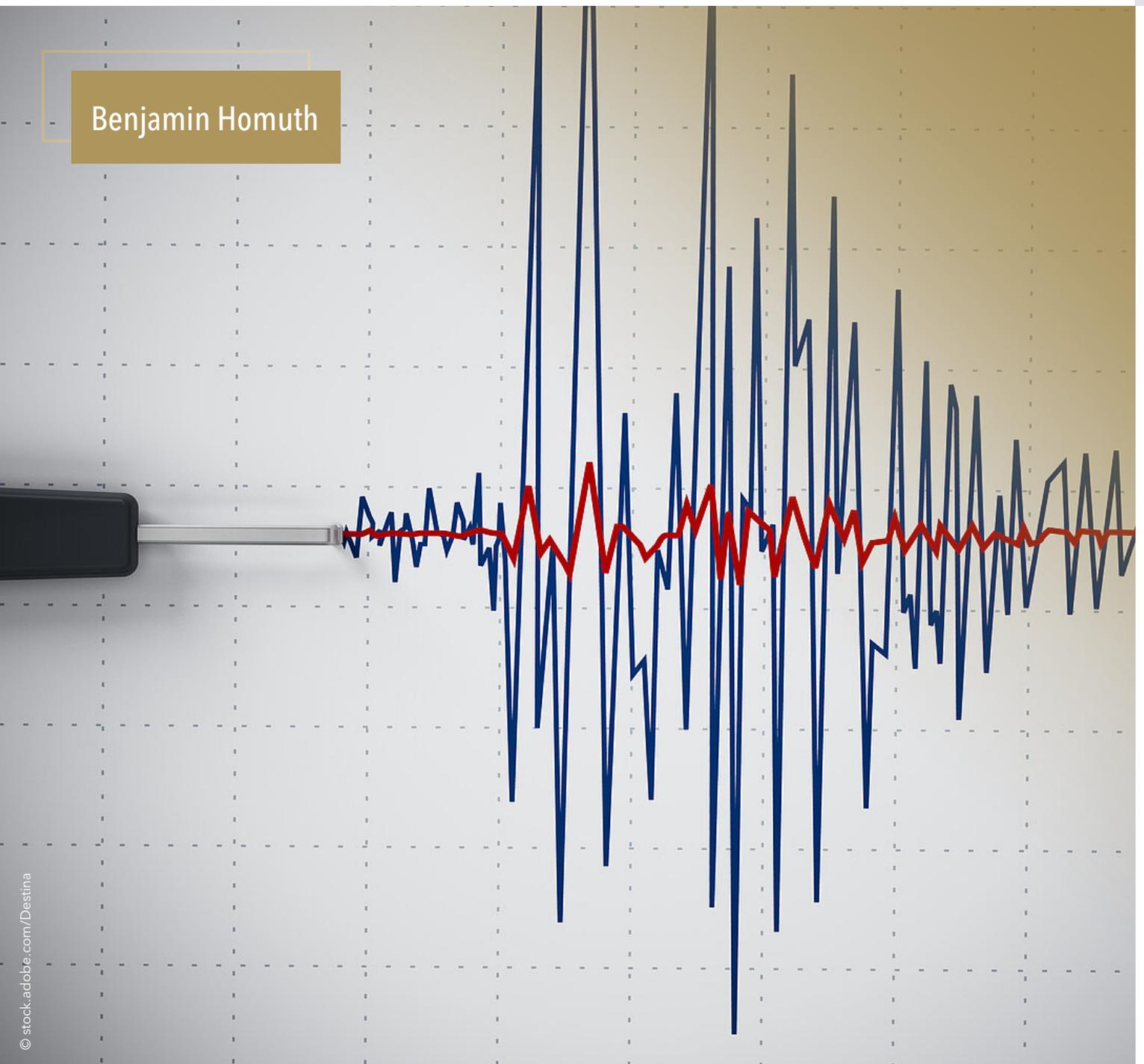


DEZERNAT GEOLOGISCHE BELANGE DER  
LANDESPLANUNG, GEORISIKEN

# Aktuelle Erkenntnisse zu Erdbeben westlich von Bad Schwalbach im Taunus

Benjamin Homuth



Die Haupterdbebenregion Hessens stellt aktuell die Region westlich von Bad Schwalbach im Taunus dar. Seit Januar 2018 kommt es in der Nähe der hessisch-rheinlandpfälzischen Grenze zu einer erhöhten seismischen Aktivität mit mittlerweile über 600 Erdbeben mit Lokal-Magnituden von  $M_L = -0,8$  bis  $M_L = 2,5$  in einer Tiefe von 9–19 km. Die registrierten und lokalisierten Erdbeben können bestimmten geologischen Strukturen zugewiesen werden und deuten darauf hin, dass eine alte, bereits vorhandene Bruchstruktur im tieferen Untergrund reaktiviert wird.

## i

### $M_L$ :

Die Magnitude eines Erdbebens ist eine physikalisch gemessene Größe. Sie ist ein logarithmischer Wert. Ein Erdbeben der Magnitude 3 ist 30-mal stärker als ein Beben der Magnitude 2 und 900-mal stärker als ein Beben der Magnitude 1. Die lokale Magnitude wurde von Richter entwickelt (daher die Bezeichnung Richterskala). Die Lokalbebenmagnitude  $M_L$  wird für Erdbeben bestimmt, die relativ nahe an den registrierenden Stationen auftreten. Normalerweise wird diese für Entfernungen bis einige hundert Kilometer zwischen Beben und Station bestimmt.

Die Haupterdbebenregion Hessens seit Anfang 2018 ist die Region westlich von Bad Schwalbach im Taunus. Seit Januar 2018 kommt es in der Nähe von Bad Schwalbach im Taunus an der hessisch-rheinlandpfälzischen Grenze zu einer erhöhten seismischen Aktivität mit einer großen Anzahl an Erdbeben (Abb. 1). Während der Zeit von Januar 2018 bis April 2024 konnten über 600 Erdbeben mit Lokal-Magnituden ( $M_L$ ) von  $M_L = -0,8$  bis  $M_L = 2,5$  lokalisiert werden.

Dem Hessischen Erdbebendienst (HED) sind keine Berichte übermittelt worden, dass diese Erdbeben in der Region von der Bevölkerung verspürt wurden. Dies ist nachvollziehbar, da die Magnituden der Ereignisse unter der angenommenen Spürbarkeitsschwelle liegen und die Erdbeben ebenso in größerer Tiefe stattfinden.

Um die Erdbeben der Region besser lokalisieren zu können wurden nach dem Auftreten der ersten Erdbebenschwärme neue temporäre Erdbebenmessstationen im Taunus durch den HED installiert. Dadurch wurde die Stationsdichte in der Region erhöht. Die Lage dieser Messstationen kann Abb. 1 entnommen werden. Die Daten der Stationen werden per Mobilfunk in Echtzeit an das Datenzentrum im HLNUG gesendet. Es handelt sich zum Teil um sogenannte Citizen Science-Stationen (Raspberry Shakes), die kostengünstig in Zusammenarbeit mit der Goethe Universität Frankfurt in abgelegenen Wasserhochbehältern im Jahr 2020 installiert wurden. Andere Stationen, wie z.B. die Station GWBD bei Espenschied, gehören zum regulären Messnetz des HED. Die Daten der permanenten Stationen des HED können im Messdatenportal des HLNUG (<https://www.hlnug.de/messwerte/datenportal>) eingesehen werden. Dort werden ebenfalls alle relevanten Angaben zu lokalisierten Erdbeben in Hessen veröffentlicht.

Zur besseren Detektion von diesen mehrheitlich doch sehr schwachen Erdbeben wurde ein stärkeres Erdbeben dieser Erdbebenschwärme als sogenanntes Muster-Erdbeben ausgewählt. Das Seismogramm dieses

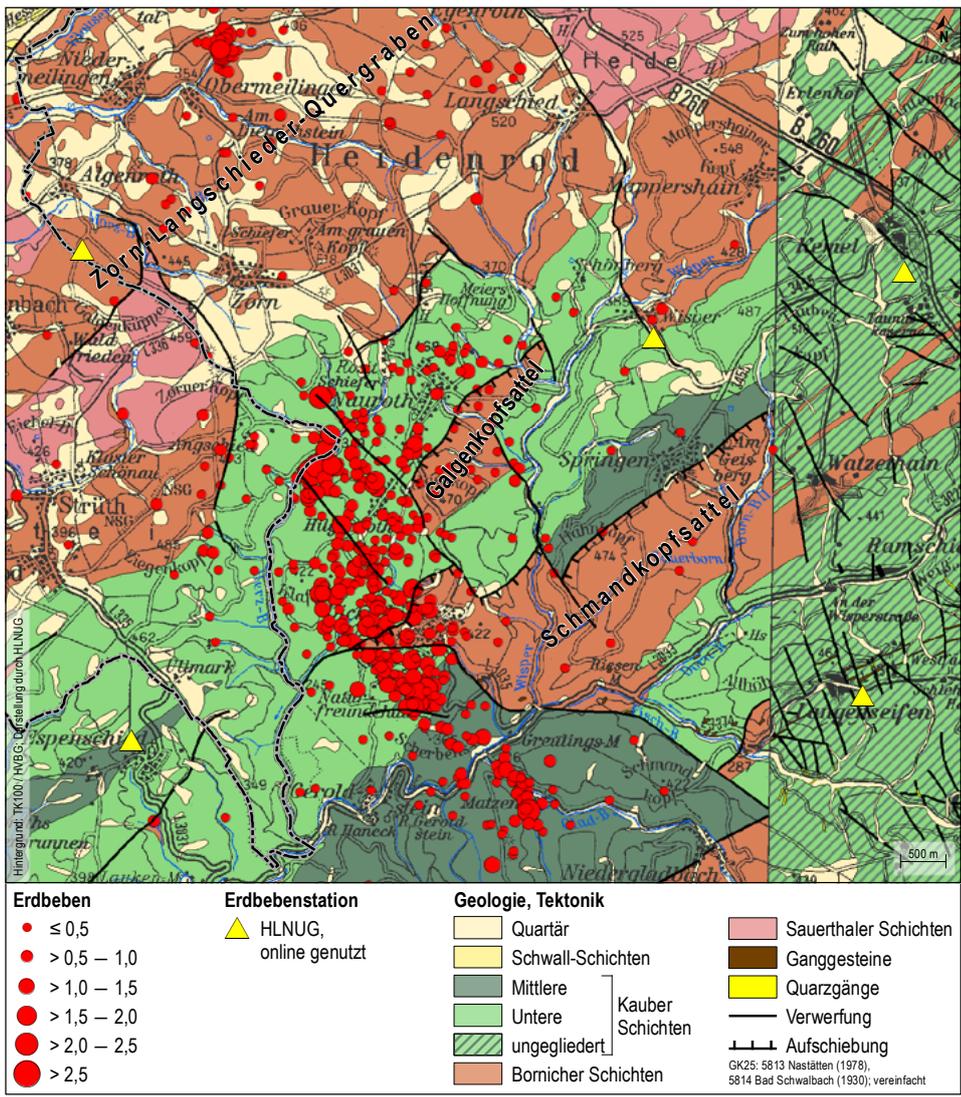


Abb. 1: Relativlokationen der Erdbeben westlich von Bad Schwalbach im Taunus zusammen mit geologischen Einheiten und Störungen (schwarz) nach GK25 5813 Nastätten und 5814 Schwalbach für den Zeitraum 2018–2024. Die Erdbebenlokationen sind als rote Kreise proportional zur Magnitude wiedergegeben. Gelbe Dreiecke stellen die Erdbebenmessstationen des HLNUG in der Region dar.

Muster-Erdbebens wird verwendet, um in Echtzeit die eingehenden Seismogramme der Messstationen nach vergleichbaren Signalen zu untersuchen. Somit ist es möglich schon kleinste Erdbeben mit sogar negativen Magnituden zu detektieren. Dieses sehr zuverlässige Detektionsverfahren wird als Wellenformkorrelation bezeichnet.

Eine Besonderheit stellen die für diesen Erdbebenherd typisch auftretenden Signalformen dar, welche durch sehr schnell aneinander gereihte, oft überlappende Ereignisse charakterisiert sind (Abb. 2).

Zur Untersuchung der Eigenschaften der Erdbebenaktivität im Taunus wurden Absolut- und Relativlokalisierungen nach unterschiedlichen Auswertemethoden durchgeführt. Absolutlokalisierungen werden beim HED standardmäßig unter Verwendung des NonLinLoc-Algorithmus (LOMAX et al. 2000) in der Software SeisComP (GFZ 2008) bestimmt. Die Relativlokalisierungen erfolgten mit dem HypoDD Double-Difference-

**i**

**Erdbebenherd:**

Der Punkt im Erdinneren, an dem der Bruch der Gesteine begann, ist der Erdbebenherd oder auch Hypozentrum. Die Lage eines Erdbebenherdes wird durch die geographischen Koordinaten (Längen- und Breitengrad) und die Herdtiefe (in Kilometer) angegeben.

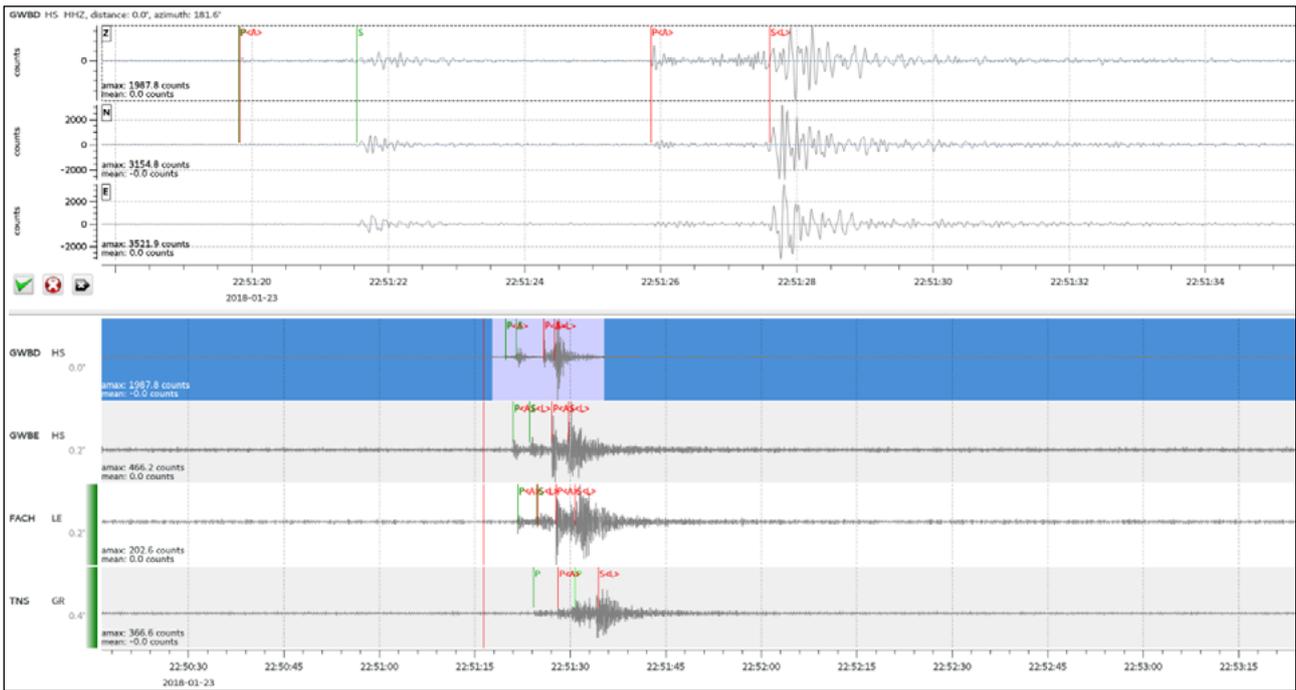


Abb. 2: Beispielseismogramme der Erdbeben vom 23.01.2018 um 22:51:16 Uhr ( $M_L=0,2$ ) und 22:51:22 Uhr ( $M_L=1,0$ ).

Algorithmus (WALDHAUSER & ELLSWORTH 2000). Mittels dieser Relativlokalisierung können Fehler in der Lokalisierung aufgrund von Unsicherheiten im Geschwindigkeitsmodell minimiert werden.

In Abb. 3 ist die Magnituden- und Herdtiefenverteilung der Erdbeben westlich von Bad Schwalbach dargestellt. Es ist kein eindeutiges Hauptereignis erkennbar. Dieses Fehlen eines Hauptereignisses mit einer Magnitude, die deutlich (mindestens eine Magnitudenstufe) die Magnituden der restlichen Erdbeben übersteigt, als auch der zeitliche Verlauf der seismischen Aktivität lässt darauf schließen, dass es sich bei der Erdbebenaktivität westlich von Bad Schwalbach im Taunus um mehrere Erdbebenschwärme handelt, die jeweils von einer gewissen Zeit von „seismischer Ruhe“ voneinander getrennt sind. Die Hypozentren erstrecken sich über einen Tiefenbereich von 9 bis 19 km mit einer lateralen Ausdehnung von etwa 6 km. Die seismische Aktivität im Taunus ist auf ein vergleichsweise größeres Gebiet verteilt und wird nach Norden durch weitere angrenzende aktive Erdbebenherde im Bereich des Zorn-Langschieder Quergrabens fortgesetzt (Abb. 1).

Rückschlüsse auf den Bruchmechanismus eines Erdbebens und das Spannungsregime einer Region können anhand einer Analyse von Herdflächenlösungen erfolgen. Eine Herdflächenlösung enthält Informationen über die Streichrichtung der Störungsfläche (strike), den Einfallswinkel (dip) und den Winkel der Bewegungsrichtung auf der Bruchfläche (rake). Die Herdflächenlösung stellt die räumliche Abstrahlcharakteristik der Erdbebenwellen (meist P-Wellen) dar. Sie kann genutzt werden, um

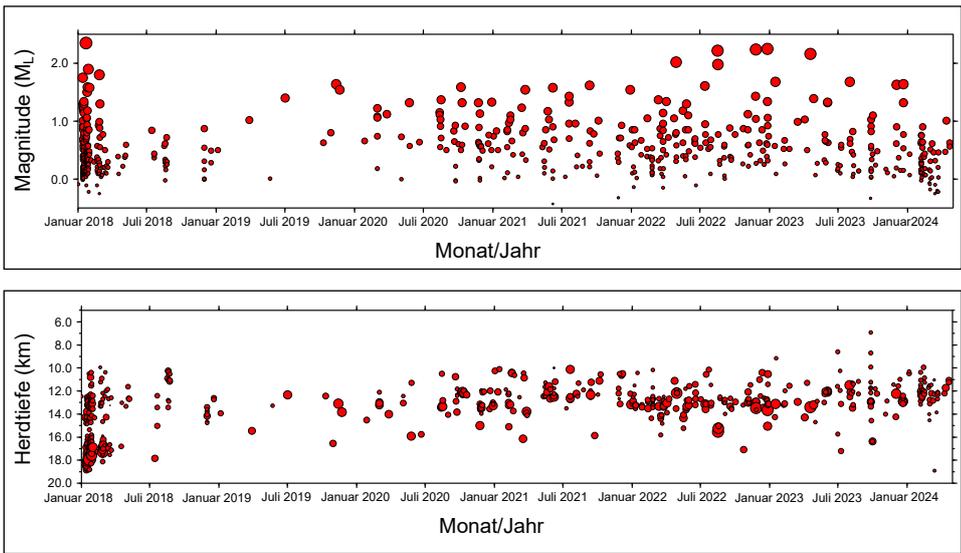


Abb. 3: Magnituden- und Tiefenverteilung der Erdbeben westlich von Bad Schwalbach im Taunus

die Orientierung der Herd- und Hilfsfläche (Nodalflächen), die Richtung der Dislokationsvektoren und die Orientierung der Hauptspannungen im Erdbebenherd zu bestimmen. Eine Möglichkeit zur Erstellung der Herdflächenlösung bietet die Verwendung der Polaritäten (Richtung der Ersteinsätze) der P-Wellen in den aufgezeichneten Seismogrammen der Messstationen. Die Darstellung erfolgt durch die Projektion auf eine um den als punktförmig angesehenen Erdbebenherd gedachte Kugel (HOMUTH 2015). Zur Bestimmung der Herdmechanismen der Erdbeben westlich von Bad Schwalbach wurden Herdflächenlösungen anhand von Polaritäten von Ersteinsätzen in den Seismogrammen erstellt. Es konnte ein schräg-aufschiebendes Spannungsregime festgestellt werden (Abb. 4), für einige Ereignisse jedoch auch Schrägabschiebungen (Abb. 5; Tab. 1). Der Hauptteil der Erdbeben ereignet sich entlang einer Störzzone im Bereich der unteren Kauber-Schichten, die an die Bornicher Schichten des Galgenkopf- und Schmandkopf-Sattels angrenzen und durch Aufschiebungen abgegrenzt werden (Abb. 1). Die generelle Bruchrichtung im Erdbebenherd entspricht dem in der Region bekannten Spannungsverlauf in NW-SE-Richtung (HOMUTH et al. 2014).

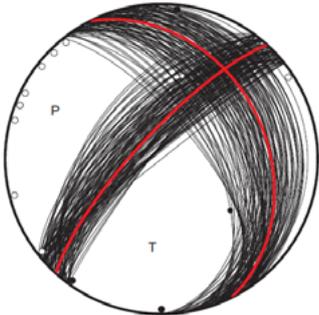


Abb. 4: Herdflächenlösung des Erdbebens vom 22.01.2018 um 07:35 Uhr ( $M_L=2,5$ ). P=Kompressionsachse; T=Dehnungsachse

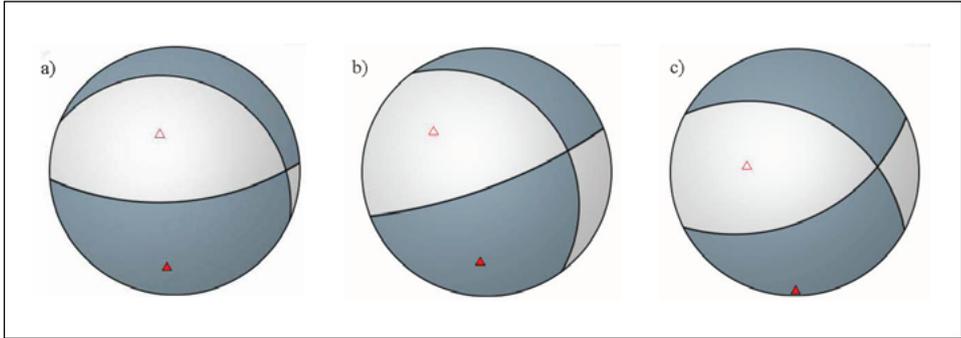


Abb. 5: a) Herdflächenlösung des Erdbebens vom 13.01.2018 um 12:32 Uhr; b) Herdflächenlösung des Erdbebens vom 22.01.2018 um 07:20 Uhr; c) Herdflächenlösung des Erdbebens vom 22.03.2019 um 03:44 Uhr (nach STOCKEMER 2020)

# Über 600 Erdbeben

seit Januar 2018 westlich von Bad Schwalbach im Taunus



Tab. 1: Ergebnisse der Herdflächenlösungen nach STOCKEMER (2020)

Datum	Uhrzeit (UTC)	Breiten-grad	Längen-grad	Magnitude ( $M_L$ )	Tiefe (km)	Strike/Dip/Rake
13.01.2018	12:32:00	50,130	7,930	1,7	17,0	293 / 23 / -65
22.01.2018	07:20:00	50,140	7,920	2,4	18,0	323 / 32 / -19
22.03.2019	03:44:02	50,135	7,900	1,5	11,8	298 / 48 / -47

Daraus lässt sich schließen, dass es aus jetziger Sicht am wahrscheinlichsten ist, dass eine alte, bereits vorhandene Bruchstruktur im tieferen Untergrund reaktiviert wird. Hier könnte das Auftreten von Fluiden ein Auslösungsmechanismus sein, der das Phänomen der Erdbebenschwärme erklären könnte.



## Fazit

Mit Hilfe von lokalen Erdbebenmessstationen und einer Verdichtung des Netzwerkes des HED im Bereich des Taunus westlich von Bad Schwalbach konnte eine seismisch aktive Region in Hessen detaillierter untersucht werden. Aufgrund von sehr genauen Relativlokalisierungen mehrerer hundert Erdbeben konnten aktive Störungzonen ermittelt werden. Erstmals ist es ebenfalls eindeutig, dass diese in der Grenzregion von Hessen zu Rheinland-Pfalz liegenden Erdbeben größtenteils auf hessischem Gebiet stattfinden. Die aus den Erdbeben abgeleiteten tektonischen Bewegungsrichtungen stimmen gut mit bekannten Vorzugsrichtungen und der Lage bekannter oberflächennaher Störungzonen überein. Daraus lässt sich ableiten, dass eine alte, bereits vorhandene Bruchstruktur im tieferen Untergrund seismisch reaktiviert wird. Ein Auslösungsmechanismus dafür könnte das Auftreten von Fluiden sein. Dies könnte auch das Phänomen der Erdbebenschwärme und der zwischenzeitlichen „Ruhephasen“ erklären.

Die Erdbebentätigkeit in der Region hält aktuell an und wird vom HED weiter genau beobachtet. Die Öffentlichkeit wird weiterhin über die seismischen Aktivitäten vom HLNUG informiert werden.

## Literatur

- Helmholtz Centre Potsdam Gfz German Research Centre For Geosciences And Gempa GmbH (2008): The SeisComP seismological software package. GFZ Data Services. doi:10.5880/GFZ.2.4.2020.003.
- HOMUTH, B., RÜMPKER, G., DECKERT, H. & KRACHT, M. (2014): Seismicity of the northern Upper Rhine Graben – Constraints on the present-day stress field from focal mechanisms. *Tectonophysics*, 632:8–20, doi: 10.106/j.tecto.2014.05.037.
- HOMUTH, B. (2015): Hochauflösende Erfassung der Seismizität im nördlichen Oberrheingraben: Schwarmbeben, Spannungsregime und Seismische Gefährdung. – Diss. Univ. Frankfurt a.M.: 191 p.; <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/37870>.
- LOMAX, A., VIRIEUX, J., VOLANT, P. & BERGE, C. (2000): Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations. In: *Advances in Seismic Event Location*. THURBER, C.H. & RABINOWITZ, N. (eds.), Kluwer, Amsterdam, 101–134.
- STOCKEMER, J. (2020): Erdbebenuntersuchungen im Raum Bad Schwalbach. Bachelorarbeit, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
- WALDHAUSER, F. & ELLSWORTH, W.L. (2000): A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault, California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 1353–1368.