

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/268523961>

Aktive Fluidaustritte im Aleutengraben: Geologie und Biologie der Cold Vents im Golf von Alaska

Article · January 1997

CITATIONS

0

READS

16

12 authors, including:



Gerhard Bohrmann

Universität Bremen

859 PUBLICATIONS 7,567 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Erwin Suess

GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

909 PUBLICATIONS 15,100 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



P. Linke

GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel

148 PUBLICATIONS 4,103 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Establishing criteria to distinguish oil-seep from methane-seep carbonates [View project](#)



phD thesis [View project](#)

Gerhard Bohrmann
 Erwin Suess
 Peter Linke
 Heiko Sahling
 Jens Greinert
 Anke Dählmann
 Nikolaus von Mirbach
 Klaus Wallmann
 Evelyn Zuleger
 Stephan Lammers
 Nicole Biebow
 Wilhelm Weinrebe

Aktive Fluidaustritte im Aleutengraben

Geologie und Biologie der Cold Vents im Golf von Alaska

Abstract

Active fluid venting was observed for the first time along the Aleutian convergent margin during RV SONNE cruise 97. These subduction-induced cold vents were subsequently investigated in detail during cruise SO 110 in the summer of 1996 using the Canadian remotely operated vehicle, ROPOS. Active sites of dewatering were found at the youngest deformation structure adjacent to the décollement zone. High concentrations of reduced gases in the escaping fluids provide the nutritional and energy basis for the observed chemosynthetic communities in which clams and tube worms dominate. Further evidence for fluid venting comes from the mineral precipitates of barite and carbonates.

1 Einführung

Submarine Austritte von Gasen und Fluiden gehören aufgrund des Stoffaustausches zwischen Lithosphäre und Hydrosphäre mit zu den interessan-

testen Erscheinungen der Meeresforschung, die in den letzten Jahren vermehrt beobachtet und untersucht wurden. Solche Quellen am Meeresboden, allgemein als Vents oder Seeps bezeichnet, werden durch die tektonischen Prozesse des Untergrundes gesteuert. Aufgrund der geologischen Vielfalt können verschiedene Typen von submarinen Quellen unterschieden werden. So sind aktive Süßwasseraustritte am Meeresboden bekannt, welche durch das Austreten von Wässern aus kontinentalen Grundwasserleitern charakterisiert sind.

Einen weiteren Grundtyp stellen Gas- und Kohlenwasserstoff-Seeps dar, die durch gasreiche Fluide gekennzeichnet sind. Die quellenden Gase werden dabei meist vom Methan dominiert, welches in Ablagerungen mit hohem Gehalt an organischem Kohlenstoff in geringer Versenkungstiefe mikrobiell gebildet wird oder aus

Kohlenwasserstofflagerstätten des Untergrundes stammt. Im letzteren Fall sind auch höhere Kohlenwasserstoffe assoziiert. Die Lage einzelner Fluidaustrittsstellen wird meist durch die tektonischen Muster der unterlagernden Schichtpakete bestimmt. Das Vorkommen eines Großteils der submarinen Fluidaustritte ist unmittelbar an aktive Plattengrenzen gekoppelt. Aufgrund der enormen Temperaturunterschiede, die auch den Antriebsmechanismus der Entwässerung ausmachen, wird zwischen den Hydrothermalquellen (Hot Vents) der aktiven Spreizungsrücken und den kalten Quellen (Cold Vents) der Konvergenzonen unterschieden. Letztere Gebiete sind durch das Abtauchen und die Subduktion einer Platte beim Kollisionsvorgang gekennzeichnet.

Durch die Plattenkonvergenz kommt es zu einer verstärkten Entwässerung der aufgeschuppten Sedimente und zur Ausbildung von Kanälen, an denen Fluide und Gase aufsteigen. Solche Fluidkanäle oder entwässernde Strukturen führen beim Ausbiss am Meeresboden zu den charakteristischen Erscheinungen der Cold Vents, die in den letzten 15 Jahren in zahlreichen Subduktionszonen wie zum Beispiel vor Oregon [1], Peru [2], Japan [3], Pakistan [4] und den kleinen Antillen [5] entdeckt wurden. Im Golf von Alaska wurden solche subduktionsinduzierte Vents, aufgrund charakteristischer Merkmale in 4000–5000 m Wassertiefe vorhergesagt, und nach sehr kurzen Vorarbeiten zum ersten Mal 1994 während der 97. Forschungsreise mit *FS Sonne* entdeckt [6]. Während der 110. Forschungsreise mit *FS Sonne* wurden im Sommer 1996 diese Fluidaustritte erneut aufgesucht [7], um wesentlich detailliertere Untersuchungen vornehmen zu können. Mit dem kanadischen Tiefseerobotersystem ROPOS

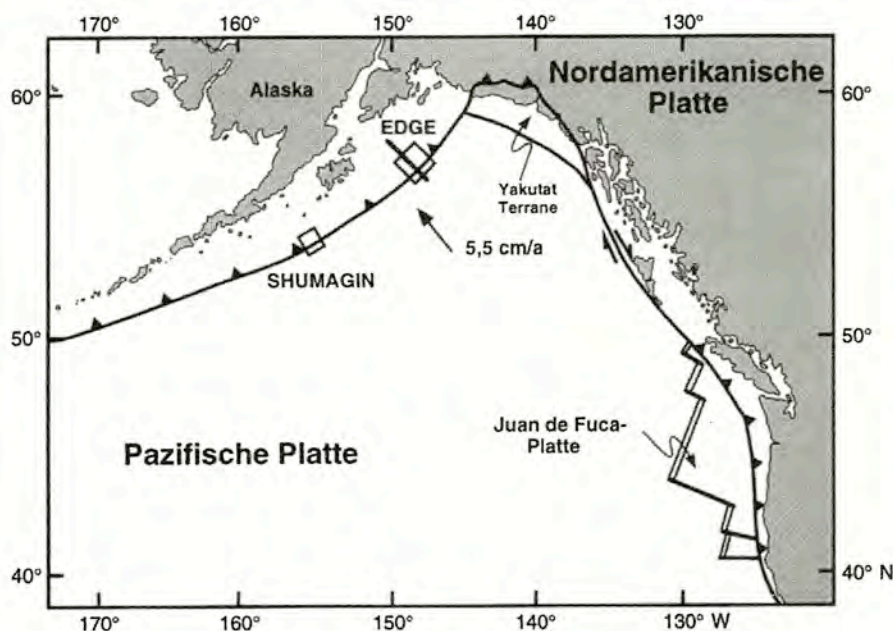


Abb. 1. Tektonische Karte des Nordostpazifiks mit Lage der Arbeitsgebiete im Aleutengraben und des seismischen Profils EDGE 302.

(Remotely Operated Platform for Ocean Science) konnten dabei die Cold Vents in Einzelheiten ihrer Zusammensetzung und Struktur dokumentiert werden, die alle Beteiligten begeisterte.

2 Geologischer Überblick

Die Cold Vents in 4000–5000 m Wassertiefe südöstlich der Halbinsel Alaska treten entlang des schmalen Aleuten Tiefseegrabens auf, der zwischen dem Golf von Alaska im Osten und der Halbinsel von Kamtschatka im Westen mit mehr als 2000 km Länge die Nahtstelle zwischen Nordamerikanischer und Pazifischer Platte kennzeichnet. Die Pazifische Platte driftet mit einer Geschwindigkeit von circa 5,5 cm pro Jahr nach Nordwesten und schiebt sich unter die Nordamerikanische Platte (Abbildung 1). Dieser Kollisionsprozess dauert schon seit vielen Millionen Jahren an und führte zur Ausbildung eines über 200 km breiten Akkretionskomplexes (Abbildungen 2 und 3), der alle klassischen Struktureinheiten einer Ozean-Kontinent-Konvergenz besitzt. Von Südosten nach Nordwesten sind zu finden: ein mit mächtigen Sedimenten gefüllter Tiefseegraben, ein circa 35 km breiter seewärts-vergenger Neogener Akkretionskeil (Abbildung 3) mit anschließendem älteren Krustenkomplex, ein Fore-arc-Becken (Stevenson-Becken) und schließlich der aktive vulkanische Bogen der Aleuten. Bedeutend für die Entwässerung des jungen Akkretionskeiles ist die aus Turbiditen aufgebaute mächtige Sedimentdecke des Tiefseegrabens, die im Golf von Alaska über 2,5 km dick ist. Nach Südwesten wird die Grabentiefe größer und die Sedimentbedeckung der ozeanischen Kruste im Graben generell geringer.

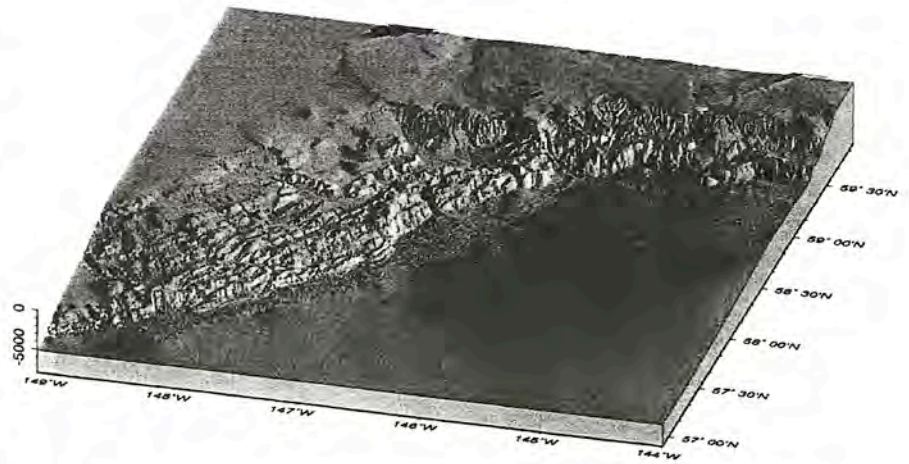


Abb. 2. Dreidimensionale Darstellung der Vermessung des Meeresbodens im Golf von Alaska, zusammengestellt aus Daten der Fächerecholotvermessung während der Expeditionen mit FS Sonne und älteren SEABEAM-Daten. Der Blick nach Nordosten verdeutlicht die Morphologie des Kontinentalrandes von der Tiefsee bis zum Schelf. Der Bereich des Akkretionskeils links zeigt die grabenparallelen länglichen Akkretionsrücken der Subduktionszone.

3 Vorkommen der Cold Vents

In vier Untersuchungsgebieten des Aleutengrabens wurden aktive Fluidaustrittsstellen am Meeresboden beobachtet, wobei sich die Untersuchungen auf die zwei Hauptgebiete EDGE und SHUMAGIN konzentrierten (Abbildung 1).

Die bei weitem dominanteste Verbreitung von Vents wurde im Bereich der ersten Akkretionsstruktur und zwar in charakteristischer Weise an den seewärtigen Hängen und nicht an den rückwärtigen, landwärts gerichteten Flanken der ersten Faltenstrukturen beobachtet (Abbildung 4). Diese Hauptverbreitung, die anhand von mehr als 30 Beobachtungsprofilen mit dem am Boden geschleppten Videoschlitten EXPLOS auf einer Gesamtlänge von mehr als 200 Profilkilometern entlang des Meeresbodens erarbeitet wurde, ist in allen Arbeitsge-

bieten gleich und konzentriert sich auf den unmittelbaren Bereich der ersten, oft nur sehr leichten Auffaltungsstruktur. Dort werden durch den tektonischen Druck der Plattenkonvergenz die Sedimente in Falten gelegt, zerschuppt, und es kommt gleichzeitig zu einem Auspressen der Fluide, die sich in permeablen Schichten und Kanälen sammeln. Wie die morphologischen Profile der Akkretionsrücken zeigen, kommt es an ihren seewärtigen Flanken durch gravitativen Hangabtransport zu Erosionsstufen, wodurch Fluidbahnen, wie tektonische Überschiebungen und schichtparallele Transportwege, freigelegt werden und an der Meeresoberfläche zur Ausbildung von Cold Vents führen.

Im EDGE-Arbeitsgebiet sind submarine Austritte an der ersten und zweiten Faltenstruktur zu beobachten, wobei sie am ersten Akkretionsrücken dominieren. In dem Arbeitsgebiet

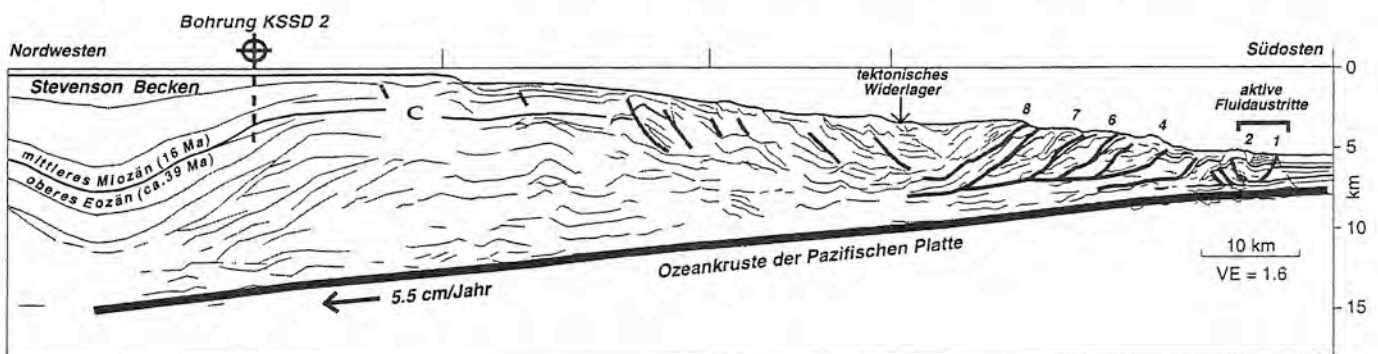


Abb. 3. Interpretation des Krustenaufbaus entlang der seismischen Profillinie EDGE 302 [aus 10]. Von Südosten nach Nordwesten sind die von 1–8 durchnummerierten Rücken des Akkretionskeils zu sehen, wobei aktive Fluidaustritte bisher nur an den beiden ersten Rücken belegt werden konnten.

SHUMAGIN wurden Fluidaustritte auch in einer höheren tektonischen Einheit zwischen der 3. und 4. Akkretionsstruktur in einem Canyon entdeckt. Der Canyon liegt auf einer Linie senkrecht zum Streichen des Grabens. Die Struktur ist morphologisch vom Tiefseegraben bis zum Schelf zu verfolgen und durchschlägt wahrscheinlich als eine rechts-laterale Seitenverschiebung den Akkretionskomplex, an deren Ausbiss Fluide eines tieferen Entwässerungsstockwerkes austreten können.

4 Biologie

Die Stellen aktiver Fluidaustritte sind am Meeresboden durch hohe Bioproduktivität chemoautotropher Organismengemeinschaften gekennzeichnet. Dominiert werden die Gemeinschaften durch Kolonien calyptogener Muscheln. Durch ihr dichtes Auftreten und ihre helle Farbe sind diese Organismen besonders für das optische Auffinden von Vents geeignet (Abbildung 5a-c). Die Größe der gefundenen Vents liegt im Quadratmeterbereich, während die aktiven Fluidbahnen deutlich kleiner scheinen. *Calyptogena* ist eine recht aktive Muschel, und es konnten oft halbkreisförmige Suchspuren der Muschel beobachtet werden. Die Schalen der calyptogenen Muscheln werden

oft von 2-3 Actinien besiedelt (Abbildung 5c), die wahrscheinlich von der erhöhten Verfügbarkeit von Partikeln und freilebenden Mikroorganismen profitieren. Die Muschelkolonien werden umrahmt von Bartwürmern (Abbildung 5d), die in hoher Dichte auftreten. Weiterhin profitieren räuberisch lebende Gastropoden (Abbildung 5a) und Krebse von der erhöhten Biomasse im Umfeld der Fluidaustritte.

Eingegraben und daher auf den Unterwasseraufnahmen nicht sichtbar, ist die Muschel der Gattung *Solemya*, deren aufklaffende Schalen nach dem Absterben der Tiere anhand ihres charakteristisch erscheinenden dunkelbraunen Periostrakums auf der Sedimentoberfläche häufig zu sehen sind (Abbildung 5e).

Die Ansiedlung und die Ausbildung einer derartigen Biomasse setzt eine ausreichende Versorgung dieser Organismen mit reduzierten chemischen Verbindungen voraus und gilt daher als ein sicherer Hinweis auf aktive Ausstritte von Fluiden [9]. Die Muscheln der Gattung *Calyptogena* und *Solemya* sowie die Bartwürmer (*Pogonophora*) leben in Symbiose mit Bakterien. Die Bakterien sind in der Lage, reduzierte chemische Verbindungen, H_2S und CH_4 aus den Ventfluiden zu oxidieren und daraus Energie zu gewinnen. *Calyptogena phaseoliformis*

nimmt über ihren weit in das Sediment reichenden Fuß Schwefelwasserstoff aus den Fluiden auf. H_2S ist ein starkes Zellgift und muss in unschädlicher Form transportiert werden. Dies geschieht durch Bindung an Hämoglobine oder in oxidierter Form als Thio-sulphat. An den reich durchbluteten Kiemen werden die Schwefelverbindungen an die Bakterien abgegeben, die diese dann oxidieren und Energie daraus beziehen. Die Bakterien benötigen dazu Sauerstoff, welcher durch Pumpaktivität der Muscheln zu den Bakterien transportiert wird. Gleichzeitig haben die Muscheln durch ihre Pump- und Bioturbationsaktivität einen deutlichen Einfluss auf die Konzentrationsgradienten und Zusammensetzung der Porenwässer.

5 Mineralpräzipitate

Neben den biologischen Indizien sind mineralische Präzipitate weitere deutliche Anzeiger von Fluidaustritten, die auch fossiles Überlieferungspotential haben. In beiden Untersuchungsgebieten konnten Karbonatmineralisationen beprobt werden, die im EDGE-Gebiet ab 25 cm Sedimenttiefe und darunter nur zu einer geringen Zementation der porösen Lockersedimente mit maximalen Karbonatgehalten von bis zu 10 % Massenanteil führen. Die Kohlenstoffi-

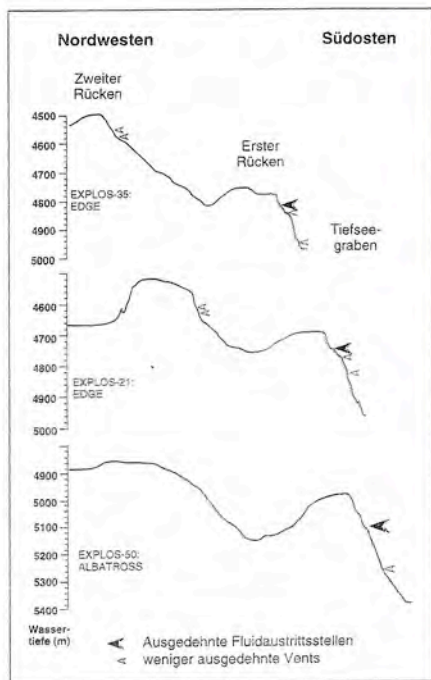


Abb. 4. Tiefenprofile über die jüngsten Deformationsstrukturen unmittelbar am Graben. Mit dem EXPLOS-Schlitten beobachtete Fluidaustrittsstellen sind markiert und zeigen ein charakteristisches Muster.

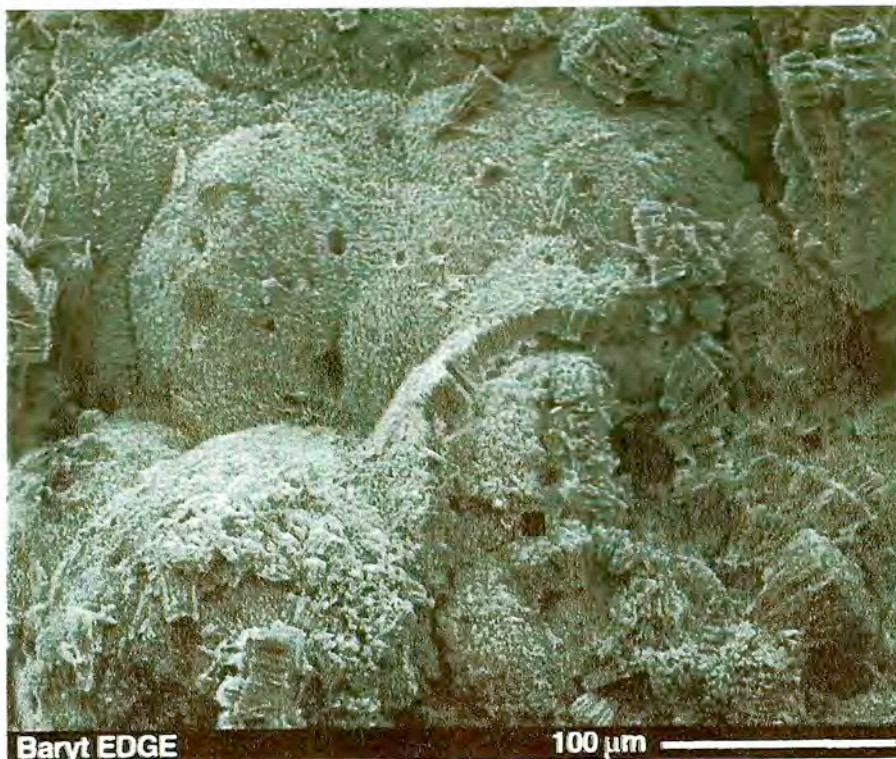
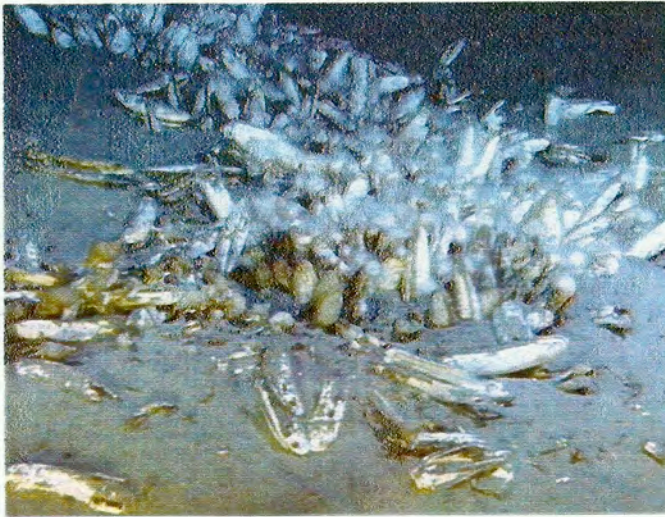


Abb. 6. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Barytpräzipitate aus aktiven Fluidaustrittsstellen vom EDGE-Arbeitsgebiet.

isotopenverhältnisse der authigenen Karbonate zeigen deutlich, dass organisches Material als Kohlenstoffquelle zur Karbonatbildung genutzt wurde. Im SHUMAGIN-Gebiet wurden massive Karbonatkrusten (Abbildung 5f)

aus den Ventgebieten geborgen, die Massenanteile von 50–80 % Karbonat aufweisen. Sie zeigen einen deutlichen Lagenbau, wobei ein Zuwachs an der Unterseite der Krusten durch aufsteigende Fluide zu verzeichnen ist,

während die Oberkante bereits durch Karbonatlösung erodiert wird. Eine solche Karbonatlösung ist im Nordpazifik in einer Wassertiefe von 4860 m weit unterhalb der Calcitkompensationstiefe (CCD) allgegenwärtig und



a



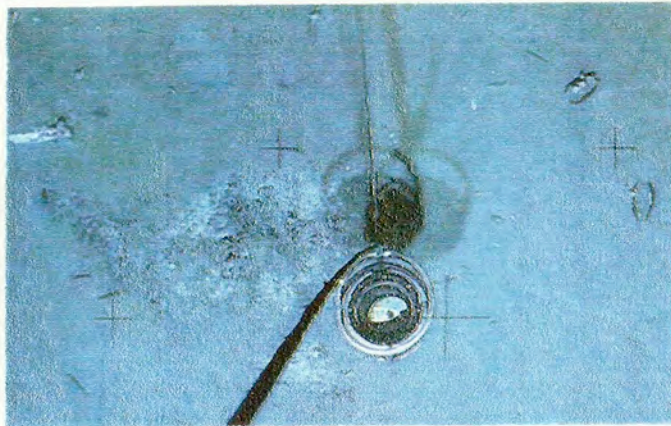
b



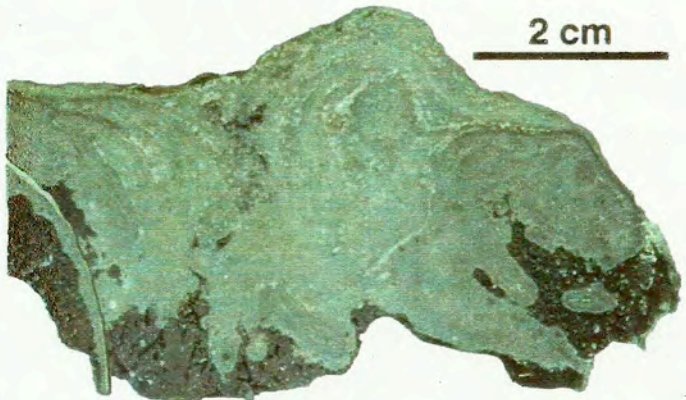
c



d



e



f

Abb. 5 a: Ausgedehnte Population von calyptogenen Muscheln mit bucciniden Gastropoden. Die Muscheln sind entlang einer linearen Struktur am Meeresboden angeordnet (Aufnahme mit ROPOS in 4950 m Wassertiefe); **b:** Details der mit Actinien besetzten Muschelfauna (Nahaufnahme von ROPOS in 4905 m Wassertiefe); **c:** Nahaufnahme von **b** mit Actinienbewuchs; **d:** Röhren von Bartwürmern mit anhaftenden Gastropodeneiern; **e:** Cold-Vent-Areal aus SHUMAGIN: Fleckenhaft erscheinende Bakterienmatte mit unterlagernden Karbonatkrusten. Die beiden klaffenden Muschelschalen stammen von der Ventmuschel *Solemya*; **f:** Schnittfläche einer Karbonatkruste mit deutlichem Lagenbau und einzementierter Muschelschale von *Solemya*. Dunkles Sediment am unteren Rand der Kruste enthält Hohlräume von Pogonophorenröhren.

reicht auch vom Bodenwasser in die obersten Zentimeter bis Millimeter in das Sediment hinein bis zur Oberfläche der gefundenen Krusten.

Die Fluide sind im Gegensatz zum EDGE-Gebiet CH₄-reich, und wie die stark negativen Kohlenstoffisotopenwerte der Karbonate zeigen, wird Methan als dominante Kohlenstoffquelle bei der Calcitpräzipitation genutzt. Unterhalb der Calcitkrusten kommt es zu einer Ansammlung von Methan, welches von Bartwürmern intensiv genutzt wird, wie die zahlreichen Hohlräume von Bartwurmröhren in den Sedimenten unterhalb der Kruste belegen. Weitere Mineralpräzipitationen sind Barytzemente im EDGE-Arbeitsgebiet, die pulsierende Fluidaktivitäten in ihrem Lagenbau dokumentieren (Abbildung 6). Solche Barytzemente entstehen aus einem barium-reichen Fluid in dem intensive Sulfatabreicherung existiert, welches beim Transport in ein sulfatreicheres Environment gelangt.

Danksagung

Wir danken B. Domeyer, A. Bleyer, M. Schumann, F. Appel, A. Cremer und

T. Schott für ihren großen Einsatz und die tatkräftige Mitarbeit während der Forschungsreisen. Die Expeditionen mit FS Sonne wurden vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) finanziert (Kennnummern: 03G0097A, B 03G0110A).

Literatur

- [1] L. D. Kulm, E. Suess, J. C. Moore, B. Carson, B. T. Lewis, S. D. Ritger, D. C. Kadko, T. M. Thornburg, R. W. Embley, W. D. Rugh, G. J. Massoth, G. M. Langseth, G. R. Cochrane, R. L. Scamann: Oregon subduction zone: venting, fauna, and carbonates; *Science* 231 (1986) 561–566.
- [2] J. Y. Bourgois, P. Lagabriele, E. De Wever, E. Suess & NAUTIPERC Team: Tectonic history of a non-accreting active margin during the past 400 ka; *Geology* 21 (1993) 531–534.
- [3] X. Le Pichon, K. Kobayashi & Kaiko-Nankai Scientific Crew: Fluid venting within the eastern Nankai Trough accretionary wedge: A summary of the 1989 Kaiko-Nankai results; *Earth Planet. Sci. Lett.* 109 (1992) 303–318.
- [4] U. von Rad, H. Rösch, U. Berner, M. Geyh, V. Marchig & H. Schulz: Authigenic carbonates derived from oxidized methane vented from the Makran accretionary prism off Pakistan; *Marine Geology* 136 (1996) 55–77.

- [5] P. Henry, X. LePichon, S. Lallemand, S. Lance, J. B. Martin, J.-P. Foucher, A. Fiala-Médioni, F. Rostek, N. Guilhaumou, V. Pranal, & M. Castrec: Fluid flow in and around a mud volcano field seaward of Barbados accretionary wedge: Results from Manon Cruise; *J. Geophys. Res.* 101 (1996) 20297–20323.

- [6] E. Suess, G. Bohrmann, R. von Huene, P. Linke, K. Wallmann, H. Sahling, S. Lammers, G. Winckler, R. A. Lutz, D. Orange: Fluid venting in Aleutian subduction zone; *J. Geophys. Res.* (im Druck).

- [7] E. Suess & G. Bohrmann: FS Sonne, Fahrtbericht SO 110 SO-RO; GEOMAR Report 59 (1997) 181 Seiten.

- [8] R. von Huene, D. Klaeschen, M. Gutscher & J. Fruehn: Mass and fluid flux during accretion at Alaska Margin; *Geol. Soc. Am. Bull.* (im Druck).

- [9] E. Suess, B. Carson, S. D. Ritger, J. C. Moore, M. L. Jones, L. D. Kulm, G. R. Cochrane: Biological communities at vent sites along the subduction zone off Oregon; *Biol. Soc. Wash. Bull.* 6 (1985) 475–484.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Gerhard Bohrmann et al., GEOMAR Forschungszentrum der Christian-Albrechts-Universität, Wischhofstraße 1–3, D-24148 Kiel.