

Monika Bischoff
Nicolai Gestermann
Michael Pasternak
Thomas Plenefisch
Ayk Schindewolf



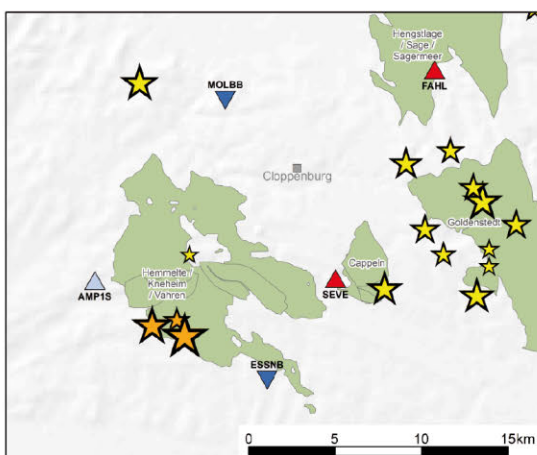
Landesamt für
Bergbau, Energie
und Geologie



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

Bericht zu den Erdbeben bei Lastrup (LK Cloppenburg) im September und Oktober 2018, $M_L \leq 3,6$

Seismologische Auswertung



Hannover, Februar 2019

Abbildung Frontseite

Karte von Erdbeben (Sterne) im Gebiet zwischen Cloppenburg, Oldenburg und Vechta und der zum Zeitpunkt der Erdbeben im September und Oktober 2018 (orange Sterne) installierten seismischen Messstationen (Dreiecke). Sie sind unterschieden nach den Betreibern und dem Überwachungsziel (rot: Ortungsstationen BGR; dunkelblau: Ortungsstationen BVEG; hellblau: Erschütterungsstationen BVEG). Die produktiven Erdgaslagerstätten sind dunkelgrün markiert.

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
(LBEG)

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Roh-
stoffe (BGR)

**Bericht zu den Erdbeben bei
Lastrup (LK Cloppenburg)
im September und Oktober 2018,
 $M_L \leq 3,6$**

Seismologische Auswertung

Sachbearbeiter: Monika Bischoff¹, Nicolai Gestermann²,
Michael Pasternak¹, Thomas Plenefisch²,
Ayk Schindewolf¹
¹ LBEG, ² BGR

Datum: Februar 2019, korrigierte Fassung vom 12. September 2019

Seiten: 28

Anhang: 1

TK 25: 3113, 3114, 3213, 3214

Archiv-Nr.:

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
1 Einleitung	8
2 Erdbeben bei Lastrup im September und Oktober 2018	9
2.1 Erdbeben oberhalb der Wahrnehmungsschwelle ($2,1 \leq M_L \leq 3,6$)	9
2.2 Erdbeben unterhalb der Wahrnehmungsschwelle	10
2.3 Frühere Seismizität im Gebiet um Cloppenburg, Oldenburg und Vechta	12
3 Erdgasfördergebiet östlich von Lastrup	14
4 Auswirkungen an der Erdoberfläche	17
4.1 Makroseismik	17
4.2 Bodenschwinggeschwindigkeiten	21
4.3 Einwirkungen auf Gebäude	23
5 Bewertung der Ergebnisse	24
Literatur	27
Anhang	28
Anhang 1 - Europäische Makroseismische Skala (EMS-98)	28

Zusammenfassung

Am 1. Oktober 2018 um 02:28 Uhr lokaler Zeit ereignete sich im Bereich der Erdgaslagerstätten Hemmelte, Hemmelte/Kneheim/Vahren und Kneheim im Landkreis Cloppenburg ein Erdbeben mit der Lokalmagnitude (M_L) von 3,6. Das Epizentrum des Erdbebens liegt ca. sechs Kilometer südöstlich von Lastrup. Es wurde eine Herdtiefe von vier Kilometern bestimmt. In demselben Gebiet ereigneten sich im September und Oktober 2018 drei weitere Erdbeben mit Lokalmagnituden (M_L) zwischen 2,1 und 3,6 sowie 30 sehr schwache Erdbeben unterhalb der Wahrnehmungsschwelle mit Magnituden zwischen 0,4 und 1,5. Grundlage der Untersuchungen dieser Erdbeben bilden zum einen die instrumentellen seismologischen Daten von Bund, Ländern und der erdgasfördernden Industrie, zum anderen die Beobachtungen aus der Bevölkerung (Makroseismik).

Erschütterungen durch das Erdbeben am 1. Oktober 2018 (M_L 3,6) wurden von der Bevölkerung stark verspürt. Dem LBEG liegen 221 makroseismische Meldungen aus Entfernungen bis etwa 20 km vor. Die Meldungen stammen überwiegend aus den Ortschaften Lastrup, Essen (Oldenburg) und der Stadt Cloppenburg. Die maximalen Auswirkungen der Erschütterungen werden nach der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98; Grünthal et al., 1998) mit der Intensität IV - V bewertet. Die gemessenen maximalen Bodenschwinggeschwindigkeiten an Erschütterungsstationen und seismologischen Stationen des Bundesverband Erdöl, Erdgas und Geoenergie e. V. (BVEG) sowie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) stützen diese Einschätzung. Der höchste Wert der Bodenschwinggeschwindigkeit an einer Messstation beträgt 12,3 mm/s und wurde aus den Daten an der seismologischen Station ESSNB in einer Entfernung von ca. 6 km abgeschätzt. Entsprechend der DIN 4150 (Deutsches Institut für Normung e.V., 2016) ist davon auszugehen, dass an einigen Gebäuden vorrangig empfindlicher Bauart kleine Schäden durch die Erschütterungswirkung entstanden sein können. Die Variabilität der Bodenschwinggeschwindigkeiten deutet darauf hin, dass im Schüttergebiet Standorteffekte zu berücksichtigen sind.

Bereits am 28. September 2018 um 17:21 Uhr ereignete sich ein Erdbeben mit einer Lokalmagnitude (M_L) von 3,1 im Bereich der Erdgaslagerstätten östlich von Lastrup. Das Epizentrum liegt ca. vier Kilometer südöstlich von Lastrup. Das Erdbeben wurde vereinzelt in der Bevölkerung gespürt. Es liegen 17 Meldungen aus der Bevölkerung vor, die mäßig starke Erschütterungen beschreiben. Die Auswirkungen werden nach EMS-98 mit der Intensität IV bewertet. Die höchste gemessene Bodenschwinggeschwindigkeit wird mit 4,2 mm/s an der Station ESSNB bestimmt.

Ein weiteres Erdbeben mit einer Lokalmagnitude (M_L) von 2,5 wurde am 18. Oktober 2018 ebenfalls im Bereich der Erdgaslagerstätten östlich von Lastrup lokalisiert. Das Epizentrum liegt etwa 4 km östlich von Lastrup. Es liegen 15 Meldungen aus der Bevölkerung vor, die schwache Erschütterungen beschreiben. Die Meldungen lassen den Schluss zu, dass eine Intensität von III erreicht wurde. Die höchste gemessene Bodenschwinggeschwindigkeit beträgt 1 mm/s an der Station ESSNB.

Aufgrund der Lage der Epizentren und der geringen Herdtiefen von vier bis sechs Kilometern im Niveau der Erdgaslagerstätten ist ein Zusammenhang mit der Erdgasförderung sehr wahrscheinlich. Aufgrund der Förderhistorie, der hohen Produktion und der Größe des Feldes kommt als wahrscheinlichste Ursache die Druckabsenkung durch die Förderung aus der größten der Lagerstätten in diesem Gebiet, der Zechstein-Lagerstätte Hemmelte/Kneheim/Vahren, in Betracht. Durch Spannungsänderungen als Folge der Erdgasförderung könnten Schwächezonen eines prominenten Northwest-Südost streichenden Störungssystems reaktiviert worden sein.

An den Erdgaslagerstätten Hemmelte, Hemmelte/Kneheim/Vahren und Kneheim wurden keine Frac-Maßnahmen durchgeführt. Frac-Maßnahmen sind daher als Ursache für die Erdbeben auszuschließen. Auch wird Lagerstättenwasser in den Erdgasfeldern nicht versenkt, so dass hiermit zusammenhängende Prozesse ebenfalls als Ursache auszuschließen sind.

1 Einleitung

Im September und Oktober 2018 ereigneten sich innerhalb von drei Wochen vier Erdbeben mit Lokalmagnituden (M_L) zwischen 2,1 und 3,6 östlich bis südöstlich von Lastrup im Landkreis Cloppenburg. Das stärkste Erdbeben ereignete sich in der Nacht zum 1. Oktober 2018 um 02:28 Uhr lokaler Zeit. Drei Tage zuvor, am 28. September 2018, ereignete sich nahezu am selben Ort ein Erdbeben mit Lokalmagnitude 3,1. Eine so kurze Folge von Erdbeben dieser Stärke wurde in Niedersachsen zuvor noch nicht beobachtet. Weitere Besonderheiten sind ein Erdbeben der Magnitude 2,1, das sich nur zwei Minuten vor dem stärksten Erdbeben ereignete, und ein Erdbeben der Magnitude 2,5 am 18. Oktober 2018 ebenfalls an demselben Ort.

Berichten aus der Bevölkerung zufolge wurden Erschütterungen sowohl für das Erdbeben im September 2018 als auch für die Erdbeben am 01. und 18. Oktober 2018 verspürt. Vor allem das stärkste Erdbeben wurde im Epizentrum und den umliegenden Orten als starke Erschütterung wahrgenommen. Es wurde bis in Entfernungen von etwa 20 km verspürt. In den Wochen nach den Erdbeben wurden Schäden an Häusern festgestellt und mit den Erdbeben in Verbindung gebracht.

Eine detaillierte Auswertung und eine ausführliche Bewertung der Erdbeben im September und Oktober 2018 bei Lastrup werden in diesem Bericht vorgelegt. Zur abschließenden Auswertung der Erdbeben werden Daten von seismischen Messstationen herangezogen, die noch nicht in Echtzeit an das Datenzentrum angebunden sind und daher nicht unmittelbar nach dem Beben zur Verfügung standen. Die Auswertung der Beobachtungen aus der Bevölkerung konnte erst nach vollständiger Erfassung über den Internet-Fragebogen erfolgen. Zur Verbesserung der Genauigkeit der Lokalisierung werden aufwändigere Analysen durchgeführt.

Die Epizentren der untersuchten Erdbeben werden im Gebiet der Erdgasförderung östlich von Lastrup lokalisiert. Aufgrund der Lage der Erdbeben und der Kenntnis von induzierten Erdbeben in anderen Erdgasfördergebieten in Niedersachsen ist ein Zusammenhang mit der Erdgasförderung in der Region für diese Erdbeben sehr wahrscheinlich. Einen Schwerpunkt des vorliegenden Berichts bildet daher die Untersuchung dieses Zusammenhangs (Kap. 2 und 3). Dazu gehören detaillierte Auswertungen der Ortslagen und der Herdtiefen der Erdbeben und Bewertungen der Produktionshistorie sowie weiterer Maßnahmen, die im Zusammenhang mit der Erdgasförderung stehen. Als Hintergrundinformation und Übersicht zur Seismizität in Norddeutschland mit dem Schwerpunkt auf den Erdgasförderregionen verweisen wir auf den Bericht zum Erdbeben bei Völkersen (Bischoff et al., 2013). Dort sind die auch hier verwendeten Auswertemethoden erläutert. Dieser Bericht steht auf der Internet-Seite des NED im LBEG zur Verfügung (<http://www.lbeg.niedersachsen.de/Erdbebendienst/>).

Wesentliches Merkmal der öffentlichen Diskussion im Zusammenhang mit induzierten Erdbeben sind mögliche Schäden an Bauwerken. Einen zweiten Schwerpunkt dieses Berichts bildet daher die Bewertung der Auswirkungen der Erschütterungen an der Oberfläche (Kap. 4).

2 Erdbeben bei Lastrup im September und Oktober 2018

2.1 Erdbeben oberhalb der Wahrnehmungsschwelle ($2,1 \leq M_L \leq 3,6$)

Erstauswertungen der spürbaren Erdbeben erfolgten umgehend durch den seismologischen Bereitschaftsdienst, der in fachlicher Kooperation von LBEG und BGR für Niedersachsen zeitnah Informationen bereitstellt. Es wurde über Pressemitteilungen sowie auf Anfrage telefonisch und per Email sehr zeitnah durch das LBEG informiert. Die Erstlokalisierungen sind auf der Webseite des NED veröffentlicht.

Für die in diesem Bericht verwendeten Ortungen der Erdbeben werden zusätzlich Daten der nahegelegensten Stationen des Bergschadenkundlichen Beweissicherungssystems (BBS) des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie (BVEG) genutzt. Es werden gut messbare Phaseneinsätze vorwiegend an Stationen im Norddeutschen Becken gemessen. Dabei wird vor allem auf eine gute und gleichmäßige azimutale Abdeckung geachtet. Um den Bereich südlich des Epizentrums abzudecken, werden weitere Stationen des GRSN genutzt. Die am weitesten entfernten Stationen, in etwa 180 km Entfernung, sind GTTG und CLZ. Es werden die Lokalisierungsprogramme LOCSAT und HYPOSAT und Geschwindigkeitsmodelle für Norddeutschland verwendet.

Die Epizentren liegen etwa zwischen 3 km und 6 km östlich bis südöstlich von Lastrup und etwa sechs Kilometer nördlich von Essen (Oldenburg) im Landkreis Cloppenburg (Abb. 1). In diesem Gebiet wird Erdgas aus mehreren Lagerstätten gefördert (Kap. 2). Die Herdtiefen von ca. 4 km bis 7 km entsprechen dem Tiefenniveau der dortigen Erdgaslagerstätten von etwa 3 km bis 4 km. Ein Zusammenhang der Erdbeben mit der Erdgasförderung ist daher sehr wahrscheinlich.

Die Ergebnisse der Lokalisierung sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Lokalisierungen der spürbaren Erdbeben bei Lastrup im September und Oktober 2018. Δxy und Δz geben dabei die Lokalisierungsgenauigkeiten in horizontaler und vertikaler Richtung an. Für das Erdbeben am 01.10.2018 um 02:26 Uhr wurde die Herdtiefe festgesetzt. Dies ist durch ein „f“ markiert.

Datum (Lokalzeit)	Herdzeit (Lokalzeit)	geogr. Breite (°Nord)	geogr. Länge (°Ost)	Herdtiefe (km)	Δxy (km)	Δz (km)	Magni- tude M_L
28.09.2018	17:21:53	52,77	7,91	7	2	4	3,1
01.10.2018	02:26:29	52,78	7,94	5f	2	-	2,1
01.10.2018	02:28:08	52,77	7,94	4	2	1	3,6
18.10.2018	01:56:16	52,77	7,94	4	2	1	2,5

2.2 Erdbeben unterhalb der Wahrnehmungsschwelle

Durch das seismische Messnetz (Bergschadenkundliches Beweissicherungssystem, BBS) der Erdgasförderunternehmen wurden durch DMT östlich von Lastrup im September und Oktober 2018 weitere, sehr schwache Erdbeben detektiert. Sie werden ebenfalls dem Erdgasfördergebiet östlich von Lastrup zugeordnet. Sie hatten sehr kleine Magnituden und lagen deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle. Ein weiteres Erdbeben unterhalb der Wahrnehmungsschwelle wurde 2017 durch das BBS detektiert. Für das Verständnis der Prozesse, die zu induzierten Erdbeben führen, ist ihre Auswertung von hoher Bedeutung. Die folgende Tabelle 2 listet diese durch DMT mit den seismischen Messstationen des Bergschadenkundlichen Beweissicherungssystems detektierten Erdbeben auf. Aufgrund der geringen Stärken können keine genauen Lokalisierungen angegeben und Magnituden nur grob abgeschätzt werden. Vollständig ist die Detektion für Erdbeben ab Magnituden von etwa 1,5.

Tabelle 2: Herdzeiten und abgeschätzte Lokalmagnituden der durch DMT anhand des Bergschadenkundlichen Beweissicherungssystems (BBS) detektierten Erdbeben bei Lastrup unterhalb der Wahrnehmungsschwelle.

Datum (Lokalzeit)	Herdzeit (Lokalzeit)	Magnitude M_L
20.09.2017	04:27:18	1,5
28.09.2018	17:23:12	1,3
28.09.2018	17:36:30	1,0
28.09.2018	17:55:20	0,9
28.09.2018	18:18:04	0,9
28.09.2018	19:07:14	0,9
28.09.2018	22:15:16	0,8
29.09.2018	01:13:01	1,1
29.09.2018	03:04:02	0,6
29.09.2018	06:38:34	1,5
29.09.2018	07:09:08	1,1
29.09.2018	07:17:08	1,3
29.09.2018	07:47:00	1,4
29.09.2018	08:34:49	0,6

29.09.2018	21:28:05	0,6
30.09.2018	08:50:15	1,2
01.10.2018	02:27:37	1,4
01.10.2018	02:30:21	1,2
01.10.2018	02:30:50	1,3
01.10.2018	02:31:37	0,9
01.10.2018	02:32:23	1,2
01.10.2018	02:32:35	0,8
01.10.2018	02:36:27	0,9
01.10.2018	02:37:40	0,8
01.10.2018	02:38:17	0,8
01.10.2018	02:42:19	0,6
01.10.2018	02:45:13	0,7
01.10.2018	03:02:22	0,4
01.10.2018	03:10:28	0,7
18.10.2018	01:59:21	0,7
18.10.2018	02:32:14	0,4

2.3 Frühere Seismizität im Gebiet um Cloppenburg, Oldenburg und Vechta

Bereits vor den Erdbeben im September und Oktober 2018 bei Lastrup wurde im Großraum um Cloppenburg, Oldenburg und Vechta Seismizität aufgezeichnet, die wahrscheinlich im Zusammenhang mit der Erdgasförderung steht (Abb. 1). Das erste Erdbeben ereignete sich 1993 und wurde ca. 10 km nordwestlich von Cloppenburg lokalisiert. Seit dem Beginn der instrumentellen Registrierung 1977 bis heute sind es insgesamt 22 Erdbeben, davon 19 mit Magnituden oberhalb von 1,9, d.h. oberhalb der abgeschätzten Wahrnehmungsschwelle. Das Erdbeben am 1. Oktober 2018 war mit der Magnitude von 3,6 das stärkste in diesem Gebiet.

Für frühere Lokalisierungen müssen geringere Lokalisierungsgenauigkeiten angenommen werden als heute. Grund dafür ist die damals deutlich geringere Stationsüberdeckung. Lokale Stationen im Nahbereich der Erdbeben wurden im Großraum Cloppenburg zuerst 2014 durch die BGR installiert. Eine weitere Verbesserung folgte 2016 durch die Erweiterung des Stationsnetzes des BVEG im Auftrag der erdgasfördernden Unternehmen. Die seitdem registrierten Erdbeben können mit Genauigkeiten der Epizentren (einfache Standardabweichung) von mindestens ± 2 km bestimmt werden. Für Lokalisierungsgenauigkeiten vor 2014 muss von ± 5 km ausgegangen werden, in Einzelfällen können sie bis ± 20 km betragen. Eine Zuordnung von Erdbeben zu einzelnen Lagerstätten ist daher nicht immer möglich.

Nachgewiesen sind Erdbeben für die Erdgasfelder Hengstlage, Goldenstedt/Visbek und Hemmelte/Kneheim/Vahren. Für das letztgenannte erfolgt eine eindeutige Zuordnung seismischer Ereignisse zur Erdgasförderung erstmals aufgrund der in diesem Bericht beschriebenen detaillierten Auswertung. Detaillierte, neue Analysen früherer Erdbeben in der Umgebung dieser Erdgasfelder wurden durch die Förderunternehmen beauftragt. Die Neubewertungen basieren zum einen auf moderneren Verfahren (z.B. Wellenformvergleichen), zum anderen werden weitere, erst jetzt frei verfügbare Daten hinzugezogen. Es deutet sich an, dass dem Erdgasfeld Hemmelte/Kneheim/Vahren möglicherweise zwei weitere Erdbeben am 7. Mai 1993 und am 2. Juli 2006 mit Magnituden von 2,9 bzw. 2,8 zuzuordnen sein könnten (Walter, 2017) und dieses Erdgasfeld schon seit 25 Jahren seismisch aktiv sein könnte.

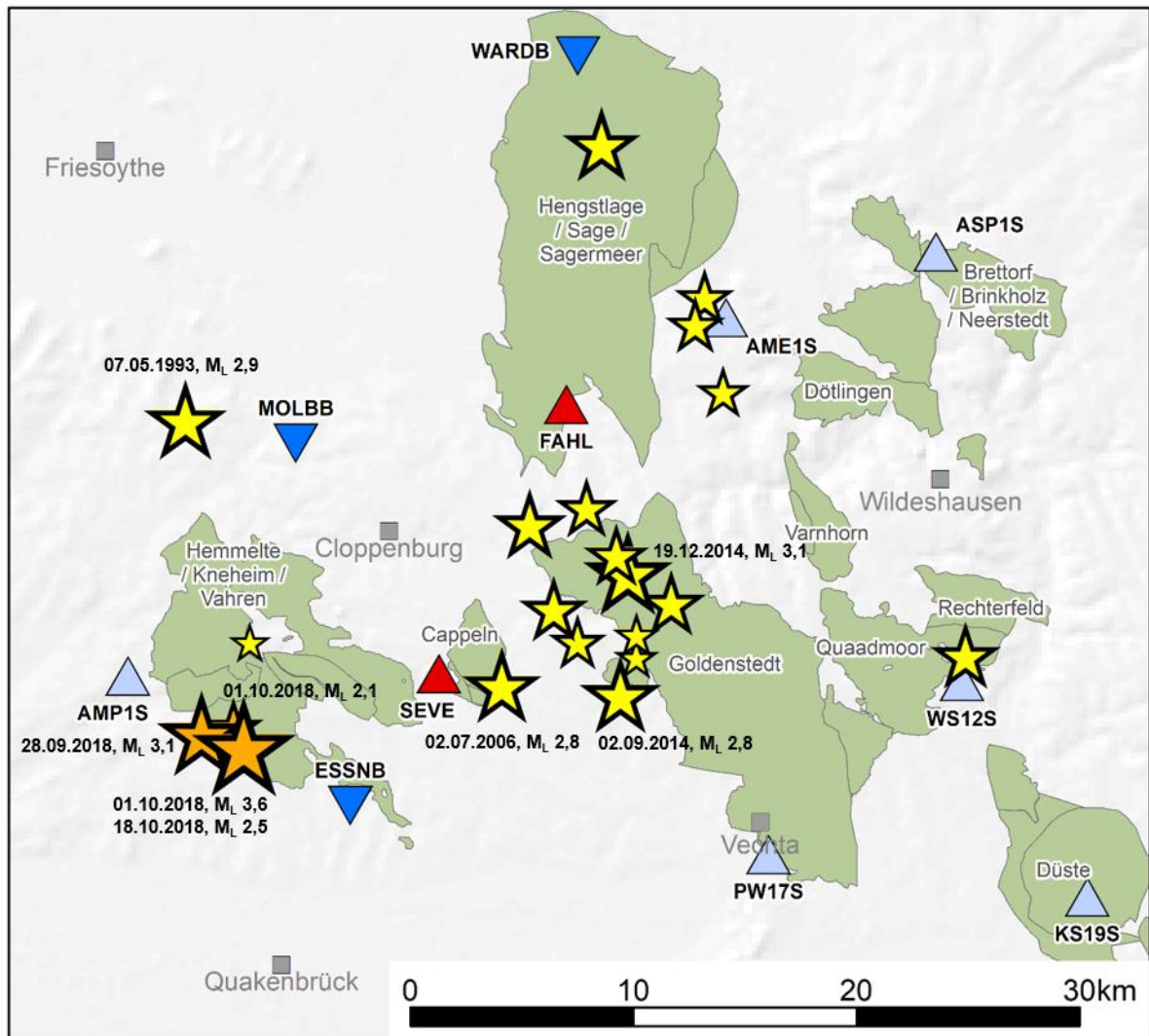


Abbildung 1: Karte aller im Gebiet zwischen Cloppenburg, Oldenburg und Vechta lokalisierten Erdbeben (gelbe Sterne) und der zum Zeitpunkt der Erdbeben im September und Oktober 2018 (orange Sterne) installierten Stationen (Dreiecke) unterschieden nach den Betreibern und dem Überwachungsziel (rot: Ortungsstationen BGR; dunkelblau: Ortungsstationen BVEG; hellblau: Erschütterungsstationen BVEG). Die produktiven Erdgaslagerstätten sind dunkelgrün markiert. Das Erdbeben am 01.10.2018 hatte eine Lokalmagnitude (M_L) von 3,6 und war das stärkste am Erdgasfeld Hemmelte/Kneheim/Vahren. Das Epizentrum des Erdbebens von 18.10.2018 ist durch das Epizentrum des stärksten Erdbebens verdeckt.

3 Erdgasfördergebiet östlich von Lastrup

Die Hypozentren der Erdbeben nahe Lastrup im Zeitraum vom 29. September 2018 bis 18. Oktober 2018 liegen im Bereich der Erdgaslagerstätten Hemmelte (Buntsandstein), Hemmelte/Kneheim/Vahren (Zechstein) und Kneheim (Buntsandstein). Die Erdgaslagerstätten liegen teils übereinander in verschiedenen Horizonten (Abb. 1, Tab. 3). Grundlegende Informationen zu diesen Erdgaslagerstätten können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Kenndaten der Erdgaslagerstätten östlich von Lastrup

Erdgasfeld	Förderhorizont	Förderbeginn	Gesamtförderung (Mrd. m³)	Tiefe der Erdgasfelder (m u. NN)
Hemmelte	Buntsandstein	1975	0,2	2800 – 2950
Hemmelte/Kneheim/Vahren	Zechstein	1984	36,4	3300 – 3750
Kneheim	Buntsandstein	1989	0,2	2200 – 2500

Die Erdgaslagerstätte Hemmelte/Kneheim/Vahren (Zechstein) wurde mit den Explorationsbohrungen Hemmelte-Südost T1 im Jahre 1966, Vahren Z1 im Jahre 1981 und Kneheim Z1 im Jahre 1985 in den Gesteinsschichten des Zechstein in einer Tiefe von etwa 3300 bis 3750 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 gebildete Erdgas im Porenraum darüber liegender Gesteine des Zechstein sammeln und anreichern konnte. Überlagernde, abdichtende Gesteinsschichten, insbesondere Salze, 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.

Der Zechstein ist in dieser Region als eine zyklische Abfolge von Tonsteinen, Karbonaten, Anhydriten und Salzen ausgebildet. An der Basis des zweiten Zyklus ist ein z.T. stark poröses Karbonatgestein, das sogenannte Staßfurt-Karbonat, entwickelt. Dieses Staßfurt-Karbonat stellt in der Erdgaslagerstätte Hemmelte/Kneheim/Vahren (Zechstein) das Reservoirgestein dar und ist dort mehrere Zehner Meter bis mehr als 150 m mächtig.

Geologisch handelt es sich um eine strukturelle Falle. Die Lagerstätte wird zum Teil von tektonischen Störungen begrenzt und ist durch zahlreiche tektonische Störungen zergliedert. Die prominenten Störungen streichen vorzugsweise Nordwest-Südost (Baldschuhn et al., 2001).

Seit dem Fund im Jahre 1966 wurden bis heute mehr als 20 Bohrungen zur weiteren Erkundung und Ausförderung der Lagerstätte durchgeführt. Die regelmäßige Förderung wurde nach

dem Bau der erforderlichen obertägigen Betriebsanlagen 1984 aufgenommen. Die jährliche Fördermenge erreichte 1998 ihr Maximum von etwa 1,9 Mrd. m³ (Abb. 2). Mit dieser jährlichen Fördermenge lag die Lagerstätte damals auf Platz 3 der Rangliste der förderstärksten inländischen Erdgasfelder. In der Folgezeit nahm die Fördermenge ab. 2018 betrug sie noch ca. 0,3 Mrd. m³. Insgesamt wurden bis heute 36,4 Mrd. m³ Erdgas aus der Lagerstätte gefördert. Damit ist diese Lagerstätte eine der größten Erdgaslagerstätten in Niedersachsen. Im Verlaufe des Jahres 2018 standen 11 Bohrungen in Förderung.

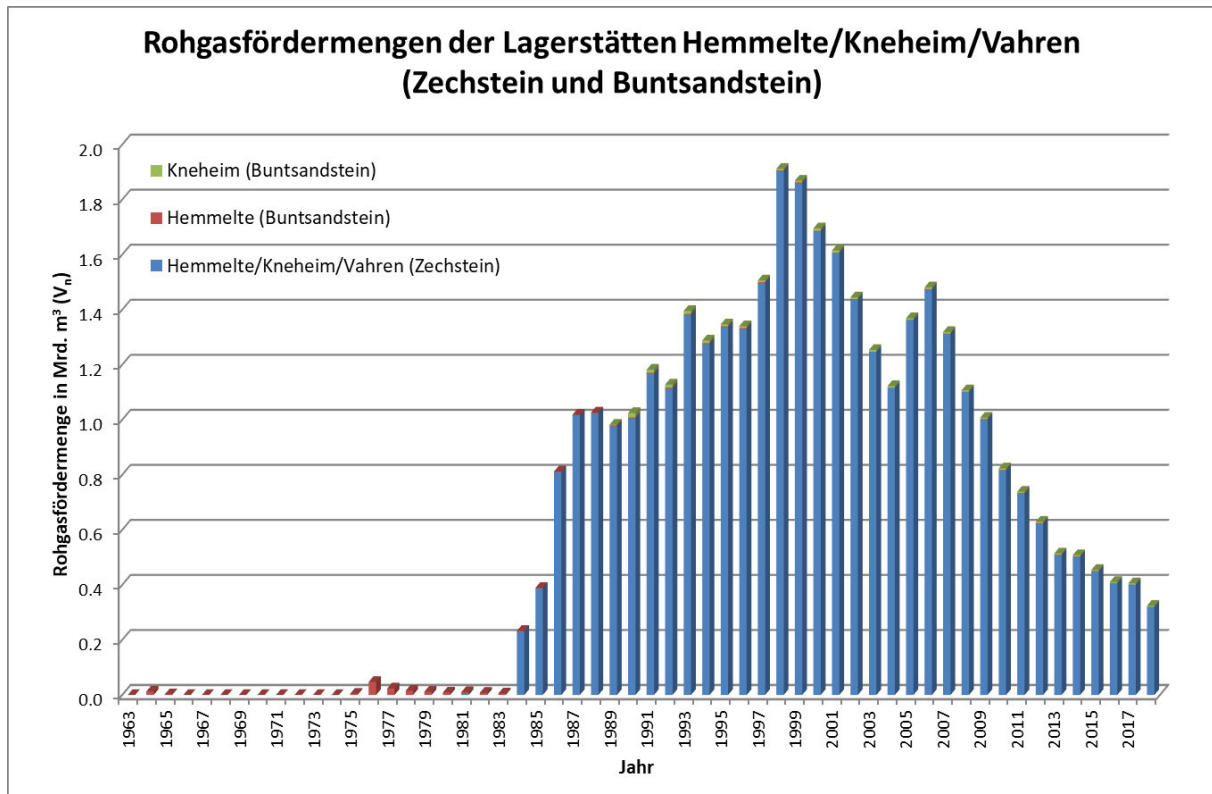


Abbildung 2: Rohgasfördermengen der Lagerstätten Hemmelte/Kneheim/Vahren (Zechstein und Buntsandstein)

Oberhalb der Lagerstätte im Zechstein haben sich in den Gesteinsschichten des Mittleren Buntsandstein die beiden anderen Erdgaslagerstätten gebildet, und zwar in Tiefen von etwa 2800 bis 2950 m u. NN die Lagerstätte Hemmelte (Buntsandstein) und in Tiefen von 2200 bis 2500 m u. NN die Lagerstätte Kneheim (Buntsandstein). Der Mittlere Buntsandstein ist in dieser Region als zyklische Abfolge von Tonsteinen und Sandsteinen ausgebildet. Als Reservoir dieser beiden Lagerstätten dienen mehrere Sandsteine, die unterschiedlichen geologischen Formationen des Mittleren Buntsandstein angehören und in der Summe bis einige Zehner Meter mächtig sind. Überlagernde tonige Gesteine bilden die abdichtenden Gesteinsschichten dieser Lagerstätten in Richtung Erdoberfläche. Die Lagerstätte Hemmelte (Buntsandstein) wurde bereits 1963 mit der Bohrung Hemmelte Z1, die Lagerstätte Kneheim (Buntsandstein)

erst 1988 mit der Bohrung Kneheim Z3 entdeckt. Die regelmäßige Förderung wurde in Hemmelte (Buntsandstein) im Jahr 1975 und in Kneheim (Buntsandstein) im Jahr 1989 aufgenommen. Beide Lagerstätten werden und wurden nur durch ihre Fundbohrung gefördert und sind hinsichtlich der jährlichen Fördermengen und der Gesamtfördermenge verglichen mit der Lagerstätte im Zechstein, aber auch im Vergleich zu den anderen Lagerstätten in Niedersachsen, als sehr klein einzustufen. So wurden aus der Lagerstätte Hemmelte (Buntsandstein) im förderstärksten Jahr 1976 etwa 47 Mio. m³ Erdgas und bis 2018 insgesamt 223 Mio. m³ gefördert. Aus der Lagerstätte Kneheim (Buntsandstein) wurden im förderstärksten Jahr 1990 sogar nur etwa 16 Mio. m³ und bis 2018 insgesamt 201 Mio. m³ gefördert.

Bedingt durch die Tiefenlagen der Lagerstätten im Zechstein wie auch im Buntsandstein stand das Erdgas ursprünglich unter einem Druck von mehreren Hundert Bar. Bei der Förderung von Erdgas wird das Ausdehnungsbestreben des Gases genutzt. Aufgrund dieses Bestrebens fließt das Gas im Porenraum des Gesteins dem Bohrloch zu und wird über das Bohrloch an die Oberfläche geführt. Aufgrund 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. Solche Spannungsänderungen sind geeignet, vorhandene Schwächezonen zu reaktivieren.

Die Lagerstätten liegen an der Nahtstelle zwischen Niedersächsischen Tektogen und Pompeckj'schen Block, wo die Gesteinsschichten des Niedersächsischen Tektogens auf die des Pompeckj'schen Blocks aufgeschoben und z.T. überschoben wurden. In der Folge sind die Gesteinsschichten in diesem Bereich stark gestört. Die prominenten Störungen besitzen vorzugsweise eine Streichrichtung Nordwest-Südost (Baldschuhn et al., 2001). Diese Schwächezonen könnten durch die Spannungsänderungen in Folge der Erdgasförderung reaktiviert worden sein.

4 Auswirkungen an der Erdoberfläche

Grundlage der Auswertung sind die Meldungen der Bevölkerung, die über den makroseismischen Fragebogen auf der Internetseite des LBEG erfasst wurden. Zusätzlich werden die gemessenen Bodenschwinggeschwindigkeiten herangezogen. Anhand eines Vergleichs mit den Anhaltswerten der DIN 4150 (Deutsches Institut für Normung e.V., 2016) kann die Erschütterungswirkung in Bezug auf Schäden an Gebäuden bewertet werden.

4.1 Makroseismik

Erdbeben am 1. Oktober 2018, M_L 3,6

Über den makroseismischen Fragebogen auf der Internetseite des LBEG sind zu diesem Erdbeben 221 Meldungen beim NED eingegangen. Makroseismische Beobachtungen, die aus anderen Quellen, z.B. aus Medienberichten, stammen, werden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt, da dem NED darüber keine vollständigen Informationen vorliegen. Alle 221 Meldungen können zur Bewertung der Auswirkungen des Ereignisses genutzt werden. Sie stammen aus den Landkreisen Cloppenburg (Anzahl Meldungen: 205), Osnabrück (11) und Vechta (5) mit Epizentralentfernungen bis etwa 20 km (Abb. 3).

Die Auswirkungen werden von den meisten Personen als mäßig starke bis sehr heftige Erschütterung bewertet. In den Meldungen wird von klappernden Türen, Fenstern oder Geschirr und verrückten Gegenständen, bis hin zu Möbelstücken, berichtet. Es werden pendelnde Gegenstände oder das Umfallen von Gegenständen in Regalen gemeldet. Elf Meldungen berichten von leichten Schäden. Es wird von sehr geringen Rissen im Innen- oder Außenputz berichtet.

Aus den makroseismischen Meldungen werden räumliche Cluster gebildet und insgesamt sechs Intensitätswerte nach EMS-98 (Grünthal et al., 1998) abgeleitet (Abb. 3):

- Essen (Oldenburg): IV-V
- Lastrup: IV
- Kneheim: IV
- Hemmelte: IV
- Cloppenburg: IV
- Quakenbrück: IV

Für fast alle Cluster wird die Intensität IV nach EMS-98 festgelegt (Abb. 3). Lediglich einzelne Meldungen im Raum Essen (Oldenburg) geben Hinweise, dass lokal die Intensität V erreicht worden sein könnte. Für das Cluster in der Ortschaft Essen (Oldenburg), etwa 5 km südlich des Epizentrums, wird demzufolge der makroseismische Intensitätswert IV-V abgeleitet (Abb. 3, roter Punkt).

Eine Bestimmung von Isoleisten ist nicht möglich. Das Erdbeben vom 01.10.2018 wird insgesamt mit der Maximalintensität IV-V bewertet.

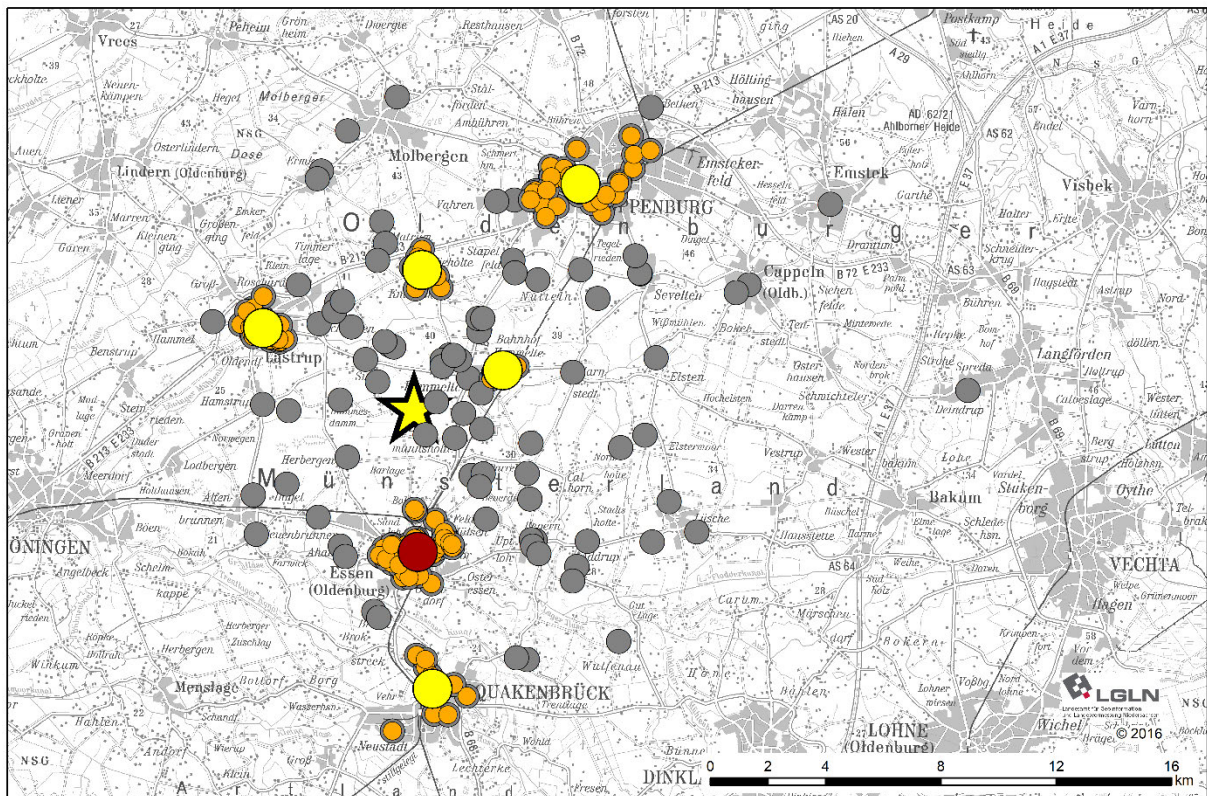


Abbildung 3: Karte aller 221 makroseismischen Meldungen (graue Punkte) für das Erdbeben am 1. Oktober 2018, M_L 3,6. Für sechs Cluster (orange Punkte) konnten Intensitäten (gelbe und rote Punkte) bestimmt werden. Die höchste Intensität von IV-V nach EMS-98 wurde für das Cluster in Essen (Oldenburg) abgeleitet.

Erdbeben am 28. September 2018, M_L 3,1

Das Erdbeben wurde in der örtlichen Bevölkerung nur vereinzelt verspürt. Über den makroseismischen Fragebogen auf der Internetseite des LBEG sind zu diesem Erdbeben 17 Meldungen beim NED eingegangen. Makroseismische Beobachtungen, die aus anderen Quellen, z.B. aus Medienberichten, stammen, werden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt, da dem NED darüber keine vollständigen Informationen vorliegen. Alle 17 makroseismischen Meldungen stammen aus dem Landkreis Cloppenburg aus Epizentralentfernungen von ca. 4 bis 13 km und können für eine Bewertung der Auswirkungen herangezogen werden.

Die makroseismischen Meldungen liegen ausschließlich nordöstlich bis südöstlich des Epizentrums. Vier Meldungen aus Kneheim liegen dem Epizentrum am nächsten mit Entfernungen von ca. 5 km. Fünf Meldungen stammen aus Essen (Oldenburg) aus ca. 6 km Entfernung, wobei eine Meldung angibt, dass das Erdbeben nicht verspürt wurde. Fünf weitere Meldungen liegen in dünn besiedelten Gebieten östlich des Epizentrums. Drei verbliebene Meldungen stammen aus dem Raum Cloppenburg (Abb. 4).

Die Auswirkungen werden von den meisten Personen als schwache bis mäßig starke Erschütterung bewertet (13 Meldungen). In sieben Meldungen wird von mäßig bis sehr stark klappern-dem Geschirr berichtet sowie von mäßig bis starkem Klappern von Türen und Fenstern. Von

sehr gering verschobenen Objekten wird nur in einer Meldung berichtet. Zwei Meldungen berichten von leichten Schäden, die sich auf sehr geringe Risse im Innen- und Außenputz beziehen.

Aufgrund der geringen Anzahl von Meldungen kann keine Festlegung von Intensitätswerten erfolgen, da eine Gruppierung nicht möglich ist. Eine Bewertung der Fragebögen nach der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98) kann daher nur näherungsweise erfolgen. Die makroseismischen Meldungen lassen den Schluss zu, dass lokal eine Intensität IV auf der EMS-98-Skala erreicht wurde. Gegen eine höhere Intensität des Erdbebens spricht die geringe Anzahl von Meldungen aus der Bevölkerung. Das betroffene Gebiet ist zwar als dünnbesiedelt einzuordnen, allerdings ist auffällig, dass aus der Ortschaft Lastrup, 2 km westlich des Epizentrums, keine Meldungen vorliegen. Daher bewerten wir das Erdbeben bei Lastrup am 28.09.2018 mit der Maximalintensität IV.

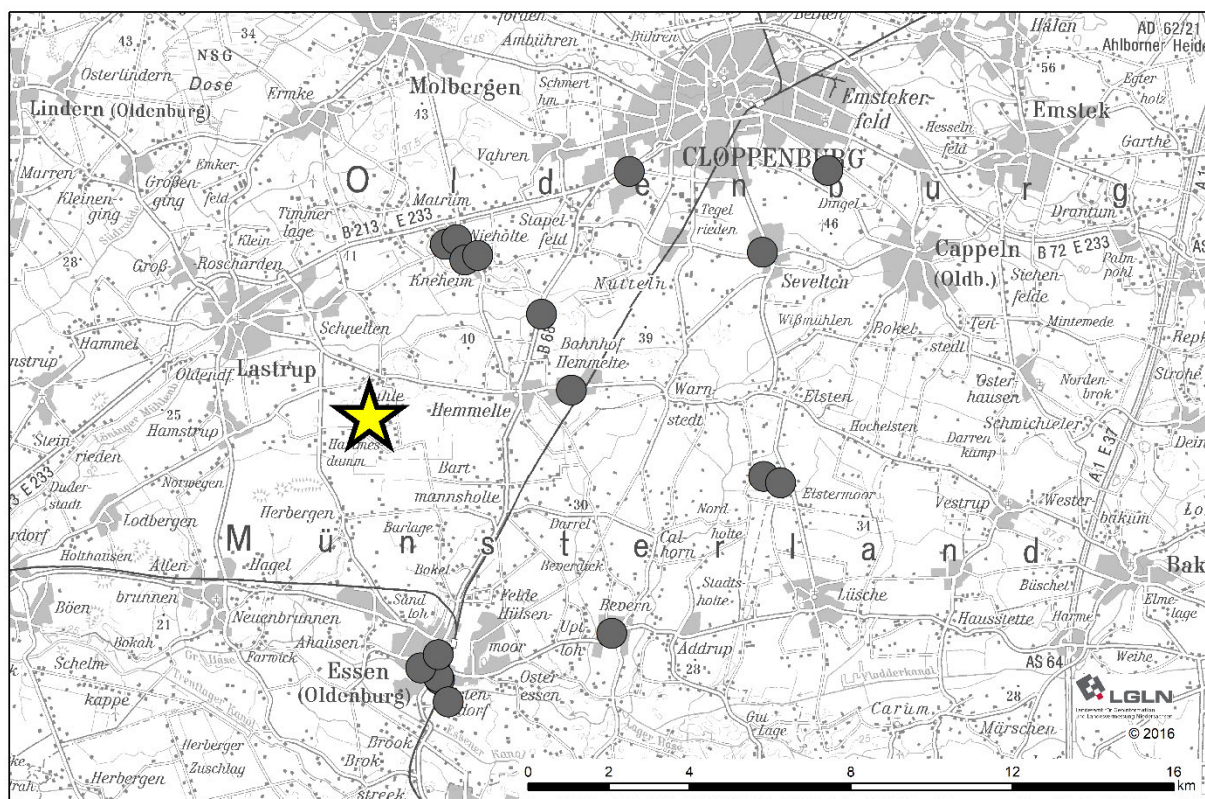


Abbildung 4: Karte der 17 makroseismischen Meldungen (graue Punkte) für das Erdbeben am 28. September 2018, ML 3,1, die über den Internetfragebogen des NED eingegangen sind. Ebenfalls dargestellt ist das instrumentell bestimmte Epizentrum (gelber Stern).

Erdbeben am 18. Oktober 2018, M_L 2,5

Das Erdbeben wurde in der örtlichen Bevölkerung ebenfalls nur vereinzelt verspürt. Über den makroseismischen Fragebogen auf der Internetseite des LBEG sind zu diesem Erdbeben 15 Meldungen beim NED eingegangen. Makroseismische Beobachtungen, die aus anderen Quellen, z.B. aus Medienberichten, stammen, werden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt, da dem NED darüber keine vollständigen Informationen vorliegen. Alle 15 makroseismische Meldungen stammen aus dem Landkreis Cloppenburg aus Epizentralentfernungen von ca. 1 bis 7 km und können für eine Bewertung der Auswirkungen herangezogen werden.

Vier makroseismische Meldungen stammen aus der Ortschaft Lastrup mit einer Entfernung zum Epizentrum von ca. 6 km. Fünf Meldungen liegen in Essen (Oldenburg) mit einer Epizentralentfernung von ca. 5 km. Die sechs verbliebenen Meldungen liegen in dünn besiedelten Gebieten mit Entfernungen von ca. 1 bis 4 km (Abb. 5) zum Epizentrum.

Die Auswirkungen werden von den meisten Personen als sehr schwache bis schwache Erschütterung bewertet (9 Meldungen). Fünf Meldungen berichten von mäßig starken Erschütterungen. Eine Person gibt an, nur ein Geräusch und keine Erschütterungen wahrgenommen zu haben. In zwölf Meldungen wird von sehr geringen bis mäßig klappernden Türen und Fenstern berichtet. In fünf Meldungen wird ein Klappern von Geschirr vernommen. Von sehr gering verschobenen Objekten wird nur in einer Meldung berichtet. In keiner Meldung wird von Schäden berichtet.

Aufgrund der geringen Anzahl von Meldungen kann keine Festlegung von Intensitätswerten erfolgen, da eine Gruppierung nicht möglich ist. Eine Bewertung der Fragebögen nach der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98-Skala) kann daher nur näherungsweise erfolgen. Die makroseismischen Meldungen lassen den Schluss zu, dass lokal eine Intensität III auf der EMS-98-Skala erreicht wurde. Gegen eine höhere Intensität des Erdbebens spricht die geringe Anzahl von Meldungen aus der Bevölkerung. Daher bewerten wir das Erdbeben bei Lastrup vom 18.10.2018 mit einer maximalen Intensität von III.

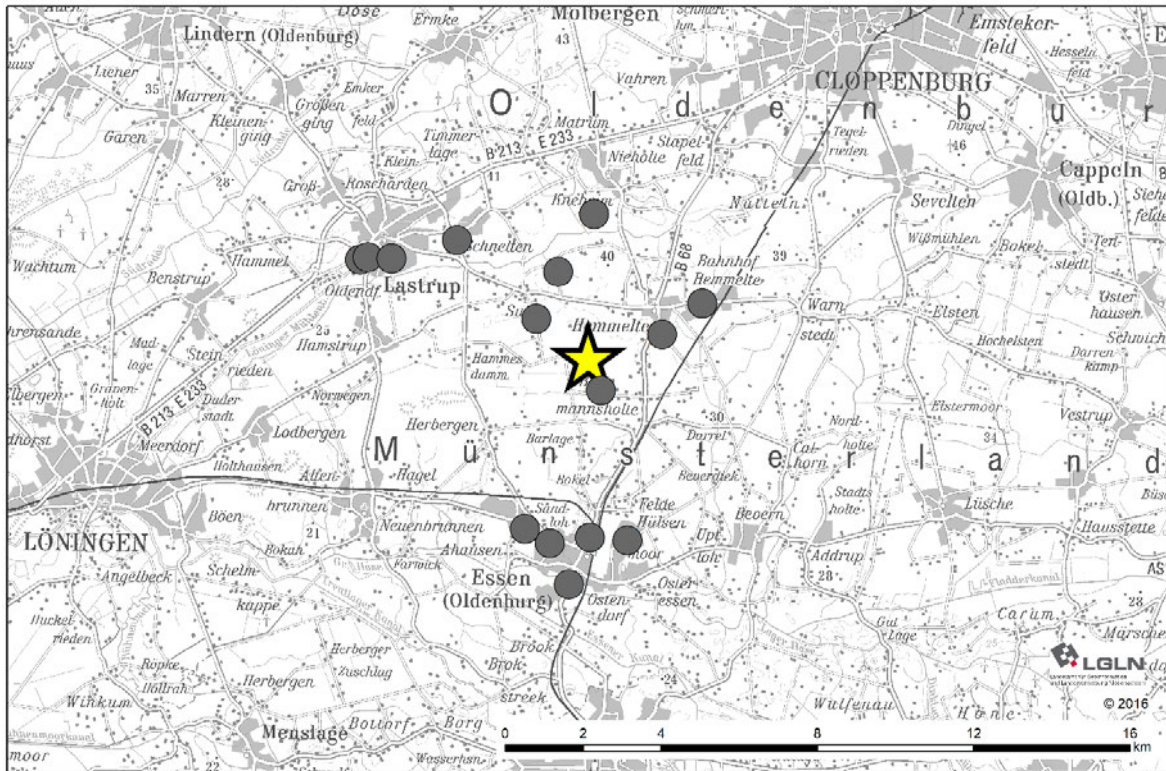


Abbildung 5: Karte der 15 makroseismischen Meldungen (graue Punkte) für das Erdbeben am 18. Oktober 2018, M_L 2,5, die über den Internetfragebogen im NED eingegangen sind. Ebenfalls dargestellt ist das instrumentell bestimmte Epizentrum (gelber Stern).

4.2 Bodenschwinggeschwindigkeiten

Wichtig für die Bewertung von Bodenschwinggeschwindigkeiten sind vor allem Messstationen in geringen Entfernungen zum Epizentrum. Die gemessenen Bodenschwinggeschwindigkeiten (PGV-Werte, engl.: Peak Ground Velocity) der beiden nächstgelegenen Stationen sind für die vier Erdbeben oberhalb von Magnitude 2 in Tabelle 4 aufgeführt. Die Stationen AMP1S und ESSNB gehören zum seismischen Messnetz (BBS) des BVEG. Sie liegen in Epizentralentfernungen von etwa 5 bis 7 km (Abb. 1). Für die Messwerte an BVEG-Stationen wird auf die seitens DMT zur Verfügung gestellten Werte zurückgegriffen. Diese Werte werden entsprechend DIN 45669 bestimmt.

Die größte Bodenschwinggeschwindigkeit an einer Messstation wurde für das Erdbeben am 01.10.2018 (M_L 3,6) an der Ortungsstation ESSNB mit 12,3 mm/s abgeschätzt, da die Registrierung übersteuert ist. Diese Station liegt etwa 6 km südöstlich des Epizentrums. Hohe Bodenschwinggeschwindigkeiten in diesem Gebiet sind mit der makroseismischen Auswertung konsistent. Die Station AMP1S liegt in einer ähnlichen Entfernung, etwa 6 km nordwestlich des Epizentrums. Dort wurde mit 1,0 mm/s eine deutlich niedrigere Bodenschwinggeschwindigkeit gemessen. Dieser Unterschied wird bei allen vier Erdbeben beobachtet und scheint systematisch zu sein.

Tabelle 4: Maximale Schwinggeschwindigkeiten (PGV), die an den nächstgelegenen Stationen AMP1S und ESSNB bestimmt wurden.

Stationen		AMP1S	ESSNB
28.09.2018, M _L 3,1	Entfernung (km)	4,2	7,4
	PGV (mm/s)	0,3	4,2
01.10.2018, M _L 2,1	Entfernung (km)	5,2	6,3
	PGV (mm/s)	0,1	0,5
01.10.2018, M _L 3,6	Entfernung (km)	6,0	5,5
	PGV (mm/s)	1,0	12,3
18.10.2018, M _L 2,5	Entfernung (km)	6,2	5,3
	PGV (mm/s)	0,2	1,0

Es ist möglich, dass auch an Orten zwischen den Messstationen Bodenschwinggeschwindigkeiten oberhalb von 5 mm/s aufgetreten sind. Erstens sind die nächstgelegenen Messungen der Bodenschwinggeschwindigkeit etwa fünf bis sieben Kilometer vom Epizentrum entfernt, so dass keine Daten direkt oberhalb der Quelle aufgezeichnet wurden. Zweitens unterscheiden sich die Messwerte der beiden nächstgelegenen seismischen Messstationen (ESSNB und AMP1S) erheblich, so dass möglicherweise lokale Überhöhungen durch kleinräumige Unterschiede des oberflächennahen Untergrundes berücksichtigt werden müssen (Standorteffekte).

Zusammenfassend folgt aus den Messungen der Bodenschwinggeschwindigkeiten, dass der Anhaltswert gemäß DIN 4150 von 5 mm/s bei dem Erdbeben am 1. Oktober 2018 (M_L 3,6) überschritten wurde. Es erscheint daher möglich, dass an einigen Gebäuden vorrangig empfindlicher Bauart leichte Schäden durch die Erschütterungswirkung entstanden sein können. Auf eine weitergehende Betrachtung der schwächeren Erdbeben wird in diesem Bericht aufgrund der zeitlichen und räumlichen Nähe zu dem Erdbeben am 1. Oktober verzichtet.

4.3 Einwirkungen auf Gebäude

Schadensmeldungen

Dem NED liegen keine Schadensmeldungen vor. Für das stärkste Erdbeben am 1. Oktober 2018 (M_L 3,6) liegen dem Betreiber nach Kenntnis des LBEG insgesamt 29 Meldungen über Schäden geringen Ausmaßes an Gebäuden vor. Dies deutet darauf hin, dass lokal Intensität V erreicht worden sein könnte.

Einwirkungsbereich der Erschütterungswirkung

Schäden durch Erschütterungen aufgrund von induzierten Erdbeben sind Bergschäden im Sinne des Bundesberggesetzes. Mit der Novellierung der Einwirkungsbereichsbergverordnung verbessern neue gesetzliche Regelungen die Schadensregulierung für Bürger. Im Einwirkungsbereich (Intensität V, Bodenschwinggeschwindigkeit 5 mm/s) gilt die Bergschadensvermutung. Ein Einwirkungsbereich ist für bergbauinduzierte Erdbeben bei einer zumindest starken makroseismischen Intensität und entsprechenden Bodenschwinggeschwindigkeiten festzulegen.

Die Auswertungen der makroseismischen Meldungen sowie der gemessenen Bodenschwinggeschwindigkeiten für das Erdbeben am 1. Oktober 2018 (M_L 3,6) ergeben, dass lokal die Intensität V gemäß EMS-98 erreicht und der Anhaltswert der Bodenschwinggeschwindigkeit gemäß DIN 4150 von 5 mm/s überschritten wurden. Ausgehend von den Ergebnissen erscheint es möglich, dass an einigen Gebäuden vorrangig empfindlicher Bauart Schäden durch die Erschütterungswirkung entstanden sein könnten. Ein möglicher Einwirkungsbereich sollte mindestens die Bereiche umfassen, in denen die beschriebenen und gemessenen Auswirkungen aufgetreten sind. Einwirkungsbereiche werden in eigenen Verfahren, unabhängig von fachlichen Berichten, festgelegt.

5 Bewertung der Ergebnisse

Ursachen der Erdbeben

Im September und Oktober 2018 ereigneten sich vier Erdbeben mit Lokalmagnituden (M_L) zwischen 2,1 und 3,6 im Erdgasfördergebiet östlich von Lastrup im Landkreis Cloppenburg. Darüber hinaus wurden in diesem Gebiet durch das Bergschadenskundliche Beweissicherungssystem des BVEG in den Tagen vor und nach diesen Erdbeben insgesamt 30 sehr schwache Erdbeben mit Magnituden zwischen 0,4 und 1,5 detektiert. Die Epizentren sind im südlichen Bereich der Lagerstätte Hemmelte/Kneheim/Vahren und Hemmelte lokalisiert. Die Herdtiefen liegen zwischen vier und sieben Kilometern und damit im Niveau der Lagerstätten. Aufgrund der Lage der Epizentren und der geringen Herdtiefen ist ein Zusammenhang mit der Erdgasförderung sehr wahrscheinlich.

In Niedersachsen sind durch Erdgasförderung induzierte Erdbeben bekannt und können nach aktuellem Kenntnisstand an allen produktiven Erdgasfeldern auftreten. Studien weisen darauf hin, dass Seismizität vor allem an Erdgasfeldern beobachtet wird, in denen der Druck erheblich abgesenkt ist. Das Fördervolumen aus den Buntsandstein-Lagerstätten Hemmelte und Kneheim ist im Vergleich zur Förderung aus der Zechstein-Lagerstätte Hemmelte/Kneheim/Vahren sehr gering. Die Förderdaten für das Erdgasfeld Hemmelte/Kneheim/Vahren zeigen, dass aus diesem Erdgasfeld seit mehr als drei Jahrzehnten produziert wird. Aus der langen Förderhistorie und aus dem Gesamtfördervolumen im Verhältnis zur Ausdehnung der Lagerstätte lässt sich plausibel ableiten, dass der Grad der Ausförderung des Erdgasfeldes erheblich ist. Es ist anzunehmen, dass durch die Förderung eine hohe Druckabsenkung innerhalb der Lagerstätte erfolgt ist und das lokale Spannungsfeld geändert worden ist. Diese Spannungsänderungen sind geeignet, vorhandene Schwächezonen zu reaktivieren. Dabei muss betont werden, dass die entladenen Spannungen zuvor über lange Zeiträume aufgebaut worden sind. Es ist daher davon auszugehen, dass im Erdgasfördergebiet östlich von Lastrup weitere Erdbeben auftreten können.

Lagerstättenwasser wird in diesen Erdgasfeldern nicht versenkt. Es wurden keine Frac-Maßnahmen durchgeführt. Diese beiden Aktivitäten, die ebenfalls potentiell zu Spannungsverlagerungen im Untergrund führen können, scheiden als Ursache für die hier betrachteten Erdbeben aus.

Aufgrund der Förderhistorie, der hohen Produktion und der Größe des Feldes Hemmelte/Kneheim/Vahren kommt als wahrscheinlichste Ursache für induzierte Erdbeben die Druckabsenkung durch die Förderung aus der größten der Lagerstätten, der Zechstein-Lagerstätte Hemmelte/Kneheim/Vahren, in Betracht. Im Bereich dieser Lagerstätten sind die Gesteinsschichten stark gestört. Die prominenten Störungen streichen vorzugsweise Nordwest-Südost (Baldschuhn et al., 2001). Diese Schwächezonen könnten durch die Spannungsänderungen als Folge der Erdgasförderung reaktiviert worden sein.

Im Unterschied zu früheren Erdbeben ähnlicher Stärke an Erdgasfeldern in Niedersachsen ereigneten sich östlich von Lastrup innerhalb von drei Wochen vier Erdbeben mit Lokalmagnituden (M_L) größer 2. Das stärkste Erdbeben ereignete sich in der Nacht zum 1. Oktober 2018 um 02:28 Uhr lokaler Zeit. Drei Tage zuvor, am 28. September 2018, ereignete sich nahezu am selben Ort ein Erdbeben mit Lokalmagnitude 3,1. Eine so kurze Folge von Erdbeben dieser Stärke wurde in Niedersachsen zuvor noch nicht beobachtet. Weitere Besonderheiten sind ein Erdbeben der Magnitude 2,1, das sich nur zwei Minuten vor dem stärksten Erdbeben ereignete, und ein Erdbeben der Magnitude 2,5 am 18. Oktober 2018 ebenfalls am selben Ort sowie insgesamt 30 Erdbeben mit Magnituden zwischen 0,4 und 1,5.

Bei den induzierten Erdbeben in Niedersachsen wurden trotz der guten seismischen Überwachung bisher nur sehr vereinzelt Vor- oder Nachbeben beobachtet. Die Erwartung, dass durch sensitivere Messnetze viele schwache Erdbeben unterhalb der Wahrnehmungsschwelle registriert würden, hat sich bisher nicht bestätigt. Typische Prozesse, die bei tektonischen Erdbeben zu Vor- und Nachbeben führen, scheinen nicht allgemein auf die Prozesse übertragbar zu sein, die in Niedersachsen zu induzierten Erdbeben durch Erdgasförderung führen.

Im Rahmen dieses Berichts können die Ursachen dieser räumlichen und zeitlichen Häufung nicht abschließend geklärt werden. Eine genaue Bewertung erfordert detaillierte Analysen, wie Relativlokalisierungen oder Analysen der Herdmechanismen der stärkeren Ereignisse, um so beteiligte Störungsflächen zu identifizieren. Weiterhin sind detaillierte Daten zur zeitlich-räumlichen Entwicklung des Lagerstättendrucks erforderlich.

Auswirkungen an der Erdoberfläche

Die Auswirkungen der Erdbeben im September und Oktober 2018 können anhand der Meldungen der Bevölkerung sowie der gemessenen Bodenschwinggeschwindigkeiten bewertet werden. Makroseismische Meldungen liegen zu den drei stärksten Erdbeben am 28.09.2018 (M_L 3,1), am 01.10.2018 (M_L 3,6) und am 18.10.2018 (M_L 2,5) vor.

Das Erdbeben am 1. Oktober 2018 mit der Lokalmagnitude 3,6 war das stärkste Erdbeben in Niedersachsen seit 2005 (15. Juli 2005, Syke, Landkreis Diepholz, M_L 3,8) sowie das insgesamt viertstärkste in Niedersachsen seit Beginn der instrumentellen Überwachung 1977. Das Erdbeben wurde in der Bevölkerung als mäßig starke bis sehr heftige Erschütterung wahrgenommen. Insgesamt liegen zu dem Erdbeben 221 makroseismische Fragebögen aus der Bevölkerung vor. Basierend auf den Meldungen werden Intensitätswerte nach EMS-98 abgeleitet. Fünf von sechs Clustern wird die Intensität IV zugewiesen. Für das Cluster im Bereich der Ortschaft Essen (Oldenburg) gibt es Hinweise, dass lokal die Intensität V erreicht worden sein könnte. Daher wird dort die Intensität IV-V festgelegt. Zusammenfassend wird das Erdbeben vom 1. Oktober 2018 mit einer Maximalintensität IV-V bewertet. Zur Überwachung der Bodenschwinggeschwindigkeiten stehen seismische Messstationen zur Verfügung. An der Station ESSNB wurde eine Bodenschwinggeschwindigkeit von 12,3 mm/s bestimmt. Der Anhaltswert der DIN 4150 mit 5 mm/s wurde somit überschritten.

Die makroseismischen und instrumentellen Auswertungen zum Erdbeben am 01.10.2018 mit Magnitude 3,6 ergeben, dass durch die Erschütterungswirkungen leichte Schäden an Gebäuden vorrangig empfindlicher Bauart entstanden sein könnten. Ein möglicher Einwirkungsbereich sollte mindestens die Bereiche umfassen, in denen die beschriebenen und gemessenen Auswirkungen aufgetreten sind. Einwirkungsbereiche werden in eigenen Verfahren, unabhängig von fachlichen Berichten, festgelegt.

Auch die Erdbeben am 28. September und 15. Oktober mit den Lokalmagnituden 3,1 und 2,5 wurden von der Bevölkerung verspürt. Zu diesen Erdbeben liegen ebenfalls makroseismische Fragebögen vor (17 bzw. 15 Meldungen). Die Erschütterungen werden als schwach bis mäßig stark bzw. sehr schwach bis schwach beschrieben. Auf Grundlage der makroseismischen Meldungen wird das Erdbeben am 28. September 2018 mit der Maximalintensität IV bewertet. Für das Erdbeben am 15. Oktober 2018 wird die Maximalintensität III festgelegt. Für beide Erdbeben wurde die größte Bodenschwinggeschwindigkeit an der seismischen Messstation ESSNB mit 4,2 mm/s bzw. 1 mm/s ermittelt. Der Anhaltswert von 5 mm/s könnte überschritten worden sein. Auf eine weitergehende Betrachtung wird in diesem Bericht aufgrund der zeitlichen und räumlichen Nähe zu dem stärkeren Erdbeben am 1. Oktober verzichtet.

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.

Deutsches Institut für Normung e.V. (2016): DIN 4150-3:2016-12, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Dezember 2016, Beuth, Berlin.

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.

Walter, M., 2017: Neubewertung der lokalen Seismizität in der Region Cloppenburg, Niedersachsen, Seismic Solutions, Tübingen. (unveröffentlicht)

Anhang

Anhang 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.