

Ein ausgesetztes Piezometer des Ifremer vor der Küste Nizzas zur Untersuchung der Hangstabilität.
Foto: O. Dugornay, Ifremer

Eine wichtige offene Frage in den marinen Geowissenschaften ist, wie sich der Druck der Porenflüssigkeit in marinen Sedimenten auf deren Deformation auswirkt. Dank der In-situ-Porendruckmessung, die in den letzten zwei Jahrzehnten eingesetzt wurde, konnten mehrere grundlegende wissenschaftliche Fragen geklärt werden: Welche Rolle spielen Druckschwankungen im Porenwasser bei der Dynamik von Gashydrat-Sedimentsystemen? Wie wirkt sich der Porendruck auf die Stabilität von Kontinentalthängen aus? Wie können Porendruckmessungen genutzt werden, um die Kriechaktivität entlang einer geologischen Verwerfung zu verstehen?

DIE ROLLE VON PORENFLÜSSIGKEITEN BEI DEFORMATIONSPROZESSEN IM MEERESBODEN

25. PETERSEN EXZELLENZ-PROFESSUR 03/2022

Werner
Peterson
Stiftung



DR. NABIL SULTAN

Position:

Seniorwissenschaftler am Ifremer,
Department of Marine Geosciences, Frankreich

Forschungsinteresse:

Marinen Georisiken,
Gashydrate und Fluidflüsse in marinen Sedimenten

Foto: privat

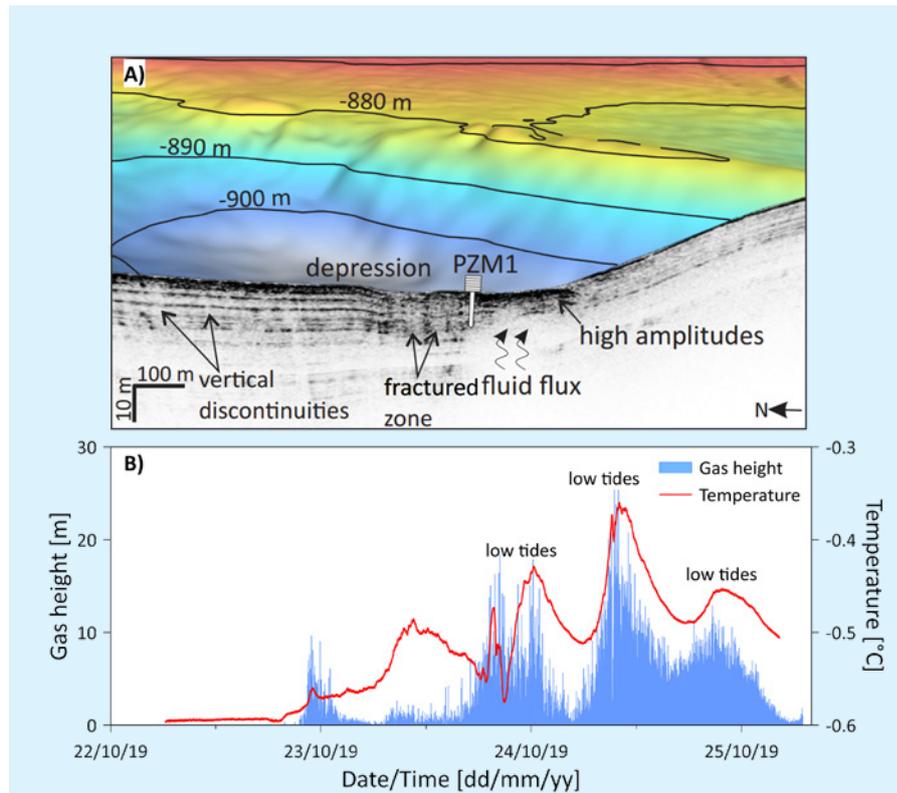


In-situ-Porendruckmessungen verbessern unser Verständnis der Dynamik von Gashydratsystemen

Obwohl Methanhydratvorkommen in den Ozeanen als weit verbreitet gelten, sind ihre Dynamik und die physikalischen Prozesse, die ihrer Entwicklung zugrunde liegen, kaum verstanden. Angesichts der Bedeutung von Methan als Treibhausgas stellt die Dynamik von Gashydraten und die damit verbundenen Methanemissionen in den Ozean, einen nicht zu vernachlässigenden Faktor für das globale Methanbudget in der Atmosphäre dar, da das Methan potenziell in die Atmosphäre gelangen kann. Die durch den Klimawandel bedingten Umweltveränderungen in der Arktis, die zu einem Temperatur- und Meeresspiegelanstieg führen, gelten als ein zusätzlicher Faktor, der die submarinen Methan- und Gashydratvorkommen und somit die Gasemissionen stark beeinflusst.

Mehrjährige hydroakustische Untersuchungen vor West-Spitzbergen haben ergeben, dass saisonale Schwankungen der Wassertemperaturen die räumliche Ausbreitung von Methanaustritten steuern können. Unser Verständnis des Phänomens der Gasemissionen in der Arktis ist jedoch unvollständig, insbesondere in großen Wassertiefen, wo der Zugang schwierig ist und hydroakustische Untersuchungen nur selten durchgeführt werden.

Dank der ersten kontinuierlichen in-situ-Messungen des Porendrucks und der Temperatur in flachen Sedimenten vor Westspitzbergen zeigen wir, dass selbst kleine Än-



AUS IN-SITU-PORENDRUCKMESSUNGEN ABGELEITETE GASFAHNENHÖHEN

A) Messungen in der Nähe einer Sedimentsenke, in der Gashydrate gefunden wurden (PZM1).
 B) Gasfahnenhöhen in Abhängigkeit von der Zeit, abgeleitet von Porendruckmessungen in 80 Zentimeter Tiefe unter dem Meeresboden. Die Spitzenwerte der Gasfahnenhöhe fallen mit den auf demselben Niveau gemessenen Temperaturspitzen zusammen. Die Daten deuten darauf hin, dass Ebbe und Flut die Gasadvektion und das Versickern begünstigen. (Sultan et al., 2020 - doi.org/10.1038/s41467-020-1889)

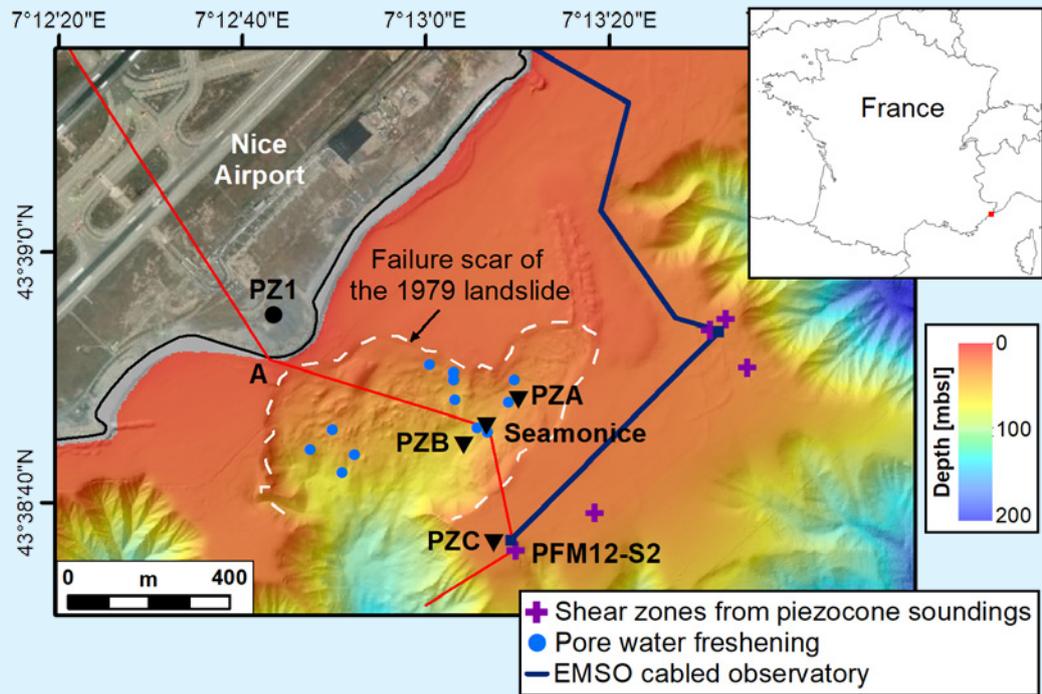
derungen des Meeresspiegels globale Auswirkungen auf die Intensität der Gasemissionen in der Tiefsee haben können. Unsere Daten zeigen, dass die Gezeiten die Intensität und Periodizität der Gasemissionen erheblich beeinflussen. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Quantifizierung der gegenwärtigen Gasemissionen in der

Arktis möglicherweise unterschätzt wird. Besonders hohe Gezeiten scheinen die Gasemissionen stark zu beeinflussen. Daher stellt sich die Frage, ob der Anstieg des Meeresspiegels die potenzielle Bedrohung durch submarine Gasemissionen, die durch einen wärmeren Arktischen Ozean verursacht werden, teilweise ausgleichen kann.

Nabil Sultan promovierte an der Ecole Nationale des Ponts et Chaussées in Paris. Seit 2000 ist er einer der führenden Wissenschaftler am IFREMER, dem französischen Pendant zum GEOMAR. Zwischenzeitlich leitete er dort auch die Forschungsabteilung für Marine Geowissenschaften.

Sein Hauptarbeitsgebiet sind geotechnische Labor- und Feldversuche mit denen er mathematische und analoge geomechanische Modelle entwickelt. Diese setzt er zur Untersuchung von Naturgefahren wie marinen Hangrutschungen und Erdbeben ein. Er untersucht damit aber auch grundlegende Prozesse des Erdsystems wie den Fluidtransport in marinen Sedimenten und die Dynamik mariner Gashydrate.

- Fächerecholot-Bathymetriedaten mit den Standorten von vier Offshore-Piezometerstationen (Seamonice, PZA, PZB und PZC) und einem Onshore-Piezometer (PZ1). Blaue Punkte zeigen die Auffrischung des Porenwassers an. (Sultan et al., 2020 - doi.org/10.1029/2020JF00565)



LANGFRISTIGE SUBMARINE ÜBERWACHUNG DES PORENDRUCKS

IFREMER-PIEZOMETER ZUR MESSUNG DES PORENDRUCKS IM SEDIMENT

A Langzeitmodus:

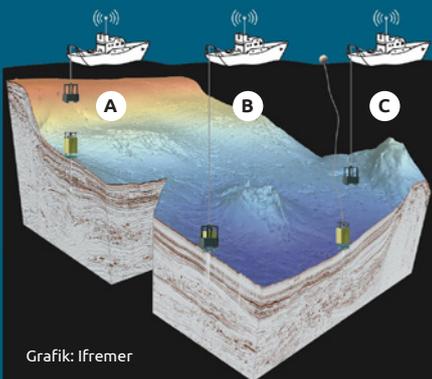
Das Piezometer nimmt bis zu zwei Jahre lang autonom Messungen vor (die Spitze geht verloren).

B Kurzzeitiger Yoyo-Modus:

Das Piezometer bleibt über das Aussetzkabel mit dem Boot verbunden. Das Gerät wird am Ende der Messung (8 bis 24 Stunden) wieder eingeholt.

C Autonomer Yoyo-Modus:

Dieser neue Einsatzmodus ermöglicht kurzfristige Messungen in Tiefen bis zu 1.500 Meter. Das Gerät wird nach Abschluss der Messung (1 bis 10 Tage) geborgen.



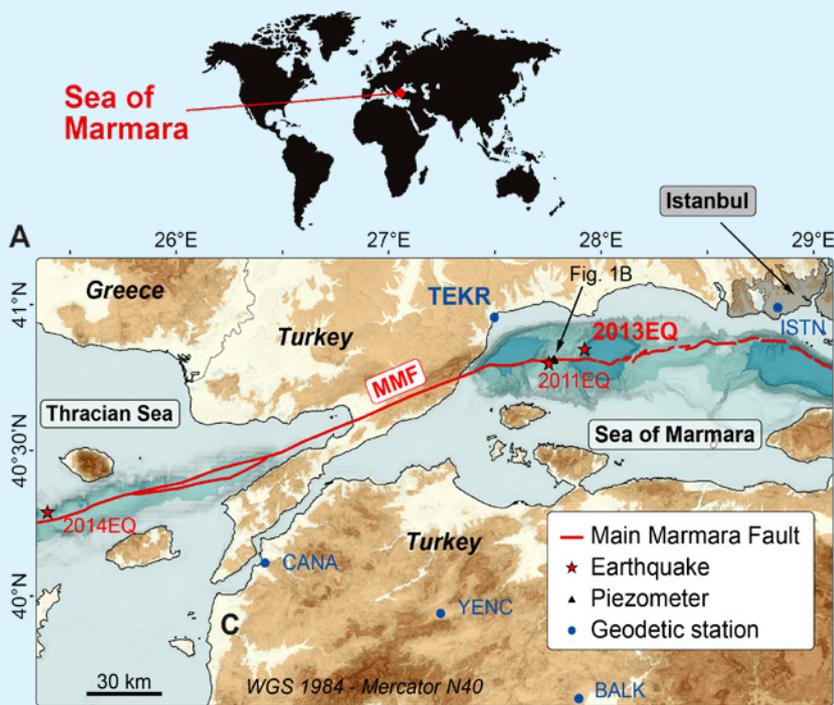
Grafik: Ifremer

Submarine Grundwasseraustritte beeinflussen die Stabilität von Küstenhängen

Die Küstengebiete rund um das Mittelmeer sind großen Naturgefahren ausgesetzt. Hierzu zählen Erdbeben, Hangrutschungen, Vulkanausbrüche und Tsunamis. Die marine Hangrutschung von 1979 am Flughafen von Nizza (Südostfrankreich) ist das jüngste Ereignis, das massive Schäden verursacht hat und einen Tsunami auslöste. Es handelt sich dabei um eine der seltenen submarinen Hangrutschungen, bei denen die genaue Abfolge der Ereignisse von der Rutschung bis zur Entstehung des Tsunamis beobachtet und recht gut beschrieben worden ist. Die Untersuchung Hangstabilität vor dieser Küste ist besonders wichtig, da die Stadt Nizza eines der wichtigsten Wirtschaftszentren Frankreichs ist und dort eine halbe Million Menschen leben und sie jährlich von Millionen Touristen besucht wird.

Seltene in-situ-Porendruck- und Temperaturdatensätze, die über mehr als ein Jahrzehnt gesammelt

wurden, haben wir verwendet, um den vorübergehenden Grundwasseraustausch zwischen einem küstennahen Grundwasserleiter an Land und mit dem unter dem Schelf zu charakterisieren. Mit Hilfe der Porendruck- und Temperaturdaten ist es gelungen, die allgemeinen Transportmechanismen des Porenwassers zu beschreiben und zu zeigen, dass der Porendruckaufbau unter dem Schelf hauptsächlich durch Diffusion beeinflusst wird. Basierend auf den gewonnenen Porendruckdaten zeigen Berechnungen zur Hangstabilität, dass der Grundwasseraustausch einen großen Einfluss auf die Hanginstabilität und die Entwicklung von Störzonen in diesem erdbebengefährdeten Gebiet hat. Selbst geringfügige erdbebenbedingte Bodenbeschleunigungen können hier die Hanginstabilität erheblich herabsetzen.



MESSUNG DES PORENDRUCKS ENTLANG EINER TRANSFORMSTÖRUNG

Übersichtskarte, die das Marmarameer und den Verlauf des nördlichen Strangs der Nordanatolischen Verwerfung zeigt (Sultan et al., eingereicht).

In-situ-Porendruckmessungen deuten auf eine starke Kopplung zwischen dem Kriechen des Meeresbodens entlang einer Verwerfung und dem Auftreten von Erdbeben hin

Die Tatsache, dass tektonische Platten entlang der Plattengrenzen abschnittsweise langsam und episodisch gleiten können, ist eine der faszinierendsten und unerklärlichsten Beobachtungen der Geophysik der festen Erde. Diese Beobachtung legt ein Kontinuum vorübergehender Verformungen entlang aktiver Verwerfungen nahe, das von seismischen Brüchen bis hin zu aseismischen (nicht zu Erdbeben führenden) Bewegungen reicht. Obwohl die wichtige Rolle und der Einfluss des Porendrucks seit langem vermutet wird, wurde er nie beobachtet, da es schwierig ist, tiefe Prozesse in seismogenen Tiefen mit oberflächennahen Porendruckmessungen zu verknüpfen.

Die westlichen Abschnitte der Marmara-Hauptverwerfung (Main Marmara Fault, MMF) sind im Vergleich zu den östlichen Abschnitten durch eine höhere Hinter-

grundseismizität gekennzeichnet. Entlang eines Abschnitts der Marmara-Verwerfung, der durch aktive Sickerquellen von einem aktiven Schlammvulkan gekennzeichnet ist, konnten wir mit Unterwasser-Entfernungsmessungen aseismische Kriechraten von 9 bis 16 Millimeter pro Jahr gemessen. Diese Unterwasserdeformationsmessungen haben wir mit Porendruckmessungen und geodätischen Daten von Landstationen ausgewertet, um die Kopplung von Porendruck und Deformation während eines 10-monatigen Kriech-Ereignisses zu analysieren. Wir zeigen, dass Porendruckschwankungen Ausdruck eines hydro-mechanischen Prozesses sind, der die tiefe seismogene Zone beeinflusst. Diese Beobachtungen belegen die Rolle der Scherausdehnung bei der Regulierung tektonischer Ereignisse, die zur Reaktivierung des benachbarten Schlammvulkans führen.

Diese Beispiele zeigen die wichtige Rolle des Porendrucks für einige der wichtigsten aktiven geologischen Prozesse (Gashydratdynamik, Hanginstabilität und Verwerfungsaktivitäten) und seinen Einfluss auf den Meeresboden und die Wassersäule. Mit Hilfe von Porendruckdaten aus der Arktis konnte vorhergesagt und modelliert werden, wie die Gezeitenzyklen die Dynamik von Gashydratsystemen vor Spitzbergen steuern. Es wird erwartet, dass ein solcher Ansatz die Vorhersagemodelle für Gasemissionen am Meeresboden aufgrund des Meeresspiegelanstiegs verbessern wird. Die seit mehr als einem Jahrzehnt durchgeführte Überwachung des unterseeischen Grundwasserabflusses vor dem Küstenflughafen der Stadt Nizza zeigt, wie Porendruckänderungen die Küste destabilisieren. Darüber hinaus hat der Einsatz von Oberflächen-Piezometern, die den Porendruck entlang einer Transformstörung messen, dazu beigetragen, die Zeitskala abzuschätzen, auf der Verwerfungs-, Kriech- und Verformungsprozesse ablaufen. Diese Messungen sind daher essentiell für das Verständnis wie Erdbeben entstehen.

Es zeichnet sich ab, dass Porendruckmessungen auch für das Verständnis und die Charakterisierung von Strömungsänderungen und die Durchmischung der Wassersäule wichtig werden, da sich diese Signale durch das quasi-inkompressible Meerwasser ausbreiten können. Daher sind genaue Druckmessungen in der Wassersäule von grundlegender Bedeutung für eine bessere Charakterisierung geologischer Prozesse im Untergrund.