

Abstract

In marine environments the surface of the solid earth is covered by water and can only be mapped with bathymetric methods. As the seafloor is build up by internal and external forces, the submarine morphology preserves information on internal structures and tectonic history. Multibeam echosounding systems continuously map a stripe of the ocean bottom with an acoustic swath. The echo data is processed to calculate a digital terrain model, which can be presented as a bathymetric map or a perspective view. Using calculated illumination details in the images are enhanced, thus revealing much more morphotectonic information than in custom bathymetric maps. Seamounts and active continental margins are striking features of submarine morphology. The dynamic history of these areas is demonstrated in bathymetric images.

1 Einführung

Die Oberfläche unseres Planeten ist geprägt durch geologische Kräfte, durch Gebirgsbildung und Erosion. Dies gilt nicht nur für den sichtbaren Bereich des Festlandes, sondern auch für den durch die Ozeane verdeckten submarinen Teil. Unter den Meeren spielen sich die wirklich bedeutenden geodynamischen Prozesse ab, die den Lebenszyklus ozeanischer Lithosphäre von der Entstehung durch aufsteigendes Magma in den mittelozeanischen Rücken bis zum Abbau durch Subduktion an den konvergenten Kontinentalrändern bestimmen. Die submarine Morphologie spiegelt diese Entwicklungsgeschichte wider, aber sie ist unserer direkten Beobachtung entzogen. Nur mit Hilfe der Bathymetrie kann sie erfasst werden.

In der Rekonstruktion der Oberfläche des Meeresbodens liegt die besondere Bedeutung der bathymetrischen Vermessung für die marinen Geowissenschaften. Zwar ist die Bestimmung der Wassertiefe auch wichtig für

geophysikalische Methoden wie Seismik, Gravimetrie oder Magnetik, die sie als Korrekturwerte benötigen, oder für geologische Beprobungen, die sie für Planung und Analyse erfordern; doch damit sind sekundäre Daten beschrieben. Primäre Informationen sind mit der Aufnahme der Morphologie verbunden.

Tektonik und Erosion bestimmen die Gestalt der submarinen Lithosphäre. Ihre Morphologie ist die Projektion endogener Strukturen an die Oberfläche mit exogener Überprägung. Ihre Kenntnis ermöglicht Rückschlüsse auf den inneren Aufbau, d. h. die Bathymetrie entschlüsselt mehr Informationen als nur die Wassertiefe. Alle geowissenschaftlichen Untersuchungen, die den tieferen Untergrund beproben, bauen darauf auf.

2 Aufnahme und Bearbeitung von Daten

Für die effektive Kartierung des Meeresbodens werden Fächerlote eingesetzt, wie das auf den größeren deutschen Forschungsschiffen installierte HYDROSWEEP-System. Diese Geräte strahlen einen Schallfächer mit einem Öffnungswinkel von 90° und mehr ab und überdecken damit einen Streifen der Breite der zweifachen Wassertiefe. Die vom Grund rückgestreute Energie wird in diskreten Richtungen – den „Beams“ – empfangen; beim Hydrosweep-System sind es 59 [1]. Die Roll-, Stampf- und Hubbewegungen des Schiffes werden durch Sensoren erfasst, die gemessenen Echolaufzeiten werden automatisch korrigiert. Für die Errechnung der Tiefen aus den Laufzeiten ist die Kenntnis der Wasserschallgeschwindigkeit notwendig. Das Hydrosweep-System bestimmt sie durch Kreuzlotung in Fahrtrichtung und anschließender Ausgleichsrechnung. Bessere Ergebnisse lassen sich jedoch durch direkte Messung der Geschwin-

digkeit mit der Tiefe mit einer CTD erreichen [2]. Für die errechneten Tiefenwerte wird der Bezug zur geographischen Lage über die aus der Navigation bestimmten Positionen hergestellt. Damit ist jeder vermessene Punkt beschrieben durch die Koordinaten Länge, Breite und Tiefe (X, Y, Z). Aus diesen Werten wird ein digitales Geländemodell errechnet, die mathematische Formulierung der Morphologie. Dieses lässt sich dann als Isolinienkarte oder Perspektivbild darstellen.

Die übliche Einfärbung oder Tönung der Abbildungen – je tiefer, desto dunkler – entspricht nicht der Realität; denn auf der Erde ist die Helligkeit abhängig von der Beleuchtung durch die Sonne. Durch Einrechnung dieses Faktors gewinnen Perspektivbilder stark an Dynamik und Aussagekraft. Grundlage der Berechnung ist der Gradient des Geländemodells in einer ausgewählten Richtung. Die Darstellung ist umso heller, je direkter die Fläche der Sonne ausgesetzt ist; geneigte Ebenen werden weniger hell, Schattenbereiche dunkel. So lassen sich sehr gut korrelierende Strukturen herausheben und feine morphologische Elemente sichtbar machen.

3 Beispiele bathymetrischer Auswertungen

Die Abteilung Marine Geodynamik des GEOMAR Forschungszentrums hat in den vergangenen Jahren umfangreiche bathymetrische Kartierungen vor allem von aktiven Kontinentalrändern im Pazifik durchgeführt [2–8]. Die folgenden Beispiele stellen einige besonders interessante morphologische Strukturen dar und veranschaulichen die Möglichkeiten hochauflösender bathymetrischer Vermessungen.

3.1 Tiefseekuppen und Guyots

Ausprägungen submarinen Vulkanismus finden sich auf den ozeanischen

Abstract

In marine environments the surface of the solid earth is covered by water and can only be mapped with bathymetric methods. As the seafloor is build up by internal and external forces, the submarine morphology preserves information on internal structures and tectonic history. Multibeam echosounding systems continuously map a stripe of the ocean bottom with an acoustic swath. The echo data is processed to calculate a digital terrain model, which can be presented as a bathymetric map or a perspective view. Using calculated illumination details in the images are enhanced, thus revealing much more morphotectonic information than in custom bathymetric maps. Seamounts and active continental margins are striking features of submarine morphology. The dynamic history of these areas is demonstrated in bathymetric images.

1 Einführung

Die Oberfläche unseres Planeten ist geprägt durch geologische Kräfte, durch Gebirgsbildung und Erosion. Dies gilt nicht nur für den sichtbaren Bereich des Festlandes, sondern auch für den durch die Ozeane verdeckten submarinen Teil. Unter den Meeren spielen sich die wirklich bedeutenden geodynamischen Prozesse ab, die den Lebenszyklus ozeanischer Lithosphäre von der Entstehung durch aufsteigendes Magma in den mittelozeanischen Rücken bis zum Abbau durch Subduktion an den konvergenten Kontinentalrändern bestimmen. Die submarine Morphologie spiegelt diese Entwicklungsgeschichte wider, aber sie ist unserer direkten Beobachtung entzogen. Nur mit Hilfe der Bathymetrie kann sie erfasst werden.

In der Rekonstruktion der Oberfläche des Meeresbodens liegt die besondere Bedeutung der bathymetrischen Vermessung für die marinen Geowissenschaften. Zwar ist die Bestimmung der Wassertiefe auch wichtig für

geophysikalische Methoden wie Seismik, Gravimetrie oder Magnetik, die sie als Korrekturwerte benötigen, oder für geologische Beprobungen, die sie für Planung und Analyse erfordern; doch damit sind sekundäre Daten beschrieben. Primäre Informationen sind mit der Aufnahme der Morphologie verbunden.

Tektonik und Erosion bestimmen die Gestalt der submarinen Lithosphäre. Ihre Morphologie ist die Projektion endogener Strukturen an die Oberfläche mit exogener Überprägung. Ihre Kenntnis ermöglicht Rückschlüsse auf den inneren Aufbau, d. h. die Bathymetrie entschlüsselt mehr Informationen als nur die Wassertiefe. Alle geowissenschaftlichen Untersuchungen, die den tieferen Untergrund beproben, bauen darauf auf.

2 Aufnahme und Bearbeitung von Daten

Für die effektive Kartierung des Meeresbodens werden Fächerlote eingesetzt, wie das auf den größeren deutschen Forschungsschiffen installierte HYDROSWEEP-System. Diese Geräte strahlen einen Schallfächer mit einem Öffnungswinkel von 90° und mehr ab und überdecken damit einen Streifen der Breite der zweifachen Wassertiefe. Die vom Grund rückgestreute Energie wird in diskreten Richtungen – den „Beams“ – empfangen; beim Hydrosweep-System sind es 59 [1]. Die Roll-, Stampf- und Hubbewegungen des Schiffes werden durch Sensoren erfasst, die gemessenen Echolaufzeiten werden automatisch korrigiert. Für die Errechnung der Tiefen aus den Laufzeiten ist die Kenntnis der Wasserschallgeschwindigkeit notwendig. Das Hydrosweep-System bestimmt sie durch Kreuzlotung in Fahrtrichtung und anschließender Ausgleichsrechnung. Bessere Ergebnisse lassen sich jedoch durch direkte Messung der Geschwin-

digkeit mit der Tiefe mit einer CTD erreichen [2]. Für die errechneten Tiefenwerte wird der Bezug zur geographischen Lage über die aus der Navigation bestimmten Positionen hergestellt. Damit ist jeder vermessene Punkt beschrieben durch die Koordinaten Länge, Breite und Tiefe (X, Y, Z). Aus diesen Werten wird ein digitales Geländemodell errechnet, die mathematische Formulierung der Morphologie. Dieses lässt sich dann als Isolinienkarte oder Perspektivbild darstellen.

Die übliche Einfärbung oder Tönung der Abbildungen – je tiefer, desto dunkler – entspricht nicht der Realität; denn auf der Erde ist die Helligkeit abhängig von der Beleuchtung durch die Sonne. Durch Einrechnung dieses Faktors gewinnen Perspektivbilder stark an Dynamik und Aussagekraft. Grundlage der Berechnung ist der Gradient des Geländemodells in einer ausgewählten Richtung. Die Darstellung ist umso heller, je direkter die Fläche der Sonne ausgesetzt ist; geneigte Ebenen werden weniger hell, Schattenbereiche dunkel. So lassen sich sehr gut korrelierende Strukturen herausheben und feine morphologische Elemente sichtbar machen.

3 Beispiele bathymetrischer Auswertungen

Die Abteilung Marine Geodynamik des GEOMAR Forschungszentrums hat in den vergangenen Jahren umfangreiche bathymetrische Kartierungen vor allem von aktiven Kontinentalrändern im Pazifik durchgeführt [2–8]. Die folgenden Beispiele stellen einige besonders interessante morphologische Strukturen dar und veranschaulichen die Möglichkeiten hochauflösender bathymetrischer Vermessungen.

3.1 Tiefseekuppen und Guyots

Ausprägungen submarinen Vulkanismus finden sich auf den ozeanischen

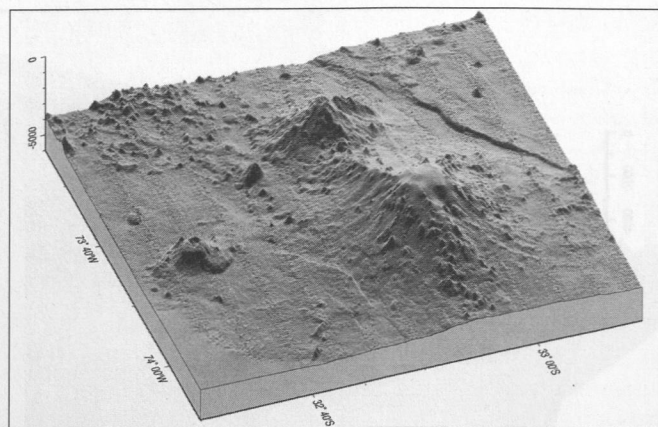
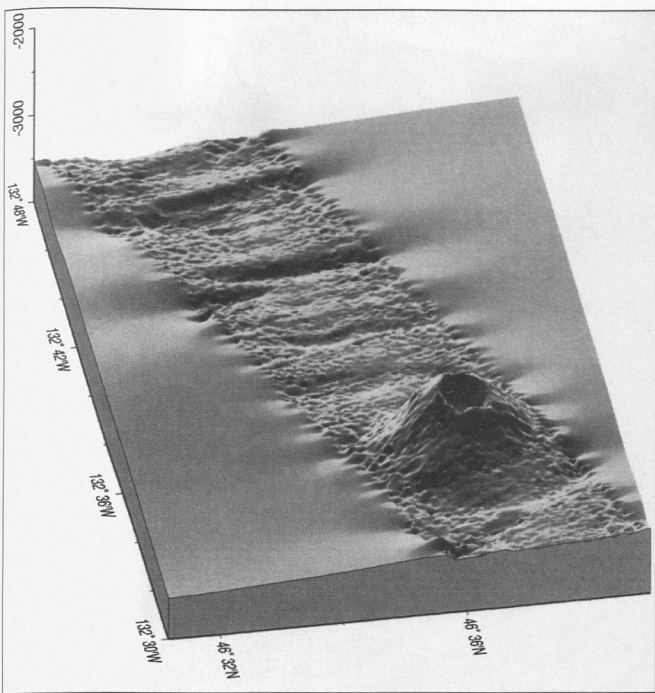


Abb. 2. Perspektivdarstellung des O'Higgins Guyots und einer Gruppe von Tiefseekuppen im Bereich des Juan-Fernandez-Rücken im Südostpazifik, Ansicht aus Nordwest. Der O'Higgins Guyot mit einem flachen Gipfelplateau von 6 km Durchmesser hat eine Höhe von ca. 3 km.

Abb. 1. Perspektivdarstellung eines rezenten Vulkans im Bereich des Juan-de-Fuca-Rücken im Nordostpazifik, Blickrichtung West. Der ca. 600 m hohe Kegel hat einen Durchmesser von 5 km an der Basis und 1,5 km am Gipfel.

Platten überwiegend in den mittelozeanischen Spreizungsachsen sowie in den aseismischen Rücken, die als Spur eines Hot Spots entstanden sind.

Abbildung 1 zeigt einen sehr jungen Vulkan im Bereich des Juan de Fuca Rücken, einer aktiven Spreizungszone. Der circa 600 m hohe Kegel mit einem Durchmesser von 5 km an der Basis und 1,5 km am Gipfel mit einem 200 m tiefen Zentralkrater mit schar-

fem Rand weist keine Spuren von Sedimentation oder Erosion auf. Die Lage in der Spreizungszone wird illustriert durch die Spalten in der Umgebung mit Sprunghöhen von circa 100 m bis 200 m und einer Öffnung von 500 m bis 1 000 m. Die Wassertiefe der Basis beträgt circa 3 400 m [8].

Der Juan-Fernandez-Rücken im Südpazifik vor dem chilenischen Kontinentalrand ist ein Beispiel einer

Spur von Hot-Spot-Vulkanismus. Die Gruppe der O'Higgins-Tiefseekuppen (Abbildung 2) sind mit bis zu 3 000 m Höhe die markantesten submarinen Erhebungen in dieser Zone. Der größte hat einen Durchmesser von beinahe 50 km am Fuß und 6 km an der Spitze. Das flache Gipfelplateau läßt auf eine subaerische Phase nach der Entstehung schließen; deshalb ist die Bezeichnung Guyot zutreffend. Heute

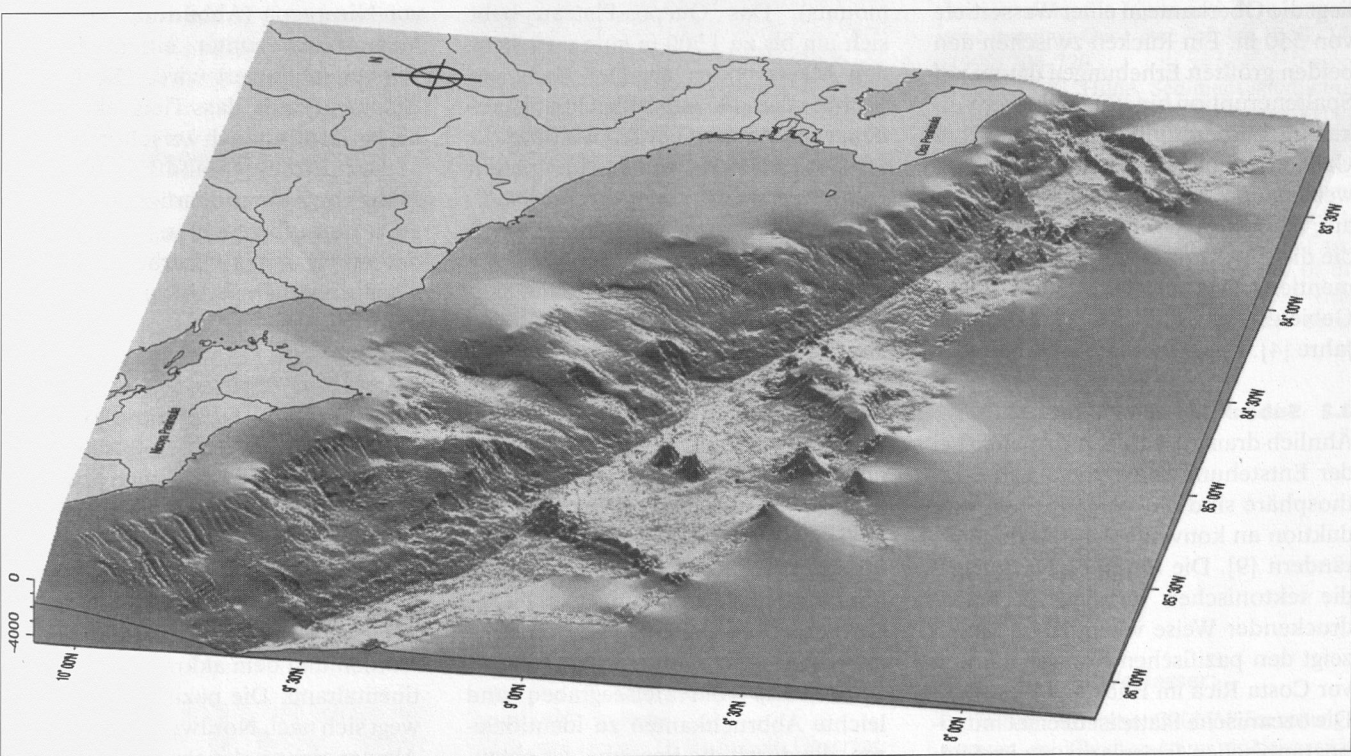


Abb. 3. Der pazifische Kontinentalrand Costa Ricas zwischen Nicoya- und Osa-Halbinsel im Perspektivbild, Blick aus West. Die ozeanische Platte mit dem Cocos-Rücken im Süden, dem Quepos-Plateau in der Mitte sowie den Tiefseekuppen im Norden wird im Tiefseegraben subduziert. Ähnliche Strukturen wurden schon früher mit subduziert und haben deutliche Spuren im Kontinentalrand hinterlassen.

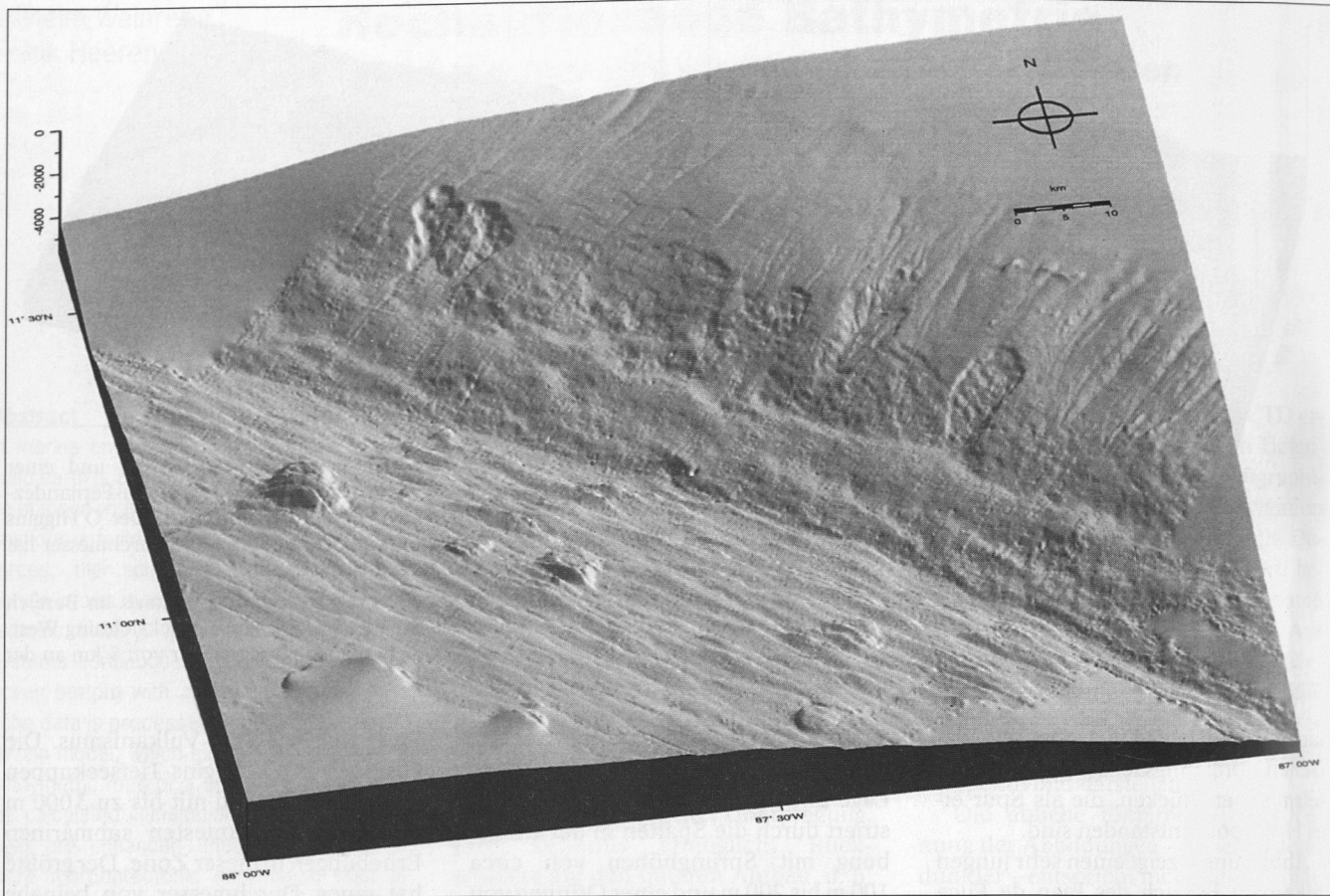


Abb. 4. Perspektivbild vom pazifischen Kontinentalrand vor Nicaragua, Blick aus Südwest. Die ozeanische Platte ist geprägt durch die beim Umbiegen entstehenden grabenparallelen Verwerfungen, die hier sogar eine Tiefseekuppe zerschert haben. Der Kontinentalhang zeigt Spuren massiver Rutschungen.

liegt die Oberkante in einer Wassertiefe von 350 m. Ein Rücken zwischen den beiden größten Erhebungen deutet auf Spalteneruption hin. Ein kleinerer Vulkan im Vordergrund von etwa gleicher Größe wie die Struktur in Abbildung 1 weist einen klar erkennbaren Krater auf, allerdings mit abgeflachter Kante, die die Einwirkung von Erosion dokumentiert. Das ungefähre Alter dieses Gebietes beträgt circa 8 Millionen Jahre [4].

3.2 Subduktion und Akkretion

Ähnlich dramatisch wie die Abläufe bei der Entstehung neuer ozeanischer Lithosphäre sind die Vorgänge der Subduktion an konvergenten Kontinentalrändern [9]. Die Morphologie spiegelt die tektonischen Vorgänge in beeindruckender Weise wider. Abbildung 3 zeigt den pazifischen Kontinentalrand vor Costa Rica im Blick aus West [10]. Die ozeanische Platte ist übersät mit topographischen Irregularitäten: im Südosten der Cocos-Rücken, in der Mitte das Quepos-Plateau und im Norden eine Gruppe von Tiefseekuppen (Sea-

mounts). Das Quepos-Plateau hebt sich um bis zu 1500 m vom umgebenden Meeresboden ab. Der Hang gegenüber dem Plateau ist leicht angehoben, vermutlich ist ein Teil der Struktur schon subduziert worden. Am unteren Hang ist eine Rutschung zu erkennen.

Die auffälligsten morphologischen Elemente im Nordwest-Teil sind die insgesamt 5 bis zu 1500 m hohen Seamounts [10]. Auch der schon abgetauchte Teil dieses Bereiches der ozeanischen Platte war mit Kuppen bedeckt, auch sie wurden subduziert und haben deutliche Spuren im Kontinentalhang hinterlassen: Furchen, die unterschiedlich weit in den Hang hineinragen mit einer leichten Hebung an ihrer Front [11]. Der Hang gegenüber der nordwestlichsten Kuppe, dem Fisher Seamount, ist ebenfalls durch eine massive Rutschung gestört.

Seewärts vom Tiefseegraben sind leichte Abbruchkanten zu identifizieren, die durch die Beugung der abtauchenden Platte entstehen [12]. Wesentlich stärker ausgeprägt sind diese Verwerfungen auf der ozeanischen Platte

vor Nicaragua (Abbildung 4), wo der Meeresboden unter einem steileren Winkel subduziert wird. Die Biegung ist hier so stark, dass Tiefseekuppen in dieser Zone einfach zerschert werden.

Der Kontinentalfuß weist eine Reihe von Akkretionsrücken auf, in die auch vom oberen Hang abgerutschte Sedimente mit eingearbeitet wurden, wie die deutlichen Abbruchkanten dokumentieren.

3.3 Sedimentfächer

Abbildung 5 zeigt den komplexen Kontinentalrand im Golf von Alaska. Mit der pazifischen Platte bewegt sich das Yakutat Terrane nach Norden und wird zum Teil unter Süd-Alaska subduziert [13]. In Abbildung 5 ist der Übergangsbereich zu sehen, mit der Grenze des herausgehobenen Yakutat Terranes im Norden und dem akkretierenden Kontinentalrand. Die pazifische Platte bewegt sich nach Nordwest und taucht im Aleutengraben, der am linken Bildrand beginnt, ab. Die massive Sedimentation der Küstengebirge transportiert gewaltige Schuttmengen über den Kontinen-

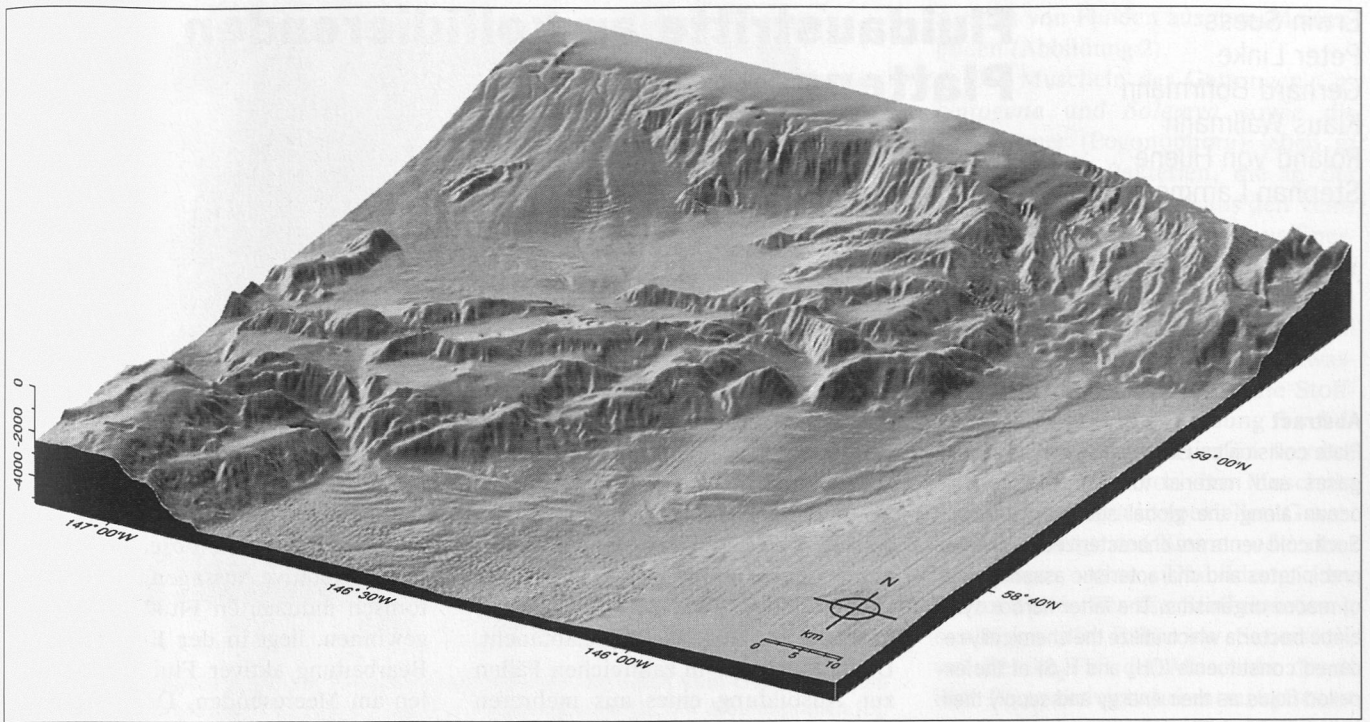


Abb. 5. Morphologie des Kontinentalrandes im Golf von Alaska, Ansicht aus Südost. Die starke Sedimentation der Küstengebirge erzeugt riesige Schuttfächer auf mittlerem Niveau sowie am Kontinentalfuß. Trübeströme haben in der Mündung des Amatuli-Canyons (links im Bild) eine rippelähnliche Struktur aus Debris-Rücken entstehen lassen.

talrand, im oberen Teil auf breiter Front, im unteren Teil durch tief eingeschnittene Canyons. Am Fuß hat sich ein großer Sedimentfächer gebildet, kleine Rücken markieren vorgerückte Fronten. Trübeströme haben in der Mündung des Amatuli-Canyons (links im Bild) eine rippelähnliche Struktur aus Debris-Rücken entstehen lassen.

4 Schlussfolgerungen

Die submarine Morphologie ist geprägt durch endogene und exogene Einwirkungen. Obwohl sie nur die Oberfläche abbilden, gewähren bathymetrische Messungen deshalb Einblicke in tiefere tektonische Strukturen und ermöglichen Aussagen über ihre Entwicklungsgeschichte. Die räumliche Erfassung des Meeresbodens ergänzt die punktweise angesetzten geologischen Beprobungen sowie die profilweise durchgeführten geophysikalischen Messungen und ermöglicht das Erkennen von Zusammenhängen.

Danksagung

Die Expeditionen mit FS SONNE wurden vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) finanziert (Kenn-Nummern: 03G0096A, 03G0097A, 03G0101A, 03G0107A, 03G0110A, 03G0112A).

Literatur

- [1] R. Schreiber, H. W. Schenke: Efficient hydrographic surveying of EEZ with new multibeam echosounder technology for shallow and deep water; *Ocean Resources 1* (1990) 73–78.
- [2] E. Flueh, R. von Huene: FS Sonne Fahrtbericht SO96 – KODIAK-SEIS; GEOMAR Forschungszentrum Kiel (1994) 210 S.
- [3] E. Suess: FS Sonne Fahrtbericht SO97 – KODIAK-VENT; GEOMAR Report 29 (1994) 220 S.
- [4] R. von Huene, J. Corvalan, J. Korstgard and the scientific party of the CONDOR cruises: FS Sonne Fahrtbericht zur Forschungsreise SO101 – CONDOR; GEOMAR Forschungszentrum Kiel (1995) 172 S.
- [5] H. Kudrass und Fahrtteilnehmer: Geowissenschaftliche Untersuchungen Off- und Onshore Zentralanden an der aktiven Südostpazifischen Subduktionszone, CINCA, Sonne-Fahrt SO104/3; Report, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (1995) 158 S.
- [6] T. Spangenberg und Fahrtteilnehmer: FS Sonne Fahrtbericht SO107 – PACOMAR3; Universität Greifswald (1997) 173 S.
- [7] E. Suess, G. Bohrmann: FS Sonne Fahrtbericht SO110 – SO – RO, GEOMAR Report 59 (1997) 181 S.
- [8] W. Weinrebe (1997): FS Sonne Fahrtbericht SO112 – HIRESBAT; GEOMAR Report (1997), in Press.
- [9] R. von Huene, D. W. Scholl: Observations at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and the growth of continental crust; *Rev. of Geophysics 29*, 3 (1991) 279–316.

[10] F. Heeren: Erweiterung der Hydro-sweep-Datenverarbeitung und Anwendung auf morphotektonische Untersuchungen der Subduktionszone vor Costa Rica; Diplomarbeit am GEOMAR Forschungszentrum, Kiel (1996) 99 S.

[11] R. von Huene, S. Lallemand: Tectonic erosion along the Japan and Peru convergent margins; *Geol. Soc. of Am. Bull.* 102 (1990) 704–720.

[12] T. W. C. Hilde: Sediment subduction versus accretion around the Pacific; *Tectonophysics 99* (1983) 381–397.

[13] P. R. Carlson, A. J. Stevenson, T. R. Bruns, D. M. Mann, Q. Huggett: Sediment pathways in Gulf of Alaska from beach to abyssal plain; In: J. V. Gardner, M. E. Field, and D. C. Twichell (Ed.): *Geology of the United States' Seafloor – The View from GLORIA*. Cambridge University Press, 1996, S. 255–277.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Wilhelm Weinrebe, GEOMAR Forschungszentrum der Christian-Albrechts-Universität, Wischhofstraße 1–3, D-24148 Kiel.

Frank Heeren, TLC GmbH, Kleyerstraße 27, D-60326 Frankfurt/Main.