

## **FAQ zu den ersten wissenschaftlichen Ergebnissen (17. September 2025)**

### **Was ist ein Large-N Experiment**

Dieser Begriff wird in der Geophysik benutzt, um Experimente zu beschreiben, bei denen viele (Large) seismische Sensoren (Nodes = N) in einer Region für einen begrenzten Zeitraum installiert werden, um regionale Erdbeben und Bodenbewegung kontinuierlich aufzuzeichnen.

### **Von wem und warum wurde in der Eifel ein Large-N Experiment durchgeführt?**

Das Experiment wurde vom GFZ - Helmholtz Zentrum für Geoforschung – initiiert und koordiniert. Es beteiligten sich sechs Universitäten aus dem In- und Ausland sowie die Geologischen Dienste in Mainz (Rheinland-Pfalz) und Freiburg (Baden-Württemberg). Die meisten der seismischen Stationen kamen aus dem Geophysikalischen Gerätepool Potsdam des GFZ. Das Experiment wäre nicht ohne die Unterstützung der lokalen Bevölkerung, der Gemeinden und der Kreis und Forstverwaltungen möglich gewesen.

Ziel dieses wissenschaftlichen Experiments war es, die Strukturen und Prozesse in der Erdkruste unter den Vulkanfeldern der Ost- und Westeifel besser aufzulösen. Das Experiment ist aus einer größeren Initiative zur Bildung eines Forschungsprogrammes (SPP) bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft hervorgegangen, um die Entwicklung des Vulkanismus in der Osteifel besser zu verstehen.

### **Sind die Daten des Large-N Experiments frei verfügbar?**

Die Daten stehen den am Projekt beteiligten Studierenden und Wissenschaftler:innen für eine Dauer von zwei Jahren exklusiv zur Verfügung. Danach sind die Rohdaten über das GEOFON Portal des GFZ frei verfügbar. Wissenschaftliche Publikationen machen die Ergebnisse ebenfalls öffentlich verfügbar, nachdem sie eine Begutachtung durch an der Untersuchung nicht beteiligte Wissenschaftler:innen durchlaufen haben.

### **Zu welchen Fragestellungen können die Auswertungen der Daten des Large-N Experiments beitragen, und wer arbeitet an den Daten.**

An den Daten arbeiten vor allem Studierende, Doktorand:innen und Postdoktoranden. Die Daten des Experiments dienen der Untersuchung lokaler Mikrobeben bis hin zur Abbildung der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Erdbebenwellen in der Erdkruste und dem darunterliegenden Erdmantel. Dadurch kann die Herkunft und der Aufstieg von Magma unter den Vulkanfeldern der Eifel geklärt werden. Eine wichtige Frage ist auch, ob es heute tief unter dem Laacher See Ansammlungen von Magma gibt und in welchen Zustand sich diese befinden.

### **Welche ersten Ergebnisse sind gefunden worden**

Bisherige Ergebnisse zeigen, dass neben der bekannten Ochtendunger Mikrobeben-Zone auch weitere, kleinräumige Erdbebencluster unter der Osteifel bis in Tiefen von etwa 12 km aktiv waren. Eine jetzt erstmalig erstellte Lokalbeben-tomographie in der Osteifel zeigt eine ausgeprägte Geschwindigkeitsanomalie unter dem Laacher See Vulkan, die vermutlich mit dem ehemaligen magmatischen Reservoir des explosiven Ausbruchs vor 13,000 Jahren zusammenhängt. Lage und Tiefe dieses Reservoirs wurde bisher aus der Untersuchung von Ablagerungen des Laacher Sees abgeschätzt. Durch das seismische Experiment kann die heutige Tiefe und Ausdehnung dieses Reservoirs erstmals geophysikalisch eingegrenzt werden. Wir können dadurch erstmalig untersuchen,

wie ausgedehnt das Reservoirs des Laacher See Vulkans heute ist und in welchem Zustand es sich befindet.

### **Warum wurden so viele Mikrobeben lokalisiert und wie sind die Erdbeben einzuordnen**

Es wird weltweit beobachtet, dass schwache Erdbeben viel häufiger auftreten als Stärkere. Durch die gezielte Installation zahlreicher seismischer Stationen konnten deutlich mehr schwache Erdbeben nachgewiesen werden als mit den bisherigen Überwachungsnetzen. Das Large-N Experiment konnte dadurch bereits über eine relativ kurze Messdauer von einem Jahr das Erreichen, was bei einem herkömmlichen Stationsnetz erst durch eine Überwachung über viele Jahrzehnte möglich wäre.

### **Welche praktische Anwendung und Nutzung ergibt sich aus den Daten und Ergebnissen**

- oberflächennahe Geschwindigkeitsanomalien geben zum Beispiel Hinweise auf geklüftetes Gestein, das mit Wasser und CO<sub>2</sub> gesättigt ist. Das deutet indirekt auch auf die Aufstiegsbahnen von vulkanischen Gasen wie CO<sub>2</sub> aus der Tiefe hin, da diese zur starken Sättigung des Gesteins beitragen.
- Wir vermuten außerdem, dass die Geschwindigkeits-Anomalien in 4 und mehr Kilometer Tiefe unter den Vulkanen der Osteifel Hinweise auf erhöhte Temperaturen sein könnten. Diese Regionen könnten möglicherweise geothermisches Erschließungspotenzial bieten, was eine gute Nachricht ist.
- Ebenso ist zu erwarten, dass das aus dem Experiment abgeleitete 3D Geschwindigkeitsmodell die Lokalisierungen von Mikrobeben in der Region in Zukunft verbessern wird.
- Der dichte Stationsabstand erlaubt es außerdem, oberflächennahe Verstärkungsfaktoren flächendeckend zu bestimmen und damit die seismischen Gefährdungskarten im Gebiet des Neuwieder Beckens und des Rheingrabens zu verfeinern.

### **Welche wissenschaftlichen Ergebnisse zeichnen sich ab**

- Seismische Experimente, die in den 1970er Jahren durchgeführt wurden, konnten keine ungewöhnlich heißen Zonen in der Kruste unter der Osteifel nachweisen. Ergebnisse des Large-N Experiments zeigen nun, dass eine ungewöhnliche Zone in Form eines säulenförmigen Zylinders existiert. Wegen der geringen horizontalen Ausdehnung der Struktur von nur etwa 3 Kilometern konnte diese in früheren Untersuchungen nicht erkannt werden.
- Wir sehen außerdem Geschwindigkeits-Anomalien in Tiefen zwischen 4 und 10 km unter dem Laacher See. Diese stellen möglicherweise das Restmagma der Eruption von vor 13.000 Jahren dar. Durch die neuen Erkenntnisse über die Ausdehnung und Tiefe dieses Restmagmas können wir jetzt gezielte Experimente planen, um beispielsweise durch Bohrungen die Temperatur in den Umgebungsgesteinen besser zu bestimmen, oder die durch das Magma freigesetzten Gase und Metalle direkt zu beproben.
- Durch die Rekonstruktion der Geschwindigkeitsanomalien unter dem Laacher See rücken Erdbebenschwärme aus den 2017 und 2018 Jahren bei Gleys und Galenberg in ein neues Licht. Bisher war unklar, ob diese zum Beispiel durch das Aufsteigen von CO<sub>2</sub> oder anderen magmatischen Fluiden in 10 km Tiefe ausgelöst wurden. Das wird jetzt jedoch als mögliches Szenario angesehen, einfach weil die Lokation dieser Beben in den Randbereichen der neu gefundenen Geschwindigkeitsanomalien liegt. Untersuchungen von Kristallen in den Gesteinen des Laacher See Vulkans hatten bereits früher angedeutet, dass primitive Schmelzen aus dem Erdmantel immer wieder in geringe Tiefen unter dem Laacher See aufgestiegen waren. Der anhaltende Aufstieg solcher Schmelzen wurde aber bislang nicht unabhängig bestätigt.

## **Gibt es Hinweise auf magmatische Reservoirs in der Unterkruste?**

Die Aufzeichnungen des Large-N Experiments geben Hinweise auf Reflexionen an Schichtgrenzen oder Ansammlungen von Flüssigkeiten in der unteren und mittleren Erdkruste und im oberen Erdmantel. Konkret sehen wir Hinweise auf magmatische Reservoirs in 30, 25, 22 und 15 Kilometer Tiefe. Ähnliche Reflexionen wurden bereits in aktiven seismischen Experimenten aus den 1970er Jahren erkannt. Diesen Daten fehlte aber die räumliche Auflösung, um die genaue Lage und Größe dieser Reflektoren zu bestimmen. Mit den neuen Daten besteht die Möglichkeit herauszufinden, ob diese Reflexionen mit Ansammlungen von Schmelzen in der Kruste zusammenhängen. Das bestätigt uns im Nachhinein, dass sich der Aufwand eines passiven, seismologischen Großexperiments mit viel Einsatz durch Studierende und Wissenschaftler aus mehreren Universitäten, dem GFZ, und Unterstützung durch die Vulkanologische Gesellschaft und der Bevölkerung, gelohnt hat, da erstmalig diese wichtigen Fragen angegangen werden können.

## **Was sind niederfrequente Tiefherdbeben (engl. Deep Low Frequency Earthquakes (DLF))?**

Bei niederfrequenten Tiefherdbeben (Deep Low Frequency DLF Earthquakes) handelt es sich um durch magmatische Vorgänge ausgelöste Mikrobeben, die in ungewöhnlich großer Tiefe auftreten und für eine Magnitude M 1 dominante Frequenzen bei etwa 3 bis 10 Hz aufweisen. Das ist deutlich niederfrequenter als für ein tektonisches Beben vergleichbarer Magnitude. Die Beben treten außerdem in ungewöhnlicher Tiefe bis in den oberen Erdmantel in 43 km auf. Zudem dauern die Schwingungen der Erdbebenseismogramme oft mehrere 10er Sekunden an, und sind damit deutlich länger als bei tektonischen Erdbeben vergleichbarer Stärke und Entfernung zur Messstation.

## **Was unterscheidet die episodisch beobachteten DLF Erdbeben und Schwarmbeben von den tektonischen Erdbeben, die regelmäßig in der Osteifel auftreten?**

In der Osteifel treten tektonische Erdbeben häufig an der Ochtendunger Seismizitätszone auf, welche das Neuwieder Becken nach Westen begrenzt. Nach bisheriger Interpretation wurde die Ochtendunger Zone als eine in der geologischen Vergangenheit angelegte, geologische Schwächezone angesehen, die heute reaktiviert wird. Allerdings haben wir durch das neue Experiment feststellen können, dass es auch innerhalb der Ochtendunger Zone schwarmartige und fluid-induzierte Erdbeben gibt. Ebenso gibt es Vermutungen, dass sich unterhalb des Neuwieder Beckens magmatische Fluide ansammeln. Deshalb ist die Untersuchung der Ursachen der Mikrobeben entlang der Ochtendunger Zone weiterhin sehr wichtig.

Die DLF Erdbeben unterscheiden sich von den typischen Erdbeben in der Ochtendunger Zone neben der ungewöhnlichen Tiefe auch durch ihren niederen Frequenzgehalt von etwa 3 bis 10 Hz. Die bisher bekannten DLF Erdbeben ereigneten sich etwas westlich der Ochtendunger Seismizitätszone entlang eines möglichen Krustenkanals unter dem Laacher See, der genauso wie die neu entdeckte Magmakammer unter dem Laacher See nach Südosten einfällt.

## **Warum werden die DLF Erdbeben erst seit 2013 beobachtet?**

Der Landeserdbebendienst Rheinland-Pfalz hat in den letzten Jahrzehnten sein seismisches Messnetzwerk in der Osteifel ausgebaut und auf den neuesten Stand der Technik gebracht. Seither sind die technischen Voraussetzungen gegeben, um auch sehr schwache Erdbeben, die weit unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsgrenze liegen, aufzuzeichnen und zuverlässig zu lokalisieren. Es ist nicht einfach möglich, Rückschlüsse auf die Aktivität vor dieser Zeit zu führen. Es wird aber als

wahrscheinlich erachtet, dass es schon vor 2013 DLF Erdbeben in den jetzt beobachteten Bereichen gab, die jedoch nicht gemessen wurden.

### **Welche Maßnahmen werden ergriffen, um die magmatische Aktivität unter dem Laacher See Vulkan genauer zu überwachen und zu erforschen?**

In den letzten Jahren wurde die seismische Überwachung in der Osteifel systematisch ausgebaut. Die Erdbeben werden vom Verbund Erdbebendienst Südwest systematisch zeitnah lokalisiert und veröffentlicht. Zudem hat das GFZ seit 2022 begonnen ein Vulkanobservatorium in der Eifel aufzubauen und trägt mit unterschiedlichen Messtechniken zur Überwachung der Region bei.

### **Wie wahrscheinlich ist ein Wiedererwachen des Vulkanismus am Osteifel Vulkanfeld?**

Die Ergebnisse der jüngsten Studie bestätigen lediglich die schon bestehende wissenschaftliche Meinung: Der Vulkanismus am Laacher See bzw. in der Eifel ist nicht erloschen, er ist „langzeit-schlafend“. Die Tatsache, dass sich unter dem Laacher See Magma bewegt und sich möglicherweise langsam in der Kruste ansammelt, belegt durchaus, dass Vulkanausbrüche in der Region in Zukunft nicht auszuschließen sind. Datierungen von Zirkonmineralen in Gesteinen des Laacher See Vulkans haben gezeigt, dass diese Prozesse sehr langsam ablaufen: Magma unter dem Laacher See Vulkan hat sich demnach über Zeiträume von mindestens 50.000 Jahren vor dem Ausbruch angesammelt. Ein erneutes Erwachen des Vulkanismus wird sich höchstwahrscheinlich durch deutliche Vorläufersignale ankündigen. Der Aufstieg von Magma in die flache Erdkruste geht in aller Regel mit hochfrequenten Erdbebenschwärmern einher, die sich deutlich sowohl von DLF Erdbeben, als auch von tektonischen Erdbeben unterscheiden. Eine solche Aktivität wurde in der Osteifel bislang nicht beobachtet.

### **Erdbeben und Vulkanüberwachung heute:**

Die Erdbebenaktivität in Deutschland konzentriert sich zu einem großen Teil in den Regionen entlang des Rheins und angrenzenden Gebieten. Als Nahtstelle Mitteleuropas stellen der Oberrheingraben, das Mittelrheingebiet und die Niederrheinische Bucht eine geologische Schwächezone dar, an der vermehrt Erdbeben auftreten.

Zentrale Einrichtungen zur Messung von Erdbeben in dieser Region sind die Landeserdbebendienste von Rheinland-Pfalz (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in Mainz) und von Baden-Württemberg (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg). Aus der traditionell engen Kooperation dieser beiden Dienste ist Anfang 2011 der Verbund „Erdbebendienst Südwest“ entstanden ([www.erdbebendienst-suedwest.de](http://www.erdbebendienst-suedwest.de)). Ziel des Verbundes ist es, Ressourcen zu bündeln, um schnell und zuverlässig über Erdbeben in beiden Bundesländern informieren zu können.

Das GFZ hat seit 2022 begonnen, die Überwachungsnetze der Erdbebendienste durch unterschiedliche Sensoren zu ergänzen. So wurden mehrere Multiparameterstationen nahe des Laacher Sees aufgebaut, erstmalig ein dichtes Netzwerk an satellitengestützten GPS-Stationen errichtet, und mehrere Fluidmessstationen zur kontinuierlichen Überwachung der magmatischen Gase eingerichtet. Außerdem wurde im Jahr 2025 ein Supraleitendes Gravimeter oberhalb der Geschwindigkeitsanomalie des Laacher See Vulkans installiert. Alle Daten der GFZ Observatoriums sind frei verfügbar. In Zusammenarbeit mit Universitäten und Landesdiensten wurden zudem Feldexperimente durch das GFZ initiiert und durchgeführt.