

Forschungsschiff

SONNE

Reise Nr. SO321 Leg 1 & Leg 2

07. 08. 2026 - 16. 09. 2026



**Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Klima und der festen Erde
anhand von Zeitreihen an mittelozeanischen Rücken –
Cleft-Segment, T-SECTOR**

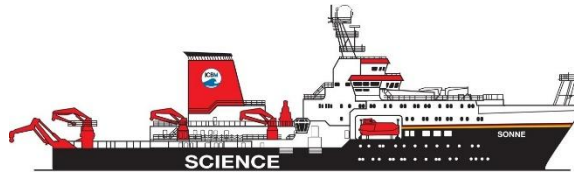
Gashydrate, Hangrutschungen und tektonische Spannungen, GHASPS

Herausgeber:

Fachbereich Erdsystemwissenschaft, Meereskunde,
Universität Hamburg, Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Gefördert durch:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)
ISSN 2364-3692



Forschungsschiff / *Research Vessel*

SONNE

Reise Nr. / *Cruise No.* SO321 Leg 1 & Leg 2

07. 08. 2026 - 16. 09. 2026



**Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Klima und der festen Erde
anhand von Zeitreihen an mittelozeanischen Rücken -**

Cleft-Segment, T-SECTOR

*Testing Solid Earth Climate Connections Through mid Ocean Ridge Time Series –
Cleft Segment, T-SECTOR*

Gashydrate, Hangrutschungen und tektonische Spannungen, GHASPS

Gashydrate slope pre-conditioning, and state of stress, GHASPS

Herausgeber:

Fachbereich Erdsystemwissenschaft, Meereskunde,
Universität Hamburg, Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Gefördert durch:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)
ISSN 2364-3692

Anschriften / *Addresses*

Dr. Christian Timm (Leg 1)

GEOMAR Helmholtz Zentrum für
Ozeanforschung Kiel
Wischhofstraße 1-3
D-24148 Kiel

Telefon: +49 431 600-1416
Telefax: +49 431 600-2922
E-Mail: chrtimm@geomar.de

Prof. Heidrun Kopp (Leg 2)

GEOMAR Helmholtz Zentrum für
Ozeanforschung Kiel
Wischhofstraße 1-3
D-24148 Kiel

Telefon: +49 431 600-2334
Telefax: +49 431 600-2922
E-Mail: hkopp@geomar.de

Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe

Fachbereich Erdsystemwissenschaften
Meereskunde
Universität Hamburg
Bundesstraße 53
D-20146 Hamburg

Telefon: +49 40 42838-3640
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

Begutachtungspanel 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 SO321 Leg 1 & Leg 2*

07. 08. 2026 – 16. 09. 2026

**Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Klima und der festen Erde
anhand von Zeitreihen an mittelozeanischen Rücken -
Cleft-Segment, T-SECTOR**

*Testing Solid Earth Climate Connections Through mid Ocean Ridge Time Series –
Cleft Segment, T-SECTOR*

Gashydrate, Hangrutschungen und tektonische Spannungen, GHASPS
Gashydrate slope pre-conditioning, and state of stress, GHASPS

Fahrt / Cruise SO321/1	07.08.2026 – 23.08.2026 Vancouver (Kanada) - Longview (OR/USA) Fahrtleitung / <i>Chief Scientist</i> : Dr. Christian Timm
Fahrt / Cruise SO321/2	26.08.2026 – 16.09.2026 Longview (OR/USA) - Vancouver (Kanada) Fahrtleitung / <i>Chief Scientist</i> : Prof. Dr. Heidrun Kopp
Koordination / <i>Coordination</i>	Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe <i>German Research Fleet Coordination Centre</i>
Kapitän / <i>Master SONNE</i>	SO321/1: Oliver Meyer SO321/2: Oliver Meyer

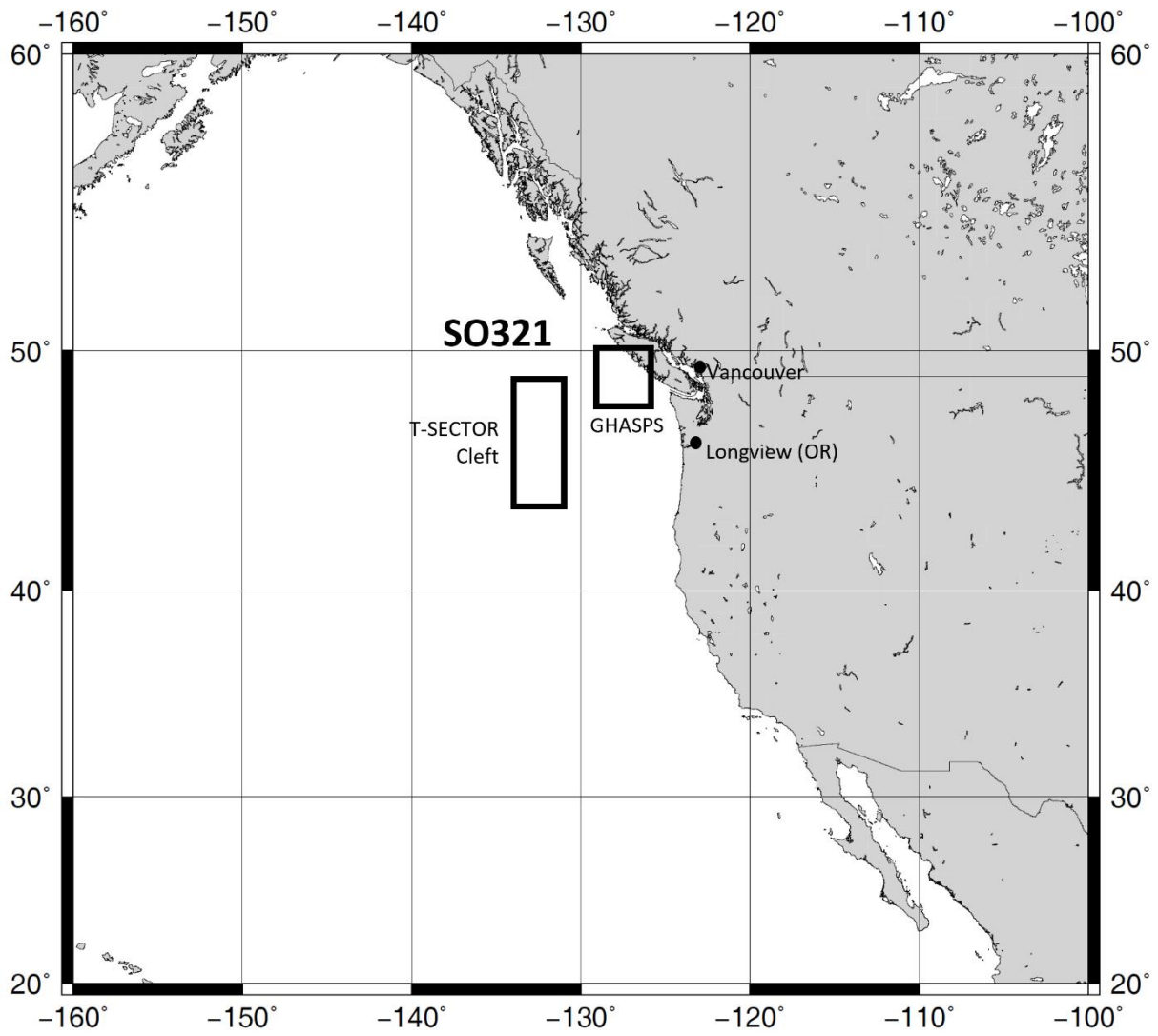


Abb. 1. Geplante Arbeitsgebiete der SONNE Fahrt SO321.

Fig. 1. Planned working areas of SONNE cruise SO321.

Übersicht

Fahrt SO321

Die SONNE-Expeditionen SO321/1 und SO321/2 sind Teil des ERC-Synergy-Projekts T-SECTOR und sind zwei von mehreren mittelozeanischen Rückenexpeditionen (MOR). Ziel der Expeditionen ist, den Zusammenhang zwischen dem Vulkanismus an mittelozeanischen Rücken und Klimaschwankungen zu untersuchen.

T-SECTOR: Eine zentrale Herausforderung der Erdsystemforschung besteht darin, zu verstehen, wie sich Prozesse im Laufe der Zeit verändern. Obwohl mittelozeanische Rücken (Mid-Ocean Ridges, MORs) ein globales vulkanisches System von etwa 65.000 km Länge bilden, konzentrieren sich die meisten Studien auf „null Jahre alte“ Proben direkt von der Rückenachse und liefern daher nur begrenzte Informationen über zeitliche Veränderungen. Ältere MOR-Basalte (MORB), die während glazialer Zyklen entstanden, sind schwer exakt zu datieren und werden rasch von Sedimenten überdeckt. Neue methodische Fortschritte ermöglichen inzwischen hochauflösende Rekonstruktionen der MOR-Vulkanaktivität über glaziale Zeitskalen hinweg und eröffnen damit die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen Vulkanismus, Klima und anderen MOR-Prozessen zu untersuchen.

Einfluss des Meeresspiegels auf MOR-Prozesse: Klimabedingte Meeresspiegelschwankungen könnten den Vulkanismus an mittelozeanischen Rücken beeinflussen. Es ist bekannt, dass subaerischer Vulkanismus an Land durch die Entlastung der Lithosphäre infolge des Rückgangs der Eismassen verstärkt wird und Tephraarchive zeigen Eruptionszyklen, die mit Milanković-Periodizitäten (~26 ka, 41 ka und ~100 ka) zusammenhängen. Ob submarine Vulkanaktivität ähnlich reagiert, ist jedoch umstritten. Einer Hypo-

Synopsis

Cruise SO321

SONNE expeditions SO321/1 and SO321/2 are part of the ERC Synergy project T-SECTOR and are two of several expeditions to mid-ocean ridges (MOR) to test the link between MOR volcanism and climate variations.

T-SECTOR: *A major challenge in Earth System science is understanding how processes vary through time. Although mid-ocean ridges (MORs) form a 65,000 km global volcanic system, most studies focus on “zero-age” ridge-axis samples, providing limited insight into temporal variability. Older MOR basalts (MORB) formed during glacial cycles are difficult to date and rapidly buried by sediments. Recent advances now allow high-resolution records of MOR volcanic activity over glacial-cycle timescales, enabling tests of links between volcanism, climate, and other MOR processes.*

Effect of Sea Level on MOR Processes: *Climate-driven sea-level changes may influence MOR volcanism. Deglaciation is known to enhance subaerial volcanism on land through lithospheric unloading by removal of ice masses and tephra records reveal eruption cycles linked to Milankovitch periodicities (~26 ka, 41 ka, and ~100 ka). Whether submarine volcanism responds similarly remains debated. One hypothesis proposes that sea-level fall during glaciations enhances decompression melting beneath MORs,*

these zufolge verstärkt ein niedriger Meeresspiegel während glazialer Phasen die Dekompressionsschmelze unter MORs, während ein höherer Meeresspiegel diese hemmt. Dadurch könnten Magmenfluss, Krustendicke und magmatische CO₂-Freisetzung beeinflusst werden.

Weitere Hinweise auf diesen Zusammenhang liefert die hydrothermale Aktivität, die mit dem Angebot an Magma skaliert. Erhöhte Konzentrationen von Fe, Mn und Cu sowie MORB-ähnliche Pb-Isotopensignaturen in marinen Sedimenten deuten auf stärkere hydrothermale Zirkulation und erhöhte Krustenproduktion während glazialer Maxima hin. Zusätzliche Hinweise liefern abyssale Erhebungen, deren Abstand und Häufigkeit möglicherweise Milanković-gesteuerte Variationen der Mantelschmelze widerspiegeln. Andere Studien argumentieren jedoch, dass die Morphologie abyssaler Hügel primär tektonisch kontrolliert wird. Obwohl Modellstudien einen Einfluss des Meeresspiegels auf die Mantelschmelze nahelegen, fehlt bislang der Nachweis durch integrierte geologische Zeitreihen.

Zeitreihen von MOR-Vulkanismus und hydrothermalen Aktivität: Die Rekonstruktion der vulkanischen Geschichte von MORs ist schwierig, da die ozeanische Kruste rasch von Sedimenten bedeckt wird, durch Meerwasser verändert und aufgrund geringer radioaktiver Elementgehalte in MORB schwer datierbar ist. Die bisherige Beprobung freiliegender Kruste liefert daher nur eine begrenzte zeitliche Auflösung und könnte Perioden erhöhter Krustenproduktion bevorzugt erfassen. Neuere Studien zeigen, dass MOR-Eruptionen vulkanische Glasscherben erzeugen, die in umliegende Sedimente eingetragen werden. Diese Gläser bewahren die ursprüngliche Magmenzusammensetzung, während die umgebenden Sedimente mittels Sauerstoffisotopenstratigraphie und weiterer Datierungsmethoden eine zeitliche Einordnung ermöglichen. Sedimentkerne vom Juan de Fuca Ridge enthalten hochauflösende geochemische MORB-Zeitreihen über mehrere zehntausend Jahre und zeigen, dass kon-

whereas sea-level rise suppresses it, potentially affecting magma flux, crustal thickness, and magmatic CO₂ release.

Evidence for this link also comes from hydrothermal activity, which scales with magma supply. Elevated Fe, Mn, and Cu concentrations and MORB-like Pb isotopes in marine sediments suggest stronger hydrothermal circulation and crustal production during glacial maxima. Additional support comes from the characteristic ridge-parallel abyssal hill spacing and abundance, which may reflect Milankovitch-scale variations in mantle melting, although some studies argue abyssal hill morphology is controlled mainly by tectonic faulting. While modeling studies support a sea-level influence on mantle melting, this has not yet been confirmed with integrated geological time series.

Time Series of MOR Volcanism and Hydrothermal Activity: *Reconstructing MOR volcanic history is difficult because oceanic crust is rapidly buried, altered by seawater, and hard to date due to low radioactive element contents in MORB. Existing sampling of exposed basement provides only limited temporal resolution and may bias sampling toward periods of enhanced crustal production. Recent studies show that MOR eruptions generate volcanic glass shards that are dispersed into surrounding sediments. These glasses preserve original magma compositions, while enclosing sediments provide chronological control through oxygen isotope stratigraphy and related dating methods. Sediment cores from the Juan de Fuca Ridge preserve high-resolution MORB geochemical records spanning tens of thousands of years, demonstrating that continuous records with 5-10 ka resolution are achievable. A key question is whether glass shards always represent local eruptions or*

tinuierliche Rekonstruktionen mit einer Auflösung von 5–10 ka möglich sind. Eine zentrale Frage ist jedoch, ob die Glasscherben tatsächlich lokale Eruptionen repräsentieren oder durch Meeresströmungen entlang des Rückens transportiert wurden. Um dies zu testen, müssen Sedimentkerne mit Bohrungen in den darunterliegenden vulkanischen Untergrund kombiniert werden. Neue Technologien des Meeresbodenbohrens ermöglichen inzwischen engmaschige Beprobungen der Kruste zu deutlich geringeren Kosten als klassische Tiefseebohrprogramme. Dadurch werden integrierte Rekonstruktionen von MOR-Magmachemie, hydrothermalen Aktivität und Krustenproduktion über mehrere glaziale Zyklen hinweg möglich.

Zeitreihen der MORB-Alteration: Hydrothermale Alteration verändert die Zusammensetzung von MORB erheblich und steuert den Elementaustausch zwischen ozeanischer Kruste und Meerwasser. Der Großteil der Alteration erfolgt innerhalb der ersten Millionen Jahre nach der Bildung der Kruste; danach nimmt die hydrothermale Zirkulation ab und die Permeabilität der Kruste sinkt. Neuere Studien deuten darauf hin, dass hydrothermale Flüsse mit glazialen Meeresspiegelschwankungen variieren könnten, was die Chemie der austretenden Fluide beeinflusst. Bohrkerntansecten über abyssale Hügel und Täler ermöglichen die Untersuchung zeitlicher Veränderungen der Alterationsmineralogie, Chemie und physikalischen Eigenschaften unter wechselnden hydrothermalen Bedingungen. Solche kontinuierlichen hochauflösenden Datensätze bieten eine einzigartige Möglichkeit, die Kopplung zwischen Magmatismus, hydrothermalen Zirkulation, Sedimentbedeckung und dem Elementaustausch zwischen Ozean und Kruste zu untersuchen.

GHASPS: Das Nebennutzerprojekt GHASPS befasst sich mit Hangrutschungsprozessen entlang des nördlichen Cascadia Kontinentalrandes vor der Küste von Vancouver Island, Kanada. Die zentrale Frage, die es zu klären gilt, ist, ob ein Zusammenhang zwischen den Rutschereignissen und der Dissoziation von

can be transported by currents. To test this, sediment coring must be combined with drilling into underlying volcanic basement. New seabed drilling technologies now allow closely spaced basement sampling at lower cost than traditional drilling programmes, enabling integrated reconstructions of MOR magma chemistry, hydrothermal activity, and crustal production through multiple glacial cycles.

Time Series of MORB Alteration: *Hydrothermal alteration significantly modifies MORB composition and mediates elemental exchange between oceanic crust and seawater. Most alteration occurs within the first few million years after crust formation, after which declining hydrothermal circulation reduces crustal permeability. Recent studies suggest hydrothermal fluxes may vary with glacial sea-level cycles, potentially affecting the chemistry of expelled fluids. Drill-core transects across abyssal hills and valleys will allow investigation of how alteration mineralogy, chemistry, and physical properties vary through time and changing hydrothermal conditions. Such continuous, high-resolution sampling offers a unique opportunity to study the coupling between magmatism, hydrothermal circulation, sediment cover, and ocean-crust elemental exchange.*

GHASPS: *The secondary-user experiment GHASPS targets sediment slope failure processes along the northern Cascadia margin off Vancouver Island, Canada, linking failure preconditioning to gas hydrate dissociation in response to climate change and megathrust subduction earthquake shaking. Gas*

Gashydraten als Reaktion auf den Klimawandel und Erschütterungen durch Subduktions-erdbeben besteht. Gashydrate (GH) bestehen aus natürlichem Erdgas (meist Methan) und Wasser. Die Stabilität von GH hängt vom Druck und der Temperatur ab. Daher können Änderungen dieser Parameter zur Dissoziation von GH führen. Durch Änderungen der Spannungsbedingungen und der mechanischen Sedimenteigenschaften kann GH-Dissoziation auch zu Hangrutschungen führen. Die GH-Stabilität ändert sich während der Eiszeiten/Interglaziale, da sich Meeresspiegel und Bodenwassertemperaturen erheblich ändern. Wir wollen mit dieser Studie die Auswirkungen des Klimawandels auf das GH-System seit dem letzten glazialen Maximum untersuchen. Zu dieser Zeit ereigneten sich zahlreiche Hangrutschungen, die alle älter als 8000 Jahre sind, obwohl Megathrusterdbeben der Stärke 8 (und größer) etwa alle 500 Jahre auftreten. Die Bestimmung der zeitlichen GH-Entwicklung erfordert unter anderem Kenntnis der genauen Bodenwassertemperatur seit dem letzten Glazial, die wir an Schwerelotkernen aus der Nähe von Rutschungen bestimmen wollen. Anhand der modellierten Entwicklung des GH-Systems wird dann bei bekannten Rutschungen die Rolle der GH-Dissoziation zur Entstehung von Hangrutschen bestimmt. Daten der IODP Expedition 311 zeigen das Spannungsfeld am Cascadia Kontinentalhang, wo Bohrlochbrüche sich an der Subduktionsrichtung orientieren, aber die Magnitude der Spannungen ist bisher unbekannt. Wenn die Magnitude der horizontalen Maximalspannung größer ist als die vertikale Spannung, deutet dies auf eine Verhakung der tektonischen Platten sowie auf ein potentiell tsunamiges Erdbeben hin. Die Spannungsverteilung beeinflusst dabei auch die Hangstabilität, da ungleichmäßige Spannungsbedingungen zur Schwächung des Hanges beitragen könnten. Um diese zu bestimmen, benötigen wir Sediment aus Tiefen der Bohrlochbrüche, aber das IODP Sedimentlager ist erschöpft. Ähnliche Sedimente können allerdings an den Bruchflächen gefunden werden, wo bis zu 100 m Sediment abgerutscht sind.

hydrates (GH) are composed of natural gas (mostly methane) and water. The stability of GH is dependent on pressure and temperature; thus, changes in these conditions can lead to GH dissociation, representing a significant geohazard. Due to changes in stress conditions and mechanical properties of sediments, GH dissociation can result in the formation of landslides. GH stability varies during glacial/interglacial periods as sea level and bottom-water temperatures change significantly. We propose to investigate the effects of climate change on the GH system since the last glacial maximum (LGM). Here, numerous slope failures have occurred but their timing is limited to be older than 8000 years, despite megathrust earthquakes of magnitude >8 occurring every ~500 years. Modeling the GH evolution needs a local bottom-water temperature record, which we propose to define from gravity cores taken near known landslides. Using the modeled evolution of the GH system, calculation of the factor of safety at known landslides will constrain the role of GH dissociation on slope-failure pre-conditioning. At northern Cascadia, borehole image analyses from IODP Expedition 311 did yield first insights into the stress conditions of the margin. Borehole breakouts are oriented according to the margin-perpendicular direction of subduction, but stress magnitudes are unknown. To define such magnitudes, we require sediment material from depths of observed breakouts, but the IODP repository is depleted. Equivalent sediment can be found targeting failure-planes with gravity coring, where up to 100 m of overburden were removed. If the margin-normal stress is greater than the vertical stress, this margin-normal stress direction may reflect locking of a velocity-weakening megathrust and a potential for trench-breaching, tsunamigenic rupture. The stress magnitudes also help to understand failure mechanics as non-uniform stress conditions may be a component in slope-failure pre-conditioning.

Wissenschaftliches Programm**T-SECTOR**

Das Hauptziel dieses Projekts ist die Erstellung integrierter Zeitreihen (ca. 0,4–1,5 Ma) zu (1) Krustenproduktion und -morphologie, (2) der Geochemie vulkanischer Gläser sowie (3) hydrothermalen Aktivität am intermediär spreizenden Juan-de-Fuca-Rücken (Cleft-Segment). Der Untersuchungszeitraum umfasst die Mid-Pleistocene Transition (MPT), während der sich die dominierende Periodizität der Glazialzyklen veränderte und die Erde die größten Meeresspiegelschwankungen (≥ 120 m) der vergangenen ~ 3 Mio. Jahre erlebte. Diese Zeitreihen sollen genutzt werden, um zu untersuchen, wie klimatisch bedingte Meeresspiegeländerungen die Magmatismusprozesse an mittelozeanischen Rücken, die Eigenschaften der Mantelquelle und die hydrothermale Zirkulation beeinflussen:

Schmelzgrad und krustale Prozesse bei der Bildung von MORB: Die Variabilität von Haupt- und Spurenelementen in vulkanischen Gläsern aus Sedimenten oberhalb des vulkanischen Basements sowie aus dem Basement selbst wird quantifiziert. Hypothese: Während glazialer Meeresspiegeltiefstände verstärkt der reduzierte hydrostatische Druck am Rücken das Mantelschmelzen, erhöht die Magmenzufuhr, verkürzt die Verweilzeiten in der Kruste und begünstigt die Eruption mafischer Magmen; das Gegenteil wird für Interglaziale erwartet.

Relativer Beitrag angereicherter Komponenten zu MORB-Schmelzen: Wir bestimmen die Sr–Nd–Pb–Hf-Isotopenzusammensetzung von Gläsern und Gesamtgesteinen. Hypothese: Höhere Schmelzgrade während Glazialen in einer zusammensetzungsheterogenen Quelle erfassen bevorzugt einen verarm-

Scientific Programme***T-SECTOR***

The primary objective of this project is to develop integrated time series (ca. 0.4–1.5 Ma) of (1) crustal production and morphology, (2) the geochemistry of volcanic glasses, and (3) hydrothermal activity at the intermediate-spreading Juan de Fuca Ridge (Cleft segment). The study interval spans the Mid-Pleistocene Transition, when the dominant glacial-cycle periodicity changed and Earth experienced the largest sea-level fluctuations (≥ 120 m) of the past ~ 3 Myr. These time series will be used to assess how climate-driven sea-level changes influence mid-ocean ridge magmatism, mantle source characteristics, and hydrothermal circulation:

Melting extent and crustal processes forming MORB: Major and trace element variability in volcanic glasses from sediments overlying the volcanic basement and from the basement will be quantified. Hypothesis: During glacial lowstands, reduced hydrostatic pressure at the ridge enhances mantle melting, increases magma supply, shortens crustal storage times, and promotes eruption of more mafic magmas; the converse is expected during interglacials.

Relative contribution of enriched components to MORB melts: We will determine Sr–Nd–Pb–Hf isotope compositions of glasses and whole rocks. Hypothesis: Higher degrees of melting during glaciations in a compositionally heterogeneous source preferentially sample depleted mantle, effectively diluting

ten Mantel und verdünnen dadurch angereicherte Komponenten, die während Interglazialen stärker zum Ausdruck kommen.

Hydrothermale Aktivität an mittelozeanischen Rücken: Wir rekonstruieren Änderungen der hydrothermalen Metallflüsse sowie der Pb-Isotopensignaturen in rückerhellen Sedimenten. Hypothese: Glazial verstärkter Magmatismus intensiviert die hydrothermale Zirkulation und erhöht die Ablagerung hydrothermal eingetragener Metalle in den Sedimenten.

Krustenproduktion und -mächtigkeit: Untersuchung von Variationen der Krustenmächtigkeit und der Morphologie von Abyssal Hills. Hypothese: Erhöhtes Mantelschmelzen während Glazialen führt zur Bildung einer mächtigeren Kruste und zu einem tiefer liegenden Kruste-Mantel-Übergang; während Interglazialen wird entsprechend das Gegenteil erwartet.

Zeitreihen zur Geochemie von MORB: Um zu untersuchen, wie sich Veränderungen des glazialen Meeresspiegels auf das Schmelzverhalten und die Magmenchemie auswirken, werden Bohrkernkerne in Abständen von ca. 2 cm beprobt und pro Intervall mehrere Glasfragmente analysiert. Haupt- und Spurenelemente werden mittels LA-ICP-MS in der Harvard Universität gemessen.

Radiogene Sr–Nd–Pb–Hf-Isotope werden die Heterogenität der Mantelquelle eingrenzen und es uns so ermöglichen, Veränderungen der Quelle von den Auswirkungen des Schmelzgrades zu unterscheiden. Bei Bedarf werden Glasfragmente aus chemisch homogenen Intervallen (≤ 10 mg) für die Isotopenanalyse zusammengefasst.

enriched components that are more strongly expressed during interglacials.

Hydrothermal activity at mid-ocean ridges: We will reconstruct changes in hydrothermal metal fluxes and Pb isotope signatures in ridge-proximal sediments. Hypothesis: Glacially enhanced magmatism intensifies hydrothermal circulation and increases deposition of metals of hydrothermal origin in the sediments.

Crustal production and thickness: Variations in crustal thickness and abyssal hill morphology. Hypothesis: Increased mantle melting during glaciations will result in the generation of thicker crust and a deeper crust-mantle transition and the opposite during interglacials.

Time series of MORB chemistry: To test how glacial sea-level changes influence melting and magma chemistry, cores will be sampled at ~2 cm spacing and multiple glass shards analysed per interval. Major and trace elements will be measured by LA-ICP-MS at Harvard.

Radiogenic Sr–Nd–Pb–Hf isotopes will constrain mantle source heterogeneity, allowing us to separate source changes from melting-degree effects. Where needed, glass shards from compositionally uniform intervals will be pooled (≤ 10 mg) for isotope work.

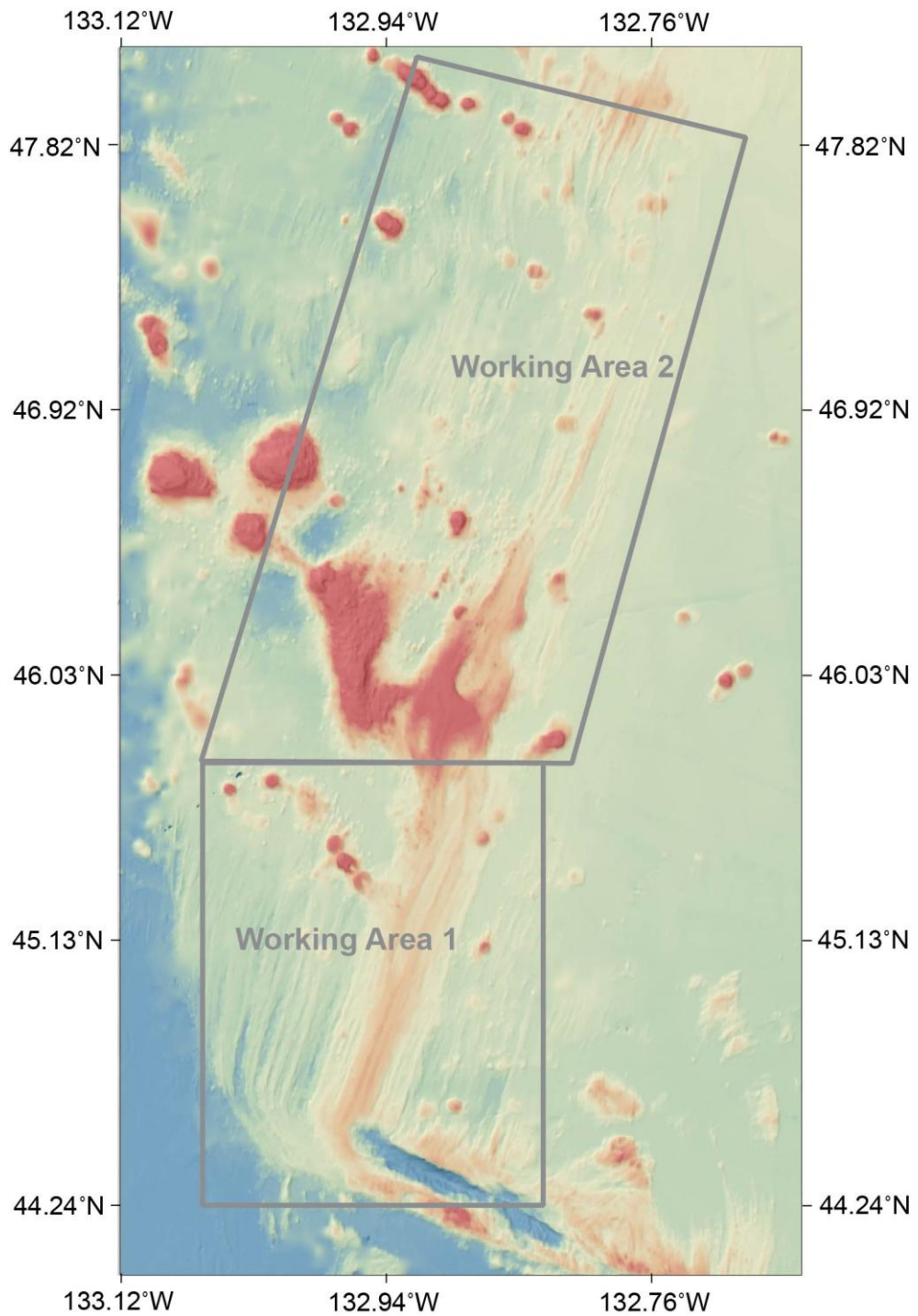


Abb. 2. Geplante T-SECTOR Arbeitsgebiete der SONNE Expedition SO321. Arbeitsgebiet 1 ist das Hauptarbeitsgebiet.

Fig. 2. Planned T-SECTOR working areas of SONNE cruise SO321. Working Area 1 is the main working area.

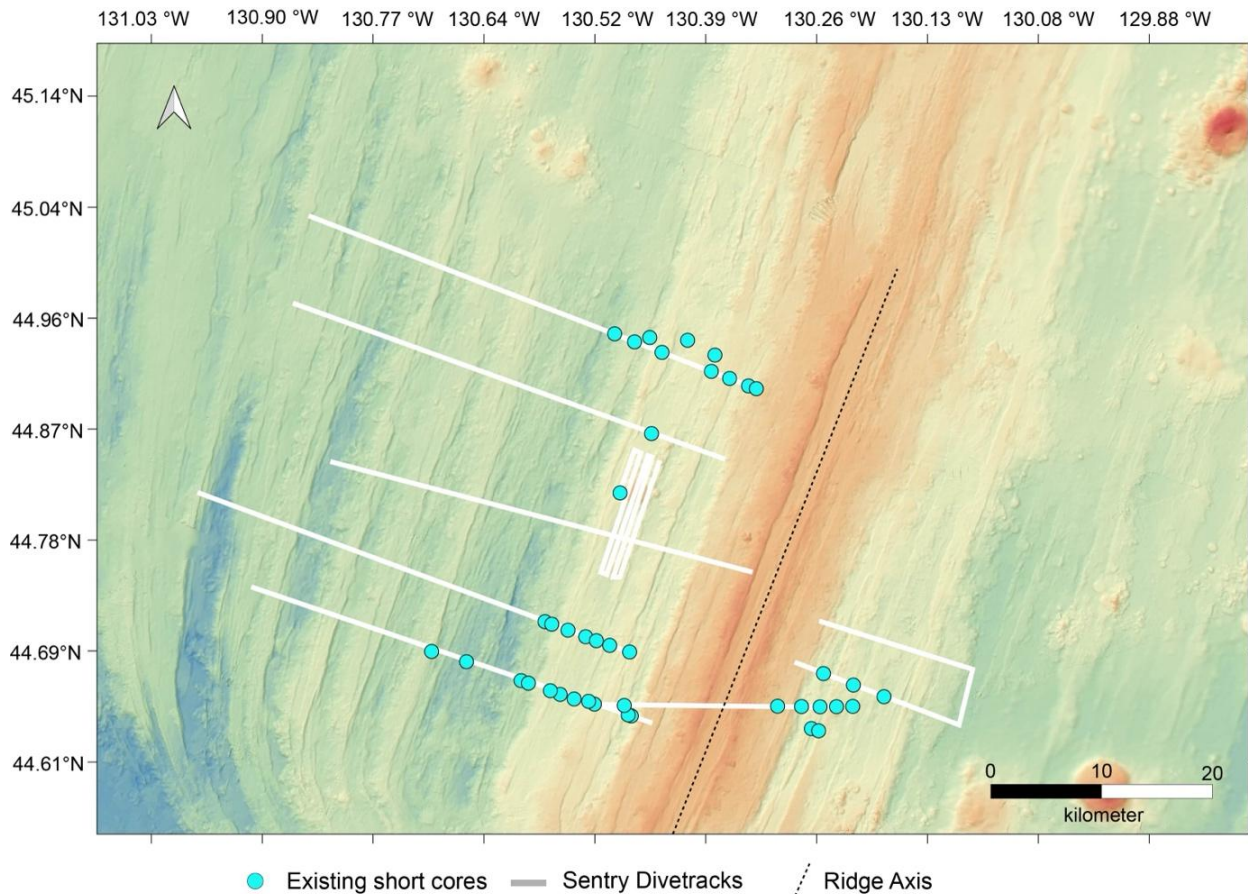


Abb. 3. Hauptarbeitsgebiet am südlichen Cleft-Segment. Schwerelotkerne wurden im Rahmen einer ergänzenden Fahrt mit dem US-Forschungsschiff RV Sally Ride auf beiden Seiten des Rückens (türkise Marker) gewonnen, um Glasscherben- und Hydrothermalvorkommen rückenübergreifend zu beproben. Die weißen Lienen sind existierende Sentry AUV-Profile entlang derer hochauflösende Bathymetrie, Parasound und Magnetik mit der Sally Ride erstellt wurde. Diese dienen als Grundlage für das Meeresbodenbohrprogramm (SO321/1) und der Gewinnung weiterer, bis zu ~20 m langen Schwerelotsedimentkerne (SO321/2). Die bathymetrische Karte wurde auf Basis von GEBCO (2025) erstellt.

Fig. 3. Main study area in the southern Cleft segment. Gravity core samples were collected on both sides of the ridge (turquoise markers) during a supplementary cruise aboard the U.S. research vessel RV Sally Ride to sample glass shard and hydrothermal archives on both sides of the ridge axis. The white lines represent existing Sentry AUV profiles along which high-resolution bathymetry, Parasound, and magnetic surveys were conducted using the Sally Ride. These serve as the basis for the seafloor drilling programme (SO321/1) and the recovery of additional, up to ~20m long gravity core sediment samples (SO321/2). The bathymetric map was created based on GEBCO (2025).

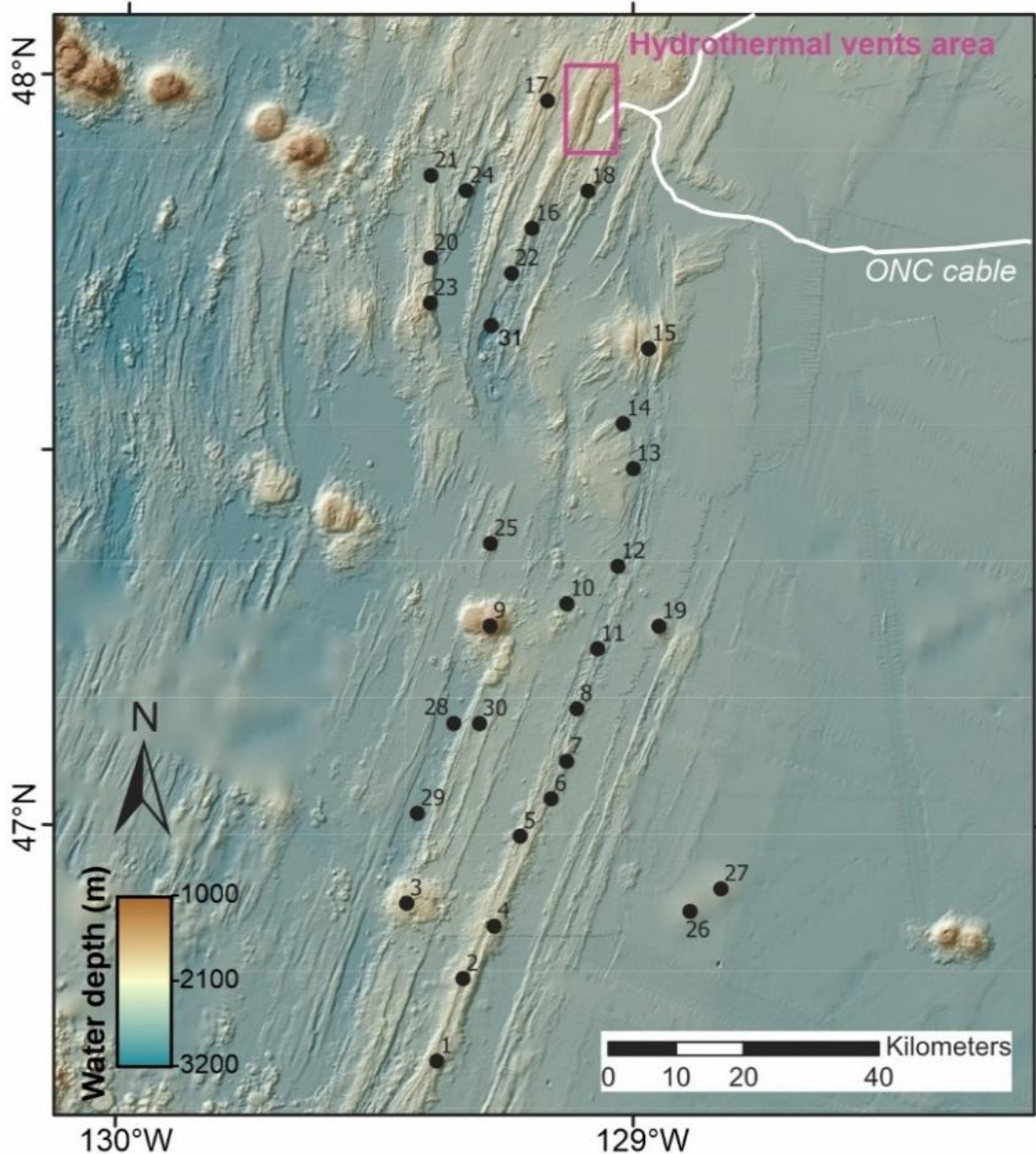


Abb. 4. Karte des Arbeitsgebietes 2 mit 31 Stationen zur Entnahme von vulkanischen Glasfragmenten am nördlichen Juan de Fuca Rücken (Kanada). Der Verlauf des Unterseekabels von Ocean Networks Canada (ONC) ist als weiße Linie dargestellt. Alle Probenahmestellen liegen außerhalb des Schutzgebiets für hydrothermale Quellen (rosa Kasten).

Fig. 4. Map of working region 2 at the northern Juan de Fuca Ridge showing location of 31 stations to take volcanic glass fragments with a wax-sampler. Location of the Ocean Networks Canada (ONC) cable is shown as white line. All sample-sites are outside the special hydrothermal vents protected region (pink box).

GHASPS

Hypothese 1: „Hangrutschungen werden durch die Dissoziation von Gashydraten als Reaktion auf einen Meeresspiegelanstieg und der Erhöhung der Meeresbodentemperatur seit dem letzten glazialen Maximum begünstigt.“

Das erste Ziel dieser Studie ist die Überprüfung der Hypothese, ob die Hänge am nördlichen Cascadia Kontinentalrand durch die Dissoziation von Gashydraten bedingt wurden, die durch den Klimawandel seit dem letzten glazialen Maximum (LGM) ausgelöst wurde. Dies lässt sich durch eine Modellierung der zeitlichen Veränderungen im Gashydratsystem erreichen. Um möglichst robuste und repräsentative Modellierungsergebnisse zu erhalten, sind mehrere kritische Datensätze erforderlich: (i) lokale Aufzeichnungen der Meeresbodentemperatur seit dem LGM, (ii) eine lokale Meeresspiegelkurve, die um Sedimentationsraten bereinigt ist, (iii) eine Datenbank mit den Altersangaben der großen Rutschereignisse und (iv) eine robuste lokale und möglichst vollständige Aufzeichnung der Zeitpunkte vergangener Erdbeben.

Während bisher an vier Rutschungen Datierungen von Rutschereignissen vorgenommen wurden, werden wir zusätzliche Sedimentproben an zwei bislang noch nicht untersuchten Hangrutschungen entlang des nördlichen Cascadia-Randes entnehmen.

Die wissenschaftliche Arbeit gliedert sich in verschiedene Aufgabenbereiche:

- (1) Datierung von Proben mittels ^{14}C , die aus Sedimentkernen an Hangrutschungen gewonnen wurden. Bestimmung des ältesten Sediments auf dem Rutschmaterial und Rekonstruktion vergangener Turbiditereignisse.
- (2) Erstellung einer möglichst lückenlosen Aufzeichnung von Subduktionserdbeben seit dem LGM durch Untersuchung von Sedimentablagerungen im Barkley Canyon.
- (3) Erstellung einer lokalen Zeitreihe der Bodenwassertemperatur seit dem LGM mittels der Sauerstoffisotopie ($\delta^{18}\text{O}$).
- (4) Erstellung einer lokalen Meeresspiegelkurve seit dem LGM, ausgehend vom eustatischen Meeresspiegel und unter Einbeziehung von de-glazialen Hebungen und Sedimentationsraten.

GHASPS

Hypothesis 1: “Slopes are pre-conditioned by gas hydrate dissociation in response to sealevel change and seafloor bottom temperature increase since the last glacial maximum”.

The first objective of this study is testing of the hypothesis whether slopes at Cascadia were pre-conditioned by gas hydrate dissociation induced by climate change since the last glacial maximum. This can be achieved by applying careful modeling of the changes in the gas hydrate system with time. In order to have the most robust and representative modeling outcome, several critical input data sets are required: (i) local bottom temperature record since the LGM, (ii) a local sea-level curve adjusted for sedimentation rates, (iii) a data base of ages of the large failures, and (iv) a robust local and most-complete record of timings of past earthquakes.

While dates of failures were previously made at four slides to date, we will collect additional cores at two yet not studied slope failures along the northern Cascadia margin (called slide ,C‘ and slide ,G‘).

The scientific work is split into different tasks:

- (1) *Dating of samples using ^{14}C obtained from cores at slope failures, defining oldest sediment on top of the slump-material, and reconstruction past turbidite events.*
- (2) *Getting a most-complete record of post-LGM megathrust events by targeting Barkley Canyon deposit.*
- (3) *Defining a local bottom-water temperature record from cores using oxygen-isotope method ($\delta^{18}\text{O}$).*
- (4) *Defining a local sea-level curve for the study sites starting from the eustatic sea-level and incorporating adjustments from glacial-rebound at sedimentation rates.*

(5) Modellierung der Entwicklung der Gas-hydratstabilität seit dem LGM, unter Einbezug der lokalen Bodenwassertemperatur- und Meeresspiegelkurve. Dies wird dann in eine Analyse des Sicherheitsfaktors für die Geometrie bekannter Hangrutschungen integriert.

Hypothese 2: „Die Cascadia Subduktionszone ist vollständig blockiert, und die horizontale Spannung ist größer als die Überlastspannung.“

Ein zweites Ziel besteht darin, die Größe der horizontalen Druckspannungen abzuschätzen, indem Bohrlochausbruchdaten mit der Sedimentdruckfestigkeit und des Reibungskoeffizienten kombiniert werden, um Rückschlüsse auf die Eigenschaften und Gefahrenpotenzials der Cascadia Subduktionszone zu ziehen. Die beobachteten Brüche in den IODP Expedition 311 Bohrlöchern zeigen deutlich, dass die maximale horizontale Druckspannung im äußeren Akkretionskeil parallel zur Subduktionsrichtung angeordnet ist. Ist diese horizontale Druckspannung größer als die der vertikalen Spannung (Auflast), deutet dies auf eine aktuelle Verhakung („locking“) der Subduktions-Störungsfläche hin, was wiederum Hinweise darauf ermöglicht, ob sich ein zukünftiges Megathrusterdbeben bis nahe an die Deformationsfront ausdehnen und einen Tsunami bilden könnte. Die Arbeiten hierzu gliedern sich in verschiedene Aufgaben:

(1) Entnahme von Sedimentkernen an Hangrutschflächen. Die Lokationen hierfür zielen auf solche Rutschungsflächen ab, in denen eine Überdeckung von bis zu 100 m abgetragen wurde.

(2) Durchführung von Versuchen zur Bestimmung der Sedimentdruckfestigkeit und Reibungskoeffizienten. Dies erfolgt im GEOMAR-Labor. Vor der Probenentnahme werden alle Bohrkern mit dem Röntgenscanner im Sedimentlabor des GSC in Sidney, BC, gescannt. Die Röntgenbilder dienen als Orientierung für die Probenentnahme.

(5) *Modelling the evolution of the gas hydrate stability since the LGM, constrained by a local bottom-water temperature curve and local sea-level curve. This will then be integrated in a factor-of-safety analysis for the geometry of known slope-failures along the margin.*

Hypothesis 2: “The Cascadia subduction zone is fully locked and horizontal stress is larger than overburden stress.”

A second objective is on estimating the magnitude of horizontal compressive stresses by combining borehole break-out data with physical property data of uniaxial compressive strength (UCS), and coefficient of friction from sediment samples at slope-failure plains to infer properties of the underlying megathrust, which in turn is a critical component of modeling of the hazard potential of the subduction zone and associated tsunami potential. The observed breakout orientations in the IODP expedition 311 drillholes at Cascadia indicate clearly that the maximum horizontal compressive stress is oriented in the margin-normal direction in the outer accretionary wedge. If the magnitude of this compressive stress is greater than that of the vertical stress, it may reflect a velocity-weakening behavior and current locking of the shallow megathrust, which in turn, may suggest that a future megathrust earthquake may extend to near the deformation front and form a trench-breaching, tsunamigenic rupture. The work is split into different tasks:

(1) Recovering cores at slope-failure plains, where near-seafloor sediment has been denuded from overburden. Core locations target zone with sediments where an overburden of up to 100 m has been removed by slumping.

(2) Perform experiment to define uniaxial compressive strength (UCS) and coefficient of friction. This will take place at the GEOMAR laboratory. Prior to sub-sampling, all cores will be scanned with the X-Ray Scanner at the sediment-laboratory of the GSC in Sidney, BC. The X-Ray images will guide sub-sampling.

(3) Magnitudenbestimmung der maximalen und minimalen horizontalen Druckfestigkeit durch Integration der Bohrlochdaten und der neuen probengestützten Werte für Druckfestigkeit und Reibungskoeffizienten.

(3) Define ranges of maximum and minimum horizontal compressive strength by integrating measured borehole breakout widths and sample-based values of UCS and friction coefficient.

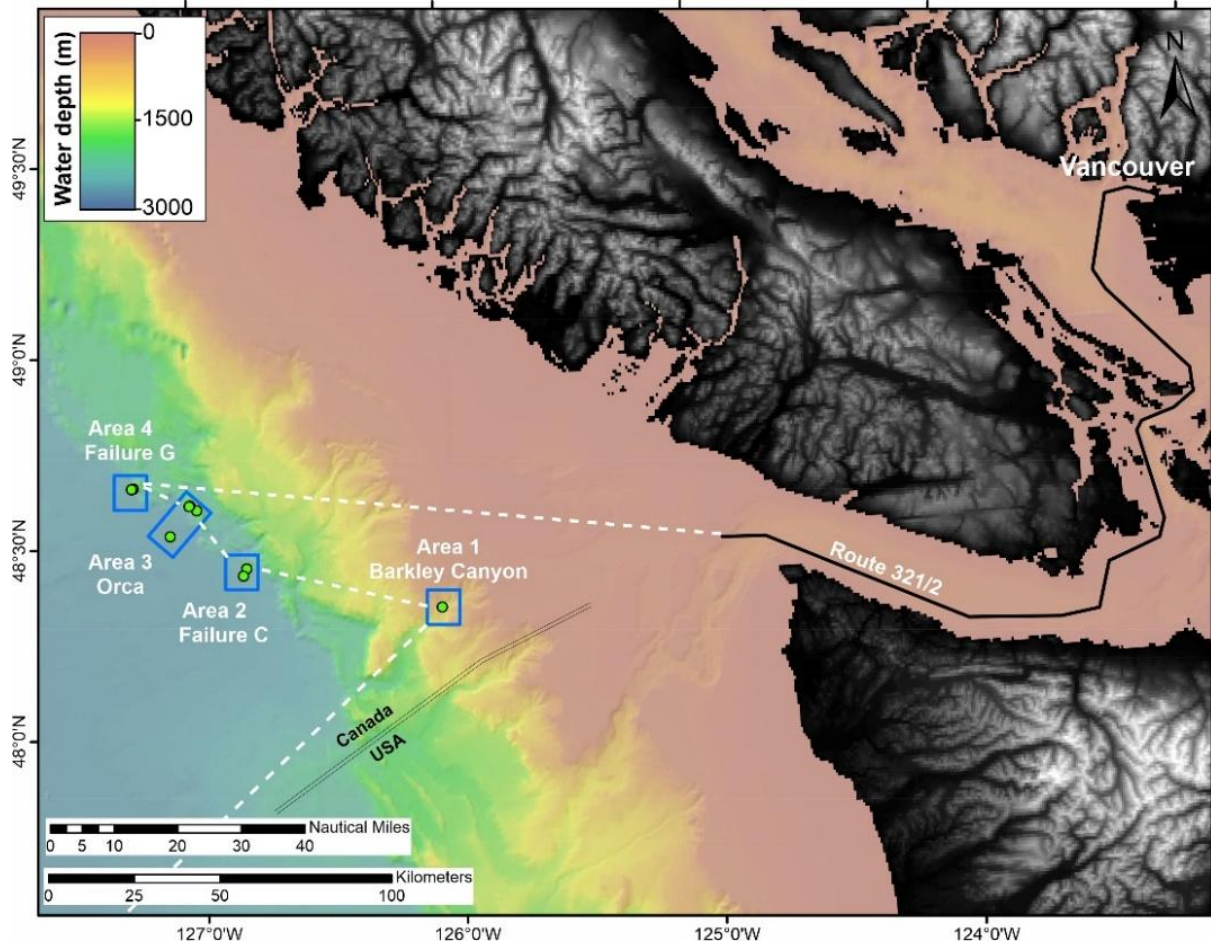


Abb. 5: Karte mit vier Arbeitsgebieten des GHASPS Nebennutzerprogramms vor Vancouver Island an Hangrutschen ,C‘, ,G‘ und ,Orca‘, sowie im Barkley Canyon (Details siehe Text).

Fig. 5: Location of gravity core stations in four working areas of the GHASPS Side user programs off Vancouver Island targeting slope failures ‘C’, ‘G’, and ‘Orca’, as well as Barkly Canyon (details see text).

Arbeitsprogramm

T-SECTOR

Um hochaufgelöste Zeitreihen der Variabilität von Bathymetrie, Krustendicke, MOR-Basaltchemie und hydrothermaler Aktivität zu gewinnen, wird eine zweiteilige Expedition mit RV SONNE zum Cleft-Segment bei 44°N durchgeführt (vgl. Abb. 3). Der erste Fahrtabschnitt SO321/1 umfasst Meeresbodenbohrungen, während der zweite Fahrtabschnitt SO321/2 auf die Gewinnung von Schwerelot- und Wackskernproben fokussiert ist. Im Einzelnen sind folgende Arbeiten geplant:

Probenahme des magmatischen Basements (während SO321/1):

Zur Beprobung des magmatischen Basements (d. h. Pillow- und Sheet-Laven der obersten ozeanischen Kruste) setzen wir das Tiefwasserbohrgerät Nautilus – I von Seas Geoscience (Seattle, USA) ein. Für Meeresbodenbohrungen wurden zwölf Stationen entlang Profil 1 (Abb. 3) ausgewählt: Acht Stationen sollen die obersten 10 m, vier Stationen bis zu 25 m (maximale Eindringtiefe 80 m) in das Basement beproben (insgesamt ~180 m magmatischer Kern). Der Stationsabstand wurde so gewählt, dass eine Probenabdeckung alle 25 ka zwischen 400 und 550 ka erreicht wird (Phase großer Amplituden der Meeresspiegelschwankungen) sowie alle 50 ka zwischen 550 und 800 ka, sodass das Ende der mittelpleistozänen Transition von 40- zu 100-ka-Glazialzyklen durch die Bohrungen erfasst wird. Bohrungen auf topographischen Hochs und in Tälern stellen zudem sicher, dass systematische Änderungen der Krustenzusammensetzung mit der Topographie in Beziehung gesetzt werden können. Geochemische Analysen der Bohrkernkerne dienen außerdem als „Ground-Truth“ für die geochemische Zusammensetzung benachbarter, sedimentgebundener Gläser.

Schwerelotkern- und Multicorer-Beprobung (MUC): Um detaillierte Proben der Sedimentbedeckung über der ozeanischen Kruste zu gewinnen, werden Schwerelotkerne bis ~20-25 m Länge eingesetzt, die die gesamte Sedimentsäule durchdringen und das basaltische

Work Programme

T-SECTOR

In order to recover detailed time-series of variations in bathymetry, crustal thickness, and MOR basalt chemistry and hydrothermal activity, a two-leg RV SONNE expedition to the Cleft segment at 44°N will be conducted (cf., Fig. 3). The first Leg SO321/1 will undertake seabed drilling, while the second leg SO321/2 focusses on obtaining gravity core and wax core samples. In detail, the following studies are planned.

Sampling of the igneous basement (during SO321/1):

To sample the igneous basement (i.e. pillow and sheet lavas of the uppermost ocean crust), we will deploy the Nautilus – I deep-water drill rig from Seas Geoscience (Seattle, USA). Twelve stations along Profile 1 (Fig. 3) were selected for seabed drilling, eight of which will core the uppermost 10 m and four up to 25 m (maximum penetration is 80 m) into the basement (~180 m igneous core in total). Spacing between sampling stations was chosen to achieve sample coverage every 25 ka from 400 to 550 ka, which represents a time of large amplitude sea-level changes, and every 50 ka from 550 to 800 ka, ensuring that the end of mid-Pleistocene transition from 40 to 100 ka glacial cycles will be covered by the drilling. Drilling at topographic highs and valleys furthermore ensures that systematic changes in crustal composition can be related to the topography. Analyses of the geochemistry from the drill-core samples will furthermore ground-truth the geochemical composition of nearby sediment-hosted glasses.

Gravity and multi-corer (MUC): *To obtain detailed samples of the sediment cover above the oceanic crust, we will deploy gravity corers up to ~20-25 m in length, designed to penetrate the full sediment column and reach the basaltic basement. Gravity coring (GC) will*

Basement erreichen sollen. Die Schwerelotkernentnahme (GC) liefert die Sedimentsäule einschließlich der abgelagerten Glasscherben sowie – möglicherweise – vulkanischen Materials aus dem Basement, das im Kernfänger enthalten ist. Entlang Profil 1 (Abb. 3) werden die Stationen in ~25,000 Jahresabständen ($\approx 0,7$ km) gewählt. Auf Grundlage der erwarteten Sedimentmächtigkeiten wählen wir geeignete Kernrohrängen, um die komplette Sedimentabfolge bis zum Basement zu durchteufen. Zudem planen wir, das Kernrohr bis zum Basement das Sediment einzutreiben, um die Ausbeute des untersten Sedimentmeters direkt oberhalb des Basements – wo die meisten Gläser erwartet werden – zu maximieren und, wenn möglich, einige Basementfragmente zu gewinnen, so wie dies erfolgreich auf der T-SECTOR SONNE-Expedition SO314 im Sommer 2025 durchgeführt wurde.

Da die Meeresspiegelschwankungen im späten Pleistozän infolge globaler Änderungen des Eisvolumens am stärksten waren, wird das Profil, abhängig von der Sedimentmächtigkeit, das Krustenalter von ~400 ka nahe der Cleft-Achse bis zu ~1,5 Ma abdecken. Die maximale Sedimentbedeckung auf diesen Krustenabschnitten wird auf ~25 m geschätzt. Die Sedimentverteilung in Achsennähe kann aufgrund variabler Sedimentation sowie Umlagerungs-/Erosionsprozesse heterogen sein; unsere engmaschige Beprobungsstrategie ist jedoch darauf ausgelegt, ausreichende Kerngewinnung zu gewährleisten. Vorarbeiten zeigen, dass Sedimentkerne von mittelozeanischen Rücken aus dem Untersuchungsgebiet für unsere Zielsetzungen geeignet sind. Wir erwarten nicht, dass jeder Kern eine vollständig ungestörte Sedimentabfolge enthält, daher die dichte Stationsbelegung. Zusätzlich, da GC die obersten Sedimente stören oder unvollständig erhalten kann, setzen wir an beiden Enden sowie in der Mitte von Profil 1 einen Multicorer ein, um die obersten ~50 cm Sediment ungestört zu gewinnen; dies unterstützt die Entwicklung robuster Altersmodelle. Unmittelbar nach der Bergung bestimmen wir an Bord physikalische Kerneigenschaften in Zentimetrauflösung, u. a. Leitfähigkeit und magnetische Suszeptibilität sowie

recover the sediment pile, including any enclosed deposited glass shards and – potentially – volcanic material from the basement retained in the core catcher. Along Profile 1 (Fig. 3), stations will be spaced at ~25 ka intervals (≈ 0.7 km). Based on expected sediment thickness, we will select appropriate core-barrel lengths to penetrate the entire sediment sequence to basement. We also plan to drive the barrel into the basement to maximize recovery of the lowermost meter of the sediment immediately above basement – where most of the target glass is expected – and, where possible, to recover basement fragments, similar to the operations during T-SECTOR SONNE cruise SO314 in summer 2025.

Because sea-level variability was greatest during the Late Pleistocene as a result of global ice-volume changes, the profile will span crustal ages from ~400 ka near the Cleft axis to ~1.5 Ma, depending on sediment thickness. Maximum sediment cover on these crustal segments is expected to be ~25 m. Sediment distribution near ridge axes can be heterogeneous due to variable sedimentation and reworking/erosion; however, our closely spaced coring strategy is designed to ensure sufficient recovery. Prior studies in the study area have demonstrated that sediment cores from mid-ocean ridges are well suited to our objectives. We do not anticipate that every core will contain a fully undisturbed sedimentary sequence, which is why we employ dense station spacing. In addition, because GC can disturb or incompletely preserve the uppermost sediments, we will deploy a multi-corer or box corer at both ends and at the center of Profile 1 to secure the recovery of the undisturbed top ~50 cm of sediment, which will support development of age models for the sequences. Immediately after recovery, we will measure core physical properties onboard at centimeter resolution, including conductivity and magnetic susceptibility (GEOTEK core logger) and sediment colour (MINOLTA colour

Sedimentfarbe mit einem GEOTEK Kernlogger. Zusammen mit lithologischen Beschreibungen ermöglichen diese Datensätze eine detaillierte Kern-zu-Kern-Korrelation im Untersuchungsgebiet und erlauben den direkten Vergleich der Aufzeichnungen der jüngeren Sedimente nahe der MOR-Achse mit älteren Sedimenten in größerer Achsenentfernung.

Waxcorer – Glass Beprobung: Vulkanisches Glas kann außerdem direkt von freiliegenden Bereichen junger ozeanischer Kruste an der Rückenachse mittels eines Waxcorers gewonnen werden. Diese schnelle und einfach einzusetzende Methode beprobt die Lavoerflächen und liefert typischerweise frisches vulkanisches Glas. Proben aus der Rückenachse dienen als Null-Alter-Referenz („zero-age baseline“). Die Anzahl der Waxcorereinsätze am Cleft-Segment hängt davon ab, wie viel sedimentfreier Meeresboden in der detaillierten Kartierung identifiziert wird. Zusätzlich zum Cleft-Segment werden Proben entlang des nördlichen Juan de Fuca Rückens in kanadischen Gewässern entnommen (Abb. 4).

Zur Erstellung einer Zeitreihe aus MORB-Glas und Wirtsedimenten etablieren wir eine Chronostratigraphie durch Korrelation der Kerne mittels hochauflösender Logging-/Scan-Daten (Farbe, magnetische Suszeptibilität, Leitfähigkeit), regional nachverfolgbarer Tephralagen sowie magnetischer Daten des Basements. Die detaillierte Altersmodellierung konzentriert sich auf 2-3 Referenzkerne (Auswahl erfolgt nach dem Kern-Logging), die anschließend über Korrelation der übrigen Kerne datiert werden.

Verlässliche Alter der Referenzkerne basieren primär auf der $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie benthischer Foraminiferen, ergänzt durch AMS- ^{14}C -Datierungen der jüngsten Sedimente (v. a. abseits des aktiven Rückens) sowie weitere Ansätze (Chemostratigraphie, paläomagnetische Intensität, Biostratigraphie, Tephrostratigraphie). Die $\delta^{18}\text{O}$ profile helfen zudem, Störungen (Hiaten, Rutschungen, Bioturbation) zu erkennen.

scanner). Together with lithological descriptions, these datasets will enable detailed core-to-core correlation across the study area, and direct comparison of the younger sediments records near the MOR axis with older sediments farther away from the axis.

Wax Coring – glass sampling: *Volcanic glass can also be collected directly from exposed portions of young oceanic crust at the ridge crest using a wax corer. This rapid, straightforward technique samples bare lava surfaces and typically recovers fresh glass. Ridge-axis samples will provide a zero-age baseline. The number of wax-corer deployments at the Cleft-Segment will depend on how much sediment-free seafloor is identified during detailed mapping. Additional sampling will be carried out along the northern Juan de Fuca Ridge in Canadian waters (Fig. 4).*

To build a time series of MORB glass and host sediments, we will establish a chronostratigraphy by correlating cores using high-resolution logging/scanning (colour, magnetic susceptibility, conductivity), regionally traceable tephra layers, and basement magnetic data. Detailed age modelling will focus on 2–3 reference cores (selected after logging), which will then serve to date the remaining cores based on correlations.

Reliable reference-core ages will be based primarily on benthic foraminiferal $\delta^{18}\text{O}$ stratigraphy, supported by AMS ^{14}C dating of the youngest sediments (mainly away from the active ridge) and additional approaches (chemostratigraphy, paleomagnetic intensity, biostratigraphy, tephrostratigraphy). $\delta^{18}\text{O}$ records will also help identify disturbances (hiatuses, slumping, bioturbation).

Basale Glasscherben aus jedem Kern werden mit Hilfe der Sedimentalter und überlappenden Zusammensetzungen verknüpft, um eine durchgehende ~1,5-Ma-geochemische Zeitreihe zu erstellen.

Hydrothermale Signale, die in der aus Meerwasser stammenden Sedimentfraktion erhalten sind, werden mittels reduktiver Laugung extrahiert. In den Referenzkernen werden Metallkonzentrationen sowie authigene Pb-Konzentrationen und radiogene Pb-Isotopenverhältnisse Änderungen des hydrothermalen Eintrags abbilden, während authigene radiogene Nd-Isotope helfen, hydrothermale Variabilität von Änderungen der bodennahen Ozeanzirkulation/Oxygenierung zu trennen. Bohrproben der Ozeankruste liefern Informationen inwieweit Alteration die Aufnahme bzw. Freisetzung von Elementen in der Kruste beeinflusst.

GHASPS

Insgesamt werden neun Sedimentschwerelote in vier verschiedenen Arbeitsgebieten gewonnen (Abb. 5):

Barkley Canyon: Die Station 1 (GC-1) befindet sich an der Nordflanke des Barkley-Canyons. Der Sedimentkern zielt auf eine Sedimentabfolge von bis zu 20 erdbebenbedingten Turbiditen ab. Durch Probenahme und Altersdatierung lässt sich eine nahezu lückenlose Chronologie der vergangenen Mega-Thrust-Erdbeben vor der Küste von Vancouver Island bis zurück zu ~10.000 Jahren erstellen. Der Kern wird eine Länge von ca. 20 m haben, welches das Kernabsatzgestell zur Bergung erfordert.

Rutschung C: An diese Rutschung werden zwei Kerne (GC-2, GC-3) westlich der abbruchkante entnommen, um eine Altersdatierung der Sedimentabfolge durchzuführen und somit das Alter der Rutschung zu bestimmen.

Orca: Die Orca-Rutschung wurde bereits zuvor beprobt und das Alter wird auf vor ~ 8.000 Jahren eingegrenzt. An dieser Stelle beabsichtigen wir, zwei Kerne (GC-4, GC-5) zu ziehen, um eine Paläotemperaturkurve durch das

Basal glass shards from each core will be linked using the sediment ages and overlapping compositions to construct a continuous ~1.5 Ma geochemical record.

Hydrothermal activity and seafloor alteration hydrothermal signals preserved in the seawater-derived sediment fraction will be extracted by reductive leaching. In the reference cores, metal concentrations plus authigenic Pb concentrations and radiogenic Pb isotope ratios will track changes in hydrothermal input, while authigenic radiogenic Nd isotopes will help distinguish hydrothermal variability from changes in bottom-water circulation/oxygenation. Drill samples will constrain alteration-driven element uptake/release by the volcanic crust

GHASPS

In total, nine gravity cores in four work areas will be taken (Fig. 5):

Barkley Canyon: Station 1 (GC-1) is located at the northern flank of the Barkley Canyon floor. This gravity core station targets a sediment record of up to 18 individual earthquake-related turbidites. Sampling and age-dating allows a nearly complete chronology of the past mega-thrust earthquake history off Vancouver Island back to ~10,000 yrs. The core will be approximately 20 m in length, requiring the core-support frame for recovery.

Failure C: Two gravity cores (GC-2, -3) will be taken at this failure for age-dating and definition of the age of the failure. The cores will be < 8 m in length.

Orca: Orca failure has been previously sampled and its age is constrained to ~ 8,000 yrs ago (Hamilton et al., 2015). At this failure we intend to take two gravity cores (GC-4, -5) to reconstruct a paleo-temperature record

Holozän zu rekonstruieren, die zur Abschätzung des früheren Gashydratstabilitätsfeldes an diesem Standort dient. Zwei weitere Kerne (GC-6, GC-7) werden direkt an der Bruchfläche entnommen, die Sedimente freigelegt hat, die zuvor ca. 100 m unter dem Meeresboden lagen. Diese Proben ermöglichen die Bestimmung der Sedimentfestigkeit, und durch die Integration dieser Ergebnisse mit Studien der IODP-Expedition 311 lassen sich Einschränkungen für das Verhalten der Megathrust-Bruchfläche ableiten.

Rutschung G: An dieser Bruchstelle werden zwei Schwerkraftbohrkerne (GC-8, GC-9) westlich der Abbruchkante entnommen, um eine Altersdatierung der Sedimentabfolge durchzuführen und somit das Alter der Rutschung zu bestimmen.

Die Sedimentkerne werden auf See in 1 m lange Abschnitte geteilt, verschlossen und anschließend im Kühlraum des Schiffes gelagert. Nach der Ankunft im Hafen und Abschluss der Expedition SO321-2 werden die Bohrkerne zum Labor des Geological Survey of Canada in Sidney, British Columbia, transportiert. Dort werden die Kerne zunächst mit einem Röntgenbildgeber gescannt, um die Integrität der Sedimente zu überprüfen.

Auf Grundlage dieser Bilder werden dann Teilproben von Station GC-6 und GC-7 für geotechnische Untersuchungen entnommen und zur weiteren Analyse an das technische Labor am GEOMAR zurückgeschickt. Nach der Röntgenbildgebung werden die Kerne mit einem Multisensorkernlogger (MSCL) vermessen, um Dichte, magnetische Suszeptibilität und P-Wellen-Geschwindigkeit zu bestimmen. Nach dieser ersten Untersuchung werden die Bohrkerne der Länge nach halbiert und die Archivhälfte mit einem MSCL auf Sedimentfarbe, magnetische Suszeptibilität und Widerstandsfähigkeit mit einer Auflösung von 1 cm vermessen. Proben für die ^{14}C -Datierung der Turbidite werden aus der Arbeitshälfte entnommen, nachdem die Auswertung der MSCL-Daten abgeschlossen ist.

through the Holocene used to estimate the past gas hydrate stability field at this site. Two additional cores (GC-6, -7) will be taken at the failure plane that exposed sediments formerly buried ~ 100 m below seafloor. Those samples allow definition of sediment strength and by integration these results with studies from IODP Expedition 311 Site U1326 (Riedel et al., 2014, 2016 a), new constraints on the behaviour of the megathrust rupture plain can be made.

Failure G: *Two gravity cores (GC-8, -9) will be taken at this failure for age-dating and definition of the age of the failure.*

Cores will be cut at sea after retrieval into 1m long whole-round sections, capped and labelled and then stored in the ships' cold-room. After arrival in port and completion of expedition SO321-2, the cores will be transported to the laboratory of the Geological Survey of Canada in Sidney, BC. Here, all cores will be first scanned with an X-ray imager to show sediment integrity.

Based on these images, sub-samples for geotechnical studies will be taken and shipped back to the technical laboratory at GEOMAR for further analyses. After X-ray imaging, whole-round sections will be logged with a multisensor-core logger (MSCL) to measure density, magnetic susceptibility, and P-wave velocity. After this initial scan, sections will be cut and the archive-half will be logged with a MSCL for sediment-color, magnetic susceptibility and resistivity at a 1 cm resolution. Samples for ^{14}C dating of turbidites will be taken from the working-half after analyses of the MSCL-data are completed.

Zeitplan / Schedule**Fahrt / Cruise SO321 Leg 1 & Leg 2**

	Tage/days
SO321/1	
Auslaufen von Vancouver (Kanada) am 07.08.2026 <i>Departure from Vancouver (Canada) 07.08.2026</i>	
Transit zum Arbeitsgebiet / <i>Transit to working area</i>	1,5
Meeresboden Bohrprogramm <i>Seabed Drilling</i>	13
Transit zum Hafen Longview (OR, USA) <i>Transit to port Longview (OR, USA)</i>	1,5
Einlaufen in Longview (OR, USA) am 23.08.2026 <i>Arrival in Longview (OR, USA) 23.08.2026</i>	
	Total 16
SO321/2	
Auslaufen von Longview (OR, USA) am 26.08.2026 <i>Departure from Longview (OR, USA) 26.08.2026</i>	
Transit zum Arbeitsgebiet / <i>Transit to working area</i>	2
Schwerelot- und Wachskernen <i>Gravity- and waxcoring</i>	14
Nebennutzer-Programm (GHASPS)	3
Transit zum Hafen Vancouver (Kanada) <i>Transit to port Vancouver (Canada)</i>	2
	Total 21
Einlaufen in Vancouver (Kanada) am 16.09.2026 <i>Arrival in Vancouver (Canada) 16.09.2026</i>	

Beteiligte Institutionen / *Participating Institutions*

GEOMAR

Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

Wischhofstraße 1-3

24148 Kiel

Germany

Harvard University

Earth and Planetary Sciences

20 Oxford St.

Cambridge, MA 02138

U.S.A.

Universität Hamburg

Zentrum für Erdsystemforschung

Institut für Geologie –

Biogeochemie des Erdsystems

Bundesstraße 55

20146 Hamburg

Germany

DWD

Deutscher Wetterdienst

Seeschiffahrtsberatung

Bernhard-Nocht-Straße 76

20359 Hamburg

Germany

Geological Survey of Canada – Pacific

9860 West Saanich Road

Sidney, BC, V8L 5T5

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 Fahrtplanung 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.

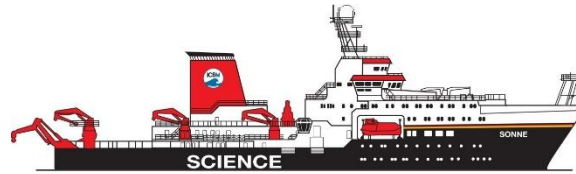
The German Research Fleet Coordination Centre (LDF) at the University of Hamburg is responsible for the scientific-technical, logistical and financial preparation, handling and supervision of the vessel’s operation.

Einerseits arbeitet die LDF partnerschaftlich mit der Fahrtleitung zusammen, andererseits ist sie Partner der Reederei Briese Schiffahrts GmbH & Co. KG. Die Finanzadministration im Rahmen der Bereederung erfolgt durch den Projektträger Jülich (PtJ).

On a partner-like basis the LDF cooperates with the chief scientists and the managing owner Briese Schiffahrts GmbH & Co. KG. The financial administration of the ships operation is carried out by the POrject Management Jülich (PtJ).

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

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



Research Vessel

SONNE

Cruise No. SO321 Leg 1 & Leg 2

07. 08. 2026 - 16. 09. 2026



Testing Solid Earth Climate Connections Through mid Ocean Ridge Time Series – Cleft Segment, T-SECTOR

Gas hydrate slope pre-conditioning, and state of stress, GHASPS

Editor:

Fachbereich Erdsystemwissenschaft, Meereskunde,
Universität Hamburg, Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe
<http://www.ldf.uni-hamburg.de>

Sponsored by:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)
ISSN 2364-3692