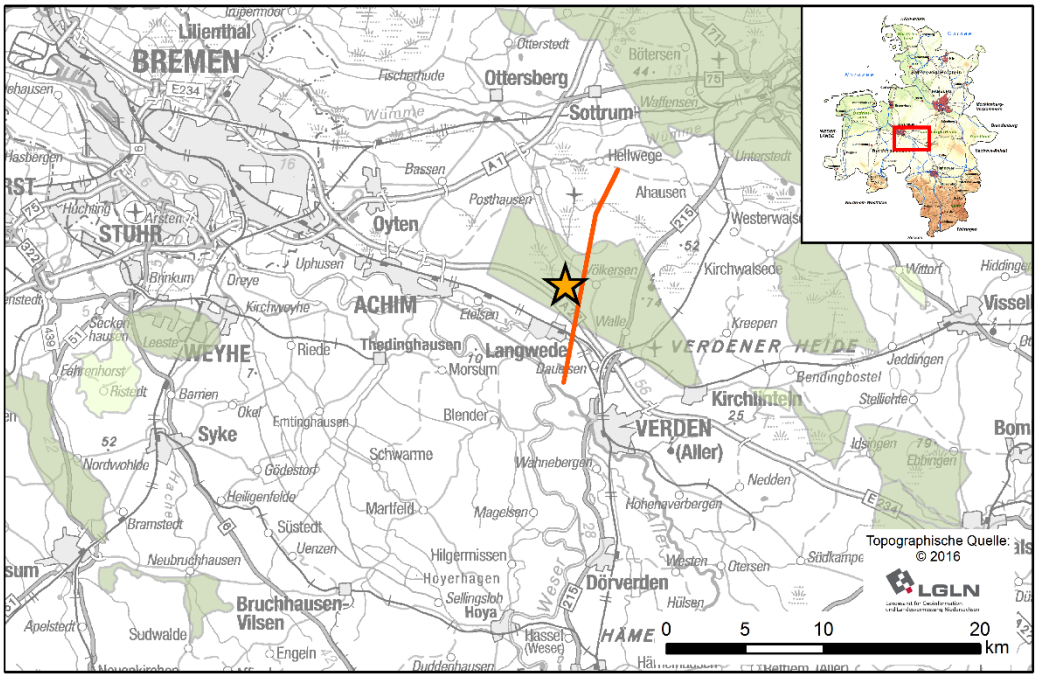


Abbildung 1: Lage der Erdgaslagerstätte Völkersen (dunkelgrün) nördlich von Verden und des Epizentrums vom 22.04.2016 (Stern) sowie der benachbarten produktiven (dunkelgrün) und aufgegebenen (hellgrün) Erdgaslagerstätten. Der Verlauf des geologischen Schnitts in Abbildung 3 ist durch die rote Linie gekennzeichnet.

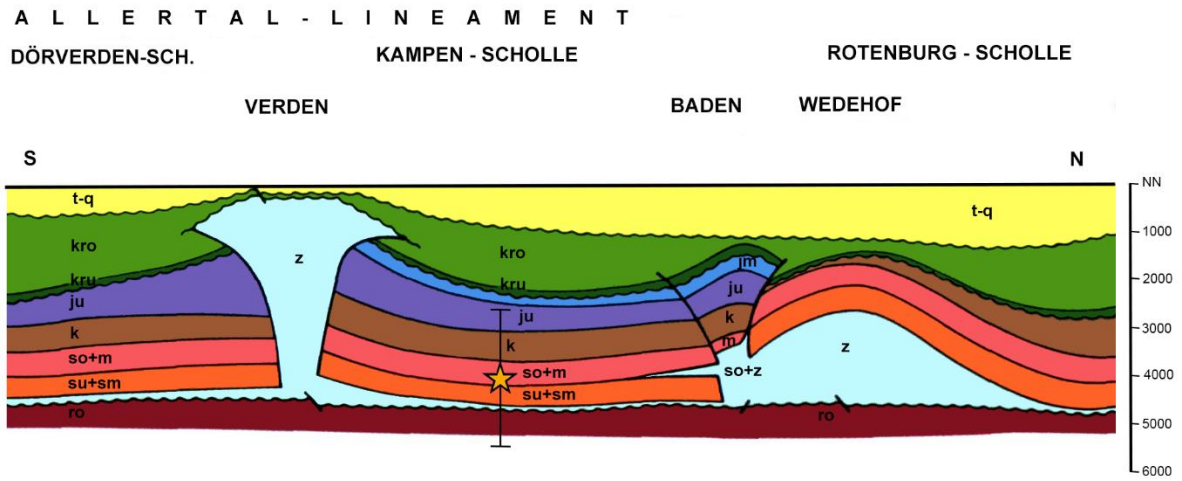


Abbildung 2: Geologischer Nord-Süd-Schnitt (Ausschnitt) im Bereich Verden bis in eine Tiefe von etwa 5 km. Die Erdgaslagerstätten befinden sich in den tiefen Gesteinen des Rotliegend (ro), darüber folgen das Salz des Zechstein (z), das mesozoische Deckgebirge von Trias (su, sm, m, k), Jura und Kreide sowie Tertiär und Quartär (Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland, Baldschuhn et al., 2001). Die Lage des geologischen Schnittes ist in Abbildung 2 dargestellt (rote Linie). Zusätzlich eingezeichnet ist das Hypozentrum des Erdbebens am 22. April 2016 in der Tiefe von 4,1 km mit dem Fehlerbalken der Tiefenbestimmung von ±1,4 km.

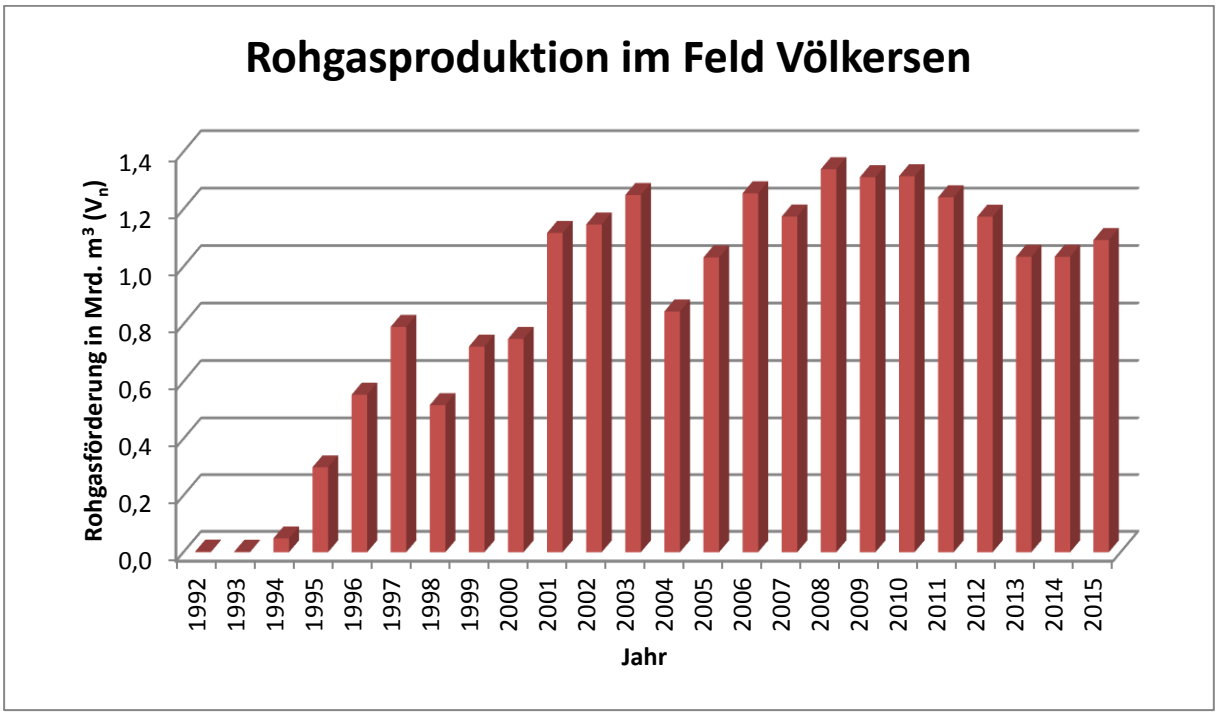


Abbildung 3: Jährliche Rohgasproduktionsmengen der Lagerstätte Völkersen von 1992 bis 2015.

3 Erdbeben bei Völkersen am 22. April 2016, M_L 3,1

3.1 Bisherige Seismizität

Erdbeben an der Erdgaslagerstätte Völkersen sind seit 2008 bekannt. Das erste Beben in dieser Region wurde am 3. April 2008 instrumentell registriert und mit einer Magnitude von 2,8 bewertet. Es war zugleich das drittstärkste Beben am Erdgasfeld Völkersen. Die zwei stärksten Beben mit Magnituden von 3,1 und 2,9 sind das hier detailliert vorgestellte Beben am 22. April 2016 (Kap. 3.2 und 3.3) und das Beben am 22. November 2012 (Bischoff et al, 2013). Im Deutschen Erdbebenkatalog, der an der BGR geführt wird, sind insgesamt 16 Erdbeben an der Erdgaslagerstätte Völkersen im Magnitudenbereich von 0,5 bis 3,1 aufgeführt. Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Epizentren. Die Herdparameter (Herdzeit, Epizentrum, Tiefe, Magnitude) der Beben sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

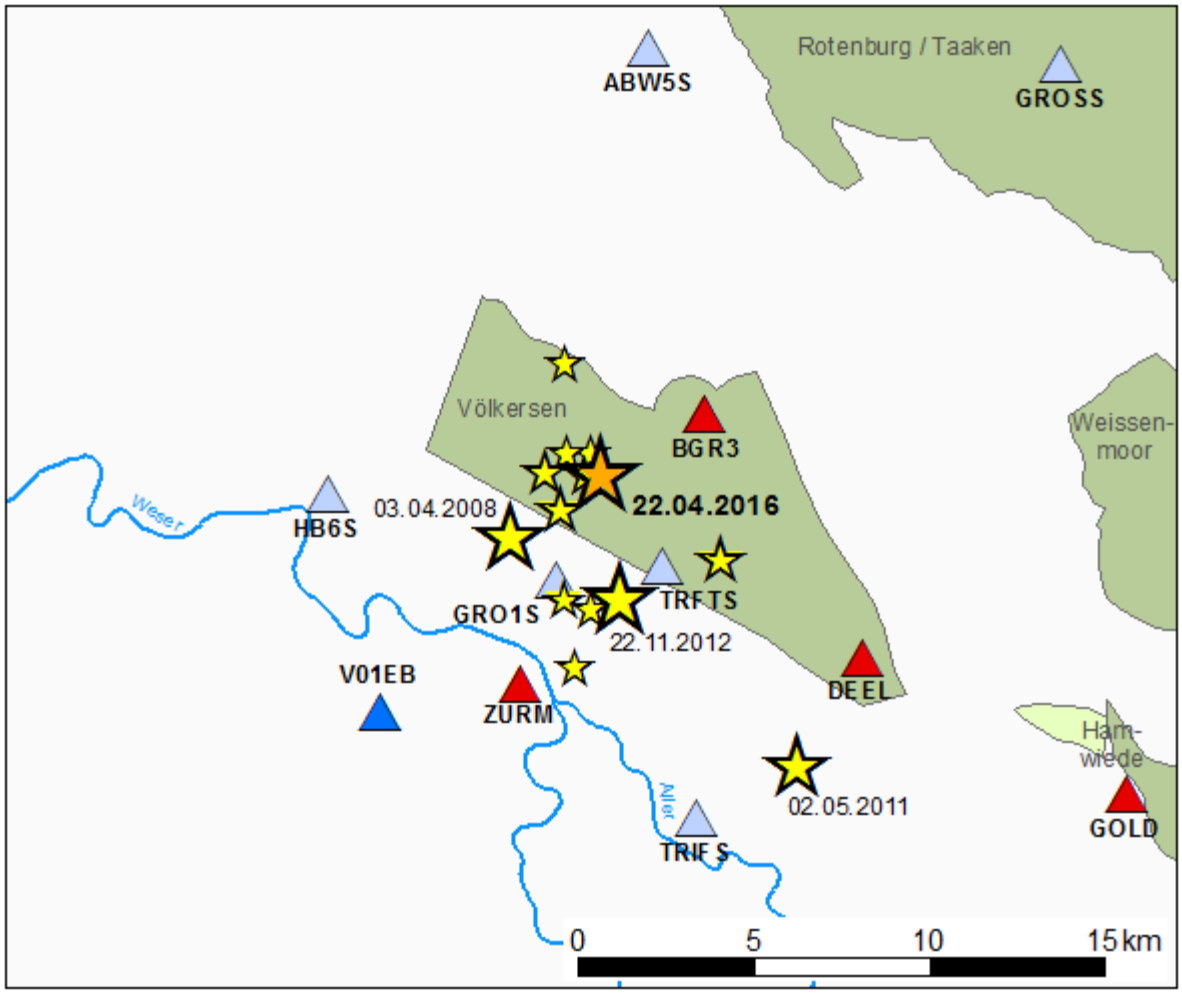


Abbildung 4: Karte der insgesamt 16 instrumentell registrierten Erdbeben (Sterne) am Erdgasfeld Völkersen, der zum Zeitpunkt des Bebens am 22.04.2016 (orange) installierten Stationen (Dreiecke) unterschieden nach den Betreibern und dem Überwachungsziel (rot: Ortungsstationen BGR, dunkelblau: Ortungsstationen BVEG, hellblau: Erschütterungsstationen BVEG und DEA) und der produktiven (dunkelgrün) sowie der aufgegebenen (hellgrün) Erdgaslagerstätten. Das Beben am 22.04.2016 hatte eine Magnitude (ML) von 3,1 und war das stärkste am Erdgasfeld Völkersen.

Tabelle 1: Herdparameter der am Erdgasfeld Völkersen instrumentell registrierten Erdbeben seit 1977 aus dem Deutschen Erdbebenkatalog. Mit „f“ markierte Herdtiefen wurden nicht invertiert, sondern für die Lokalisierung des Epizentrums festgesetzt. Die Abkürzungen der Quellenangaben stehen für Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und DMT GmbH & Co. KG (DMT). Seit 2008 wurden 16 Beben mit Lokalmagnituden (ML) von 0,5 bis 3,1 registriert.

Datum (Lokalzeit)	Herdzeit (Lokalzeit)	geogr. Breite [°Nord]	geogr. Länge [°Ost]	Herdtiefe [km]	Magnitude M_L	Quelle
15.11.2016	10:27	52,97	9,26	5f	2,5	BGR
22.04.2016	19:45	53,01	9,20	4,1	3,1	BGR
27.02.2016	19:02	53,00	9,20	-	0,9	DMT
22.01.2016	21:38	52,96	9,19	5 f	1,0	BGR
13.12.2015	19:44	53,01	9,20	-	0,9	DMT
06.12.2015	14:37	53,00	9,19	5 f	1,9	BGR
20.06.2014	04:58	53,01	9,19	-	0,9	DMT
20.06.2014	04:57	52,97	9,19	5 f	1,6	BGR
17.05.2014	00:26	52,97	9,20	-	0,8	DMT
02.11.2013	04:14	53,03	9,19	5 f	0,7	BGR
01.11.2013	21:17	53,01	9,18	5 f	1,8	BGR
01.11.2013	21:15	53,00	9,20	5 f	0,5	BGR
22.11.2012	21:38	52,97	9,21	4,9	2,9	BGR
02.05.2011	04:57	52,93	9,29	3,6	2,5	BGR
24.04.2010	16:10	52,98	9,26	5 f	1,9	BGR
03.04.2008	02:06	52,99	9,17	5 f	2,8	BGR

In verschiedenen Forschungsprojekten werden Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, sehr schwache Beben unterhalb der Wahrnehmungsgrenze zu detektieren. Ergebnisse solcher Untersuchungen sind hier nicht berücksichtigt. Sie fließen erst nach Abschluss der Forschungsprojekte in diesen Erdbebenkatalog ein.

3.2 Instrumentelle Auswertung

Registrierungen

Die durch das Erdbeben am 22. April 2016 bei Völkersen angeregten seismischen Wellen wurden instrumentell von zahlreichen Stationen verschiedener Messnetze (Deutsches Regionalnetz GRSN, Bergschadenkundliches Beweissicherungs-System BBS des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenerige e.V. (BVEG), temporäre Stationen der Universität Stuttgart, Stationsnetze von Landeserdbebendiensten) aufgezeichnet. Sie konnten noch an Stationen in über 200 km Entfernung registriert werden (Abb. 5). Abbildung 6 zeigt beispielhaft das Seismogramm der Station BGR3 etwa 3 km vom Epizentrum entfernt.

Lokalisierung

Aus den Differenzen der Einsatzzeiten der zuerst ankommenden Pg-Wellen und den später eintreffenden Sg-Wellen kann der Ort des Erdbebens bestimmt werden. Zur Lokalisierung wurden 27 Pg- und 19 Sg-Einsatzzeiten mithilfe des Programms LocSat, basierend auf einem regionalen Geschwindigkeitsmodell bezüglich der Herdkoordinaten invertiert. Bei der Auswahl der verwendeten Einsatzzeiten wurden ausschließlich Stationen in der Norddeutschen Tiefebene verwendet (Abb. 7). Durch den intensiven Stationsausbau der vergangenen Jahre konnte eine gute azimutale Abdeckung durch nahe Stationen erzielt werden. In Entfernungen vom Epizentrum bis 10 km befinden sich insgesamt acht Stationen. Entferntere Stationen sind vor allem für die Bestimmung der Magnitude relevant. Das Epizentrum wurde mit einer horizontalen Genauigkeit von 1 km innerhalb der Erdgaslagerstätte Völkersen lokalisiert. Die Herdtiefe liegt mit 4,1 km ±1,4 km im Niveau des Förderhorizonts. Alle instrumentell bestimmten Herdparameter und Genauigkeiten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Instrumentell bestimmte Herdparameter und Genauigkeiten (einfache Standardabweichung) des Erdbebens am 22. April 2016 bei Völkersen.

Datum:	*22.04.2016*
Herdzeit:	*17:45:31 UTC*
	19:45:31 MESZ, Ortszeit
Instrumentelles Epizentrum:	*53,00°N 9,20°E*
Lokalisierungsgenauigkeit horiz.:	*±1 km*
Herdtiefe:	*4,1 km*
Lokalisierungsgenauigkeit vertikal:	*±1,4 km*
Magnitude:	*3,1 ± 0,3*

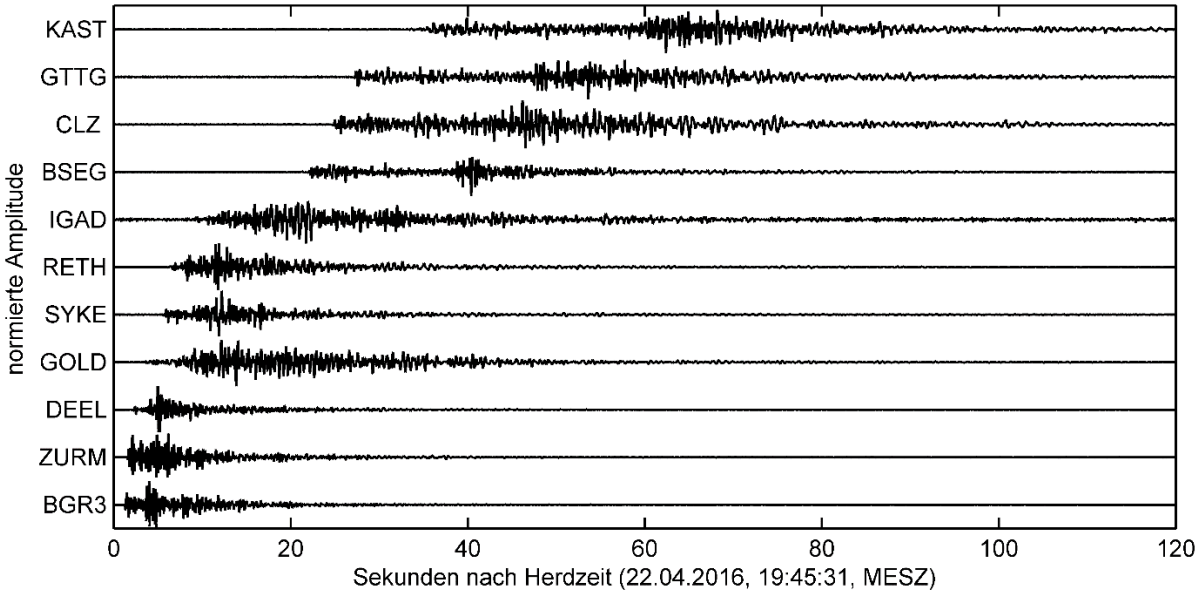


Abbildung 5: Seismische Registrierungen ausgewählter Stationen für Epizentralentfernungen bis etwa 200 km. Dargestellt sind die vertikalen Bodenschwinggeschwindigkeiten normiert auf das Maximum der jeweiligen Station. Koordinaten und Orte der Stationen enthält Anhang 2.

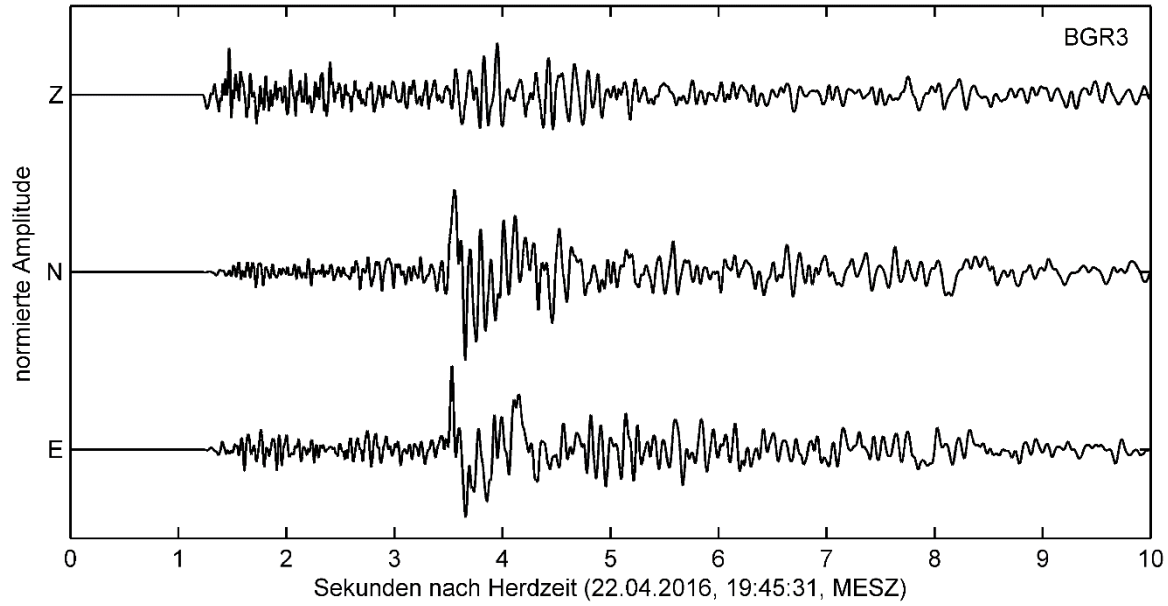


Abbildung 6: Seismische Registrierungen an der Station BGR3 etwa drei Kilometer nordöstlich des Epizentrums. Dargestellt sind die vertikalen (Z) und die horizontalen (N, E) Bodenschwinggeschwindigkeiten normiert auf das Maximum der jeweiligen Komponente.

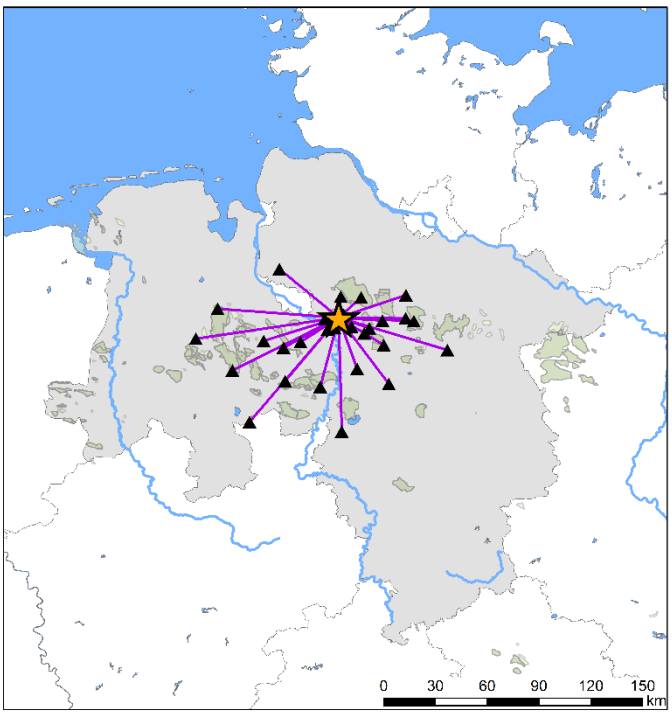


Abbildung 7: Laufwege (lila) der seismischen Wellen vom Epizentrum (oranger Stern) zu den zur Lokalisierung verwendeten seismologischen Stationen (schwarze Dreiecke).

Herdmechanismus

Zur Bestimmung des Herdmechanismus wurden die Polaritäten der zuerst ankommenden Pg- bzw. Pn-Phasen bestimmt. Insgesamt konnten an 26 Stationen in Epizentralentfernungen zwischen 3 und 190 km eindeutige Polaritäten ermittelt werden. Zusammen mit den zughörigen Azimuten und Abstrahlwinkeln sind sie als Eingabedaten für die Berechnung des Herdmechanismus mit dem Programm FOCMEC (Snoke, 2003) verwendet worden. In einer Gittersuche über die gesamte Herdhalbkugel werden die Nodalflächenpaare gesucht, die mit den vorgegebenen Polaritäten in Einklang stehen.

Die Schar der Herdflächenlösungen, die aus der Berechnung für das Beben am 22.04.2016 folgt, ist in Abbildung 8a wiedergegeben. Mit Ausnahme von jeweils zwei Stationen stehen diese Lösungen im Einklang mit den beobachteten Polaritäten. Die Nodalflächenpaare zeigen einen Abschiebungsmechanismus mit einem geringen Blattverschiebungsanteil. Solche Abschiebungsmechanismen sind bereits für vorangegangene, wahrscheinlich induzierte Erdbeben im Bereich der norddeutschen Erdgasfelder berechnet worden (z.B. Syke, 01.05.2014; Völkersen, 22.11.2012, Cloppenburg, 19.12.2014). Sie sind diejenigen Mechanismen, die in einem Extensionsregime bei der Entleerung von Erdgasfeldern zu erwarten sind (z.B. Segall et al., 1994). Ein repräsentativer Herdmechanismus aus der Schar der Lösungen in Abbildung 8a ist in Abbildung 8b in Form eines sogenannten Beachballs wiedergegeben, bei dem die unterschiedlich gefärbten Quadranten die Bereiche von Kompression (schwarz) bzw. Dilatation (weiß) markieren. Die Verschiebungsfläche, die aus der Herdflächenlösung folgt, ist entweder NNW-SSO oder nahezu N-S ausgerichtet. Eine Unterscheidung hinsichtlich der tatsächlichen Bruchfläche ist seismologisch allein aus der hier durchgeführten Bestimmung des Herdmechanismus nicht möglich.

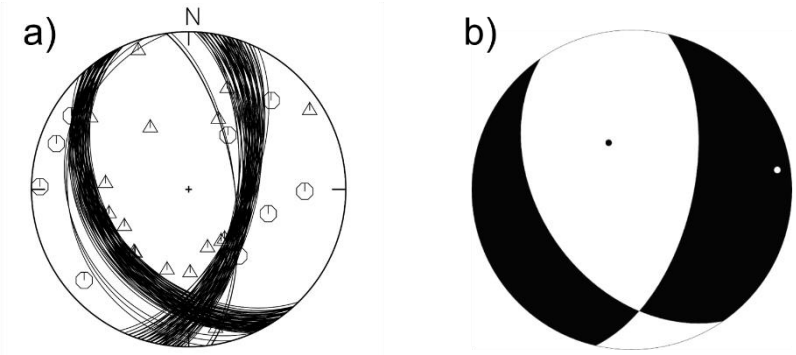


Abbildung 8: a) Die stereographische Projektion auf die untere Halbkugel zeigt die Schar der Nodalflächen (Linien), die mit den beobachteten Polaritäten (Kreis = Kompression, Dreieck = Dilatation) der Ersteinsätze der P-Wellen an den Stationen im Einklang stehen. b) Repräsentativer Abschiebungsmechanismus in Form eines „Beachballs“ (schwarz = Kompression, weiß = Dilatation).

Die NNW-SSO- als auch N-S-streichenden Nodalflächen stimmen mit Streichrichtungen von einzelnen Störungen überein, die im Geotektonischen Atlas für die Region um das Erdgasfeld Völkersen angegeben werden (Baldschuhn et al., 2001; LBEG, 2013). Es kann daher angenommen werden, dass eine Schwächezone eines N-S bzw. NNW-SSE-streichenden Störungssystems aktiviert worden ist.

3.3 Auswirkungen an der Erdoberfläche

Makroseismische Meldungen

Das Erdbeben wurde von der örtlichen Bevölkerung stark verspürt. Für den Abend des 22. April 2016 gingen insgesamt 149 makroseismische Meldungen im LBEG ein. Vier der Meldungen stammen aus Entfernungen von mehr als 35 km. Diese Meldungen stehen nicht in Zusammenhang mit dem Erdbeben bei Völkersen. Die übrigen 145 Meldungen stammen aus den Orten Langwedel, Verden (Aller), Sottrum, Hellwege, Ahausen, Kirchlinteln, Blender, Achim und aus dem südlichen Ottersberg aus Epizentralentfernungen bis 14 km (Abb. 9). In der einzigen Meldung aus Achim, 14 km entfernt, ist angegeben, dass keine Auswirkungen des Erdbebens wahrgenommen wurden. Es liegen also 144 Erschütterungsmeldungen bis 13 km vor. Nur wenige (7%) Meldungen stammen aus dem dünn besiedelten Gebiet nördlich des Epizentrums. Die meisten Meldungen haben ihren Ursprung in den Bevölkerungszentren von Langwedel und aus der Stadt Verden südlich des Epizentrums. Aufgrund dieser heterogenen Bevölkerungsdichte lässt die Verteilung der Meldungen keine weiteren Schlüsse zu Charakteristika des Erdbebens oder des Untergrunds zu.

Die Auswirkungen werden von den meisten Personen als mäßig bis sehr starke Erschütterungen bewertet (119 Meldungen). Im Detail berichten über 80% der Personen von klapperndem Geschirr oder klappernden Türen und Fenstern. Ein Drittel der Personen berichtet von pendelnden Gegenständen. Stärkere Auswirkungen werden in 30% der Meldungen genannt. Dazu gehören die Beobachtungen von verschobenen oder umgefallenen kleinen Gegenständen (19%), vom Herabfallen von Gegenständen (8%) und von auf- und zuschlagenden Türen (3%). In den Fragebögen werden auch Schäden an Gebäuden erfragt. In etwa einem Drittel (35%) der Fragebögen werden leichte Schäden gemeldet. Es wird von Rissen in Wänden im Innen- und Außenbereich berichtet. Insgesamt ergeben die Meldungen kein klares räumlich-strukturiertes Bild. Meldungen von starken Auswirkungen, die z.T. Schadensmeldungen enthalten, liegen unmittelbar neben Meldungen von schwachen Auswirkungen.

Schadensmeldungen

Bei der Betreiberin des Erdgasfelds Völkersen, der DEA Deutsche Erdoel AG (DEA), gingen 477 Schadensmeldungen ein (Stand 24. November 2016). 16 namentliche Schadensmeldungen liegen auch dem LBEG vor. Bei allen Meldungen handelt es sich um leichte und nichtstrukturelle Schäden. Sie beschreiben Risse in Putz und Fliesen, verschobene Dachziegel und Risse in Wänden im Innen- und Außenbereich. Um die angezeigten Schäden schnell und unbürokratisch zu regulieren wurde seitens der DEA bis auf wenige Ausnahmen darauf verzichtet, sie durch Bausachverständige bewerten zu lassen. Ein gutachterlicher Prozess wurde für Schadensmeldungen durch die Gemeinde Langwedel von DEA angestoßen. Die Ergebnisse stehen noch aus. Ob die gemeldeten Schäden durch das Erdbeben verursacht wurden, kann daher nicht geklärt werden. Zudem haben Erfahrungen für Erdbeben dieser Stärke aus der Vergangenheit gezeigt, dass es in vielen Fällen nicht möglich ist, zweifelsfrei festzustellen, ob

ein gemeldeter Schaden durch die Erschütterungen verursacht worden ist oder nicht. Geringfügige Gebäudeschäden wie z. B. feine Risse im Putz oder Mauerwerk bzw. Risse im Bereich von gefliesten Flächen können grundsätzlich verschiedene Ursachen haben. Diese können auch durch Einwirkungen auf Gebäude wie z.B. Temperaturänderungen, Lastumlagerungen und Spannungsänderungen entstehen. Um solche Schäden eindeutig einem Erdbeben zuordnen zu können, ist es notwendig, die zeitliche Korrelation zwischen dem Ereignis und dem Auftreten der Schäden nachzuweisen. Oft ist das Alter derartiger Risse nicht oder nur mit großem Aufwand bestimmbar. Dann ist es für einen Gutachter kaum möglich nachzuweisen, dass derartige Schäden an einem Gebäude durch ein Erdbeben verursacht worden sind.

Makroseismische Auswertung

Die Bewertung der Makroseismik nach der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98, Grünthal et al., 1998; Anhang 1) kann zurzeit nur näherungsweise erfolgen. Eine direkte Umsetzung der einzelnen Fragebögen in Intensitäten ist zurzeit nicht möglich. Der Grund hierfür ist, dass für den neuentwickelten und zwischen verschiedenen Erdbebendiensten in Deutschland abgestimmten Fragebogen eine standardisierte und ebenfalls abgestimmte automatische Auswertung zu entwickeln ist. Eine solche Auswertung ist in Vorbereitung.

Die makroseismischen Meldungen des aktuellen Bebens (M_L 3,1, Herdtiefe 4 km) können mit der Makroseismik anderer Beben in der Erdgasförderregion Norddeutschlands verglichen werden. Vergleiche bieten sich besonders zu ähnlich starken Beben mit ähnlichen Herdtiefen (Tab. 3) an, z.B. zu Völkersen 2012 (M_L 2,9, Herdtiefe 5 km) oder zu Syke 2014 (M_L 3,2, Herdtiefe 4 km). Aufschlussreich ist vor allem der Vergleich mit dem Beben bei Völkersen 2012. Die beiden Epizentren sind nur drei Kilometer voneinander entfernt, liegen also sehr nah beieinander. Die damaligen Erschütterungsmeldungen stammen aus denselben Orten wie die aktuellen und gingen ebenfalls aus Epizentralentfernungen bis 13 km ein. Der Schütterradius für 2012 wurde anhand der entfernungsabhängigen Abnahme der Intensität zu 18 km berechnet. Die Maximalintensität wurde auf V festgelegt. Aufgrund desselben Ursprungsgebiets und der sehr ähnlichen makroseismischen Beschreibungen ist für das Beben 2016 dieselbe Bewertung mit der Maximalintensität V plausibel und wird weiterhin gestützt durch den Vergleich mit dem Erdbeben bei Syke 2014.

Gegen die Bewertung mit Intensität V spricht eine hohe Anzahl von Schadensanzeigen. Leichte Schäden an wenigen Gebäuden von vorwiegend empfindlicher Bauart können bei Intensität V auftreten. Werden durch ein Erdbeben viele Gebäude leicht beschädigt, so ist Intensität VI erreicht worden. Um eine fundierte Unterscheidung zwischen Intensität V und VI vorzunehmen, wäre es notwendig, das Ausmaß von Gebäudeschäden detailliert zu berücksichtigen. Mit ca. 480 Schadensmeldungen liegt eine erhebliche Anzahl vor. Diese Zahl an Schadensmeldungen ist für ein energieschwaches Erdbeben der Magnitude 3,1 unerwartet hoch. Sie entspricht etwa dem Dreifachen der Meldungen nach dem Beben 2012 mit der nur etwas geringeren Magnitude 2,9. Es ist daher zu prüfen, ob auch Intensität VI erreicht worden sein könnte. Anhand der Schadensbilder wäre zunächst festzustellen, ob bzw. für welche Schäden

die Erschütterungen durch das Erdbeben ursächlich sind. In einem zweiten Schritt wären gegebenenfalls die Schadensgrade und die Vulnerabilitätsklassen der betroffenen Gebäude entsprechend der EMS-98 festzustellen. Auf solche Bewertungen wurde wie beschrieben im Rahmen einer schnellen Behebung verzichtet. Damit ist die Datengrundlage zur Festlegung der Maximalintensität unzureichend und letztere kann schließlich nicht festgelegt werden.

Insgesamt bewerten wir das Erdbeben bei Völkersen am 22. April 2016 daher mit der Maximalintensität V - VI. Diese Bewertung bedeutet, dass sie nicht klar festgelegt werden kann. Dies ist wie beschrieben der unzureichenden Datengrundlage geschuldet.

Tabelle 3: Makroseismische Intensität nach EMS-98 für frühere Erdbeben am Erdgasfeld Völkersen und für das Erdbeben ähnlicher Stärke und mit ähnlicher Herdtiefe bei Syke 2014.

Datum	Region	Herdtiefe [km]	Magnitude M_L	Intensität I_0
03.04.2008	Völkersen	5 - 10	2,8	V
02.05.2011	Völkersen	4 ± 5	2,5	IV-V
22.11.2012	Völkersen	4,9 ± 1,6	2,9	V
01.05.2014	Syke	4,2 ± 2,8	3,2	IV-V

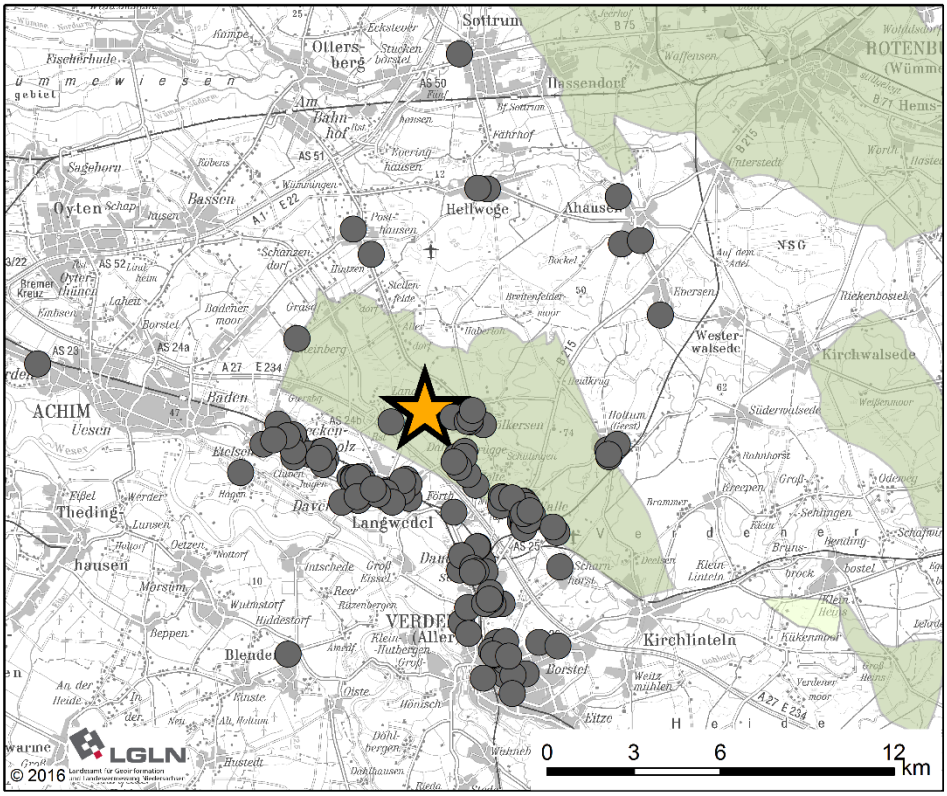


Abbildung 9: Abbildung 9: Karte der 145 makroseismischen Meldungen (graue Punkte), die über den Internetfragebogen im NED eingegangen sind. Ebenfalls dargestellt sind das instrumentell bestimmte Epizentrum (oranger Stern) und die produktiven Erdgasfelder (dunkelgrün) sowie die aufgegebenen (hellgrün). In der einzigen Meldung aus Achim ist angegeben, dass keine Auswirkungen des Erdbebens wahrgenommen wurden. Insgesamt liegen damit 144 Erschütterungsmeldungen aus Entfernungen bis 13 km vor.

Bodenschwinggeschwindigkeiten

An den Erschütterungsstationen des Bergschadenkundlichen Beweissicherungssystems (BBS) des BVEG und den zusätzlichen der DEA wurden maximale Schwinggeschwindigkeiten (PGV) entsprechend DIN 4150 gemessen (Tab. 4). Auch an den seismologischen Stationen der BGR, die primär der detaillierten seismologischen Auswertung dienen, wurden PGV-Werte bestimmt (Tab. 4). Diese Stationen entsprechen nicht DIN 4150 und halten gutachterlichen Standards nicht in jedem Fall stand. Im Rahmen der fachlichen Bewertung werden sie hier berücksichtigt.

Die größte Schwinggeschwindigkeit wurde in der Allerniederung an der Station ZURM gemessen. Die Amplitude erreichte 5,5 mm/s in der Epizentralentfernung von 6,4 km. Drei Messstationen liegen in geringeren Entfernungen zwischen 3,2 km und 3,4 km (TRFTS, GRO1S und BGR3). An diesen wurden Werte zwischen 2,2 mm/s und 4,9 mm/s gemessen. Alle weiteren Messungen erfolgten in größeren Entfernungen und erreichten Werte bis 0,5 mm/s.

Tabelle 4: Bodenschwinggeschwindigkeiten an den Erschütterungsmessstationen TRFTS, GRO1S und HB6S entsprechend DIN4150 sowie den Stationen BGR3, ZURM und DEEL, die vorwiegend der detaillierten seismologischen Auswertung dienen, in Epizentralentfernungen bis 10 km.

Station	Entfernung (km)	PGV (mm/s)
TRFTS	3,2	3,2
GRO1S	3,3	4,9
BGR3	3,4	2,2
ZURM	6,4	5,5
HB6S	7,8	0,5
DEEL	9,1	<0,1

Die gemessenen Bodenschwinggeschwindigkeiten werden im Folgenden anhand der Anhaltswerte der DIN 4150 bewertet. Sie gibt als Anhaltswert für Schwinggeschwindigkeiten, unterhalb dem nicht mit Schäden an üblichen Wohngebäuden zu rechnen ist, 5 mm/s an. An den Stationen ZURM in Intschede und GRO1S im Rathaus Langwedel wurde dieser Wert leicht überschritten bzw. nahezu erreicht. Da die PGV-Messungen nicht flächenhaft registriert werden, ist es möglich, dass an einigen Orten zwischen den Messstationen etwas höhere Schwinggeschwindigkeiten aufgetreten sind. Ausgehend von der Überschreitung des Anhaltswerts von 5 mm/s der DIN 4150 erscheint es möglich, dass an einigen Gebäuden vorrangig empfindlicher Bauart Schäden durch die Erschütterungswirkung entstanden sein können. Dies ist eine allgemeine Einschätzung, die allein auf den Messwerten und dem genannten Anhaltswert basiert. Da Bewertungen durch Bausachverständige für die Schadensmeldungen nicht vorliegen, kann die Frage nach deren Ursache letztendlich nicht beantwortet werden (vgl. Abschnitt *Makroseismische Auswertung*).

Die PGV-Werte zeigen keine kontinuierliche Abnahme der Bodenschwinggeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung. Stattdessen wird für Standorte in ähnlichen Entfernungen eine hohe Variabilität beobachtet. Zum Beispiel ist die Bodenschwinggeschwindigkeit an der Station

GRO1S mit 4,9 mm/s mehr als doppelt so hoch wie diejenige an der Station BGR3 mit 2,2 mm/s. Physikalischen Modellen entsprechend werden solche Abweichungen mit kleinräumigen Unterschieden des oberflächennahen Untergrundes erklärt, die zu lokalen Verstärkungen oder Verminderungen der Schwinggeschwindigkeiten führen können (Standorteffekte, engl.: site effects). Andere Gründe könnten die richtungsabhängige Energieabstrahlung vom Erdbebenherd (Abstrahlcharakteristik) oder Effekte des Bruchverlauf (Direktivität) sein. Auch eine Kombination dieser Effekte ist möglich. Dass die höchste gemessene Schwinggeschwindigkeit in der Allerniederung liegt (Station ZURM) und deutlich über den Werten näherer Stationen (Stationen TRFTS, GRO1S, BGR3) liegt, ist ein Hinweis darauf, dass Standorteffekte im Landkreis Verden berücksichtigt werden müssen.

4 Bewertung der Ergebnisse

4.1 Entwicklungen seit 2012

Die seismische Überwachung wurde in den vergangenen Jahren signifikant verbessert. Das Bergschadenkundliche Beweissicherungssystem (BBS), das durch den Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V. (BVEG) seit 2007 betrieben wird, wurde 2012 intensiv ausgebaut, so dass seit Dezember 2012 zwischen Bremen und Uelzen statt vormals fünf Stationen nun 15 Erschütterungsstationen und sechs Ortungsstationen die seismische Überwachung sicherstellen. Um die Überwachung weiter zu verbessern hat die Deutsche Erdoel AG (DEA) über die Planung des BVEG für das Gesamtnetz hinaus weitere Erschütterungsstationen an den von ihr operierten Erdgasfeldern installiert, zwei davon in Langwedel und Holtebüttel. Nach dem Erdbeben am 22. April 2016 wurden durch die DEA zwei weitere Erschütterungsstationen am Erdgasfeld Völkersen installiert. Eine weitere notwendige Verbesserung war 2014 die Erweiterung des BBS auf die vormals nicht detailliert überwachten Erdgasfördergebiete um Cloppenburg, südlich von Oldenburg und im Raum Nienburg (Weser). Verbesserungen wurden auch im Überwachungsnetz der BGR erzielt.

Dieser intensive Stationsausbau ermöglicht heute eine sehr viel genauere Bestimmung der Epizentren und erstmalig auch die routinemäßige Bestimmung verlässlicher Herdtiefen. Damit ist die Zuordnung zu einem bestimmten Erdgasfeld in vielen Fällen erst ermöglicht worden und für Völkersen eindeutig gesichert. Für das Beben am 22. April konnte die Lokalisierungsgenauigkeit von nur einem Kilometer erreicht werden. Es ist damit möglich geworden, Informationen über die Lage der Epizentren relativ zu den inneren Strukturen des Feldes zu gewinnen. Nicht zuletzt trägt die Erfassung von seismischen Erschütterungen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle des Menschen, die nur von den hochempfindlichen Messgeräten registriert werden können, zu einem besseren Verständnis der Ursachen und zu Modellen zur Gefährdungsabschätzung bei. Solche Detailauswertungen werden in Forschungsprojekten für einzelne Gebiete durchgeführt.

Weitere Verbesserungen wurden bei der Information der Bevölkerung erreicht. Durch den NED im LBEG wird in Pressemitteilungen und auf der Internetseite (www.lbeg.niedersachsen.de/erdbebendienst/) zeitnah über alle spürbaren Erdbeben berichtet. Zur schnellen Information nach einem Erdbeben trägt auch die Internetseite des BVEG (www.seis-info.de) bei. Automatische Erdbebenmeldungen werden dort unmittelbar veröffentlicht und zeitnah durch manuell verbesserte Auswertungen ersetzt. Dass sich unmittelbar nach dem Erdbeben am 22. April 2016 nur wenige Anrufer auf dem Bereitschaftstelefon gemeldet haben, ist im Vergleich zu den Erfahrungen früherer Erdbeben ähnlicher Stärke überraschend, ist aber wahrscheinlich auf das verbesserte Informationsangebot zurückzuführen.

Durch das Land Niedersachsen wurde im Sommer 2014 die Schlichtungsstelle Bergschaden Niedersachsen im Landkreis Rotenburg (Wümme) eingerichtet. Gegründet wurde sie als Folge des Völkersen-Bebens 2012. Damals wurden über einhundert Gebäudeschäden angezeigt. In

vielen Fällen war es nicht möglich, die Schadensursache nachzuweisen. Es konnte nicht ausgeschlossen werden, dass durch die Erschütterungen leichte Schäden an Gebäuden entstanden sein könnten. Es konnte andererseits aber auch nicht eindeutig geklärt werden, ob die Schäden auf das Erdbeben zurückzuführen waren. Streitfälle wurden vor der Schiedsstelle Bergschaden Niedersachsen verhandelt und es konnten außergerichtliche Einigungen erzielt werden. Die Schlichtungsstelle Bergschaden Niedersachsen ist als unabhängige Einrichtung errichtet worden und wird als solche von Bürgern und Unternehmen akzeptiert.

4.2 Instrumentelle Auswertung des Bebens am 22. April 2016

An der Erdgaslagerstätte Völkersen wurden insgesamt 16 Erdbeben im Magnitudenbereich von 0,5 bis 3,1 registriert, zuletzt am 15. November 2016 ein Erdbeben der Magnitude 2,5. Acht Beben erreichten Magnituden oberhalb von 1,8 und konnten von der lokalen Bevölkerung als Erschütterungen wahrgenommen werden. Das Erdbeben am 22. April wird mit einer Lokalmagnitude (M_L) von 3,1 bewertet und ist damit das stärkste am Erdgasfeld Völkersen. Das bis dahin stärkste Beben der Magnitude 2,9 ereignete sich 2012 und sorgte ebenfalls für hohe öffentliche Aufmerksamkeit. Ähnlich starke Beben traten 2014 an der Erdgaslagerstätte Goldenstedt/Visbek bei Emstek (M_L 3,1) und 2014 an der Erdgaslagerstätte Klosterseelte/Kirchseelte/Ortholz bei Syke (M_L 3,2) auf. Im Gebiet der Erdgasförderung Norddeutschlands ereigneten sich insgesamt sechs Beben mit Magnituden größer als 3,0.

Das Erdbeben am 22. April 2016 wird innerhalb der Erdgaslagerstätte Völkersen lokalisiert. Die Herdtiefe wird instrumentell mit 4,1 km +/- 1,4 km berechnet und liegt damit im Niveau des Reservoirs. Der Herdmechanismus zeigt einen für die norddeutschen Erdgasfördergebiete typischen Abschiebungsmechanismus. Als Streichrichtung kommt eine NNW-SSO- oder N-S-streichende Bruchfläche infrage. Solche Richtungen stimmen mit bekannten Streichrichtungen tektonischer Störungen an der Lagerstätte Völkersen überein. Der Zusammenhang des Bebens mit der Erdgasförderung wird unter anderem daher als sehr wahrscheinlich eingestuft. Eine ausführlichere Begründung für diese Einschätzung des Zusammenhangs zwischen der Erdgasförderung und der Seismizität gibt der Bericht zum Erdbeben bei Völkersen am 22. November 2012 (Bischoff et al., 2013).

Es ist festzustellen, dass die letzten Frac-Maßnahmen in der Lagerstätte Völkersen im Juni 2011 durchgeführt wurden. Schon aufgrund des zeitlichen Abstands sind sie als Ursache für das Erdbeben am 22. April 2016 daher auszuschließen. Lagerstättenwasser wird im Erdgasfeld Völkersen nicht versenkt. Auch in der Vergangenheit wurde in dieser Region kein Lagerstättenwasser in der Tiefe des Hypozentrums versenkt, so dass hiermit zusammenhängende Prozesse ebenfalls als Ursache auszuschließen sind.

Als Ursache kommt vielmehr die Druckabsenkung in der Lagerstätte in Betracht. Infolge der Gasentnahme werden die gasführenden Gesteinsformationen der Lagerstätte kompaktiert. An Übergangsbereichen zu Gesteinen, die nicht oder weniger stark kompaktiert werden, führt dies

zur Veränderung des Spannungsfelds im tiefen Untergrund. Solche Übergangsbereiche mit unterschiedlich starker Verformung können am Rand der Lagerstätte liegen oder ungleichartige Teilbereiche innerhalb der Lagerstätte voneinander abgrenzen. Wird durch den Spannungsaufbau die Scherfestigkeit des Gebirges überschritten, kann die Spannung durch die Reaktivierung vorhandener Störungen durch ein seismisches Ereignis impulsartig abgebaut werden. Zwischen dem Beginn der Förderung aus der Erdgaslagerstätte Völkersen 1994 und dem ersten dort lokalisierten seismischen Ereignis 2008 besteht eine Zeitdifferenz von 14 Jahren. Dies deutet darauf hin, dass sich Spannungen im Untergrund über viele Jahre akkumulieren können, ehe sie seismisch freigesetzt werden. Weitere Erdbeben in der Größenordnung bisher beobachteter Stärke sind daher nicht auszuschließen.

4.3 Auswirkungen des Bebens am 22. April 2016

Das Erdbeben wurde von der Bevölkerung als starke Erschütterung wahrgenommen. Über den makroseismischen Fragebogen gingen 144 Erschütterungsmeldungen aus Entfernungen bis 13 km im LBEG ein. Sie stammen überwiegend aus dem Flecken Langwedel und aus Teilen der Stadt Verden und sind konsistent zum instrumentell bestimmten Epizentrum.

Die makroseismischen Beschreibungen legen nahe, dass nach EMS-98 die Intensität V erreicht wurde. Für die Bewertung mit der Maximalintensität V spricht der Vergleich mit makroseismischen Auswertungen von Erdbeben ähnlicher Stärke und mit vergleichbaren Herdtiefen wie dem von Syke 2014 (ML 3,2, Herdtiefe 4 km) und Völkersen 2012 (ML 2,9, Herdtiefe 5 km), die Maximalintensitäten von IV bis V bzw. V erreichten. Dagegen sprechen ungefähr 480 Maßnahmen an Gebäuden zur Behebung optischer Schäden. Es wäre daher zu prüfen, ob auch Intensität VI erreicht worden sein könnte. Um die angezeigten Schäden schnell und unbürokratisch zu regulieren wurde seitens der DEA bis auf wenige Ausnahmen darauf verzichtet, sie durch Bausachverständige bewerten zu lassen. Wie Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen, ist es oft schwierig, die Ursache geringfügiger Schäden einwandfrei nachzuweisen. Daher ist die Entscheidung der DEA, auf eine gutachterliche Beurteilung der Schäden im Hinblick auf einen möglichen Zusammenhang mit dem Erdbeben für fast alle gemeldeten Schäden zu verzichten, nachvollziehbar. Damit ist die Datengrundlage zur Festlegung der Maximalintensität unzureichend und letztere kann schließlich nicht festgelegt werden. Insgesamt bewerten wir das Erdbeben bei Völkersen am 22. April 2016 daher mit der Maximalintensität V - VI.

Durch die verbesserte Überwachung stehen für dieses Beben mit sechs Stationen innerhalb der nächsten zehn Kilometer mehr PGV-Messungen zur Verfügung als für frühere Beben. Zur weiteren Verbesserung hat die DEA nach dem Beben zwei weitere Erschütterungsstationen zur Beweissicherung am Erdgasfeld Völkersen installiert. Die gemessenen maximalen Bodenschwinggeschwindigkeiten (PGV) erreichten Werte bis 5,5 mm/s. Der Anhaltswert der DIN 4150 von 5 mm/s, unterhalb dem nicht von Gebäudeschäden auszugehen ist, wurde also

geringfügig überschritten. Leichte nicht-strukturelle Gebäudeschäden durch die Erschütterungswirkung sind demnach nicht ausgeschlossen.

Die Schwierigkeit, dass PGV-Werte nicht flächendeckend erfasst werden können, bleibt bestehen. Die Punktmessungen können nicht auf andere Orte – strenggenommen auch nicht auf Nachbarorte – übertragen werden. Gründe dafür sind mögliche kleinräumige Unterschiede des oberflächennahen Untergrundes (Standorteffekte), die zu lokalen Verstärkungen oder Verminderungen der Schwinggeschwindigkeiten führen können. Andere Gründe sind die richtungsabhängige Energieabstrahlung vom Erdbebenherd (Abstrahlcharakteristik) und Effekte des Bruchverlaufs (Direktivität). Eine hohe Variabilität der Schwinggeschwindigkeiten wurde aus bisherigen PGV-Messungen für den Raum Langwedel nachgewiesen. Die erhöhte Schwinggeschwindigkeit in der Allerniederung deutet auf lokale Verstärkungseffekte durch Sedimentablagerungen mit langsamen Scherwellengeschwindigkeiten. Für verlässliche Ableitungen von PGV-Werten zwischen den Messpunkten ist es notwendig, ein besseres Modell des oberflächennahen Untergrundes im betroffenen Gebiet zu erstellen, das lokale Heterogenitäten berücksichtigt.

Literatur

Baldschuhn, R., Binot, F., Fleig, S., Kockel, F., 2001: Geotektonischer Atlas von Nordwestdeutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor. Geologisches Jahrbuch, A 153, Stuttgart (Schweizerbart), 95 S.

Bischoff, M., Bönnemann, C., Fritz, J., Gestermann, N., Plenefisch, T., 2013: Untersuchungsergebnisse zum Erdbeben bei Völkersen (Landkreis Verden) am 22.11.2012. LBEG / BGR. Hannover, 60 S.

Grünthal, G. (Hrsg.), 1998: European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 S.

LBEG, 2013: Geotektonischer Atlas 3D (GTA3D) - Das geologische 3D-Modell von Niedersachsen auf Basis des Geotektonischen Atlas, http://nibis.lbeg.de/cardomap3/.

Segall, P., Grasso, J.R. Mossop, A., 1994. Poroelastic stressing and induced seismicity near the Lacq gas field, southwestern France. J. Geophys. Res., 99, 15,423-15,438.

Snoke, J. A., 2003. FOCMEC: FOcal MEChanism determinations, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology (W. H. K. Lee, H. Kanamori, P. C. Jennings, and C. Kisslinger, Hrsg.). Academic Press, San Diego, Chapter 85.12. http://www.geol.vt.edu/outreach/vtso/focmec/.

Anhang

Ahang 1 - Europäische Makroseismische Skala (EMS-98)

Die Kurzform der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98, Grünthal et al., 1998) stellt eine sehr starke Vereinfachung und Generalisierung der ausführlichen Fassung dar. Sie ist ausdrücklich nicht dafür geeignet, einzelnen Beobachtungen Intensitäten zuzuordnen.

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 Dachsimse 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	verwüstet	Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört.
XII	vollständig verwüstet	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

Ahang 2 - Tabelle der verwendeten Stationen

Tabelle der verwendeten Stationen. Angegeben sind die Koordinaten und die Orte der Stationen, die im Bericht nur mit ihrem Stationsnamen genannt sind. Informationen zu Stationen des Bergschadenkundlichen Beweissicherungssystems (BBS) des Bundesverbands Erdöl, Erdgas und Geoenergie e.V. (BVEG) werden durch den BVEG bereitgestellt.

Stationsname	**geogr. Breite (° Nord)**	**geogr. Länge (° Ost)**	**Ort**
BGR3	53,02	9,25	Völkersen
BSEG	53.94	10.32	Bad Segeberg
CHRS	51.61	10.82	Christianenhaus
CLZ	51.84	10.37	Clausthal-Zellerfeld
DEEL	52,96	9,31	Deelsen
GOLD	52.92	9.43	Goldborn
GTTG	51.55	9.96	Göttingen
IGAD	53.26	8.69	Garlstedt
KAST	51,20	8,41	Schmallenberg
RETH	52.74	9.36	Rethem
SYKE	52.88	8.88	Syke
ZURM	52,95	9,17	Intschede