

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Gauger, Steffen; Schenke, Hans Werner

Aufarbeitung, Visualisierung und Analyse der Fächersonardaten der Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition (AMORE) zum Gakkel-Rücken

Hydrographische Nachrichten

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108192>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Gauger, Steffen; Schenke, Hans Werner (2008): Aufarbeitung, Visualisierung und Analyse der Fächersonardaten der Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition (AMORE) zum Gakkel-Rücken. In: Hydrographische Nachrichten 82. Rostock: Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V.. S. 9-13. https://www.dhyg.de/images/hn_ausgaben/HN082.pdf.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Aufarbeitung, Visualisierung und Analyse der Fächersonardaten der Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition (AMORE) zum Gakkel-Rücken

Ein Beitrag von *Steffen Gauger* und *Hans Werner Schenke*

Das internationale Forschungsprojekt Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition (AMORE) führte im Sommer 2001 die Forschungseisbrecher FS »Polarstern« und USCGC »Healy« zum Gakkel-Rücken im zentralen Arktischen Ozean. Der Gakkel-Rücken ist Teil des Mittelozeanischen Rückensystems. Aufgrund seiner extrem geringen Spreizungsrate ist er von besonderem geowissenschaftlichen Interesse.

Mit den Fächersonarsystemen Hydrosweep DS-2 und Seabeam 2112 wurde der Gakkel-Rücken hydrographisch vermessen. Aus den bereinigten Messdaten wurde ein digitales Geländemodell (DGM) generiert. Die daraus abgeleiteten Tiefenlinien bilden im Kartenwerk der Bathymetric Chart of the Gakkel Ridge (BCGR) die Topographie des Gakkel-Rückens auf einer Länge von 1000 km ab.

Die Karten der BCGR ermöglichen eine geomorphologische Interpretation der Rückenstrukturen und unterstützen die Analyse geophysikalischer Messungen und tragen

somit dazu bei, neue Erkenntnisse über die Prozesse der Bildung und des Aufbaus der ozeanischen Erdkruste zu gewinnen.

Gakkel-Rücken | Mittelozeanischer Rücken | AMORE | BCGR | Fächersonar | Hydrosweep SeaBeam | Datenaufarbeitung

1 Geographischer und geologischer Überblick

Der Gakkel-Rücken (Abb. 1) gehört zum Mittelozeanischen Rückensystem und ist Teil der nord-amerikanisch-eurasischen Plattengrenze (Kristoffersen 1982). Er erstreckt sich über 1800 km vom Lenatrog nördlich der Framstraße bis zum Fuß des Kontinentalrandes der Laptev-See vor der Ostsibirischen Küste. Er ist bis zu den äußeren Flanken durchschnittlich 200 km breit und ragt bis zu 600 m unter der Wasseroberfläche auf. Das für Mittelozeanische Rücken typische Zentraltal ist zwischen 20 km und 40 km breit und bis 5500 m tief. Der Gakkel-Rücken untergliedert das durchschnittlich 4000 m tiefe Eurasische Tiefseebecken in das nördlich gelegene Amundsen-Becken und das südlich gelegene Nansen-Becken.

Mittelozeanische Rücken sind Spreizungszonen (konstruktive Plattengrenzen), an denen die Lithosphärenplatten divergieren. Die Spreizungsrate eines Mittelozeanischen Rückens gibt an, mit welcher Geschwindigkeit die Lithosphärenplatten am Spreizungszentrum auseinandertreiben. Sie variiert entlang der Rückensysteme der Weltmeere, weswegen die Segmente ähnlicher Spreizungseigenschaften in eigenen Gruppen betrachtet werden. Der Gakkel-Rücken zählt zu den ultra-slow spreading ridges (volle Spreizungsrate < 20 mm pro Jahr).

Seine Spreizungsrate ist die geringste des globalen Mittelozeanischen Rückensystems. Am Ostende vor der Laptev-See beträgt die Spreizungsrate des Gakkel-Rückens nur ca. 6 mm pro Jahr. Die Geschwindigkeit der Plattenbewegung steigt auf rund 11 mm pro Jahr bei 60°E und nimmt auf 13 mm pro Jahr am westlichen Ende zu (Michael et al.

2003). Im Gegensatz zu anderen Spreizungszonen, wie z. B. dem Mittelatlantischen Rücken, ist der Verlauf der Spreizungsachse des Gakkel-Rückens nicht durch Transformstörungen unterbrochen (Jokat et al. 2003).

2 Hydrographische Vermessung

Zur bathymetrischen Vermessung wurden das Fächersonarsystem Hydrosweep DS-2 der Firma Atlas Hydrographics auf FS »Polarstern« und das Fächersonarsystem Seabeam 2112 der Firma SeaBeam Instruments auf USCGC »Healy« eingesetzt. Das Hydrosweep-Sonarsystem arbeitet mit einer Impulsfrequenz von 15,5 kHz, der Öffnungswinkel des Messfächers beträgt im Tiefseebereich 90°. Der Messfächer besteht aus 59 preformed beams mit einem Öffnungswinkel von je 2,3°. Zur Refraktionskorrektur des Signalweges wird die Kreuzfächerkalibrierung verwendet. Die Positions- und Lagebestimmung liefert die Inertial-Laser-Plattform MINS (Marine Internal Navigation System). Die Impulsfrequenz des Seabeam-Sonarsystems beträgt 12,0 kHz. Der 120° weite Öffnungswinkel des Messfächers enthält 121 preformed beams, die jeweils einen Öffnungswinkel von 2° haben und somit auf eine höhere Auflösung im Vergleich zum Hydrosweep-System schlussfolgern lassen. Andererseits bedeutet der größere Öffnungswinkel des Messfächers auch eine Vergrößerung des Footprints zum Rand des Fächers hin. Zur Refraktionskorrektur dienen CTD-Profile. Die Positionsbestimmung erfolgt durch einen GPS-Empfänger, die Schiffsbewegungen werden durch ein TSS-Sensorsystem erfasst. Zur Navigation konnte kein differenzielles GPS verwendet werden, da im Arbeitsgebiet keine GPS-Korrekturdaten zur Verfügung standen.

Autoren

Steffen Gauger ist Dipl.-Ing. für Geomatik und Hydrographie und arbeitet bei der Fielax Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung mbH in Bremerhaven.
Kontakt unter:
steffen.gauger@fielax.de

Dr. Hans Werner Schenke ist am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven Leiter der Arbeitsgruppe Hydrographie.
Kontakt unter:
hans-werner-schenke@awi.de

Der Verlauf der Messprofile unterlag den vorherrschenden Eisverhältnissen und dem Arbeitsprogramm der anderen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen. Aufgrund dessen konnte keine lückenlose bathymetrische Vermessung realisiert werden. Bei einer Fahrt durchs Eis ist es nicht möglich, mit dem Schiff geplanten, geradlinigen Profilen zu folgen. Eine eisbrechende Fahrt ist geprägt von einem kurvenreichen Verlauf mit häufig wechselnden Geschwindigkeiten, der um größere Eisschollen herum führt. Fahrtunterbrechungen entstehen zudem durch die mehrmaligen Vor- und Zurück-Bewegungen beim Eisrammen. Die somit sehr unetstetige Fahrtrlinie kann sich unter Umständen erheblich von dem geplanten Messprofil entfernen. Das vermessene Gebiet wird zusätzlich durch streckenhaften Datenausfall aufgerissen. Dieser entsteht aufgrund der starken hydroakustischen Störeinflüsse beim Eisbrechen auf das Empfangssignal. Diese Störungen führen prinzipiell zu einer eingeschränkten Datenqualität und haben teilweise den totalen Verlust der Bodenreflexion zur Folge. Beide Forschungsschiffe zeichneten zusammen 97 Tage lang Tiefendaten des Gakkel-Rückens auf.

3 Bereinigung der Messdaten

Wegen der unterschiedlichen Messbedingungen (Messfahrten im freien Wasser, durch Eis und Eisrammen), wie auch wegen des großen Tiefenbereiches des Arbeitsgebietes weisen die Messdaten sehr unterschiedliche qualitative Eigenschaften auf, wodurch eine sorgfältige Bereinigung von Messfehlern notwendig

wird. Das Programm-

tem Caris HIPS der Firma CARIS Universal Systems Ltd. wurde zur Fehlerkorrektur der Daten verwendet. Zum Aufspüren der Positionsfehler wurde ein Filter verwendet (spike detection), der den Datensatz nach Geschwindigkeitssprüngen durchsucht, wobei die Geschwindigkeit jeweils aus der Distanz und der Zeitdifferenz zwischen zwei benachbarten Datensätzen berechnet wird.

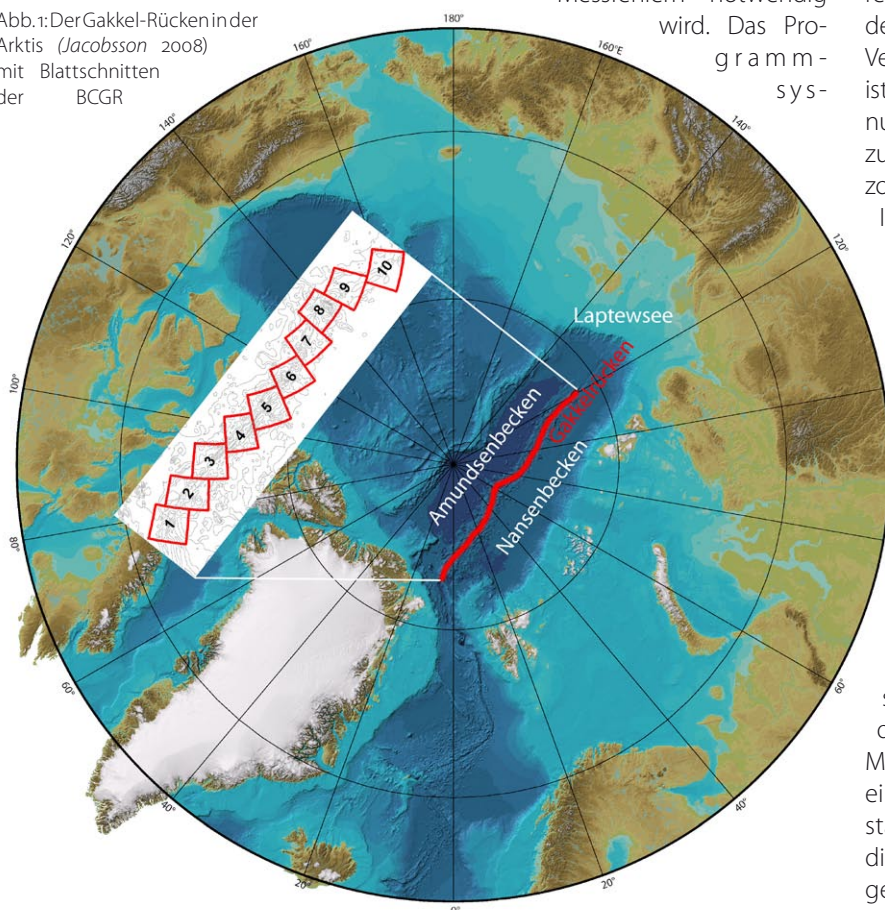
Die Editierung der Tiefendaten wurde in zwei Stufen realisiert. Zunächst wurde jeder gemessene Fächer manuell sowie mit verschiedenen Filtern nach Fehlmessungen durchsucht. Im Anschluss daran wurden die Tiefendaten einer flächenhaften Fehleranalyse (surface cleaning) unterzogen, wobei durch die statistische Analyse der Tiefendaten Ausreißer gefunden und eliminiert werden können. Die Bereinigung der Tiefendaten zeigte, dass ca. 20 % der Tiefenmessungen des Hydrosweep-Systems und ca. 35 % der Tiefenmessungen des Seabeam-Systems fehlerhaft waren. Jedoch fuhr die USCGC »Healy« im Konvoi der Messschiffe häufig an erster Position, um das Meereis für die nachfolgende FS »Polarstern« zu brechen. Dadurch war das Seabeam-System dauerhaft erschwerten Messbedingungen ausgesetzt, die eine geringere Datenqualität begründen.

4 Digitale Modellierung des Meeresbodens

Das Geographische Informationssystem (GIS) Arc-Info diente der Berechnung des DGM. Es stellt die Funktion IDW (Inverse Distance Weighting) zur Berechnung der Rasterpunkthöhen des Geländemodells durch die gewichtete lineare Interpolation zur Verfügung. Die Gewichtung einer Tiefenmessung ist dabei umgekehrt proportional zu der Entfernung zum Rasterpunkt. Die Menge der Punkte, die zur Berechnung der Rasterpunkthöhe hinzugezogen werden, wird beim sample-Verfahren der IDW-Interpolationsfunktion von zwei Faktoren bestimmt: der Punktzahl und dem maximalen Radius. Die Vorteile dieser Interpolationsfunktion sind, dass die Berechnung relativ einfach ist und sie somit auch bei großen Datenmengen mit einem angemessenen Zeitaufwand realisiert werden kann. Zudem eignet sie sich auch zur Verarbeitung von Daten mit inhomogener Stützpunktdichte. Somit können alle gemessenen Daten zur Auswertung herangezogen werden, ohne zuvor die Dichte der Messpunkte in Teilen des Messgebietes zu reduzieren.

Die Parameter zur Erstellung des Geländemodells im Interpolationsverfahren IDW sind der Abstand zwischen den Gitterpunkten, die Gewichtung der Tiefenmessungen und die Menge der Messpunkte, die zur Berechnung eines Gitterpunktes verwendet werden. Der Abstand der Gitterpunkte bestimmt, wie detailliert die Oberfläche des Geländes im Modell wiedergegeben wird (Auflösung des DGM). Da der Mee-

Abb. 1: Der Gakkel-Rücken in der Arktis (Jacobsson 2008) mit Blattsschnitten der BCGR



resboden des Gakkel-Rückens auch von vielen kleinen topographischen Strukturen geprägt ist, wurde die Rasterweite auf 100 m festgelegt. Zur Berechnung der Höhe der Rasterpunkte wurden höchstens 100 Messpunkte verwendet. Dadurch liefert der Berechnungsalgorithmus auch in Regionen mit stark unterschiedlicher Punktdichte ein Geländemodell von guter Qualität. Die maximale Entfernung der Messpunkte zum Rasterpunkt wurde auf 500 m beschränkt. In Regionen mit geringer Punktdichte wird somit eine zu starke Glättung und damit der Verlust kleinräumiger morphologischer Strukturen verhindert. Auch die Gewichtung der Messwerte umgekehrt proportional zur Entfernung zum Rasterpunkt hat Einfluss auf die Glättung des Modells. Um aber auch den Einfluss des Messrauschens auf die Berechnung der Rasterpunkthöhen zu unterdrücken, wurde ein Gewichtungsfaktor von 0,5 gewählt.

Das berechnete DGM hat eine Fläche von ca. 34 000 km² (vergleichbar mit der Größe Nordrhein-Westfalens). Die größte Wassertiefe liegt bei 5513 m, die geringste Wassertiefe bei 593 m.

Um den Einfluss des Messrauschens auf das DGM weiter zu minimieren und aus dem Modell Isolinien guter Qualität ableiten zu können, muss das Geländemodell geglättet werden (Abb. 2). Das Messrauschen wirkt sich vorrangig auf den Isolinenverlauf in Gebieten mit geringer Steigung aus, wohingegen an stark geneigten Flächen kein unruhiger Verlauf der Isolinien zu erkennen ist. Grund dafür ist ein verschiedenes Signal-Rausch-Verhältnis in Regionen unterschiedlicher Geländeneigung. Zur Glättung wurde aufgrund dessen ein neigungsabhängiger Generalisierungsansatz verwendet. Die Höhe jeder Rasterzelle des DGM wird dabei entsprechend des Neigungswinkels mit Hilfe einer bestimmten Filtermatrix neu berechnet. Das daraus resultierende DGM ist größtenteils frei vom Messrauschen, sodass der Verlauf der Isolinien in den flachen Regionen deutlich geglättet ist, wogegen die Linienform in geneigten Flächen erhalten bleibt.

5 Kartendarstellung

Um die topographischen Strukturen des Gakkel-Rückens analysieren zu können, wurden aus dem geglätteten DGM Isolinien im Intervall von 50 m erzeugt und in 10 bathymetrischen Karten abgebildet. Die Blattsnitte der Karten, die ebenfalls mit ArcInfo im Maßstab 1 : 150 000 erstellt wurden, zeigt die Abb. 1. Inhalt der bathymetrischen Karten sind zusätzlich zu den Isolinien aus dem hochauflösenden DGM noch Tiefenstufenpolygone, Vermessungslinien, bathymetrische Informationen aus der International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO), Informationen über geologische Bodenbeprobungen, sowie ein Überblick über die Kartenblätter, die Legende und der Kartenbegleittext.

Die Tiefenstufenpolygone dienen der farblichen Abstufung der Tiefenbereiche in einem Intervall

von 1000 m. Die Vermessungslinien zeigen die Fahrstrecken der Vermessungsschiffe und ermöglichen somit eine bessere Interpretation der Karte. Die Informationen über die geologische Beprobung des Meeresbodens entstammen den Stationslisten der Forschungsschiffe und ermöglichen die Zuordnung von geologischen Informationen zur Topographie des Meeresbodens. Die bathymetrischen Informationen der IBCAO werden in den Kartenbereichen dargestellt, in denen während der AMOR-Expedition keine Tiefendaten aufgezeichnet wurden.

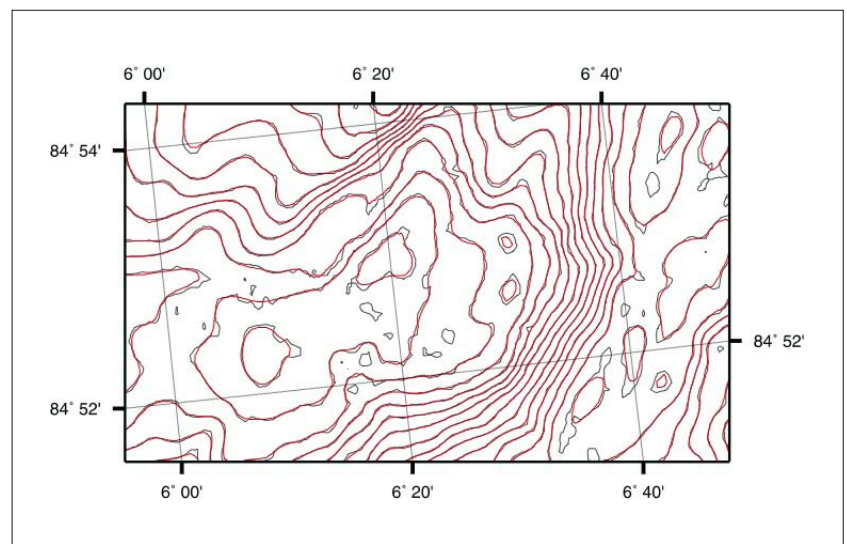
6 Interpretation der Topographie

Die Topographie der Mittelozeanischen Rücken wird von den dort stattfindenden magmatischen und tektonischen Prozessen geformt und ist aufgrund des geringen Alters der Erdkruste kaum verwittert oder mit Sedimenten bedeckt. Die Topographie ist von besonderem Interesse, da sie einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der im Erdinneren ablaufenden Prozesse leistet.

Mit kleiner werdender Spreizungsrate eines Mittelozeanischen Rückens kommen magmatische Aktivitäten nur noch in sehr eingeschränktem Maße vor. Die morphologische Ausprägung der zentralen Spreizungszone ist deswegen maßgeblich von der Spreizungsrate des Rückens abhängig. Während schnell spreizende Plattengrenzen eine Erhebung entlang der Rückenachse entwickeln, sind langsam spreizende Rücken von einem tiefen axialen Tal gekennzeichnet (Frisch u. Loeschke 1993).

Die Topographie des Zentraltals zeigt systematische Variationen in Abhängigkeit von der Spreizungsgeschwindigkeit (Small 1998). Die Randverwerfungen eines sehr langsam spreizenden Rückens sind zu beiden Seiten des Tales häufig unterschiedlich hoch, wobei die höhere Talflanke auch steiler ansteigt. Diese Asymmetrie kann bis über 1500 m betragen. Auch der Höhenunterschied zwischen Rückenkeim und Rückental ist mit der Spreizungsgeschwindigkeit korreliert. Die

Abb. 2: Neigungsabhängige Glättung des DGM. Der vom Messrauschen beeinträchtigte Isolinenverlauf (schwarze Isolinien) ist insbesondere in Gebieten geringer Geländeneigung nach der Glättung (rote Isolinien) deutlich verbessert.



Literatur

- W. Frisch, J. Loeschke:
Plattentektonik;
Wissenschaftliche
Buchgemeinschaft,
3. Auflage, Darmstadt 1993
- M. Jakobsson, R. Macnab, M.
Mayer, R. Anderson, M.
Edwards, J. Hatzky,
H. W. Schenke und P.
Johnson: *An improved
bathymetric portrayal of the
Arctic Ocean: Implications
for ocean modeling and
geological, geophysical and
oceanographic analyses;*
Geophysical Research
Letters. V. 35, L07602, doi:
10.1029/2008GL033520, URL:
<http://www.ibcao.org>
- W. Jokat, O. Ritzmann, M.
C. Schmidt-Aursch, S.
Drachev, S. Gauger, J. Snow:
*Geophysical evidence for
reduced melt production on
the ultra-slow Gakkel Ridge
(Arctic Ocean);* Nature, 2003
- Y. Kristoffersen: *The Nansen
Ridge, Arctic Ocean: Some
geophysical observations
of the rift valley at
slow spreading rate;*
Tectonophysics, Vol. 89, S.
161-172, 1982.
- P. Michael et al.: *Magmatic
and amagmatic seafloor
generation at the ultraslow-
spreading Gakkel ridge, Arctic
Ocean;* Nature, 2003.
- C. Small: *Global Systematics
of Mid-Ocean Ridge
Morphology. In Faulting
and Magmatism at Mid-
Ocean Ridges;* American
Geophysical Union, S. 1-25,
Washington D. C. 1998.

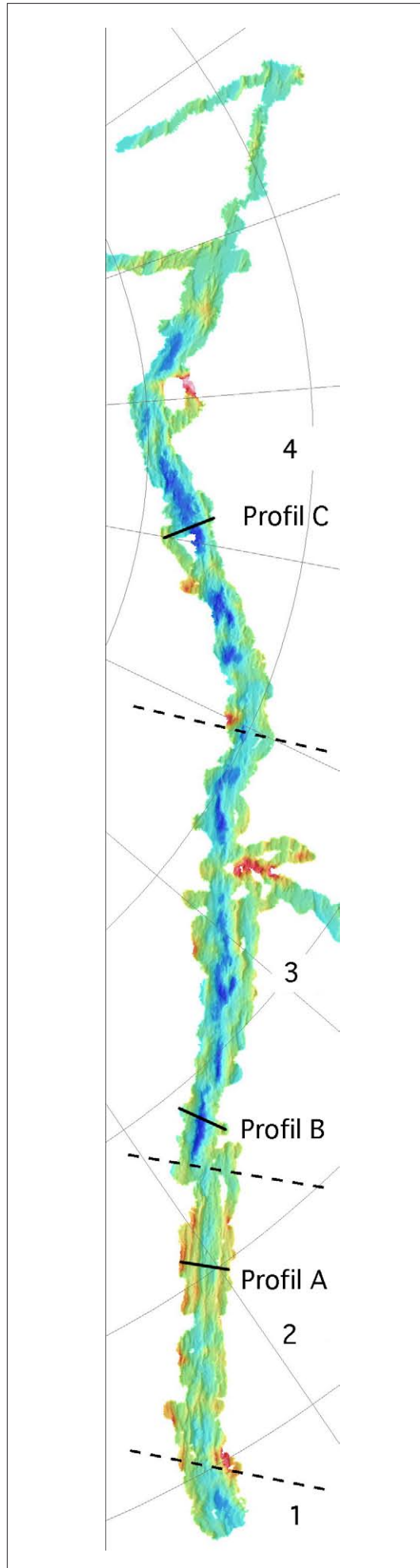


Abb. 3: Morphologische
Segmentation des Gakkel-
Rückens

maximalen Höhenunterschiede (bis 2500 m) treten bei langsam spreizenden Rücken auf und verringern sich mit steigender Spreizungsgeschwindigkeit.

Der Gakkel-Rücken kann auf Grundlage der neuen Fächersonardaten in vier Regionen mit unterschiedlichen morphologischen Eigenschaften untergliedert werden (Abb. 3):

Region 1: Westlich von ca. 6°W mündet der Gakkel-Rücken in den Lena-Trog. Die unterseeische Landschaft ist durch ein weites Tal über 15 km Breite gekennzeichnet, das sich in Richtung Süden hin öffnet.

Region 2: Die Region 2 erstreckt sich zwischen 6°W und ca. 3°E. Die maximalen Tiefen im Zentraltal betragen nur 4500 m, während der Rücken-kamm Tiefen um 2300 m aufweist (Abb. 4, Profil A, Lage der Profilschnitte siehe Abb. 3). Die rund 10 km breite Talsohle wird von Höhenrücken unterbrochen, die sich parallel zu den Rückenflanken erstrecken. Die Flanken weisen keine einheitliche Steigung auf, sondern sind in Stufen angeordnet, zwischen denen das Gelände mit einer Hangneigung von teilweise 45° abfällt. Die Oberfläche der Talsohle weist, bedingt durch unzählige vulkanische Kuppen, eine starke Meeresbodenrauigkeit auf.

Region 3: Die Topographie zwischen 3°E und 30°E ist deutlich von Strukturen geprägt, wie sie für Mittelozeanische Rücken mit sehr geringen Spreizungsraten typisch sind. Der Rücken weist einen ausgeprägten Taleinschnitt auf (Abb. 4, Profil B) und zeigt kaum Spuren von magmatischen Aktivitäten. Die Talsohle ist, im Gegensatz zu Region 2, nur ca. 1 km breit, aber bis zu 1000 m tiefer. Aus den Rückenhöhen ist eine deutliche Asymmetrie erkennbar: Die Südflanke ist rund 700 m höher als die Nordflanke. Grund für die unterschiedliche Rückenhöhe ist, dass die Driftgeschwindigkeit auf beiden Seiten des Rückens verschieden groß ist (Frisch u. Loeschke 1993). Die Rückenseite mit der geringeren Driftgeschwindigkeit erreicht eine größere Rückenhöhe. Der maximale Höhenunterschied zwischen Talsohle und Rücken-kamm beträgt 2800 m.

Region 4: Der östliche Teil des Gakkel-Rückens (30°E – 85°E, Profil C) ist, trotz der abnehmenden Spreizungsrate, wieder mehr von Spuren magmatischer Aktivitäten gekennzeichnet. Die Talsohle ist mit 6 km bedeutend breiter als in Region 3 und von längs des Rückens laufenden Schwellen gekennzeichnet. Auf dem bis zu 5200 m tiefen Meeresboden sind erneut eine große Anzahl vulkanischer Kuppen zu finden. Diese Region wird außerdem von einigen großräumigen vulkanischen Zentren charakterisiert, die bis weniger als 600 m unter die Wasseroberfläche aufragen. Zum östlichen Ende des Rückens von ca. 70°E an, verflacht das Zentraltal zunehmend und erreicht nur noch Tiefen von ca. 4200 m. Grund dafür ist der erhöhte Eintrag von Sedimenten in der Nähe des sibirischen

Schelfes. Auch die Rauigkeit des Meeresbodens nimmt dadurch ab.

7 Fazit

Während der Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition wurden bathymetrische Daten des Gakkel-Rückens aufgezeichnet, die aufgrund ihrer hohen Auflösung und Genauigkeit die Qualität der bisherigen Tiefeninformationen in dieser Region des Arktischen Ozeans weit übertreffen (Abb. 5 und Abb. 6). Nach der Bereinigung der Messdaten, der Berechnung eines digitalen Geländemodells und der Darstellung in bathymetrischen Karten stehen die neuen Informationen über die Meeresbodentopographie der weiteren wissenschaftlichen Nutzung zur Verfügung.

Die große Bedeutung der Daten wird belegt durch ihre Integration in die IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean, Jakobsson

2008). Die IBCAO ist eine digitale Datenbasis aller verfügbaren bathymetrischen Daten des Arktischen Ozeans, die in Form eines digitalen Geländemodells (Rasterweite 2 km) allen zur Verfügung steht, die großflächig detaillierte und präzise Tiefeninformationen benötigen. Durch die Unterstützung vieler Staaten und Institutionen (u. a. IOC, IHO, NGDC) wird die Datenbasis regelmäßig aktualisiert und enthält seit der Version 2.23 im April 2008 auch die bathymetrischen Daten der AMOR-Expedition. □

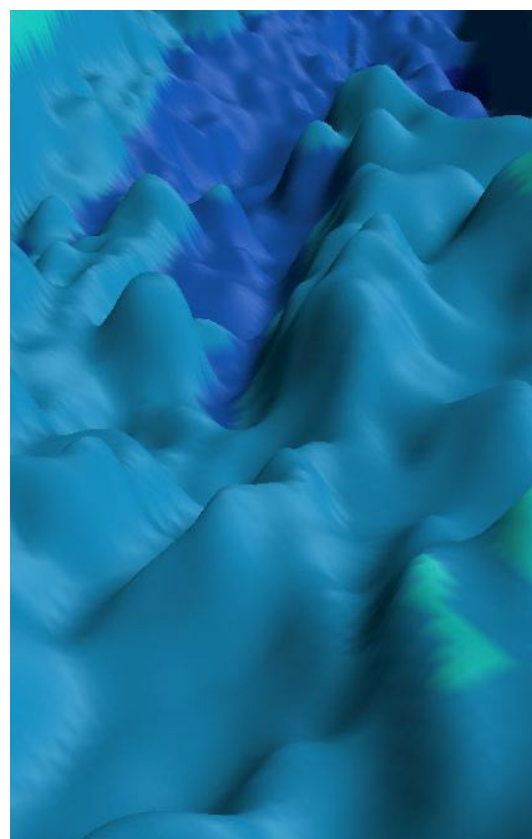
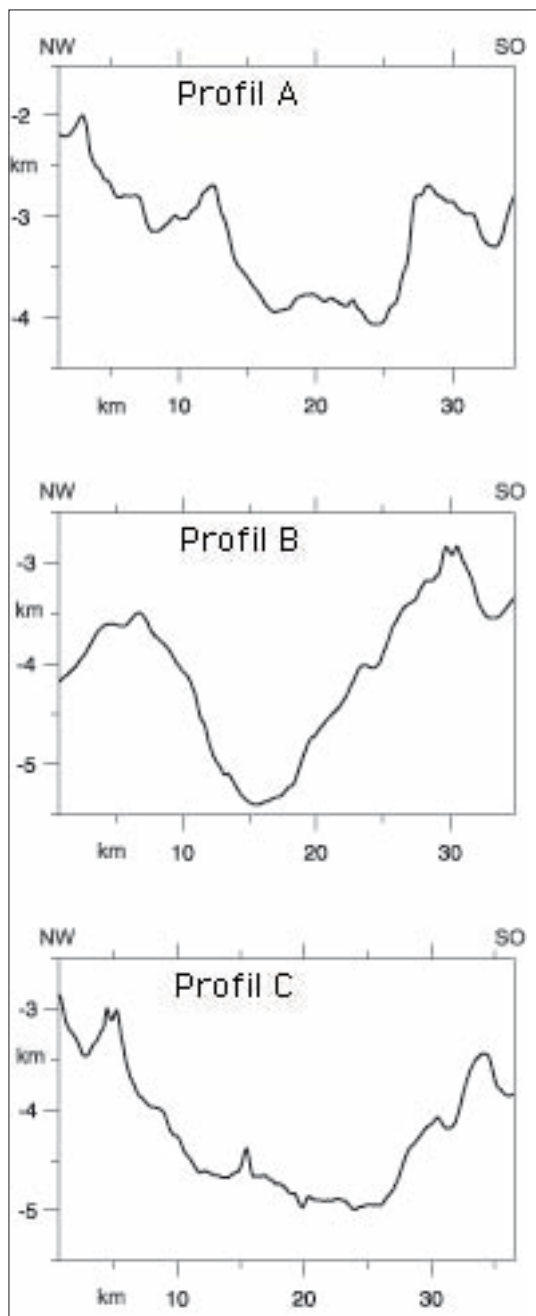


Abb. 5: Darstellung des Bodenreliefs in Fledermaus



Abb. 6: Minivulkan

Abb. 4: Profilschnitte über den Gakkel-Rücken bei 1°W (Profil A), 4°E (Profil B) und 47°E (Profil C) verdeutlichen die unterschiedlichen morphologischen Eigenschaften

