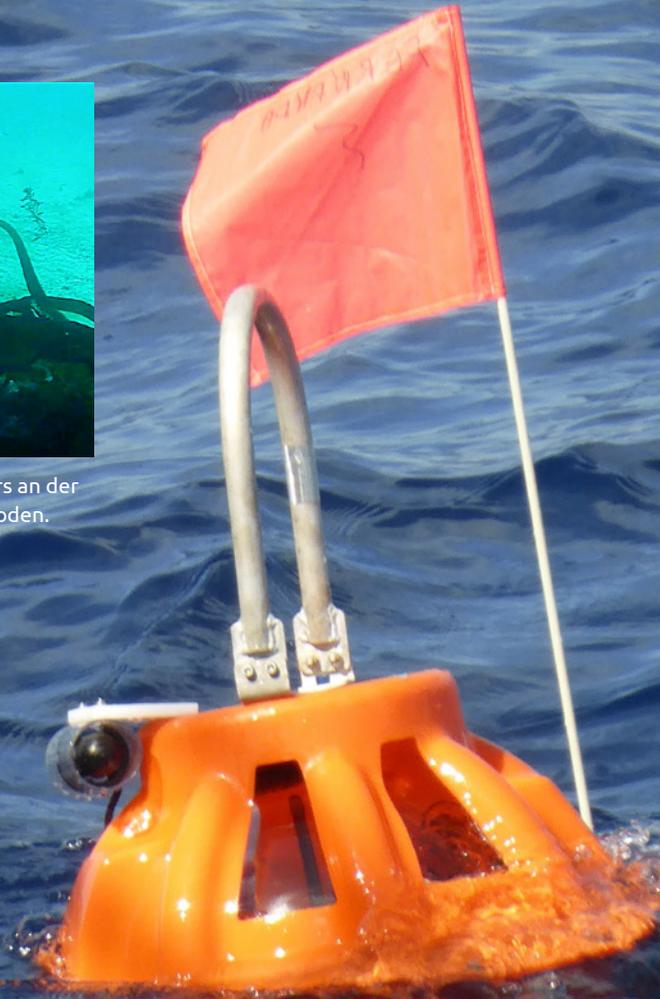




Ein Ozeanbodenseismometer des Ifremer an der Meeresoberfläche und auf dem Meeresboden.



DIE ROLLE VON FLUIDEN IN DER SUBDUKTIONSZONE DER KLEINEN ANTILLEN

24. PETERSEN EXZELLENZ-PROFESSUR 03/2022

Werner
Peterson
Stiftung



DR. FRAUKE KLINGELHÖFER

Position:

Seniorwissenschaftlerin am Ifremer,
Department of Marine Geosciences, Frankreich

Forschungsinteresse:

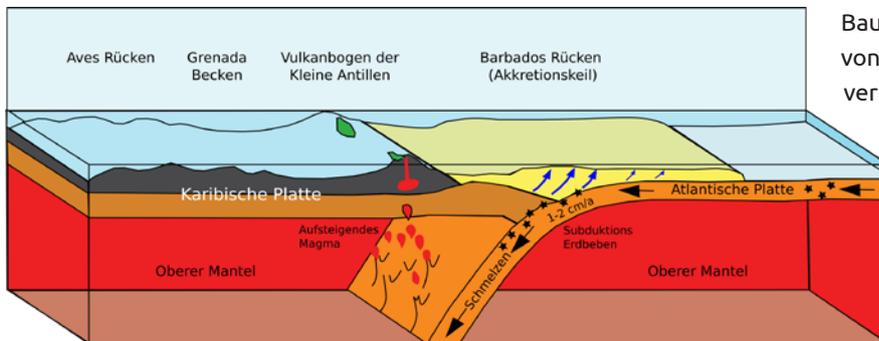
Tiefenstruktur von aktiven und passiven Kontinentalrändern



Erdbeben sind eine der größten geologischen Gefahren und auch heute nicht zeitlich und örtlich vorhersagbar. 90 Prozent aller Erdbeben entstehen in Subduktionszonen, wenn sich eine Platte unter eine andere schiebt und in den oberen Mantel abtaucht. Wenn sie unter dem Meeresboden entstehen, können zusätzlich Tsunamis ausgelöst werden. Daher ist es wichtig, die Ursachen, die zur Entstehung von Erdbeben im marinen Bereich führen zu erforschen, wie zum Beispiel den Einfluß von Fluiden auf die seismische Aktivität. Die Kleinen Antillen sind ein natürliches Labor um diese Zusammenhänge zu studieren, da hier eine zu einem hohen Grad hydratisierte ozeanische Platte in die Subduktion gelangt. Ein Teil des in dieser Platte enthaltenen Wassers wird während der Subduktion wieder freigesetzt und migriert durch bereits bestehende Verwerfungen zurück zum Meeresboden. Diese Fluide haben einen starken Einfluß auf die Entstehung, Häufigkeit und Stärke von Erdbeben und können mit geowissenschaftlichen Methoden vermessen werden.

Erdbeben in Subduktionszonen entstehen in der Tiefe, in der die beiden Platten miteinander in Kontakt sind und wenn sich genug Spannung aufgebaut hat, um beide Platten innerhalb kurzer Zeit gegeneinander zu verschieben. Fluide spielen eine wichtige Rolle in

solchen plattentektonischen Prozessen, wie zum Beispiel in der Subduktionszone der Kleinen Antillen. Dort werden die Nord- und Süd-amerikanischen Platten unter die Karibische Platte subduziert. Die Subduktion ist frontal im Süden bei Barbados und wird schräger zum



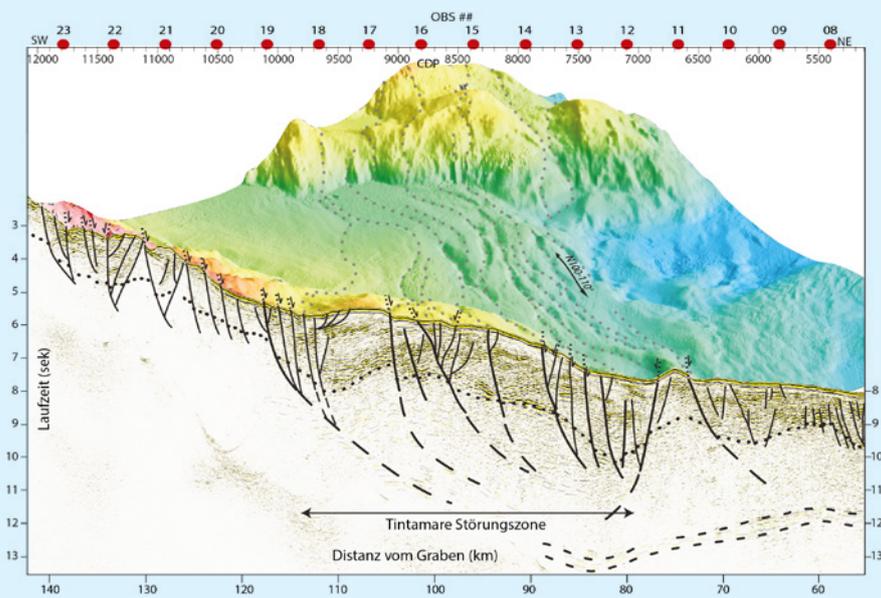
- Schema der tektonischen Prozesse in der Subduktionszone der Kleinen Antillen, in der die Atlantischen Platten unter die karibische Platte subduziert werden. In den Sedimenten und der ozeanischen Platte enthaltene Fluide kehren zum Meeresboden zurück. In größerer Tiefe helfen die austretenden Fluide den oberen Mantel aufzuschmelzen und damit den Vulkanbogen zu konstruieren

Norden hin. Transform-Störungen entstehen im Norden (Haïti) und Süden (Venezuela). Dieser Prozeß erzeugt eine Seismizität mit Erdbeben bis zu einer Magnitude von 8,5, aber in einem großen zeitlichen Abstand (von ungefähr 1.000 Jahren. Historische Erdbeben fanden 1839 bei Martinique mit einer Magnitude von 7,5 und 1843 bei Guadeloupe mit einer Magnitude von ungefähr 8 statt. Beide Beben führten zu der Zerstörung von Städten und mehreren tausenden Opfern.

Auch heute sind die Kleinen Antillen seismisch aktiv, und die Region Frankreichs mit dem höchsten seismischen Risiko. Zum Beispiel gab es im September und Oktober 2021 eine Serie von leichten bis mittelstarken Erdbeben bei der Antilleninsel Guadeloupe, mit 8 Erdbeben der Magnitude 3,5 bis 5,1, die auch auf der Insel gespürt wurden. Wissenschaftler schätzen, daß ein schweres Erdbeben in der Region, das sich heute ereignen würde, angesichts der derzeitigen Bauweise der Gebäude den Tod von mehreren tausend Menschen verursachen könnte. Frankreich finanziert daher einen „Plan séisme“ um Schulen und andere Gebäude zu verstärken und Aktionen zur Sensibilisierung, Information und Vorbereitung der Bevölkerung durchzuführen.

Frauke Klingelhöfer studierte von 1986-1992 Geophysik an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und promovierte danach dort im Graduiertenprogramm „Dynamik globaler Kreisläufe über das Thema „Model calculations on the spreading of submarine lava flows“.

Von 1999-2001 war sie als Postdoc im Atlantic Margins Project an der University of Cambridge in Großbritannien tätig. 2001 wechselte sie an das französische Meeresforschungszentrum Ifremer, wo sie bis heute als Geophysikerin tätig ist. Schwerpunkt ihrer Arbeit ist die Verarbeitung und Interpretation von marinen seismischen Daten. Seit 2021 arbeitet Frauke Klingelhöfer in der wissenschaftlichen Direktion des Ifremers als Vertreterin der Marinen Geowissenschaften mit.



SEISMISCHES PROFIL DER TINTAMARE STÖRUNGSZONE

Daten eines seismischen Profils der Antithesis Ausfahrt kombiniert mit bathymetrischen Daten. Es ist gut zu erkennen wie die tiefen Verwerfungen an der Oberfläche Lineamente formen, die die Ausbreitung der Verwerfungen entlang des Meeresbodens zulassen. Quelle: Marcaillou und Klingelhoefer, 2021

Die Antillen sind ein Extrembeispiel, da es nur sehr wenige Subduktionszonen gibt, in denen heute ozeanische Kruste aus langsamer Öffnung (2 cm/Jahr) mit einer langsamen Geschwindigkeit subduziert wird. Die meisten Subduktionszonen liegen rund um den Pazifik im sogenannten Pazifischen Feuerring, an dem es regelmäßig zu Vulkanausbrüchen und Erdbeben kommt. Diese ozeanische Kruste im Pazifik stammt aus einer deutlich höheren Öffnungsgeschwindigkeit (~15 cm/Jahr) und hat dadurch eine andere Struktur als im Atlantik. Die langsame Öffnungsgeschwindigkeit am Mittelatlantischen Rücken führt zu der Produktion einer ungewöhnlichen ozeanischen Platte, in die Material aus dem oberen Mantel eingebaut wird. Dieses Material nimmt bei einem Prozeß, der „Serpentinisierung“ genannt wird, Wasser auf. Serpentin ist im Gegensatz zu dem in der ozeanischen Kruste pazifischer Herkunft vorherrschenden Gabbro leichter verformbar. Dieses Verhalten hat einen Einfluß auf die seismologischen Prozesse während der Subduktion. Das Studieren einer solchen Endglied-Subduktion hilft den Einfluß der



- Oben ein Gabbro, eine Gesteinsart, die einen großen Anteil der ozeanischen Kruste im Pazifik ausmacht. Unter ein Serpentin, bestehend aus Mantelmaterial, daß durch Wasser hydratisiert und dadurch verformbar wurde und in größeren Mengen in ozeanischer Kruste aus langsamer Öffnung vorkommt. Quelle: Gutscher und Klingelhoefer, 2021

Natur der subduzierten Platte auf die Seismizität der Zone zu charakterisieren.

Ein Teil des in dieser Platte, den darauf liegenden Sedimenten und dem ozeanischen oberen Mantel enthaltenen Wassers wird während der Subduktion in verschiedenen Tiefen wieder freigesetzt und migriert durch bestehende Verwerfungen zum Meeresboden,

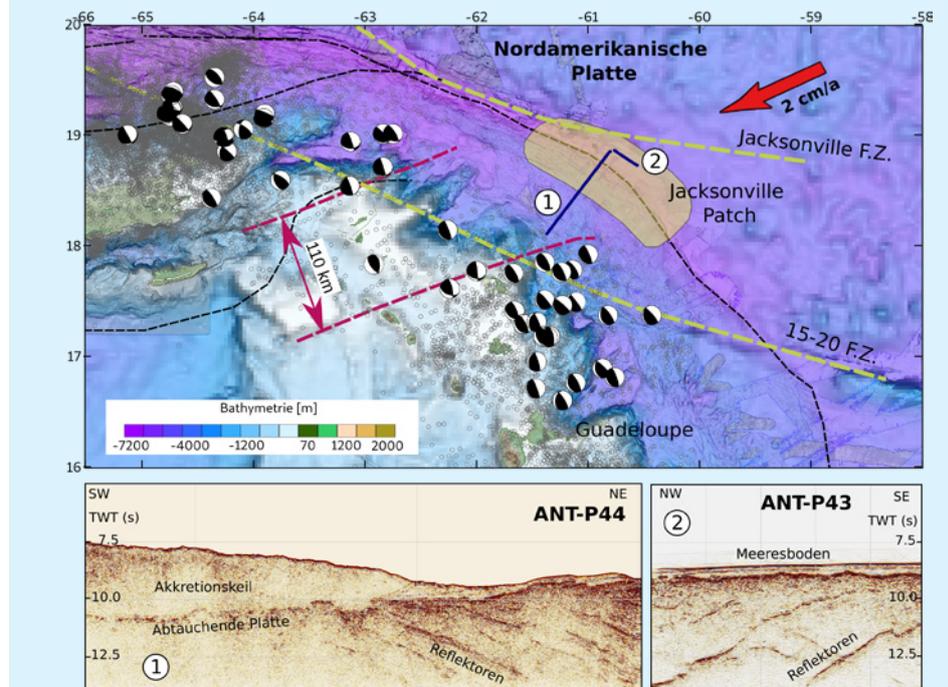
wo es zurück in das Meerwasser gelangt. Es bildet am Seeboden verschiedene charakteristische Austrittsstrukturen, wie zum Beispiel Schlammvulkane. Während der Subduktion werden durch den steigenden Druck zunächst Fluide aus den Sedimenten ausgepreßt. Wenn die abtauchende Platte in 20–100 km Tiefe gelangt, wird Wasser aus der Kruste freigesetzt und bei über 100 km Tiefe dann Fluide aus dem oberen Mantel. Diese so entstehenden Fluidzirkulationen haben einen starken Einfluß auf die Erdbeben und Vulkantätigkeit an aktiven Kontinentalrändern. Von Fluiden beeinflusster seismischer Tremor und sehr niederfrequente Erdbeben können zum Beispiel seismische Energie abbauen, und somit größere Beben verhindern. Sie bilden sich an der oberen und unteren Grenze der seismogenen Zone, dort wo starke Erdbeben entstehen können, und sind meist mit Porenüberdruck verbunden.

Die Seismizität in den Antillen ist unregelmäßig verteilt, mit einer seismisch ruhigen Zone bei den Nördlichen Kleinen Antillen. Ob diese seismische Ruhe lokal ist und von der Struktur der Zone abhängt oder zeitlich begrenzt ist und somit in der Zukunft die Aktivität wieder aufleben könnte, ist nicht bekannt. In dieser seismisch ruhigen Zone entstehen auch Erdbeben, allerdings von einer kleineren Intensität, die somit nicht von globalen Netzwerken registriert werden können. Ein zweimonatiges seismologisches Experiment erlaubte es 80 Erdbeben mit Magnituden zwischen 1,2 und 3,9 zu identifizieren. Im Süden und Norden gibt es eine höhere Seismizität. Ein Ziel unserer Antithesis Forschungsfahrten, die in 2014 und 2016 auf der „N/O L'Atalante“ und der „N/O Pourquoi Pas ?“ stattfanden, war es, den Grund für die reduzierte Erdbeben-tätigkeit in dieser Zone zu bestimmen. Diese Verteilung könnte von der Lage der Kleinen Antillen zwischen einer frontalen Subduktion und einer Transform-Störung stam-

men, aber auch mit der Zusammensetzung der ozeanischen Kruste zusammenhängen. Ungewöhnlich für ozeanische Kruste in dieser Region ist die Anwesenheit von mehreren Transform-Verwerfungen an Segmentenden des Mittelatlantischen Rückens, wo meist eine dünnere und höher tektonisierte Platte gebildet wird. Diese ist zu einem höheren Anteil hydratisierbar, wenn Meereswasser durch vorhandene Verwerfungen eindringen kann.

Während unserer Expedition haben wir tiefenseismische Profile in den Nördlichen Kleinen Antillen vermessen. Diese Daten zeigen die tiefe Struktur des vulkanischen Antillenbogens und des Akkretionskeils bis hin zur ozeanischen Kruste bis zu einer Tiefe von 30 km. Die seismischen Daten im Akkretionskeil zeigen tiefe Verwerfungen, die die Sedimentschichten gegeneinander versetzen und die in den bathymetrischen Daten als Lineamente am Meeresboden zu erkennen sind.

In der Tiefe zeigen die seismischen Daten eine sehr ungewöhnliche ozeanische Kruste mit stark ausgeprägten Reflektoren, die sich bis in 15 km Tiefe erstrecken, und die in Richtung des Mittelozeanischen Rückens geneigt sind. Diese ungewöhnliche Kruste besteht höchstwahrscheinlich zu einem großen Teil aus Serpentin mit einem hohen Wasseranteil. Die Ausdehnung dieses Bereiches ist ca. 180 km mit einer Mindestbreite von 70 km, dort wo die Jacksonville Transformstörung mit dem Akkretionskeil in Kontakt tritt, ein Grund, weswegen diese Region „Jacksonville Patch“



ERDBEBEN IN DER REGION DER NÖRDLICHEN KLEINEN ANTILLEN

Die Kugeln, auch „Beachballs“ (Strandbälle) genannt, repräsentieren Herdflächenlösungen einzelner Erdbeben und die ungefüllten Kreise die Position kleinerer Erdbeben. Gelbe Linien zeigen Transform-Störungen und blaue Linien zeigen die Lage der seismischen Profile die in den unteren Paneelen abgebildet sind. Rote Linien markieren die Ausdehnung des Bereiches der reduzierter Erdbebenaktivität. Quelle: Marcaillou und Klingelhoefer, 2021

genannt wird. Ein Vergleich mit der Erdbebenaktivität zeigt, daß die Region reduzierter Seismizität südwestlich des Jacksonville Patch in Verlängerung der Richtung der Subduktion liegt.

Der hohe Wasseranteil der ozeanischen Kruste in dieser Region könnte zur Bildung von Tremor und sehr tieffrequenten Erdbeben führen und damit das Potenzial großer Erdbeben in dieser Region verkleinern. Auch eine reduzierte Festigkeit der abtauchenden Platte kann die reduzierte seismische Aktivität erklären und auf den hohen Gehalt an Serpentin zurückzuführen sein, denn Serpentinminerale haben

einen niedrigen inneren Reibungskoeffizienten, und eine niedrige Bruchfestigkeit, die plastisches Fließen begünstigt. Im Vergleich können ähnliche Bedingungen in anderen hochhydratisierten Subduktionszonen vermutet werden, wie zum Beispiel in der seismisch ruhigen Zone des hydratisierten oberen Mantel im Nordosten Japans.

Weitere Untersuchungen dieser höchst interessanten Plattengrenze werden von April bis Juni 2022 in einem Kooperationsprojekt zwischen dem Ifremer und dem GEOMAR stattfinden. An Bord der N/O L'Atalante werden wir weitere tiefenseismische Profile vermessen, um den Grad der Hydratisierung der ozeanischen Platte genauer zu bestimmen und zudem auch Schlammvulkane und in ihnen migrierende Fluide beproben. Diese werden uns Auskünfte über die Herkunft der Fluide und damit über die Fluidzirkulationen in der Subduktionszone der Kleinen Antillen geben.

