

## Betrachtung der seismischen Gefährdung durch die Gewinnung von Erdöl im Bewilligungsfeld Römerberg-Speyer sowie der Leistungsfähigkeit des seismischen Monitoringnetzwerkes

Die vorliegende Betrachtung dient zur Darstellung der möglichen Auswirkungen aus der Gewinnung von Erdöl aus der Lagerstätte Römerberg-Speyer im Hinblick auf mögliche Seismizität. Hierbei wird die natürliche Seismizität im Raum Speyer sowie die Mechanismen induzierter und getriggelter Seismizität dargelegt. Zudem werden die Ergebnisse aus dem zurückliegenden Betrieb des seit 2012 installierten seismischen Monitoringnetzwerkes am Erdölfeld Römerberg-Speyer unter Berücksichtigung der Detektionsempfindlichkeit und Lokalisierungsgenauigkeit dargestellt und bewertet.

Das Erdölfeld Römerberg-Speyer befindet sich im nördlichen Oberrheingraben, der mittlere Ereignisraten von 1,7 Erdbeben pro Jahr der Magnitude  $M_L \geq 2,0$  aufweist. Durchschnittlich tritt alle 37 Jahre ein  $M_L \geq 4,0$  Beben auf. In der näheren Umgebung von Speyer traten in der Vergangenheit Beben in großen Tiefen bis zu 20 km auf. Das stärkste Beben in der näheren Umgebung von Speyer ereignete sich am 24.02.1952 mit leichten bis mittleren Gebäudeschäden bei Worms (22 km nordwestlich von Speyer,  $M_L$  4,9). Seit der Erweiterung der seismischen Netzwerke in 2009 wurden im Raum Speyer 21 seismische Ereignisse aufgezeichnet. Davon entfallen auf natürliche Beben im weiteren Umkreis 14 schwache Erdbeben mit Magnituden zwischen  $M_L$  0,7 und 2,2 (Neustadt, Schifferstadt, Haßloch, Waghäusel). Sieben weitere schwache Beben mit Magnituden  $M_L$  0,7 bis 1,3 konnten durch das Monitoringnetzwerk Römerberg in 10 bis 15 km Tiefe unterhalb des nördlichen Stadtgebiets Speyer bzw. südlich von Speyer lokalisiert werden und stehen aufgrund ihrer Tiefe nicht in Verbindung mit der Erdölförderung. Abbildung 1 (Anhang) zeigt die Seismizität in der Region um Speyer (Tabelle 1).

Sowohl die Extraktion als auch die Einbringung von Fluiden können bei der Produktion des Erdölfeldes Römerberg-Speyer im Prinzip zu induzierter Seismizität führen und sollten mit Hilfe eines seismischen Monitorings überwacht werden. Aufgrund geringer notwendiger Drücke bei der untertägigen Einbringung von Fluiden in die Lagerstätte (hier: zu fördernde Ansammlung von Erdöl), kann von einer Fluiddiffusion ausgegangen werden, bei der Seismizität wenig wahrscheinlich ist. Extraktion kann generell nach Jahren der Produktion durch differentielle Kompaktion zu Deformation führen, die im vorherrschenden tektonischen Regime mehrheitlich aseismisch abgebaut werden sollte.

Obgleich nicht prinzipiell ausgeschlossen werden kann, dass sich Spannungen im sedimentären Stockwerk aufbauen, und sich dann auch mittels Erdbeben abbauen, erscheint dies in der Region Speyer unter zwei Gesichtspunkten als sehr unwahrscheinlich:

- (a) Der überwiegende Teil (Abschätzung: 91-98%) der instrumentell lokalisierten Seismizität des Oberrheingrabens findet im Bereich unterhalb des Tiefenniveaus der Lagerstätte statt.
- (b) Die Deformation an den Störungen der zentralen Grabenscholle verläuft hauptsächlich aseismisch, d.h. mehrheitlich ohne seismische Bruchprozesse (Abschätzung: > 90%).

Demnach ist die Akkumulation von Spannungen und das Triggern von Erdbeben als Folge der Erdölförderung sehr unwahrscheinlich. Auch die in der Vergangenheit im Oberrheingraben produzierenden Erdölfelder wiesen keine spürbare Seismizität auf. Aus Aufzeichnungen von tektonischen Erdbeben ergibt sich, dass ab etwa Magnitude  $M_L$  2,0 Beben in 3 km Tiefe im Oberrheingraben gespürt werden können. Weiterhin zeigt sich, dass ein Erdbeben der Magnitude  $M_L$  4,0 (1000fache Energiefreisetzung gegenüber  $M_L$  2,0) in 3 km Tiefe zu verbreiteten leichten Schäden im Epizentralgebiet führen kann. Die bisher beobachteten Magnituden induzierter Seismizität, die im Oberrheingraben inklusive Basel beobachtet wurden, liegen ca. eine Magnitudengröße darunter.

Entsprechend der Empfehlungen des Forschungskollegiums Physik der Erde (FKPE e.V.)<sup>1</sup> sollte für Einbringungsmaßnahmen und Fluidextraktion eine Mindestmagnitude von  $M_L$  1,0 im Zielbereich der Bohrungen (5 km auf 5 km horizontal) messtechnisch vollständig erfasst werden und eine Lokalisierungsgenauigkeit von 500 m horizontal und 1-2 km vertikal erzielt werden.

Für das 2012 installierte Monitoringnetzwerk Römerberg-Speyer (Abb. 2, Anhang) liegt diese Detektionsschwelle bei mindestens  $M_L$  0,6 (mehr als 100 mal geringere Energiefreisetzung als ein spürbares  $M_L$  2,0 Erdbeben). Ebenso wird das Empfindlichkeitskriterium wie in den Empfehlungen der FKPE beschrieben erfüllt: Für die Horizontalkomponenten liegen die maximalen Rauschamplituden für alle Stationen des Netzwerkes unterhalb von 2  $\mu\text{m/s}$ , für die Vertikalkomponenten unterhalb von 1  $\mu\text{m/s}$ .

Die Lokalisierungsgenauigkeit ist aufgrund der fehlenden seismischen Ereignisse in der Lagerstätte schwierig abzuschätzen. Speziell die Bestimmung der Hypozentraltiefe ist abhängig von der Wahl des seismischen Geschwindigkeitsmodells und kann dadurch um einige Kilometer variieren. Bei leichten Abweichungen (bis 6%) des Geschwindigkeitsmodells vom realen Untergrund ist von der Einhaltung einer Lokalisierungsgenauigkeit von 500 m horizontal und vertikal auszugehen.

Für die sieben genannten schwachen Beben unter Speyer in 2012-2014 kann jedoch ein Hypozentrum im Lagerstättenbereich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Es gibt somit zum jetzigen Zeitpunkt keine Hinweise auf induzierte Seismizität in Verbindung mit der Förderung aus dem Erdölfeld Römerberg-Speyer.

### **Erläuterung: Mechanismen induzierter und getriggelter Seismizität**

Neben natürlichen, tektonischen Erdbeben kann man zwischen induzierten Beben, die z.B. unmittelbar durch die Produktion in einem Kohlenwasserstofffeld oder einem geothermischen Projekt verursacht werden und getriggerten Ereignissen unterscheiden. Letztere würden im Prinzip auch durch die normalen tektonischen Aktivitäten ausgelöst, ereignen sich aber wegen Spannungsumlagerung im Gebirge (z.B. Bergbau) oder Fluiddiffusion in die Verwerfungen früher. Beide Phänomene können bei Eingriff in die Spannungsverhältnisse des Untergrundes durch Produktion und Erschließung des Erdölfeldes Römerberg-Speyer im Prinzip auftreten.

Im Fall der Kohlenwasserstoffförderung sind Prozesse von Bedeutung, die in Verbindung mit der Extraktion aber auch der Einbringung von Flüssigkeiten in den Untergrund stehen und zur seismischen Reaktivierung einer bereits vorhandenen Schwächezone oder zur Neubildung einer Bruchfläche führen können. Anthropogene Aktivitäten in der Lagerstätte, die generell zu Spannungsänderungen führen können, sind die Extraktion von Kohlenwasserstoffen aus der Lagerstätte, die Einbringung von Lagerstättenwasser innerhalb oder unterhalb der Lagerstätte oder Hydraulic Fracturing zur Schaffung von Durchlässigkeiten in wenig permeablem Gesteinen. Weder Hydraulic Fracturing noch das Einbringen von Lagerstättenwasser in permeable Schichten unterhalb der Lagerstätte sind im Erdölfeld Römerberg-Speyer geplant.

#### *Gewinnung von Kohlenwasserstoffen*

Die Förderung von Kohlenwasserstoffen kann zu induzierter Seismizität durch differentielle Kompaktion der Lagerstätte aufgrund der Fluid- oder Gasentnahme führen. Druckverringerung in den Gesteinsporen kann zu örtlichen Kontraktionen führen, die wiederum die Reaktivierung einer bestehenden Verwerfungszone zur Folge haben können. Allgemein zeigen sich kompressive Spannungen unter- und oberhalb des Entnahmepunktes und leicht extensive Zustände an den Flanken der Lagerstätte. Im Laufe der Produktion können sich die kompressiven Zonen weiter nach unten und die extensionalen weiter nach außen verschieben. Induzierte Beben treten allerdings erfahrungsgemäß erst auf, wenn der Lagerstättendruck signifikant abgesunken ist, was frühestens nach Jahren der Fall ist. Dabei konzentriert sich die Seismizität auf spröde Schichten, während in weicheren (duktilen) Schichten langsames Gleiten bzw. aseismische Deformation auftreten kann. Allgemein zeigen viele produzierte und produzierende Kohlenwasserstofffelder überhaupt keine Seismizität (weltweit nur zwei der 25 größten Sedimentbecken).

Im Falle der Erdölförderung Römerberg-Speyer ist davon auszugehen, dass die entstehende Deformation ähnlich der tektonischen Deformation mehrheitlich aseismisch abgebaut wird. In besonderem Maße trifft dies auf die extensionalen Störungszonen an den Lagerstättenflanken zu, die auch tektonisch in der zentralen Grabenscholle des Oberrheingrabens überwiegend durch aseismisches Kriechen, d.h. weitgehend ohne seismische Ereignisse, deformiert werden.

<sup>1</sup> FKPE (2012). Position des FKPE e.V. zur Induzierten Seismizität. Mitteilungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 3/2012, 17-31.

Wenn Fluide allgemein unter Druck in das Gebirge eingebracht werden, kann ebenfalls Seismizität induziert werden. Sie wird verursacht durch einen erhöhten Porendruck, der für eine Reduzierung der Normalspannung aufgrund der fehlenden Scherfähigkeit von Fluiden sorgt. Bestehende Verwerfungen befinden sich dann folglich näher am kritischen Spannungszustand für einen Bruch.

Die Wirkung von Fluiden hängt wesentlich vom Fluiddruck im Verhältnis zum tektonischen Spannungsfeld ab. Ist das Gestein permeabel und liegt der Druck der eingebrachten Flüssigkeiten geogenen Ursprungs (Lagerstättenwasser) sowie von Zusatzwasser über dem des druckverminderten Systems der Lagerstätte, dann diffundiert das Fluid in die Formation, kann zur Druckerhaltung beitragen und damit der seismischen Bruchlösung vorbeugen. Wird der Fluiddruck über das Niveau erhöht, das zum Öffnen von eventuell schon vorhandenen oder zu bildenden Rissen nötig ist, kann es zu induzierter Seismizität kommen. Im Falle aseismisch gleitender Verwerfungen bauen sich allerdings keine nennenswerten Scherspannungen auf.

Aktuelle Einbringungsversuche in die Lagerstätte Römerberg-Speyer haben gezeigt, dass allein der hydrostatische Druck ausreicht um Fluide in die Lagerstätte einzubringen. D.h. die Lagerstätte ist ausreichend permeabel, um ohne oberirdischen Druck einfließendes Fluid aufzunehmen. Aufgrund dessen kann angenommen werden, dass bei der untertägigen Einbringung von Flüssigkeiten dieses in das Gestein diffundiert und das spontane Auftreten spürbarer Seismizität wenig wahrscheinlich ist.

### *Erdbebentriggerung*

Ein natürliches Erdbeben entsteht, in dem die Scherspannung auf einer Bruchfläche durch tektonische Kräfte langsam wächst, die kritische Scherspannung erreicht und bricht. Einbringung von Fluiden und die damit verbundene Erhöhung des Porendrucks kann dazu führen, dass größere natürliche Beben sozusagen vorzeitig stattfinden („triggering“). Hierfür wird vorausgesetzt, dass ein größeres Verwerfungssegment (mit linearer Dimension von typisch mehr als einem Kilometer) vorgespannt ist und zusätzlich eingebrachte Fluide einen Mindestdruck überschreiten. Typische Druckwerte für betroffene nordamerikanische und europäische Kohlenwasserstofflagerstätten sind 1-5 bar. In diesem Fall könnten auch Beben  $M_L \geq 4,0$  ausgelöst werden.

Durch die Bilanzierung der geologisch beobachtbaren Deformation im Vergleich zu der seismischen Aktivität wurde gezeigt, dass die tektonische Deformation im Bereich der zentralen Grabenscholle des nördlichen Oberrheingrabens in der Regel aseismisch (> 90%) erfolgt. Auf solchen aseismischen Verwerfungen ist nicht mit getriggelter Seismizität zu rechnen, weil sie reibungsfrei rutschen und sich daher keine Scherspannung aufbauen kann, die zu Beben führt. Die verbleibende Deformation wird seismisch mehrheitlich unterhalb der Lagerstätte Römerberg-Speyer in der kristallinen Oberkruste abgebaut (91-98%), so dass getriggerte Erdbeben im Lagerstättenbereich als sehr unwahrscheinlich zu betrachten sind.

*Tabelle 1: Lokalisierungen des Monitoringnetzwerkes Römerberg-Speyer im Raum Speyer*

<b>Datum, Uhrzeit</b>	<b>Nördl. Breite</b>	<b>Östl. Länge</b>	<b>Tiefe/km</b>	<b><math>M_L</math></b>
2012/10/27, 00:05:05	49,339°	8,428°	14,8	0,8
2012/10/27, 00:05:08	49,339°	8,428°	13,8	0,8
2013/10/03, 06:02:26	49,343°	8,421°	10,9	0,9
2013/10/03, 06:02:41	49,349°	8,417°	15,0	0,9
2013/10/13, 01:55:46	49,344°	8,422°	11,4	0,7
2014/04/25, 16:18:43	~49,3°	~8,4°	~10	~0,9
2014/07/05, 11:09:10	49,297°	8,383°	19,0	1,3

## Anhang

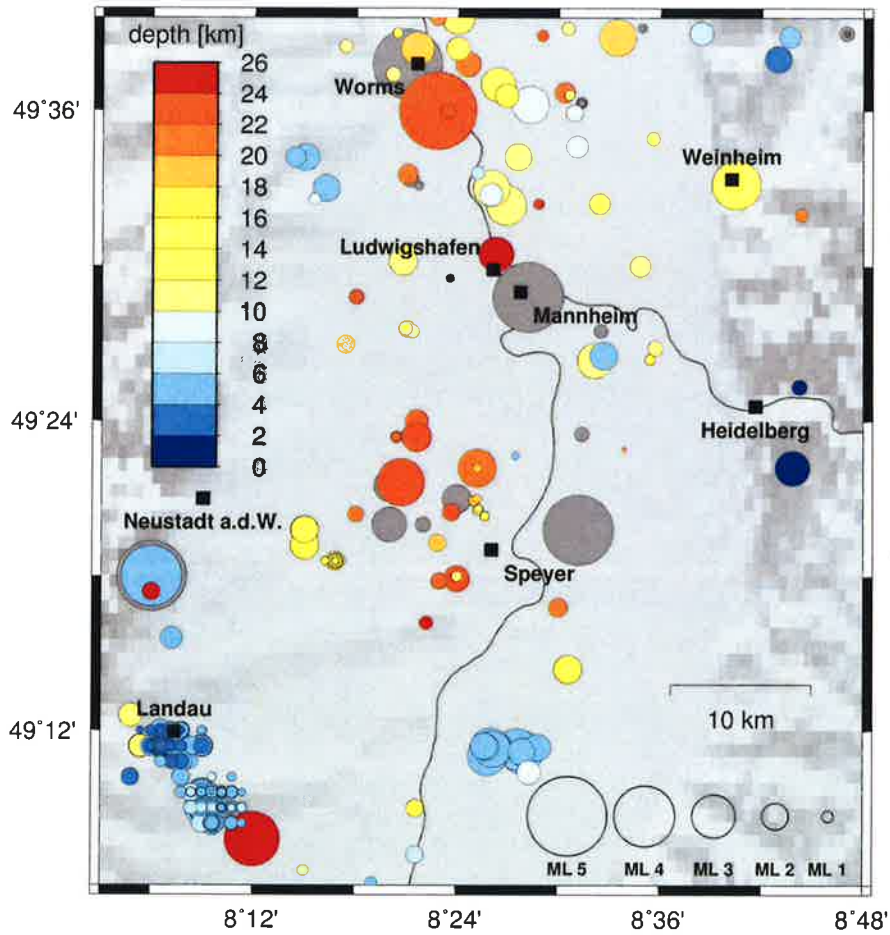


Abbildung 1: Seismizität in der Region um Speyer (historisch und instrumentell bis 01/2016). Farblich kodiert ist die Tiefe des Erdbebenherds (graue Symbole: keine Angabe). Die Magnitude skaliert mit der Symbolgröße.

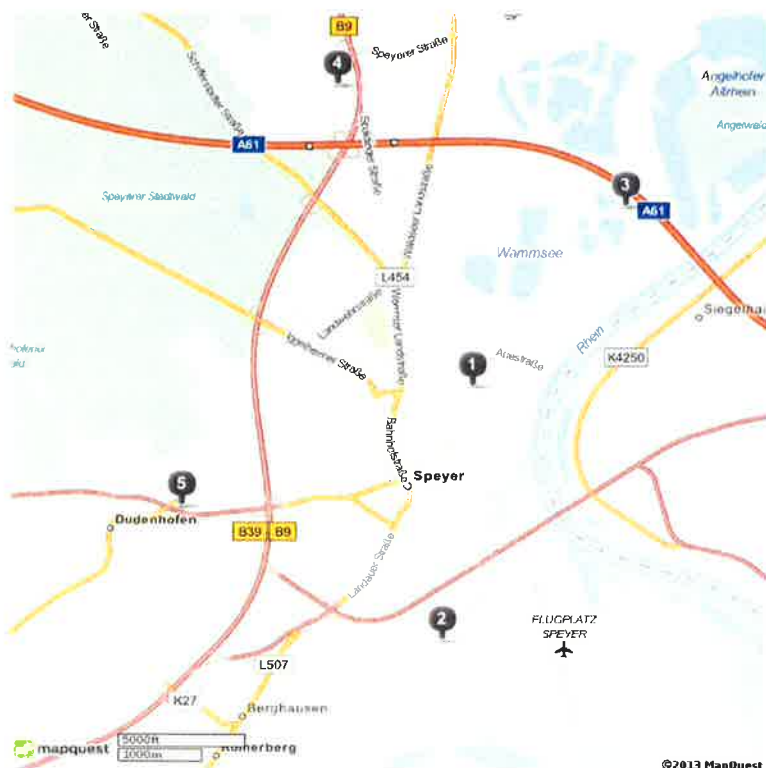


Abbildung 2: Übersichtskarte der seismischen Stationen MW9C (1), NFW (2), KIES (3), RBW (4) und DUBW (5).