

Forschungsschiff

SONNE

Reise Nr. SO294

13. 09. 2022 - 27. 10. 2022



CLOCKS

Der nördliche Cascadia Kontinentalrand: Ausdehnung der Bruchzone von Subduktions-Erdbeben, und Deformation des Akkretionskeiles.

Cascadia CO2

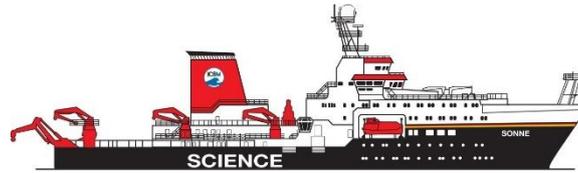
Seismische Multiparameter-Studie an einem möglichen Standort für die CO₂-Speicherung in Basalt im Cascadia Becken unter Verwendung von Scherwellensignalen

Herausgeber:

Institut für Geologie Universität Hamburg
Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Gefördert durch:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
ISSN 2364-3692



Forschungsschiff / *Research Vessel*

SONNE

Reise Nr./ *Cruise No.* SO294

13. 09. 2022 - 27. 10. 2022



CLOCKS

Der nördliche Cascadia Kontinentalrand: Ausdehnung der Bruchzone von Subduktions-Erdbeben, und Deformation des Akkretionskeiles.

Northern Cascadia: Extent of locked zone, prism deformation, slip-to-toe, and the edge of subduction.

Cascadia CO2

Seismische Multiparameter-Studie an einem möglichen Standort für die CO₂-Speicherung in Basalt im Cascadia Becken unter Verwendung von Scherwellensignalen

Seismic multi-parameter study at a possible site for CO₂ storage in basalt in the Cascadia Basin utilizing shear wave events.

Herausgeber / *Editor:*

Institut für Geologie Universität Hamburg
Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Gefördert durch / *Sponsored by:*

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
ISSN 2364-3692

Anschriften / *Addresses*

Dr. Michael Riedel

GEOMAR Helmholtz Zentrum
für Ozeanforschung Kiel
Wischhofstr. 1-3
D-24148 Kiel

Telefon: +49 431 60-2331
E-Mail: mriedel@geomar.de

Dr. Jörg Bialas

GEOMAR Helmholtz Zentrum
für Ozeanforschung Kiel
Wischhofstr. 1-3
D-24148 Kiel

Telefon: +49 431 600-2329
E-Mail: jbialas@geomar.de

Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe

Institut für Geologie
Universität Hamburg
Bundesstraße 55
D-20146 Hamburg

Telefon: +49 40 42838-3640
Telefax: +49 40 4273-10063
E-Mail: leitstelle.ldf@uni-hamburg.de
http: www.ldf.uni-hamburg.de

Reederei Briese

Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG
Research | Forschungsschifffahrt
Hafenstraße 12 (Haus Singapore)
D-26789 Leer

Telefon: +49 491 92520 160
Telefax: +49 491 92520 169
E-Mail: research@briese.de
http: www.briese-research.de

Projektträger Jülich

System Erde - Meeresforschung
Schweriner Straße 44
D-18069 Rostock

Telefon: +49-381 20356-291
E-Mail: ptj-mgs@fz-juelich.de
http: www.ptj.de/rostock

GPF-Geschäftsstelle

Gutachterpanel Forschungsschiffe (GPF)
c/o Deutsche Forschungsgemeinschaft
Kennedyallee 40
D-53175 Bonn

E-Mail: gpf@dfg.de

Forschungsschiff / *Research Vessel* SONNE

Vessel's general email address

sonne@sonne.briese-research.de

Crew's direct email address

n.name@sonne.briese-research.de

Scientific general email address

chiefscientist@sonne.briese-research.de

Scientific direct email address

n.name@sonne.briese-research.de

Each cruise participant will receive an e-mail address composed of the first letter of his first name and the full last name.

Günther Tietjen, for example, will receive the address:

g.tietjen@sonne.briese-research.de

Notation on VSAT service availability will be done by ship's management team / system operator.

- Data exchange ship/shore : on VSAT continuously / none VSAT every 15 minutes
- Maximum attachment size: on VSAT no limits / none VSAT 50 kB, extendable on request
- The system operator on board is responsible for the administration of all email addresses

Phone Bridge

VSAT	+47 224 09509
FBB 500 (Backup)	+870 773 925 590
GSM-mobile (in port only)	+49 171 410 297 7

SONNE Reise / SONNE Cruise SO294

13. 09. 2022 - 27. 10. 2022

CLOCKS

Der nördliche Cascadia Kontinentalrand: Ausdehnung der Bruchzone von Subduktions-Erdbeben, und Deformation des Akkretionskeiles.

Northern Cascadia: Extent of locked zone, prism deformation, slip-to-toe, and the edge of subduction.

Cascadia CO2

Seismische Multiparameter-Studie an einem möglichen Standort für die CO₂-Speicherung in Basalt im Cascadia Becken unter Verwendung von Scherwellensignalen

Seismic multi-parameter study at a possible site for CO₂ storage in basalt in the Cascadia Basin utilizing shear wave events.

Fahrt / Cruise SO294

13. 09. 2022 - 27. 10. 2022

Von/*from* Vancouver (Kanada) -

Nach/*to* San Diego (USA)

Fahrtleitung / Chief Scientist:

Dr. Michael Riedel

Koordination / Coordination

Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe

German Research Fleet Coordination Centre

Kapitän / Master SONNE

Tilo Birnbaum

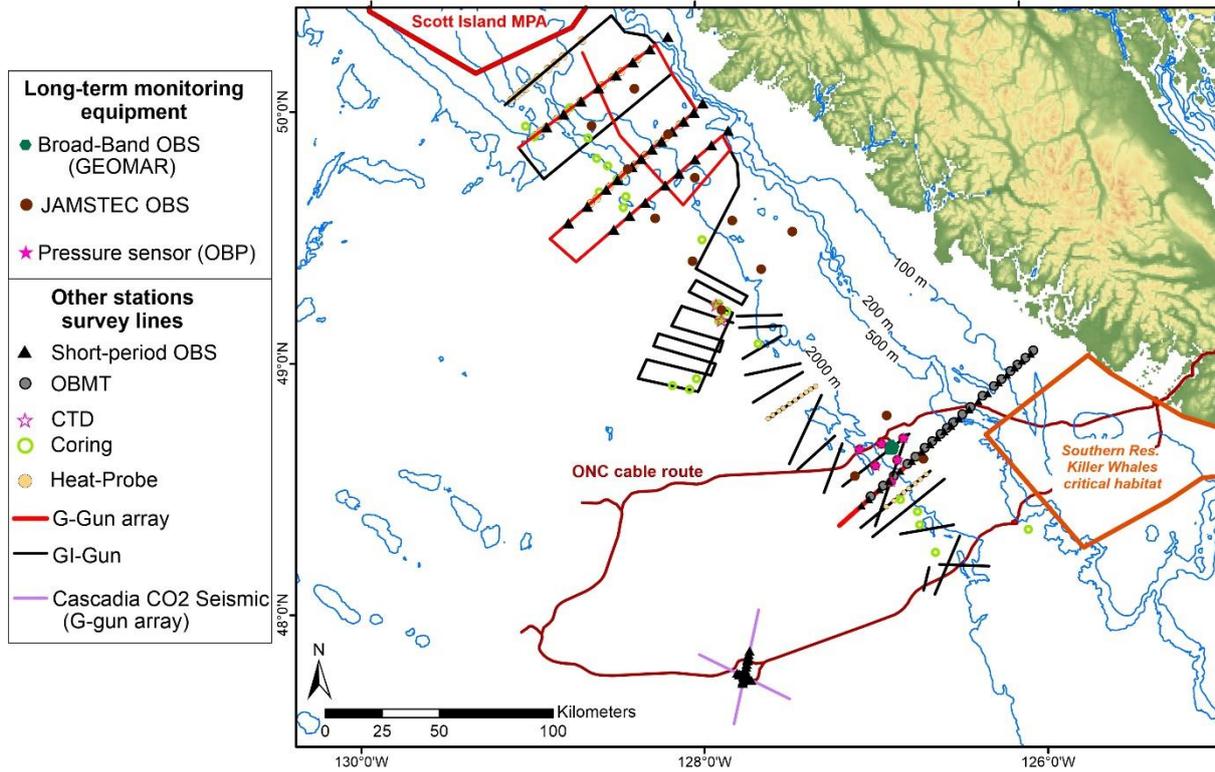


Abb. 1 Geplante Fahrtrouten und Arbeitsgebiete der SONNE Expedition SO294.

Fig. 1 Planned cruise tracks and working areas of SONNE cruise SO294.

Übersicht

CLOCKS

Erdbeben an Subduktionszonen mit Magnituden $M > 8.5$ gehören zu den gefährlichsten Beben weltweit. Die Cascadia Subduktionszone gehört zu den Regionen, für die in naher Zukunft ein solches Beben erwartet wird. Derzeit ist wenig über das Verhalten der cascadiaseismogenen Zone sowie über die tektonische Struktur entlang der Deformationsfront vor Vancouver Island bekannt. Der Übergang zur Explorerplatte an der Nootkastörung und die räumliche Abgrenzung der Subduktion sind nicht genau kartiert. Der Schwerpunkt von SO294 liegt auf der Bestimmung der Abgrenzung der seismogenen Zone, vor allem dem seewärts gelegenen Limit. Hierzu werden seismische Reflexionsdaten zusammen mit Multibeamdaten benutzt, um die Deformationsstruktur und Fragmentierung der Deformationsfront zu kartieren. Thermische Daten werden mit seismischen Methoden kombiniert, um die Temperatur an der Plattengrenze und damit verbundene Entwässerungsprozesse zu bestimmen. Magnetotellurische Daten werden erfasst, um die Tiefengrenze dieser Störungsfläche und Fluidansammlungen am unteren Limit der seismogenen Zone zu bestimmen. Alle diese Daten werden zur Antwort der Frage beitragen, ob während vorhergehender Beben die seismogene Zone bis zum Fuß des Akkretionskeils gebrochen ist, wie z.B. nach dem 2011 Tohokubeben erkannt. Die Ausdehnung der Subduktion der Explorerplatte nördlich der Nootkastörung ist derzeit nur unzulänglich bekannt. Hier wird anhand von Langzeiterdbebenmessungen sowie aktiver seismischer 3D Tomographie die Lage der Plattengrenzen bestimmt. Zusätzlich wird durch Sedimentproben an Hangrutschungen eine Abschätzung der Erdbebenrate der Explorerplatte gewonnen. Damit wären Geogefahren von solchen Subduktionsbeben vor Cascadia besser einzugrenzen und zusätzlich

Synopsis

CLOCKS

Earthquakes at subduction zones with magnitudes $M > 8.5$ are among the most dangerous earthquakes worldwide. The Cascadia subduction zone is one of the regions for which such an earthquake is expected in the near future. Currently, little is known about the behavior of the Cascadia seismogenic zone or the tectonic structure along the deformation front off Vancouver Island. The transition to the Explorer Plate along the Nootka fault and the spatial delineation of subduction have not been mapped accurately to date. The focus of SO294 is to determine the delineation of the seismogenic zone, particularly the seaward limit. To do this, seismic reflection data will be used along with multibeam data to map the deformation structure and fragmentation of the deformation front. Thermal data will be combined with seismic methods to determine the temperature at the plate boundary and associated drainage processes. Magnetotelluric data will be acquired to determine the depth limit of this fault surface and fluid accumulations at the lower limit of the seismogenic zone. All of these data will help answer the question if during previous earthquakes the seismogenic zone has ruptured to the foot of the accretionary wedge, such as recognized after the 2011 Tohoku earthquake. The extent of Explorer Plate subduction north of the Nootka fault is currently poorly understood. Here, long-term earthquake monitoring as well as active-source 3D seismic tomography will be used to determine the location of the plate boundaries. In addition, an estimate of the earthquake rate at the Explorer Plate is obtained from sediment sampling at landslides. This would allow geohazards from such subduction earthquakes off Cascadia to be better constrained, and additionally an estimate of the tsunami

eine Abschätzung der Tsunamigefahr möglich. Die Arbeiten basieren auf intensiver Kollaboration mit dem Geological Survey of Canada, der Universität Alberta, der Japan Agency of Marine-Earth Science & Technology (JAMSTEC), und dem Ocean Networks Canada (ONC).

Nebennutzerprojekt Cascadia CO₂

Um das Ziel, die globale Erwärmung auf 1.5° C zu beschränken, erreichen zu können, ist eine Einsparung von 580 Gt an CO₂-Emissionen in den nächsten 30 Jahren notwendig. Der notwendige wirtschaftliche und gesellschaftliche Umbau wird nicht schnell genug erfolgen können, daher muss CO₂ aus der Atmosphäre entnommen und sicher im Untergrund gelagert werden. Dies erfolgt klassischer Weise in Sandsteinformationen (ausgebeutete Gas- und Öllagerstätten), wobei CO₂ als mobile Wolke gespeichert wird. Im Gegensatz dazu fixiert das neue Verfahren der CO₂ Speicherung in Basaltgestein den Kohlenstoff durch Mineralisierung als Feststoff (Karbonat). Erste Tests an Land (CarbFix, Wallula) haben gezeigt, dass aus eingeleitetem CO₂ in zwei Jahren bis zu 90% des Kohlenstoffs mineralisiert wird (CO₂PR). Marine Basaltlagerstätten, abseits der Zivilisation, bieten große Volumina von Speichergestein für diesen Prozess. Das Projekt Cascadia CO₂ will durch seismische Vermessung einen Beitrag zu Vorerkundungen einer Testeinspeisung in die Basaltlagen des Cascadia Beckens, Kanada, leisten und neben Geschwindigkeitsmodellen die laterale Veränderung der Porosität im Basalt abschätzen. Für diese Aufgabe werden Ozeanbodenseismometer ausgesetzt, die neben Kompressionswellen auch konvertierte Scherwellen aufzeichnen. Entlang von zwei orthogonalen Profilen werden dann Geschwindigkeitstiefen Modelle für V_p und V_s bestimmt. Mehrjährige Strömungstests zwischen IODP Bohrungen haben Hinweise auf deutlich anisotrope Eigenschaften des Gesteins gezeigt. Dies wird auch in den V_p und V_s Modellen überprüft. Anschließend werden neue Verfahrensschritte aufgesetzt, mit deren Hilfe das V_p/V_s Verhältnis benutzt wird, um die

hazard be determined. The investigation is based on intensive collaboration with the Geological Survey of Canada, University of Alberta, Japan Agency of Marine-Earth Science & Technology (JAMSTEC), and Ocean Networks Canada (ONC).

Adjacent user project Cascadia CO₂

In order to limit the global temperature increase to 1.5° C the emission of 580 Gt of CO₂ needs to be avoided within the next 30 years. As adaption of society and economy will not be fast enough this amount of CO₂ needs to be taken out of the atmosphere and safely stored in the subsurface. The typical carbon storage application utilises sandstone formations (depleted gas and oil reservoirs) where the CO₂ will be stored as a mobile cloud within the porosity of the host rock. In contrast, the new process of CO₂ storage in basalt formations will fix the carbon as a solid carbonate as the result of a mineralisation process. First onshore trials (CarbFix, Wallula) have shown that about 90% of the injected CO₂ has been mineralised within two years (CO₂PR). Marine basalt formations, far away from urban areas, offer large volumes of porous rock for this process. The project Cascadia CO₂ aims to contribute to pre-site surveys for a test injection of CO₂ into basalt formations in the Cascadia Basin, Canada. Beside velocity-depth models lateral changes in the porosity of the basalt formations will be determined. For this purpose, ocean-bottom seismometers will be deployed, that will record not only compressional but also converted shear wave events as well. Along two orthogonal lines velocity-depth models will be developed for V_p and V_s. Undertaken over several years, fluid flow cross-hole tests between IODP wells have shown that there is a distinct anisotropy in the basalt layer. This will be tested with the V_p and V_s models as well. In the following new routines will be established to deduce the porosity distribution from the V_p to V_s ratios. The results will be made available for CO₂ injection modelling. These experiments lay

Verteilung der Porosität abzuleiten. Dieses Verfahren und die Ergebnisse werden für Modellierungen der CO₂-Einspeisung zur Verfügung gestellt und bilden grundlegende Entwicklungen für zukünftige Untersuchungen in den vulkanischen Provinzen am NW europäischen Kontinentalrand vor Norwegen.

ground for future investigations in volcanic provinces along the NW European continental margin offshore Norway.

Wissenschaftliches Programm

CLOCKS

Aufbauend auf den Erkenntnissen in anderen Subduktionszonen (z. B. Sumatra, Chile, Japan), die in der Vergangenheit große Erdbeben erlebt haben, ist es wichtig, Subduktionszonen zu besuchen, die sich noch in der seismischen Lücke befinden und bei denen künftige Erdbeben bevorstehen. Das Potenzial für ein Bruchverhalten bis zum Tiefseegraben und die laterale Ausdehnung der Bruchzone an der Schnittstelle zwischen der abwärts tauchenden ozeanischen und der überlagernden kontinentalen Platte gehören zu den wichtigsten Bereichen der aktuellen Erdbebenforschung.

Die Fahrt SO294 soll sich mit diesen Fragen im nördlichen Cascadiagebiet befassen und ist auf zwei Hauptfragen ausgerichtet: Teil A (Gebiet 1) befasst sich mit dem Ausmaß der Bruchzone des Juan-de-Fuca-Plattensystems mittig vor der Insel Vancouver Island und der Möglichkeit, dass diese Bruchzone sich bis zum Tiefseegraben ausdehnt. Teil B (Bereich 2) befasst sich mit dem Rand der Subduktion vor dem nördlichen Teil der Insel Vancouver Island an der Explorerplatte, Winonabecken und der Nootkastörungszone.

Teil A (Gebiet 1):

Ausdehnung der Bruchzone der Juan de Fuca-Platte

Die vorhandenen Daten entlang der Deformationsfront im nördlichen Cascadia-kontinentalrand sind unzureichend, um die Frage zu beantworten, ob sich ein Erdbebenbruch bis zum westlichen Rand des Akkretionskeils am Tiefseegraben ausbreiten könnte. Dies ist vor allem auf die bisher nicht erkannte Segmentierung der Deformationsfront zurückzuführen, die dazu führte, dass ältere Vermessungen schräg zu den Strukturen liegen und die verschiedenen Segmente nur spärlich erfasst werden. Daher können

Scientific Programme

CLOCKS

Building on knowledge gained at other subduction zones (e.g. Sumatra, Chile, Japan) that experienced large earthquakes in the past, it is important to visit subduction zones still in the seismic gap, with future events forthcoming. The potential for "slip-to-toe" processes and the extent of the locked zone at the interface between down-going oceanic and overriding continental plate, are among the most important fields of current earthquake science.

Cruise SO294 is to address these issues at northern Cascadia and is built around two major questions: Part A (Area 1) is on the extent of locking of the Juan-de-Fuca-platesystem off central Vancouver Island and slip-to-toe processes. Part B (Area 2) is about the edge of subduction off northern Vancouver Island on the Explorer Plate, Winona Basin and Nootka fault zone.

Part A (Area 1):

Slip-to-toe and extent of locked zone of the megathrust of the Juan-de-Fuca-plate

The existing data across the deformation front at northern Cascadia are insufficient to address the question if rupture during a megathrust earthquake could propagate to the prism toe. This is mostly due to the previously unrecognized segmentation of the deformation front resulting in vintage data being oblique to the structures and a related sparse coverage of the various segments. Thus, the nature of fragmentation and systematic along-margin variation of governing physi-

die Art der Fragmentierung und die systematische Variation der maßgeblichen physikalischen Eigenschaften entlang des Kontinentalrandes mit den vorhandenen Daten nicht erfasst werden. Das derzeitige Verständnis der strukturellen Signatur von Prozessen zum Bruchverhalten bis zur Deformationsfront am Tiefseeegraben basiert hauptsächlich auf seismischen Daten, die vor und nach dem Tohokuerdbeben 2011 gewonnen wurden. Der Schlüssel dazu ist die ungewöhnliche Deformierung (Verkürzung und Hebung) eines Sedimentbeckens am Fuß des Prismas.

Auf der Grundlage dieses Modells werden wir eine Reihe von hochauflösenden seismischen Reflexions- und OBS-Refraktionsexperimenten über die Deformationsfront der Juan-de-Fuca-Platte, Explorerplatte und im Winona Becken durchzuführen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Erfassung seismischer Bilder von Deformationsformen, Verwerfungen und Deformationsstrukturen, die denen ähneln, die vor Tohoku dokumentiert wurden. Wir nutzen dazu eine einzelne GI Luftkanone als Quelle und einen seismischen Streamer, der qualitativ hochwertige und hochaufgelöste Strukturbilder des Untergrundes liefert. Allerdings erlaubt dieser Streamer keine Informationen zu den seismischen Geschwindigkeiten im Untergrund. Daher werden wir OBS verwenden, um P- und S-Wellengeschwindigkeiten zu erhalten, und spezielle OBS-Migrationsverfahren verwenden, um eine Abbildung bis in die Tiefe der ozeanischen Kruste zu erhalten.

Die seismischen Daten werden benötigt, um die Sedimentmächtigkeiten auf der abtauchenden ozeanischen Platte zu bestzimmen. Dadurch werden die thermische Struktur an der Grenzfläche und damit Parameter, die sich auf die physikalischen Eigenschaften der Plattengrenzfläche auswirken, genauer bestimmt.

Zusätzlich zu den seismischen Experimenten werden mithilfe von magnetotellurischen Instrumenten über einen Zeitraum von ca. 30 Tagen Messungen zu den elektrischen Eigenschaften des tieferen Untergrundes durchgeführt. Diese elektrischen

cal properties cannot be addressed using existing data. Current understanding of the structural signature of "slip-to-toe" is mainly based on seismic data acquired before and after the Tohoku 2011 earthquake. The key to this is unusual deformation (shortening and uplift) of a sedimentary basin at the toe of the prism.

Using this model, we propose to conduct a series of high-resolution seismic reflection and OBS refraction experiments across the deformation front of the Juan-de-Fuca-Plate, Explorer Plate, and Winona Basin. The emphasis is to acquire seismic images of the deformation style, faulting, and deformation structures similar to those documented off Tohoku. We utilize a single GI airgun as source and a seismic streamer which yields high-quality and high-resolution structural images of the subsurface. However, this short streamer does not allow detailed velocity discrimination. Therefore, we use OBS to obtain P-wave and S-wave velocity structures and use the OBS mirror-imaging technique to enhance imaging to crustal depths.

The seismic data are needed to estimate the sediment thicknesses above the down-going plate. This defines the thermal structure at the interface, and thus parameters that impact physical properties of the plate interface.

In addition to these seismic experiments, we conduct measurements with Magneto-Tellurik stations over the period of ~30 days allowing determination of electrical properties of the subsurface. Electrical properties are indicative of fluid distributions at depth,

Eigenschaften lassen Rückschlüsse zu der Verteilung von Fluiden im Untergrund zu, welche ebenfalls die Ausdehnung der Bruchzone beeinflussen. Zur Bestimmung der Verteilung der Seismizität in der Juan-de-Fuca-Platte nahe der Deformationsfront wird eine Langzeitüberwachung durchgeführt, um potenzielle Ereignisse von „langsamen Erdbeben“ aufzudecken.

Eine Kombination aus Breitband- und kurzperiodischen Seismometern sowie Drucksensoren wird über einen Zeitraum von einem Jahr ausgesetzt. Die während SO294 ausgesetzten Stationen werden 2023 von unseren kanadischen Partnern geborgen.

Teil B (Gebiet 2):

Wo ist der nördliche Rand der Subduktionszone?

Die nördliche Grenze der Subduktion der Juan-de-Fuca-Platte wird durch die Nootkastörungszone markiert. Es ist nicht bekannt, ob die Explorerplatte im Norden selbst megathrustartige Erdbeben erzeugt, wie groß diese sein könnten und wie häufig sie auftreten. Das Winona Becken, das Teil der Explorerplatte ist, kann entweder subduziert oder nur transpressiv verformt sein. Die Festlegung der Grenzen der subduzierten Platte wird die maximale Größe eines möglichen Megathrusterdbebens des Explorer-/Winonasystems bestimmen. Die Verformung der Explorerplatte erzeugt eine viel höhere Seismizität als auf jeder anderen Platte in der näheren Umgebung, welche wir mit Langzeit-OBS-Beobachtungen besser bestimmen wollen. Die neue P-Wellen-Geschwindigkeitsstruktur, die sich aus unseren neuen seismischen OBS-Daten ergibt, wird eine bessere Lokalisierung der Erdbeben ermöglichen, als dies derzeit von Land aus möglich ist.

Weitere Forschungsarbeiten werden das Verhalten der Explorerplatte am nördlichen Rand der Subduktionszone und die Interaktion mit dem oberen Mantel (z. B. Serpentinisierung), und den Übergang zu dem weiter nördlich liegenden Queen-Charlotte-Verwerfungssystem untersuchen.

which also control the extent of the locked zone. Long-term monitoring will be conducted for defining the seismicity pattern of the Juan-deFuca-Plate to reveal potential occurrences of slow-slip events.

A combination of broad-band and short-period seismometers as well as pressure gauges will be used over the period of ~ 1 year. Stations deployed during SO294 will be recovered in 2023 by our Canadian collaborators.

Part B (Area 2):

Where is the northern edge of the subduction zone?

The northern limit of subduction of the Juan-de-Fuca-Plate is marked by the Nootka fault zone. It is not known if the Explorer Plate to the north creates megathrust-like earthquakes itself, what size these may be, and how often they occur. The Winona Basin, part of the Explorer Plate, may be subducted or deformed in a transpressive regime. Defining the limits of the subducted slab will constrain the maximum size of a possible megathrust earthquake of the Explorer/Winona system. The deformation of the Explorer Plate and Winona Basin creates a much higher level of seismicity than any other surrounding plate (addressed during our study by deploying long-term OBS stations). The new P-wave velocity structure constrained from our new OBS seismic imaging will yield better hypocentre localizations than what is currently possible with land stations alone.

Further research will investigate the slab behavior at the northern termination of subduction and interaction with the upper mantle (e.g. serpentinization), and the transition to the Queen-Charlotte Fault system further to the North.

Weitere Arbeiten in diesem zweiten Arbeitsbereich befassen sich mit submarinen Hangrutschungen zur Bestimmung der Wiederholungsrate von Erdbeben sowie mit Schlammvulkanen an der Nootkastörungszone zur Bestimmung von tiefen Flüssigkeitsquellen aus dem oberen Erdmantel und möglicher hydrothermalen Flüssigkeitszirkulation.

Cascadia CO₂

Die Sequestrierung von Kohlendioxid (CO₂) im Untergrund ist als zusätzliches Mittel zur Verringerung der Auswirkungen des Klimawandels vorgeschlagen worden. Die Speicherung von CO₂ in alten (ausgebeuteten) ehemaligen Kohlenwasserstofflagerstätten (meist in Sedimentformationen) kann zu unvorhergesehenen Leckageproblemen führen und erfordert daher komplexe Überwachungsmaßnahmen und Gegenmaßnahmen, um die Auswirkungen von Flüssigkeitsaustritten zu verringern.

Im Gegensatz dazu bietet die CO₂-Speicherung in den Basaltformationen der ozeanischen Kruste die Möglichkeit eines wesentlich geringeren Risikos, da das CO₂ in den Poren des Basaltgesteins zu festem Kalzit umgewandelt und damit permanent gespeichert wird (CO₂PR).

Um die Speicherkapazität der Basaltformationen des Cascadia-Beckens zu bestimmen, werden wir ein seismisches Experiment durchführen, bei dem wir OBS und ein Luftkanonenarray einsetzen, um die P- und S-Wellengeschwindigkeiten entlang zweier sich kreuzender Profile über IODP Bohrungen entlang des von ONC betriebenen Unterseekabels zu messen. Die P- und S-Wellengeschwindigkeiten (in Kombination mit den seismischen Mehrkanaldaten aus früheren Experimenten) werden die Porosität des Basaltes und damit die Kapazität für die Speicherung von CO₂ und dessen dauerhafte Entnahme aus der Atmosphäre bestimmen.

Additional work in this second working area is on submarine slope failures to define earthquake recurrence rates as well as mud volcanoes at the Nootka fault zone to define deep fluid sources from the upper mantle and possible hydrothermal fluid circulation.

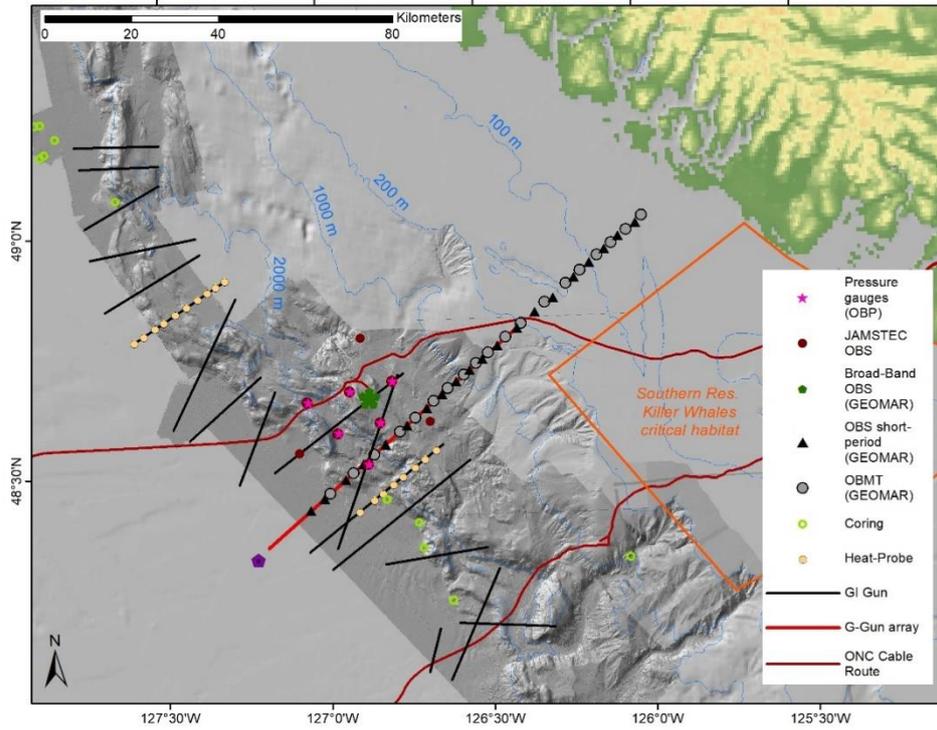
Cascadia CO₂

The sequestration of carbon dioxide (CO₂) in the subsurface has been proposed as additional means for reducing the impact of climate change. Storing CO₂ in old (exploited) former hydrocarbon reservoirs (mostly within sediment-formations) can lead to unwanted leakage problems and thus demands complex monitoring efforts and countermeasures to reduce the impact of fluid seepage.

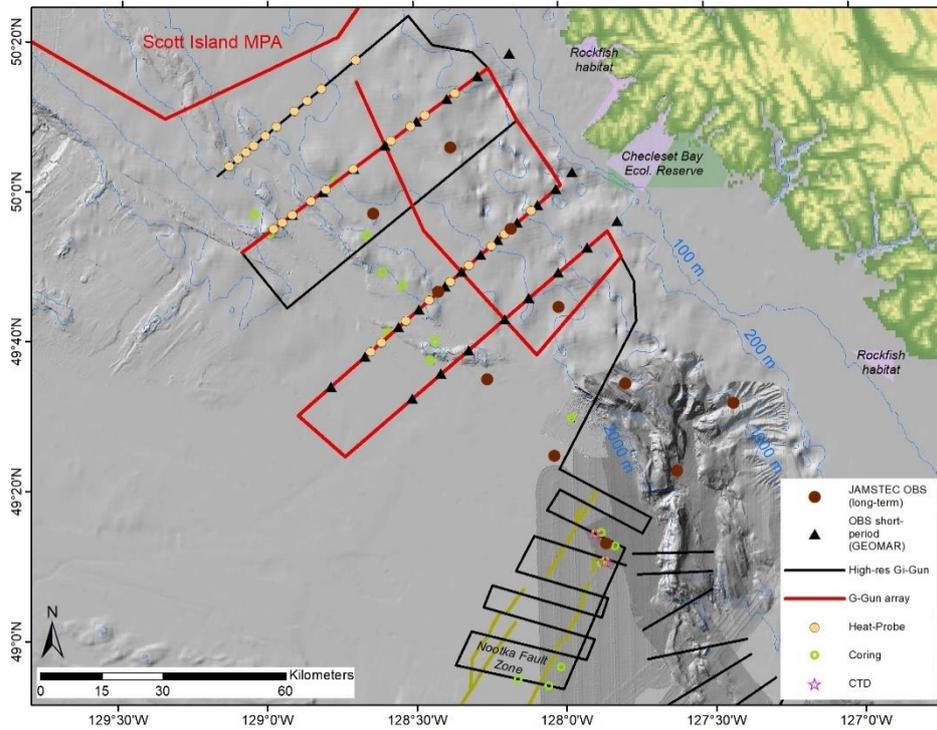
In contrast, CO₂ storage within the basalt formations of oceanic crusts offers the possibility of much reduced risk as the CO₂ is transformed to solid calcite within the pores of the basaltic rocks (CO₂PR).

In order to determine the storage capacity of basalt-formations of the Cascadia Basin, we will conduct a seismic experiment utilizing OBS and a large airgun array to measure P- and S-wave velocities along two main transects across IODP drill holes along the underwater cabled observatory operated by ONC. P- and S-wave velocity (in combination with co-located multichannel seismic data from previous experiments) will constrain the porosity of the basalt, and thus the capacity for CO₂ storage and permanent removal from the atmosphere.

(a)



(b)



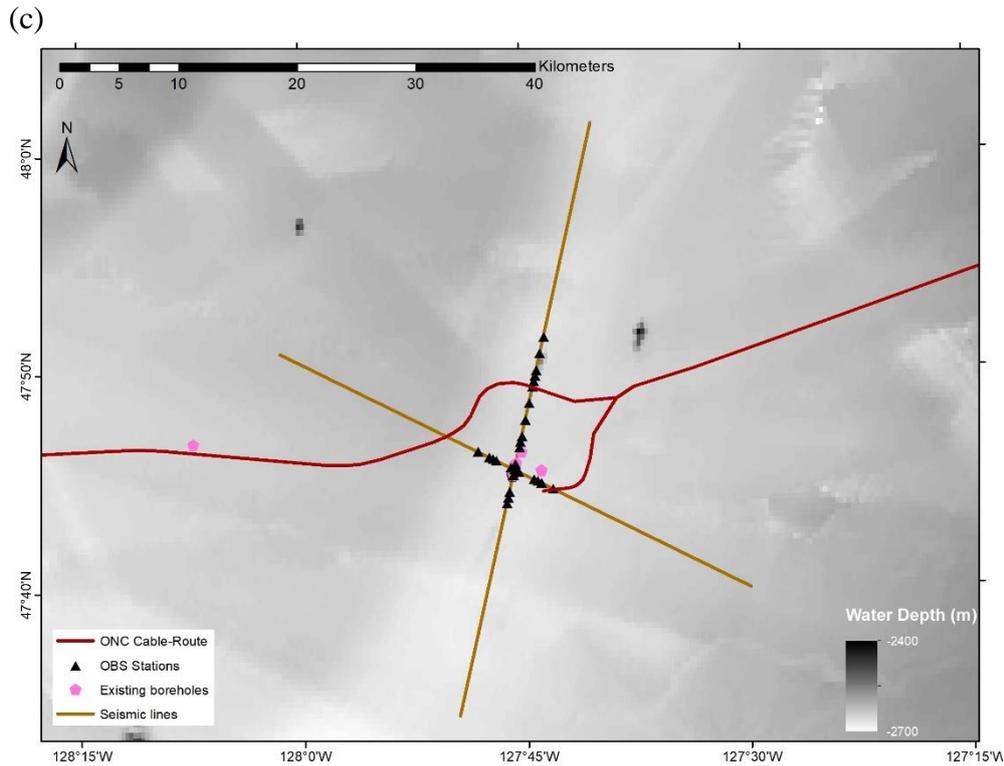


Abb. 2 Die Arbeitsgebiete von SO294 vor der Westküste von Vancouver Island.

(a) Karte im Arbeitsgebiet 1 vor dem zentralen Vancouver Island mit seismischen Profilen, Stationen zur Probennahme und Messungen, und Langzeitbeobachtungsstationen zum Thema der „locked zone“ der Juan-de-Fuca-Platte.

(b) Karte im Arbeitsgebiet 2 auf der Explorerplatte, Winona Becken, und der Nootkastörungszone mit seismischen Profilen, Instrumentlokalitionen, und Stationen zur Probennahme zum Thema der nördlichen Begrenzung der Subduktionszone.

(c) Karte zum Messgebiet der Nebennutzerstudie Cascadia CO2.

Fig 2: The working areas of SO294 off the west coast of Vancouver Island.

(a) Map of working area 1 off central Vancouver Island with seismic profiles, sample locations, long-term monitoring stations, and measuring stations on the subject of the "locked zone" of the Juan-de-Fuca-Plate.

(b) Map in working area 2 on the Explorer Plate, Winona Basin, and the Nootka fault zone with seismic profiles, sample locations, and instrument locations on the subject of the edge of subduction.

(c) Map of the Cascadia CO2 seismic experiment.

Arbeitsprogramm

CLOCKS

Während SO294 planen wir eine Reihe von geophysikalischen Experimenten vor der Küste von Vancouver Island (British Columbia, Kanada) zwischen 126°00'W - 129°30'W und 47°30'N - 50°30'N durchzuführen. Die Expedition umfasst Arbeiten in 2 Arbeitsgebieten: (1) Zentraler Kontinentalrand vor Vancouver Island und (2) Explorer Plate Region and Winona Becken. Nach einem Transit (~2 Tage) vom Hafen in Vancouver in die Untersuchungsregion wird ein Test aller Auslösesysteme durchgeführt (1 Tag). Der erste Teil der Expedition (~9 Tage) ist dem Einsatz von 9 Langzeit JAMSTEC Ozeanbodenseismometern (OBS) und 6 Ozeanbodendrucksensoren (OBP), 6 GEOMAR Breitband-OBS und 18 GEOMAR OBMT-Instrumenten gewidmet. Nach dem Einsatz all dieser Überwachungsinstrumente werden wir in das nördliche Untersuchungsgebiet fahren und 11 Langzeit-OBS von JAMSTEC sowie bis zu 28 Kurzzeit-OBS von GEOMAR aussetzen.

Anschließend werden wir das 12-G-Gun-Array einsetzen, um refraktionsseismische Daten entlang dreier Hauptprofile zu erfassen. Alle Airgunschüsse werden auf den OBS-Stationen und mit einem kurzen Streamer aufgezeichnet. Nach dem Einsatz des G-Gun-Arrays werden wir mit einer einzelnen GI-Kanone hochauflösende seismische Daten über Deformationsstrukturen der Explorerplatte, Nootkastörung, und des Winona-Beckens entlang einer Reihe von seismischen Profilen erfassen. Es werden bis zu drei Transekte mit Wärmestrommessungen erfasst.

Bis zu 16 Schwerelotkerne – (sofern es die Zeit erlaubt) – werden an submarinen Hangrutschungen gewonnen, um die Wiederholungsrate von Erdbeben zu untersuchen, und an bekannten Schlammvulkanen, um die Quelle tiefliegender Gasaustritte zu erforschen. An den Schlammvulkanen werden wir auch – (wenn es die Zeit erlaubt) – Messungen in der Wassersäule mit einer CTD durchführen, um das Austreten von hydrothermalen Flüssigkeiten zu untersuchen.

Work Programme

CLOCKS

During SO294 we plan to conduct a series of geophysical experiments offshore Vancouver Island (British Columbia, Canada) between 126°00'W - 129°30'W and 47°30'N - 50°30'N. The expedition will contain operations in 2 work areas: (1) central continental margin off Vancouver Island, and (2) Explorer Plate region and Winona Basin. After a transit (~2 days) from the port of Vancouver to the study region, a test of all releaser-systems will be conducted (1 day). The initial portion of the expedition (~9 days) is dedicated to the deployment of 9 long-term JAMSTEC ocean-bottom seismometers (OBS) and 6 ocean-bottom pressure gauges (OBP), 6 GEOMAR broad-band OBS, and 18 GEOMAR OBMT instruments. After all these monitoring instruments are deployed, we will relocate to the northern study region and deploy 11 long-term JAMSTEC OBS and up to 28 GEOMAR short-term OBS.

We will then use the large 12 G-gun array to acquire refraction seismic data along three main profiles. All airgun shots will be recorded on the OBS stations and with a short streamer. After using the G-Gun array, we will acquire high resolution seismic data across deformation structures of the Explorer Plate, Nootka Fault zone, and Winona Basin along a set of seismic profiles using a single GI gun. Three transects of heat-flow measurements will be acquired as time permits.

Up to 16 gravity cores (if time permits) will be taken at submarine landslides to study the earthquake recurrence rate and at known submarine mud volcanoes to study the source of deep gas seeps. At the mud volcanoes we will also conduct – (if time permits) – water-column measurements with a CTD to study the seepage of hydrothermal fluids.

Alle Kurzzeit-OBS werden am Ende unserer Arbeit auf der Explorerplatte geborgen. Nach einem kurzen Transit nach Süden werden wir bis zu 20 Kurzzeit-OBS entlang des OBMT-Transekts ausbringen und eine seismische Linie mit dem G-Gun-Array aufnehmen. Nach der Bergung der 20 OBS- und 18 OBMT-Stationen werden wir die verbleibende Zeit für die Aufnahme hochauflösender seismischer Daten mit der GI-Gun entlang der Deformationsfront nutzen.

Während des gesamten Transits zwischen den Stationen und entlang aller seismischen Profile werden Parasound- und Multibeamdaten erfasst.

Alle JAMSTEC OBS- und GEOMAR-Breitbandinstrumente werden bis zur Bergung ein Jahr später mit dem kanadischen Küstenwachtschiff (CCGS) John P. Tully in Zusammenarbeit mit dem GSC im Einsatz bleiben.

Cascadia CO2

Nach Fertigstellung aller CLOCKS-Komponenten werden wir für die CO2PR-Studie in das Untersuchungsgebiet im Cascadia-Becken fahren. Der Einsatz der Kurzzeit-OBS wird mit der Aufnahme von 2 seismischen Profilen einhergehen (ca. 4 Tage insgesamt). Nach der abschließenden Bergung aller OBS-Instrumente werden wir zum Hafen von San Diego fahren (ca. 4 Tage Transit).

All short-term OBS will be recovered at the end of our work on the Explorer Plate. After a short transit south, we will deploy up to 20 short-term OBS along the OBMT-transect and acquire one seismic line with the G-Gun array. After recovery of the 20 OBS and 18 OBMT stations, we will use the remaining time for acquisition of high-resolution seismic data with the GI gun across the deformation front.

During all transit between stations, Parasound and multibeam data will be acquired.

All JAMSTEC OBS, and GEOMAR broadband instruments will remain deployed until recovered a year later with the Canadian coast-guard ship (CCGS) John P. Tully in a joint effort with the GSC.

Cascadia CO2

After all CLOCKS-components are completed, we will relocate to the study region in the Cascadia Basin for the CO2PR study. Deployment of the short-term OBS will be followed with the acquisition of 2 seismic profiles across the OBS and final instrument recovery (total of 4 days). After all work is completed, we will transit to the port of San Diego (4 days).

	Tage/days
Auslaufen von Vancouver (Kanada) am 13.09.2022 <i>Departure from Vancouver (Canada) 13.09.2022</i>	
Transit zum Arbeitsgebiet / <i>Transit to working area</i>	2
Releasertest, Auslegen Langzeit OBS und OBMT Geräte <i>Releaser-test, deployment longterm monitoring equipment</i>	10
Auslegen Kurzzeit OBS <i>Deployment and recovery of short-term OBS</i>	3
Seismische Profile <i>Seismic profiling</i>	12
Bergung der Kurzzeit OBS <i>Recovery short-term OBS</i>	3
Schwerelote <i>Gravity Coring</i>	4
Messungen in der Wassersäule (CTD) <i>Water-column measurements (CTD)</i>	1
Nebennutzer-Projekt (Cascadia CO2) <i>Adjacent user project (Cascadia CO2)</i>	4
Transit zum Hafen <i>Transit to port</i>	5
	Total 44
Einlaufen in San Diego (USA) am 27.10.2022 <i>Arrival in San Diego (USA) 27.10.2022</i>	

Beteiligte Institutionen / *Participating Institutions*

GEOMAR

GEOMAR Helmholtz Zentrum
für Ozeanforschung Kiel
Wischhofstr. 1-3
D-24148 Kiel
Germany

DWD

Deutscher Wetterdienst
Seeschiffahrtsberatung
Bernhard-Nocht-Straße 76
D-20359 Hamburg
Germany

GSC

Geological Survey of Canada – Pacific
9860 W. Saanich Road
Sidney, BC V8L 4B2
Canada

JAMSTEC

Japan Agency for Marine Earth-Science and Technology
3173-25, Showa-machi, Kanazawa-ku,
Yokohama-city,
Kanagawa, 236-0001,
Japan

ONC

Ocean Networks Canada
University of Victoria Queenswood Campus
#100-2474 Arbutus Road, Victoria,
BC V8N 1V9
Canada

Das Forschungsschiff / *Research Vessel SONNE*

Das Forschungsschiff „SONNE“ dient der weltweiten, grundlagenbezogenen Meeresforschung Deutschlands und der Zusammenarbeit mit anderen Staaten auf diesem Gebiet.

The research vessel “SONNE” is used for German world-wide marine scientific research and the cooperation with other nations in this field.

FS „SONNE“ ist Eigentum der Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das 90% des Baus und die Betriebskosten finanziert. Die norddeutschen Küstenländer trugen zu 10% zu den Baukosten bei.

R/V “SONNE” is owned by the Federal Republic of Germany, represented by the Ministry of Education and Research (BMBF), which financed 90 % of the construction of the vessel and its running costs. The North German coastal states contributed 10 % to the building costs.

Dem Gutachterpanel Forschungsschiffe (GPF) obliegt die Begutachtung der wissenschaftlichen Fahrtanträge. Nach positiver Begutachtung können diese in die Fahrtrplanung aufgenommen werden.

The Review Panel German Research Vessels (GPF) reviews the scientific cruise proposals. GPF-approved Projects are suspect to enter the cruise schedule.

Die Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe (LDF) der Universität Hamburg ist für die wissenschaftlich-technische, logistische und finanzielle Vorbereitung, Abwicklung und Betreuung des Schiffsbetriebes zuständig.

The German Research Fleet Coordination Centre (LDF) at the University of Hamburg is responsible for the scientific-technical, logistical and financial preparation, handling and supervision of the vessel’s operation.

Einerseits arbeitet die LDF partnerschaftlich mit der Fahrtleitung und der Reederei Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG zusammen.

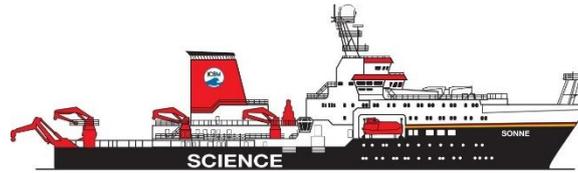
On a partner-like basis the LDF cooperates with the chief scientists and the managing owner Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG.

Die Finanzadministration im Rahmen der Beereederung erfolgt durch den Projektträger Jülich (PtJ).

The financial administration of the ships operation is carried out by the Project Management Jülich (PtJ).

Die an der Organisation des Schiffsbetriebes beteiligten Institutionen sind einem Beirat berichtspflichtig.

The institutions involved in the vessel’s operation are monitored by an advisory board.



Research Vessel

SONNE

Cruise No. SO294

13. 09. 2022 - 27. 10. 2022



CLOCKS

Northern Cascadia: Extent of locked zone, prism deformation, slip-to-toe, and the edge of subduction.

Cascadia CO2

Seismic multi-parameter study at a possible site for CO2 storage in basalt in the Cascadia Basin utilizing shear wave events.

Editor:

Institut für Geologie Universität Hamburg
Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Sponsored by:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
ISSN 2364-3692