

Der “verhüllte” Untergrund in der Geologie

Beispiel Antarktis

Franz Tessensohn (Hannover)

- 1 Das Untersuchungsobjekt ist verhüllt
- 2 Formen der Verhüllung
- 3 Geowissenschaftliche Methoden der Enthüllung
- 4 Beispiel: Die Enthüllung des Kontinents Antarktis
- 5 Literatur

Geologists and geophysicists have developed certain methods to un-veil their research object – the Earth’s surface and underground, or, for example, the geologic history of the Antarctic continent, hidden by several kilometers of ice. With the knowledge provided by the different methods the scientist himself is directing and monitoring the “un-veiling” while an image of the entire object is crystallizing in his mind, piece by piece like a jigsaw-puzzle.

Geologen und Geophysiker haben verschiedene Methoden entwickelt, um ihr Forschungsobjekt – die Oberfläche und den Untergrund der Erde, oder z.B. die geologische Geschichte des antarktischen Kontinents, der unter mehreren Kilometern Eis verborgen ist – zu enthüllen. Mit den Erkenntnissen, die sie mit Hilfe der verschiedenen Methoden gewinnen, steuern und überwachen sie selbst die “Enthüllung”, während sich in ihrem Kopf ein Bild des Ganzen kristallisiert, Stück für Stück, wie bei einem Puzzle.

1 Das Untersuchungsobjekt ist verhüllt

Geowissenschaftliche Aktivitäten sind in der Regel darauf ausgerichtet, die Geschichte der Gesteine – und damit einen Teil der Geschichte der Erde – zu rekonstruieren. Allerdings liegen die geowissenschaftlichen “Objekte” nur zu einem geringen Teil offen und frei zugänglich an der Erdoberfläche. Der Einsatz der Untersuchungsmethoden richtet sich daher nach den Formen sowie dem Grad der Verhüllung des Untergrundes.

Über Aufgaben und Arbeitsmethoden des Geowissenschaftlers gibt es bei den meisten Menschen nur verschwommene Vorstellungen. Bekannt ist in der Regel, dass sich die Geologie mit dem Untergrund befasst. Von praktischem Interesse sind die obersten 10 km der Erdkruste, da sie die für uns wichtigen Ressourcen Öl, Gas, Kohle, Erze, Sand und Kies sowie das Grundwasser enthalten. Der tiefere Untergrund ist wichtig für die Katastrophen-Vorsorge (Erdbeben, Vulkanismus) und für die wissenschaftliche Erforschung des Aufbaus der Erde und der Prozesse im Innern unseres Planeten. Es kommt also darauf an, den Aufbau des verborgenen Untergrundes mit geeigneten Methoden zu erkunden.

2 Formen der Verhüllung

Der größte Teil der Erde ist durch Wasser, Vegetation, Sand und Eis verhüllt (Abb. 1). Die Ozeane (Abb. 2a) bedecken ca. 75% des Globus und verhüllen ein komplett eigenes Universum (Schätzing 2006). Der Meeresboden ist – wie die Kontinente – durch Gebirge, Ebenen und Täler gegliedert. Inseln sind untermeerische Berge, die über den Wasserspiegel herausragen. In Klimazonen mit ausreichendem Niederschlag ist die Erde von mehr oder weniger dichter Vegetation (Abb. 2b) bedeckt, z.B. Wald, Steppe, Tundra, aber auch in Form von Kulturlandschaften. Fehlt Vegetation, weil das Klima zu trocken ist, bilden sich Wüsten. Die älteste Wüste ist die Namib im Südwesten Afrikas. Die größten Wüsten sind die Sahara und die Gobi sowie der Westen Australiens.

Aber auch der Westen der USA hat in Teilen Wüstencharakter. Der lose Sand der Wüsten (Abb. 2c) verhüllt meistens den festen Gesteinsuntergrund. Eine ganz andere Wüste gibt es in der Antarktis – Eis und Schnee bedecken den Südkontinent zu 99% (Abb. 2d). Auch weite Teile der Meeresflächen um die Antarktis sind ganzjährig von Eis bedeckt. Im Norden liegt Grönland weitgehend unter einer vergleichbaren Eiskappe und das Nordpolarmeer ist von Meereis bedeckt, das sich im Verlauf von mehreren Jahren erneuert.

3 Geowissenschaftliche Methoden der Enthüllung

Die Enthüllung des Untergrundes gehört zu den wichtigsten praktischen Aufgaben der Geowissenschaften. Die Kunst besteht darin, Form, Tiefe und Alter der Untergrund-Objekte aus Oberflächen-Beobachtungen möglichst widerspruchsfrei zu rekonstruieren.

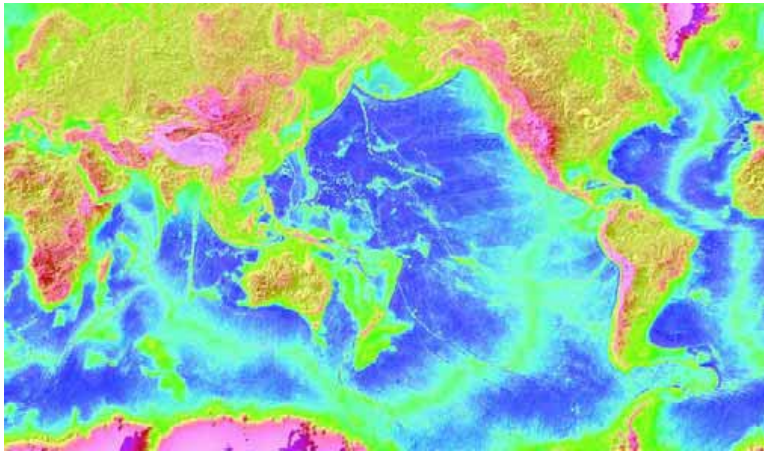


Abb. 1: Globale Verteilung von Wasser, Sand, Vegetation, Gebirgen und Eis (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/seafloor.html>)



Abb. 2a



Abb. 2b



Abb. 2c



Abb. 2d

Abb. 2: Die wichtigsten Verhüllungsmedien der Gesteine der Erde: a) Meerwasser; b) Vegetation; c) Wüstensand; d) Eis und Schnee der Polarregionen

> Oberflächen-Kartierung

Die geologische "Kartierung" ist die Aufnahme der Gesteinsvorkommen an der Erdoberfläche. Ansatzpunkte dieser grundlegenden Bestandsaufnahme sind Vorkommen von anstehendem Gestein, sogenannte "Aufschlüsse", die natürlicher Art (z.B. Felswände, Bachanschnitte) oder auch künstlicher Natur (z.B. Steinbrüche, Baugruben, Straßenanschnitte) sein können. Da die Gesteine nur selten horizontal lagern, kann zwischen diesen Eckpunkten mit Hilfe der Lagerungsdaten interpoliert werden. Das Ergebnis der "Kartierung" ist die geologische Karte, die alle Gesteine in einem Gebiet – z.B. Ton, Sandstein, Kalk, Granit etc. – sowie ihre Lage zueinander zeigt (Abb. 3).

> Wahrscheinlichkeits-Interpretationen

Die Oberflächen-Rekonstruktion ist also, wie alle geologischen Ergebnisse, eine Wahrscheinlichkeitsaussage. Die hohe Zahl der unbekannt Parameter macht die Geologie mit 60–80% Wahrscheinlichkeit zu einer Wissenschaft, die nicht zu den exakten gezählt werden kann. Wie in der Kriminalistik wächst mit der Erfahrung des Untersuchungsteams die Chance, aus den einzelnen Indizien zu einem zwingenden Gesamtschluss zu kommen. Dass die Interpretationen sehr wohl 100% erreichen können, zeigen z.B. die vielen Fälle von fründigen Erdölbohrungen aufgrund geologischer Vorhersagen.

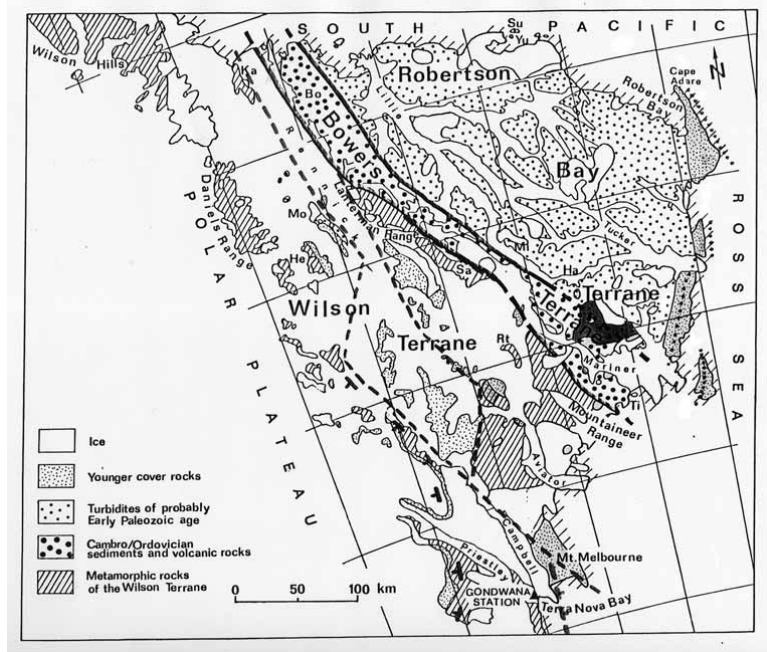


Abb. 3: Geologische Karte von Nord Victoria Land, Antarktis. (Eigene Geländeaufnahmen)

> Geophysikalische Durchleuchtung

Will man Exaktes über den Untergrund wissen, muss man eigentlich bohren, aber wie in der Medizin werden vor der "Operation" erst noch eine Reihe von Durchleuchtungsverfahren angewendet. In der Geologie fallen diese in das Fachgebiet der Geophysik. Geophysikalische Methoden können auf dem Land, auf dem Wasser, in der Luft, ja sogar vom Satelliten aus eingesetzt werden. Sie "durchleuchten" Wasser, Eis und Vegetation und liefern ein indirektes Bild des Gesteinsuntergrundes. Man bedient sich des Radars (Abb. 4), wobei selbst eine Eiskappe von 4 km Dicke durchdrungen wird, misst die magnetischen Eigenschaften der Gesteine (Abb. 5) unter Wasser oder Eis und erstellt, bevorzugt per Schiff auf den Meeren (Abb. 6), seismische "Profile" des Untergrundes (Abb. 7). – Die seismische Methode ist im Prinzip mit den Ultra-schallmessungen in der Medizin vergleichbar. – Aus den gewonnenen Daten werden Karten erstellt, "Profile" (Querschnitte) gezeichnet (Abb. 8), Modelle gerechnet und erst am Ende der Interpretationen steht dann, manchmal, eine Bohrung, um an der bestmöglichen Stelle die Vorstellungen zu verifizieren.

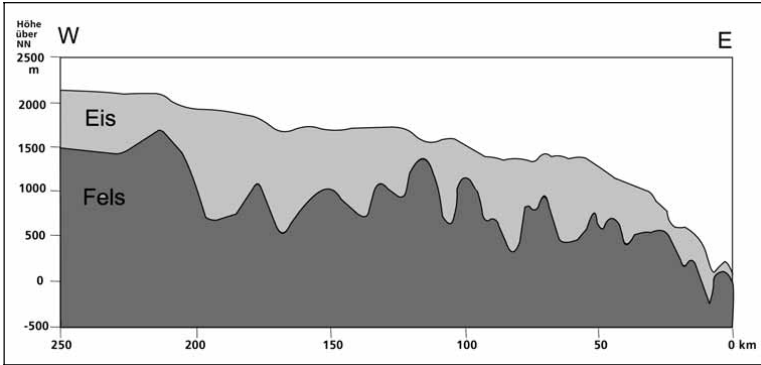


Abb. 4 : Ein mit Radar erstelltes Längs-Profil durch einen Gletscher zeigt die Dicke des Eises und das Relief unter dem Eis (Schema).

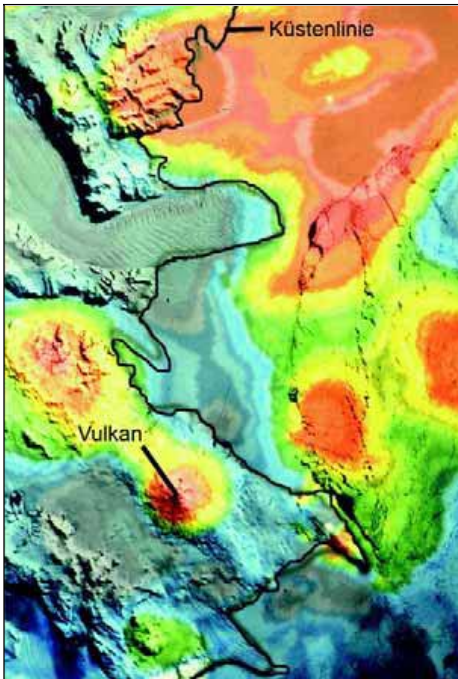


Abb. 5: Messungen der Gesteinsmagnetik aus der Luft durch Eis (links) und Meerwasser (rechts) am Ross-Meer der Antarktis (nach Bosum et al., 1989 und Lucchitta et al., 1989). Eine (stark magnetische) Vulkanstruktur, die als Berg das Eis überragt, bildet eine markante Anomalie. Ähnliche runde Strukturen deuten auf weitere unter dem Meer und dem Eis verborgene vulkanische Phänomene hin.

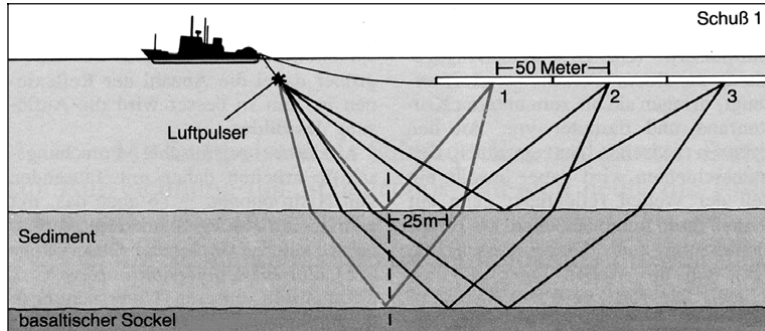


Abb. 6: Seismische Messungen per Schiff durchleuchten Meerwasser und sedimentären Untergrund (Schema).

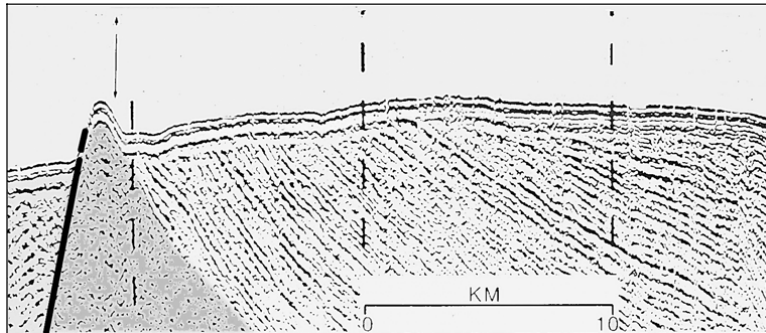


Abb. 7: Seismisches Profil aus dem Ross Meer der Antarktis. Die Schichten sind durch Bruchstrukturen schräg gestellt. Ein vulkanischer Kegel (links) hat die Sedimente durchstoßen (Davey et al., 2001).

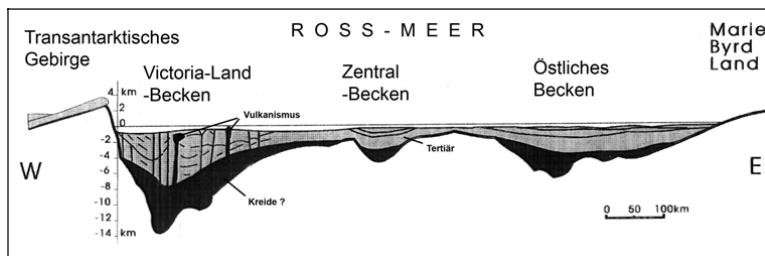


Abb. 8: Interpretierte seismische Messergebnisse: Das geologische Profil durch das Rossmeer-Becken ist ca. 1000 km lang. (Vereinfacht nach Hinz & Kristoffersen, 1987 und Cooper et al., 1987)



Abb. 9: Forschungsbohrung vom Meer-Eis des zugefrorenen Ross-Meereres bei Cape Roberts. Die Bohrung erreichte eine Tiefe von über 1000 m in den Sedimenten und lieferte u.a. wichtige Daten über die klimatische Entwicklung der Antarktis in den letzten 35 Millionen Jahren. U.a. konnte der Beginn der Vereisung erfasst werden.

> Prüf-Sondierungen

Nachdem aus geologischen Beobachtungen und geophysikalischen Messdaten ein Modell des verhüllten Gesteinsuntergrunds konstruiert wurde, bleibt der Wunsch nach Verifizierung. Dieser Wunsch wird nur selten, meist bei wirtschaftlichem Interesse, manchmal auch durch sogenannte Forschungsbohrungen erfüllt (Abb. 9). An einem Bohrkern aus den durchbohrten Gesteinsschichten lassen sich die geophysikalischen Methoden im Nachhinein eichen. Ein weiterer wichtiger Faktor, der aus den Messdaten nur grob abgeschätzt werden kann, ist das Alter der Gesteine. Hierüber kann das Material des Bohrkerns zu exakteren Daten verhelfen.

4 Beispiel: Die Enthüllung des Kontinents Antarktis

98% der Antarktis sind von Schnee und Eis bedeckt. (Abb. 10a). Die hohen, tausende Meter dicken, Eiskalotten der Ost- und Westantarktis werden nur von drei Gebirgen überragt. Hunderte von Radarmessflügen haben es möglich gemacht, das Land unter dem Eis zu rekonstruieren (Abb. 10b). Dabei stellt sich heraus, dass die Gebirge der Westantarktis nach dem Abschmelzen des Eises einen insel-bedeckten Archipel formen würden. Die Ostantarktis dagegen bildet ein großes zusammenhängendes Plateau, nur teilweise bedeckt von flachen Meeren vom Typ der Ostsee, die durch das eislastbedingte Eindellen der Gesteinskruste unter den heutigen Meeresspiegel entstehen würden. Nach der Entlastung würden sie sich im Laufe

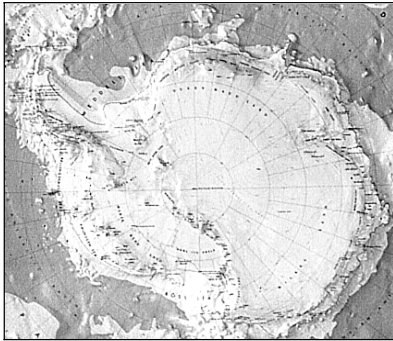


Abb. 10a



Abb. 10b

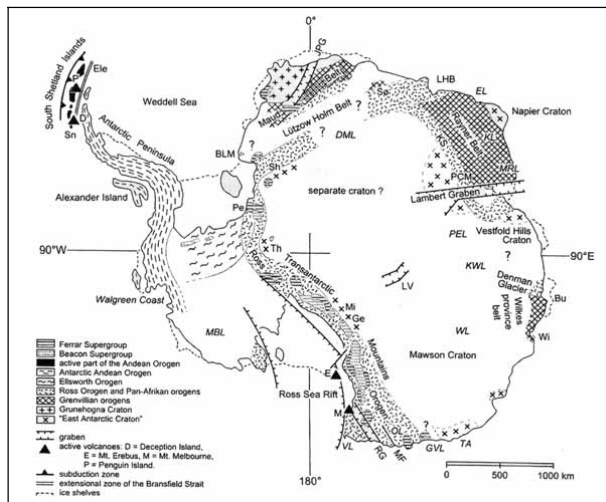


Abb. 10c



Abb. 10d

Abb. 10: Die Enthüllung eines Kontinents.
 a) Die Antarktis unter ihrem Eispanzer. b) Die Topographie unter dem Eis. c) Geologische Karte der Antarktis (nach Kleinschmidt, 2007). d) Entwicklungsgeschichtliche Interpretation der Antarktis: An einen alten Kern in der Ostantarktis (rechts) lagern sich drei jüngere Faltengebirge in der Westantarktis an.

weniger Millionen Jahre, wie Skandinavien nach der Eiszeit, elastisch wieder über den Meeresspiegel erheben. Neben den Gebirgen, die das Inlandeis überragen, gibt es noch Gesteins-"Aufschlüsse" entlang der Küstenzone des Kontinents, wo das Eis dünner ist und in Form von einzelnen Eisströmen zum Meer hin abfließt. Zwischen den Strömen liegt abschnittsweise der Untergrund frei.

Im Jahr 1959 wurde der Antarktis-Vertrag geschlossen, der den Kontinent trotz einiger schwebender Gebietsansprüche für die internationale Forschung freigab. Seither wurden die erwähnten Gesteinsvorkommen systematisch und in internationaler Zusammenarbeit geologisch kartiert. Das Produkt ist eine geologische Karte mit vielen Einzelheiten (Abb. 10c). Nebenbei wurden einige recht sensationelle Ergebnisse erzielt. Das älteste Gestein in Enderby Land ist mit 3,8 Milliarden Jahren fast so alt wie die Erde selbst (4,5 Mrd.). Im Transantarktischen Gebirge findet man versteinerte Bäume aus der Permzeit. Auf der antarktischen Halbinsel wurden Fossilien gefunden, die ein warmes Klima vor der Vereisung belegen. In eiszeitlichen Ablagerungen am Beardmore-Gletscher kommen Blätter und (noch brennbares) Holz der Südbuche vor. Unter 2000 m dickem Inlandeis liegt ein See mit offenem Wasser (Lake Vostok).

Da die Gesteinsaufschlüsse den Kontinent quasi umschließen, lassen sich auch Interpretationen des eisbedeckten Inneren der Antarktis durchführen (Abb. 10d). Vereinfacht dargestellt wird ein kontinentaler Kern (der Ostantarktis, rechts) von 3 Faltengebirgen (in der Westantarktis, links) begleitet.

Ob diese Interpretation korrekt ist, lässt sich am besten im Vergleich zu anderen Südkontinenten prüfen. Denn die Antarktis bildete in der geologischen Vergangenheit zusammen mit Australien, Südamerika und Afrika den Superkontinent Gondwana (Abb. 11). Da sich die in der Antarktis "kartierten" Faltengebirge auf den benachbarten Kontinenten wiederfinden lassen und da auch die alten Kerne der Kontinente eine zusammenhängende Masse bilden, macht die geologische Interpretation durchaus Sinn.

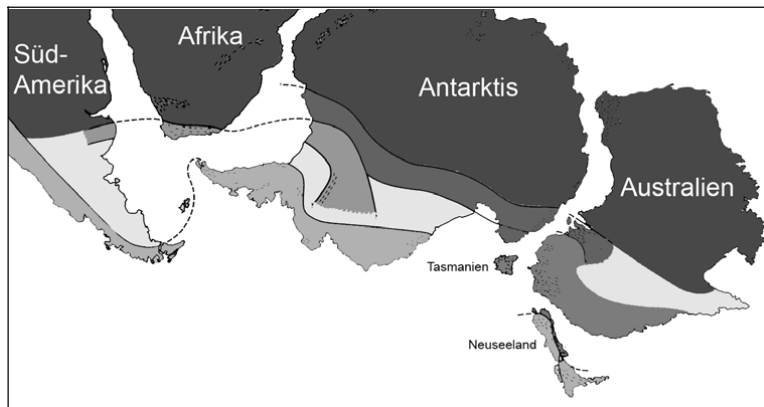


Abb. 11: Das Einpassen der Antarktis in das Mosaik der übrigen Kontinente des ehemaligen Superkontinents "Gondwana" zeigt, dass sich die antarktischen Strukturen sinnvoll auf den anderen Kontinenten fortsetzen.

5 Literatur

- Bosum, W., Damaske, D., Roland, N.W., Behrendt, J.C. (1989): The GANOVEX IV Victoria Land/Ross Sea aeromagnetic survey: Interpretation of anomalies. – *Geol. J.*, E 38, 153–230.
- Davey, F.J., Barrett, P.J., Cita, M.B., van der Meer, J.J.M., Tessensohn, F., Thomason, M.R.A. & Woolfe, K.J. (2001): Drilling for Antarctic Cenozoic Climate and Tectonic History at Cape Roberts, southwestern Ross Sea. – *EOS*, 82, 585 & 589–590.
- Cooper, A.K., Davey, F.J. & Behrendt, J.C. (1987): Seismic stratigraphy and structure of the Victoria land Basin, western Ross Sea. – In: Cooper, A.K. & Davey, F.J. (eds.): *The Antarctic Continental Margin: Geology and Geophysics of the western Ross Sea.* – Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, 5B, 27–65, Houston.
- Craddock, C. (ed.) 1969: *Geologic maps of Antarctica*, American Geographical Society, folio 12, New York.
- Craddock, C. (1970): Tectonic map of Antarctica. – In: Bushnell, V.C. & Craddock, C. (eds.): *Geologic Maps of Antarctica.* – Antarctic Map Folio Ser., Folio 12 Pl. 21, New York (Am. Geogr. Soc.).
- Hinz, K. & Kristoffersen, Y. (1987): Antarctica. Recent advances in the understanding of the continental shelf. – *Geol. Jb E 37*, 1–54, Hannover.
- Huch, Monika (2001): Das Cape Roberts-Projekt im antarktischen Ross-Meer. – *Geographische Rundschau*, 53, H. 2, 59–64.
- Lucchitta, B.K., Tessensohn, F. & Bowell, J.-A. (1989): Superposed aeromagnetic, geologic, and Landsat-image maps of North Victoria Land, Antarctica. – *Geol. Jb.*, E 38, 515–522, Hannover.
- Schätzing, F. (2006): *Nachrichten aus einem unbekanntem Universum. Eine Zeitreise durch die Meere.* Kiepenheuer & Witsch, Köln.
- Tessensohn, F. (1981): Geologie des Südens: Gondwanaland und Ur-Pazifik. – *Umschau* 81, H.2, 35–38, Frankfurt.
- Tessensohn, F. (1984): Das Ross-Meer-Gebiet im Schnittpunkt geotektonischer Fragen. – *Geol. Jb. A 75*, 261–283, Hannover.
- Tessensohn, F. & Wörner, G. (1991): The Ross Sea rift system, Antarctica. – structure, evolution and analogues. – In: Thomson, M.R.A., Crame, A. & Thomson, J.W. (eds.): *Geological Evolution of Antarctica*, 273–277, Cambridge.