

Spitzbergen im Tertiär

Von U. Lehmann, F. Thiedig und W. B. Harland*

Zusammenfassung: Anfänge einer Taphrogenese im Nordatlantischen Raum mit einem Rift-System in der Nordsee zeigen sich schon in der Trias; in Jura und Unterkreide bestand eine marine epikontinentale Verbindung zwischen Europa und Svalbard. Regressionen in der Oberkreide machen wenigstens zeitweilige Landverbindungen zwischen Europa und Nordamerika wahrscheinlich. Im Paläogen reichte eine Grabenstruktur vom Rheinischen Schiefergebirge bis in den Barentsschelf und engte die Landverbindung ein. Die Abtrennung Grönlands vom europäischen Kontinent erfolgte zu Beginn des Eozäns.

Die tertiären Gesteine Spitzbergens sind überwiegend klastisch ausgebildet, die tiefsten und die höchsten Lagen führen reiche Floren und Kohlenflöze; wirbellose Fossilien sind relativ selten. Der untere kohle- und pflanzenführende Horizont ist paralischer, der obere limnischer Entstehung; die Fauna deutet auf relativ flache, teils vollmarine, teils brackisch-ästuarine Biotope. Die Pflanzen als wichtigste Klimazeugen deuten auf mildes und feuchtes, i. a. frostfreies Klima. Das Alter der Tertiärschichten reicht vom tieferen Dan bis ins Oligozän.

Fossile Säugetiere wurden auf Spitzbergen nicht gefunden. Die Bedeutung der Wirbeltierfunde auf Ellesmereland besonders für die möglichen Landverbindungen zwischen Europa und Nordamerika wird erörtert. Von den beiden möglichen Landverbindungen zwischen Europa und Nordamerika im ältesten Tertiär wird diejenige über Spitzbergen für die wahrscheinlichere gehalten.

Summary: First signs of taphrogenetic structures in the North Atlantic area appeared in the Triassic, starting with a North Sea rift system; a narrow marine epicontinental connection existed in Jurassic and Lower Cretaceous times. In the Upper Cretaceous, regressions seem to have created terrestrial connections between Europe and North America. In the Paleogene, a rift structure extended from the Rhenish Schiefergebirge as far as the Barents shelf and narrowed the terrestrial routes. The final separation of Greenland from the European continent took place in the lower Eocene.

The Tertiary rocks of Spitsbergen are predominantly clastic; the basal and the topmost layers contain coal seams and rich floras; invertebrate fossils are relatively rare. The lower plant-bearing horizon is paralic in origin, the upper limnic; the fauna indicates shallow, partly marine, partly brackish-estuarine biotopes; the plants hint to a mild, moist and normally frost-free climate. The age of the Tertiary strata extends from lower Danian to Oligocene.

Fossil mammals have not been found on Spitsbergen. The importance of the recently discovered finds of vertebrate fossils on Ellesmere Island is discussed especially as far as they concern possible land connections between Europe and North America.

Of the two possible migration routes between North America and Europe in lowermost Tertiary time, the one via Spitsbergen is considered more probable.

1. EINFÜHRUNG

Auf den letzten beiden der insgesamt drei Expeditionen (1968, 1972 und 1975, vgl. LEHMANN 1974), des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Universität Hamburg nach Svalbard haben wir uns sehr intensiv dem Fossilinhalt der Tertiärsedimente gewidmet. Den größten Teil der Zeit — von den sehr zeitraubenden Anfahrten und Anmärschen abgesehen — haben wir mit der Suche nach Fossilresten verbracht. Auf der letzten Expedition 1975 haben wir mehrere Gewichtstonnen Lockersedimente in Rucksäcken transportiert, mit einer Motorspritze ausgewaschen, durchgeseibt, die Proben auf großen Laken getrocknet und unter arktischen Witterungsbedingungen ausgelesen. Trotz größter Anstrengungen war unsere Ausbeute an — für unsere Fragestellung verwertbaren — Funden relativ gering. Über die Ergebnisse und Erkenntnisse der letzten Spitzbergen-Expedition, die gemeinsam mit Prof. W. B. HARLAND und seinen Mitarbeitern als Cambridge-Hamburg-Spitzbergen-Expedition 1975 durchgeführt wurde, wird im folgenden berichtet.

Zu besonderem Dank sind wir den Mitarbeitern von W. B. HARLAND, Cambridge/England, insbesondere C. PICKTON, für die außerordentlich gedeihliche Zusammenarbeit verpflichtet. Sehr wertvoll war uns die Hilfe der beiden Hamburger Studenten

* Prof. Dr. Ulrich Lehmann und Prof. Dr. Friedhelm Thiedig, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität, Bundesstr. 55, D-2000 Hamburg 13.

Prof. Dr. W. Brian Harland, Dept. of Geology, University of Cambridge, Sedgwick Museum, Downing Street, Cambridge CB2 3EQ (England).

W. von GOSEN und H. P. DEUTER. Die Bestimmung der Mikrofossilien verdanken wir den Herren Dr. P. CEPEK, Hannover, und Prof. Dr. H. HAGN, München.

Die Fahrt und der Aufenthalt auf Spitzbergen wurde erst durch die großzügige finanzielle Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft möglich, für die wir uns sehr bedanken.

Die Ziele der Expedition ergaben sich aus der besonderen Rolle, die dem Svalbard-Archipel im Rahmen der modernen plattentektonischen Vorstellungen zukommt.

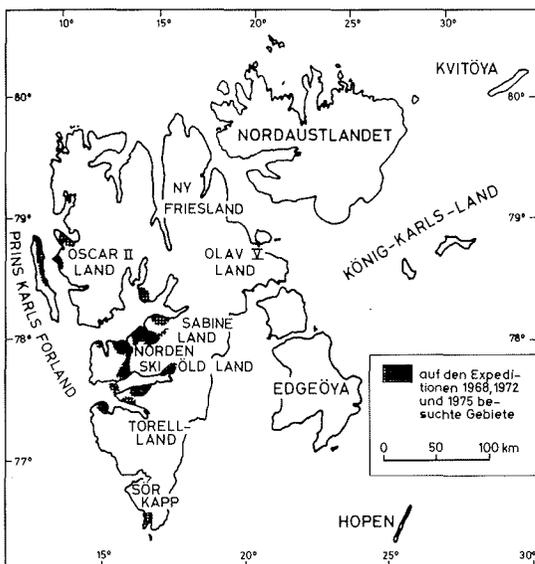


Abb. 1: Auf den Expeditionen 1968, 1972 und 1975 besuchte Gebiete.

Fig. 1: Areas on Spitsbergen visited during the 1968, 1972 and 1975 expeditions.

Die Faunenentwicklung in Nordamerika und in Mitteleuropa weist auf Landverbindungen hin, die von der Oberkreide bis in das Paläogen hinein bestanden haben müssen. Erst etwa seit dem Eozän wird eine getrennte Entwicklung beobachtet, die mit der Öffnung des Nordatlantiks in Zusammenhang stehen könnte.

Da sich der Nordatlantik nach den bisherigen Vorstellungen der Plattentektonik von Süden nach Norden geöffnet hat, liegt es nahe, die letzte Landverbindung zwischen Nordamerika und Europa im Norden zu suchen. Daher gingen wir besonders der Frage nach, welche Landverbindungen den Faunenaustausch der Säugetiere an der Wende Oberkreide/Tertiär ermöglicht haben könnten.

Wichtigste Voraussetzung zu ihrer Beantwortung sind genau datierte Säugetierfaunen; ihnen galt unsere Suche in erster Linie.

2. DIE PALAEOGEOGRAPHISCHE ENTWICKLUNG SPITZBERGENS

a) Jura und Unterkreide

Die marinen epikontinentalen Sedimentationsräume, die im Jura von Mitteleuropa bis nach Schottland reichten, standen nach den bisherigen Vorstellungen in direkter Meeresverbindung mit Ostgrönland und Spitzbergen. Dabei kommen zwei Möglichkeiten der

Verbindung in Frage, einmal über den Bereich von Nordsee — Nordatlantik und über Osteuropa — Ural.

Nach ZIEGLER (1975) zeichnete sich bereits in der Trias im Westen der Britischen Inseln eine Atlantik-Rift-Zone ab, die eine marine Verbindung zwischen dem sich erst im Tertiär richtig öffnenden Nordatlantik und dem arktischen Meer um Svalbard herstellte. Von CALLOMON et al. (1972) wird sogar schon für das Perm (Zechstein) eine schmale marine Verbindung von Mitteleuropa nach Svalbard als Straße zwischen Norwegen und Grönland angenommen.

In der Unterkreide herrschten im nordeuropäisch-arktischen Raum ähnliche paläogeographische Verhältnisse wie im Jura.

Die epikontinentale Überflutung während der Unterkreide hat sowohl in Spitzbergen, Franz-Josephs-Land und Nowaja Semlja als auch in Ostgrönland marine Ablagerungen hinterlassen (FREBOLD 1951). In Spitzbergen deutet sich allerdings schon im Hauterive-Barrême ein starker kontinentaler Einfluß an (Sandsteine mit Saurierfährten von Festningen im Isfjord).

Apt und Alb sind auf Spitzbergen wieder als marine epikontinentale, meist dunkle sandig-siltige bituminöse Tonschiefer bekannt. In die Zeit der Unterkreide fällt das Aufdringen der basaltischen Laven (Dolerite) (Abb. 3). Vermutlich zeigen diese auch den Beginn der Trennung von Grönland und Nordeuropa an. Die Faunen des Apt und Alb Ostgrönlands haben enge Beziehungen sowohl zu den nordamerikanischen als auch zu den europäischen (CALLOMON et al. 1972). Auch die dadurch angedeutete marine Verbindung muß als Anzeichen für die Öffnung des Nordatlantiks angesehen werden (Abb. 4a).

Die Erdölsuche in der Nordsee hat viele wichtige und auch überraschende Erkenntnisse über die Verbreitung mesozoischer Sedimente gebracht. So wurden im Zentral- und Viking-Graben Schiefer des Apt und Alb gefunden, auch im Tromsø- und Hammerfest-Becken in der südlichen Barentssee wurden marine Kreidesedimente gefunden (möglicherweise Berrias bis Turon, nach freundl. Mitteilung von Herrn Erik TALLERAAS, Norwegian Petroleum Directorate, Stavanger).

Somit erscheint es nicht mehr ausgeschlossen, daß diese Gräben und Becken in der nördlichen Nordsee und in der Barentssee Verbindung mit Svalbard hatten (ØVREBØ & TALLERAAS 1977).

b) Oberkreide

Marine Oberkreide im arktischen Raum ist bisher nur aus dem nördlichen Ostgrönland bekannt. Hier liegen Emscher und Senon in tonig-sandiger Fazies vor (ESCHER & WATT 1976). Auch aus dem Usa-Becken (NW-Ural) sind marine oberkretazische Sedimente bekannt. Die in der Nordsee bereits permisch angelegten Grabenstrukturen, die besonders im Jura und in der Unterkreide vertieft wurden, enthalten in der nördlichen Nordsee bis zu 1200 m mächtige Schreibkreide-Sedimente (ZIEGLER 1977). Weiter nördlich verzahnt sich die Schreibkreide mit mächtigen Mergel- und kalkigen Schiefertongfolgen. An den Flanken der Gräben erreicht die Schreibkreide 200—300 m Mächtigkeit. Auch aus den Becken der norwegischen Schelfgebiete südlich der Lofoten sind z. T. mächtige Kreidesedimente bekannt (RØNNEVIK & NAVRESTAD 1977).

Im Tromsø- und Hammerfest-Becken sind besonders zwischen den Salzdiapiren bis 1000 m mächtige Kreidesedimente abgelagert worden.

Die Campan- und Maastricht-Vorkommen in Westgrönland und das Campan in Ost-

Grönland, die vor allem aus Sandsteinen und siltigen Schiefeln bestehen, haben wie die der Unterkreide ausgeprägte faunistische Beziehungen sowohl zu nordamerikanischen als auch zu nordeuropäischen Vorkommen (BIRKELUND & PERCH-NIELSEN 1976). Obwohl marine Verbindungen zwischen Nordwest-Europa und Svalbard schon während des Jura möglicherweise existierten und nach ZIEGLER (1975) die Grabenbildung zwischen Grönland und Nordeuropa bereits an der Grenze Trias/Jura einsetzte, wird die eigentliche Öffnung des Nordatlantik erst zu Beginn der Eozänzeit (vor ca. 53 Mill. Jahren) vermutet (SOPER et al. 1976). Die aktiven Spreadingzonen waren die Kolbeinsey-, Mohns- und Knippovich-Rücken nördlich Island; dieses selbst ist erst vor ca. 16 Mill. Jahren auf der mittelatlantischen Schwelle entstanden.

c) Paläogen

Über große Gebiete West- und Südspitzbergens transgrediert eine etwa 2000 m mächtige tertiäre Schichtfolge aus Sandsteinen und Tonen. Sie wird von den meisten Autoren ins Paläozän und Eozän gestellt (ORVIN 1940, SCHWEITZER 1974, LIVŠIC 1974).

Für die vom zentralen Becken getrennten, wenn auch lithologisch ähnlichen Tertiärvorkommen auf der Westseite Spitzbergens wird wegen ihrer anders gearteten tektonischen Position und z. T. geringerer diagenetischer Verfestigung ein jüngeres Alter vermutet. In W- und E-Grönland sind sehr ähnliche Sedimentfolgen wie auf Spitzbergen bekannt. Hier sind außerdem abweichend von Spitzbergen Basaltvorkommen in Sandstein- und Schieferfolgen eingelagert. Von Spitzbergen sind nur geringmächtige vulkanische Tufflagen aus dem zentralen Becken bekannt. Für die meisten der grönländischen Vorkommen wird Paläozänalter angenommen. Die marine paläozäne Fauna zeigt Verwandtschaft mit Europa und mit Nordamerika (HENDERSEN, ROSENKRANTZ & SCHIENER 1976). Von Ostgrönland (Kap Brewster) sind außerdem marine und limnische Sedimente bekannt, die auch mit subaerisch gefördertten Basalten (Mittelozeän-Miozän) wechselagern.

Das Alter der ältesten Basalte und der Sedimente auf Island fällt ins Miozän (16 Millionen Jahre, TESSENHORN 1976 nach SAEMUNDSSON 1974).

Aus dem zentralen und nördlichen Bereich der Nordsee sind tiefere Meeressedimente bekannt, die ins Paläozän eingestuft werden, während aus dem Oligozän und Miozän marine Flachwasser-Ablagerungen beschrieben werden (ZIEGLER 1975). Auch im Tromsø-Becken in der südlichen Barentssee sind im Zusammenhang mit Salzdiapiren Tertiärsedimente wahrscheinlich (ØVERBØ & TALLERAAS 1977).

3. AUSBILDUNG, VERBREITUNG UND FOSSILGEHALT DES TERTIARS AUF SPITZBERGEN

a) Zentrales Becken

Das tertiäre Hauptbecken erstreckt sich in einem nach Süden spitz zulaufenden Dreieck vom Isfjord im Norden bis etwa 50 km nördlich der Südspitze. Einigermaßen zugänglich sind davon die an die drei Fjorde Isfjord, van Mijenfjord und van Keulenfjord angrenzenden Gebiete. Sie sind daher auch häufiger und genauer untersucht worden. Weitere Gebiete im Inneren und besonders der ganze Süden liegen unter Gletschern begraben und sind so gut wie unerforscht und nur vom Hubschrauber aus zugänglich. Über diese Fläche von mehr als 5000 km² im zentralen Westspitzbergen erstreckt sich eine maximal mehr als 2000 m mächtige Tertiärfolge (vgl. Abb. 2).

Von NATHORST (1910) wurden lithostratigraphisch 6 Serien unterschieden; diese Glieder

derung wurde später im wesentlichen von fast allen Autoren übernommen (ORVIN 1940, MAJOR & NAGY 1972, KELLOGG 1975).

LIVŠIĆ (1965, 1974) hat auf der gleichen Basis 7 Einheiten gebildet, während VONDERBANK (1970) nach genetischen Gesichtspunkten nur 4 zyklische Komplexe unterschieden

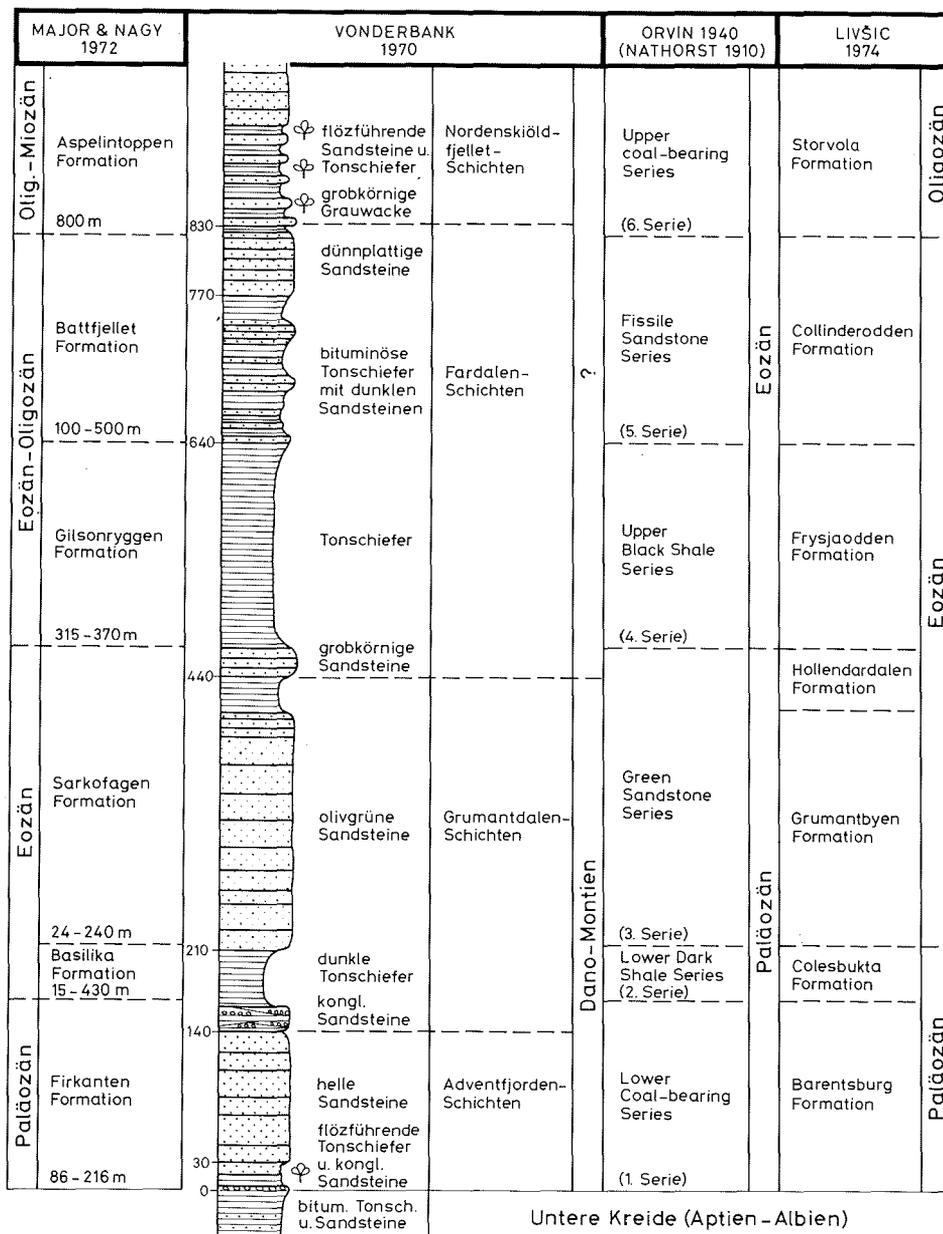


Abb. 2: Tertiärgliederung im Zentralbecken von West-Spitzbergen.

Fig. 2: Subdivision of the Tertiary central basin of western Spitsbergen.

hat. Trotz der klareren Gliederung hat sich seine Einteilung bisher nicht durchsetzen können. Im ganzen Gebiet des Zentralbeckens transgrediert das Tertiär auf Unterkreide. Die Fazies ist derjenigen der Unterkreide recht ähnlich mit dunklen Tonschiefern, Silt- und Sandsteinen. Nur an wenigen Stellen, vorzugsweise im Westen, läßt ein Basis-konglomerat die Schichtlücke deutlicher werden.

Für die kohleführende unterste Sandsteinfohle (= Firkanten-Formation, T₁ der Geol. Karte) werden Mächtigkeiten zwischen 80 und 230 m angegeben. In der Nähe der Kohlenflöze enthalten vor allem feinklastische Siltstein-Schieferlagen eine reiche Flora. Es folgt eine 15—430 m mächtige Folge mit dunklen, bituminösen Schiefern, die sehr fossilarm ist (= Basilika-Formation, T₂). Ein olivgrüner Sandstein löst die feinklastischen dunklen Schiefer ab. Die grüne Farbe der Sandsteine rührt von Chlorit-Mineralen her, nicht von Glaukonit, wie z. T. vermutet wurde. Die Mächtigkeit dieser Sandsteine wird mit 24 bis 240 m angegeben (Sarkofagen-Formation, T₂). Im Profil folgt eine mächtige schwarze Schieferserie, die im hangenden Teil Sandsteinablagerungen enthält. Auffällig ist ein scherbiger Zerfall der sehr kieseligen dunklen Schiefer, deren Mächtigkeit zwischen 200 und 370 m schwankt (Gilsonryggen-Formation, T₃). Eine 50 bis 500 m mächtige, dünnplattige Sandsteinfohle (Battfjellet-Formation, T₄) leitet zur obersten Serie über (Aspelintoppen-Formation, T₅). Dies ist eine kohleflöz- und pflanzenführende Sandsteinfohle mit einer zwischen 100 und 800 m schwankenden Mächtigkeit. Diese Serie ist wegen ihrer topographisch hohen Lage und der damit verbundenen langen Schneebedeckung schwierig zu erreichen.

Auffällig ist der hohe Inkohlungsgrad der Kohle, wobei zwischen den unteren und den oberen Kohlelagen ein deutlicher Unterschied festzustellen ist. Es ist bis heute nicht geklärt, ob der hohe Inkohlungsgrad auf einer regionalen Aufheizung oder auf einer mächtigeren Überlagerung durch heute abgetragene Sedimente beruht.

Die Sedimentfolgen nehmen von den Rändern zum Beckentiefsten und nach Süden an Mächtigkeit zu, so daß sich primär eine nach Süden geöffnete Bucht ergibt, die im Westen, Osten und Norden von Land umgeben war. Dies wird auch deutlich an den in gleicher Richtung abnehmenden Korngrößen der klastischen Gesteine.

Am besten ist die Flora des tiefsten Tertiärs, der kohleführenden Firkanten-Formation, bekannt geworden (SCHWEITZER 1974; LIVŠIC 1973, 1974; MANUM 1962). Die wichtigsten und häufigsten Pflanzen aus dem unteren Pflanzenhorizont sind:

Equisetum grimaldii RENAULT
Ginkgo spitsbergensis MANUM
Metasequoia occidentalis (NEWB.) CHANEY
Sequoia langsdorfii (BRONGN.) HEER
Cercidiphyllum arcticum (HEER) BROWN
Cercidiphyllum crenatum (UNG.) BROWN
Pinus sp.
Picea sp.
Tsuga sp.
Acer arcticum HEER

Die darüber folgenden, etwa 800 m mächtigen Sandsteine und Schiefertone sind limnischer bis mariner Entstehung und führen nur ausnahmsweise geringe Einlagerungen von Kohle- und Pflanzenhäckseln. Erst der höchste Teil des Tertiärs führt wieder reichlich Pflanzen: der obere pflanzenführende Horizont. Dieser besteht aus mehreren fossilführenden Schichten, deren unterste noch in der Battfjellet-Formation liegt; die Hauptmasse der sehr reichen Pflanzenvorkommen liegt in der mächtigen Aspelintoppen-Formation. Wegen ihrer Unzugänglichkeit auf den höchsten, vielfach vergletscherten Höhen sind sie noch nicht zusammenfassend dargestellt worden.

Die wichtigsten unter ihren zahlreichen Arten sind:

Equisetum grimaldii RENAULT
Metasequoia occidentalis (NEWB.) CHANEY
Taxodium dubium (STERNB.) HEER
Credneria spectabilis (HEER) KOCH
Macclintockia lyalli HEER
Cercidiphyllum crenatum (UNG.) BROWN
Cercidiphyllum arcticum (HEER) BROWN
Hamamelis clarus HOLLICK
Aesculus antiquorum (NEWB.) ILJINSK
Tilia malmgrenii HEER

Im ganzen unterscheiden sich unterer und oberer Pflanzenhorizont nicht entscheidend. Ein größerer Anteil laubtragender Bäume im oberen Horizont könnte ökologisch bedingt sein.

Tierische Fossilien sind im Bereich des Hauptbeckens am reichlichsten in den beiden unteren Formationen (Firkanten und Basilika) gefunden worden, in geringerer Vielfalt und Menge in den höheren Lagen und erst neuerdings auch innerhalb der höchsten Formation, der Aspelintoppen-Formation. Im großen und ganzen ist es eine arten- und individuenarme, meist schlecht erhaltene Fauna, deren Bestimmung im Artenbereich, vielfach aber auch noch im Gattungsbereich unsicher ist. Überwiegend sind es Schnecken und besonders Muscheln sowie sandschalige Foraminiferen. Einige der häufiger vertretenen und genauer bestimmten Formen sind:

Gastropoda: *Ampullonatica isfjordensis* VONDERBANK
Aporrhais sp.
Cylichna gracilis (V. KOENEN)
Lamellibranchia: *Nuculana (Jupiteria) haeggi* ANDERSON
Modiolus hauniensis (ROSENKRANTZ)
Conchocele conradii (ROSENKRANTZ)
Tellina div. sp.
Solecurtus div. sp.
Corbicula div. sp.
Arthropoda: *Galathea spitzbergica* GRIPP
Vertebrata: *Pseudamia heintzi* LEHMAN

Dies sind überwiegend Bewohner des küstennahen Flachwassers, neben marinen Formen auch solche ästuariner Bedingungen; unter den Muscheln sind doppelklappig erhaltene Grabformen häufig.

b) Kongsfjord-Gebiet

In der Umgebung von Ny Ålesund (Abb. 3, Pkt. 1) befindet sich ein kleines isoliertes Tertiärgebiet, in dem bis 1963 Kohle abgebaut wurde. Über einem Basiskonglomerat folgen Sandsteine und Tonschiefer in Wechsellagerung, in die mehrere Kohleflöze eingelagert sind. Die Gesamtmächtigkeit dieses Tertiärvorkommens, das in eine junge Überschiebungszone verkeilt und tektonisch stark zerstückelt ist, beträgt ca. 250 m. Das Tertiär transgrediert auf Perm und Trias.

Die eingehendste Darstellung dieses nördlichsten Tertiärvorkommens von Spitzbergen hat ORVIN (1934, 1940) gegeben, die Pflanzenfossilien wurden von SCHLOEMER-JAEGER (1958) beschrieben.

Wichtige pflanzliche Fossilien sind nach der Darstellung von SCHLOEMER-JAEGER u. a. folgende:

Equisetum grimaldii RENAULT
Ginkgo spitsbergensis MANUM
Taiwania schaeferi SCHLOEMER-JAEGER
Sequoia langsdorffii (BRONG.) HEER
Metasequoia occidentalis (NEWB.) CHANEY
Pseudolarix septentrionalis SCHLOEMER-JAEGER
Cercidiphyllum arcticum (HEER) BROWN
Cercidiphyllum crenatum (UNG.) BROWN
Hamamelis clarus HOLLICK
Acer spitsbergense SCHLOEMER-JAEGER
Aesculus longipedunculus SCHLOEMER-JAEGER
Tilia malmgrenii HEER

Tierische, besonders marine Fossilien kommen am Kongsfjord nicht vor.

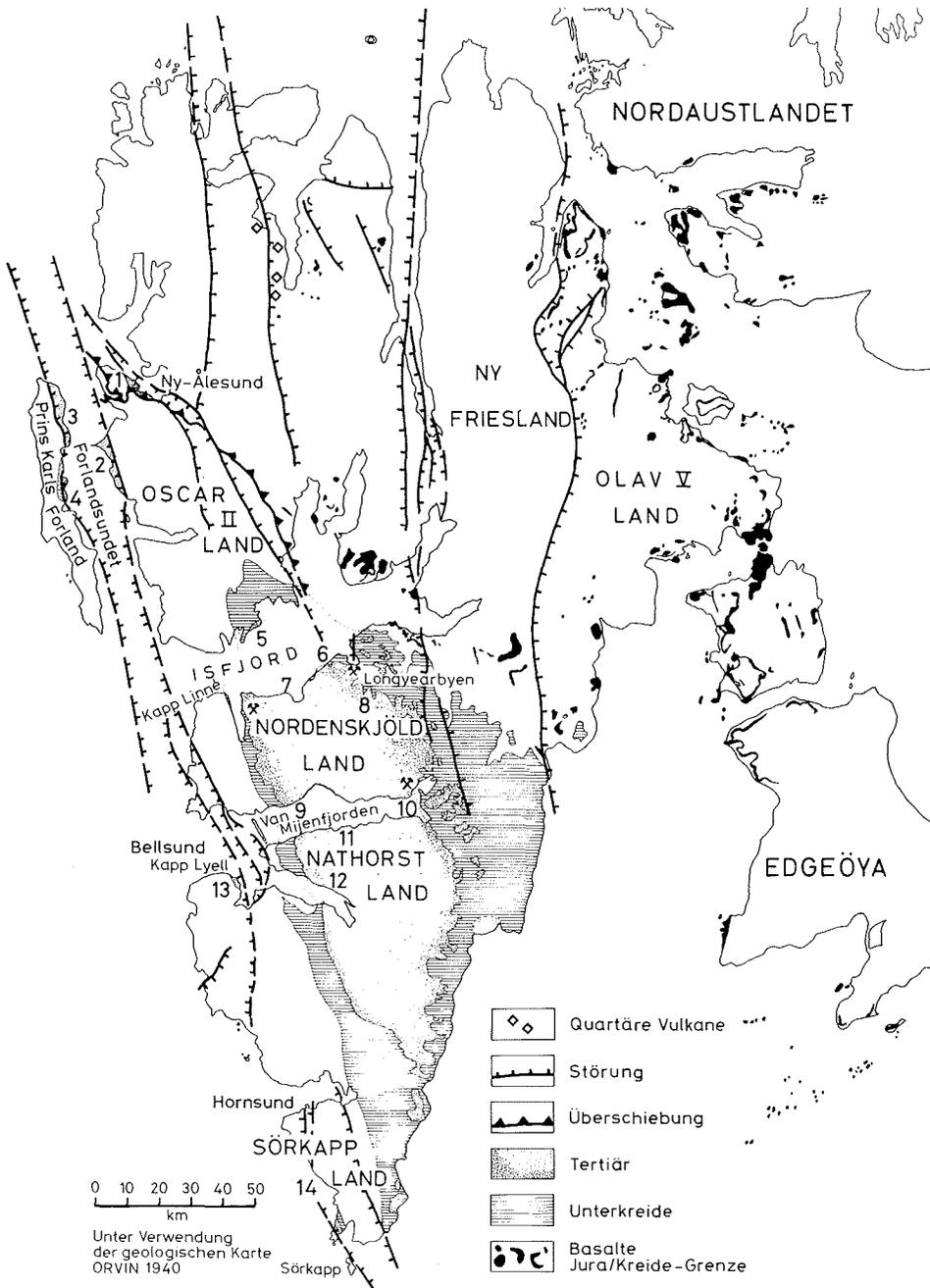


Abb. 3: Geologische Übersichtskarte Spitzbergens (nach ORVIN 1940). Verbreitung von Kreide- und Tertiärablagerungen. Gekreuzte Hämmer = derzeitiger Tertiärkohlenabbau. Ortschaften: 1 = Ny Alesund (Kings Bay), 2 = Sarsbukta, 3 = Aberdeenflya (Nordost-Prins Karls Forland), 4 Selvågen (Zentral-Prins Karls Forland), 5 = Erdmannflya, 6 = Südufer Isfjord, östlich Grumantbyen, 7 = Colesbukta, 8 = Adventdalen (Grube 7), 9 = Camp Morton, 10 = Sveagruba, 11 = Wahlenbergfjellet, 12 = Firkanten, 13 = Kapp Lyell (Renardodden), 14 = Sörkapp (Öyrlandet).

Fig. 3: Generalized geological map of western Spitsbergen (after ORVIN, 1940). Distribution of Cretaceous and Tertiary sediments and igneous rocks. Crossed hammers = productive mining in Tertiary coals. Localities 1—14 as above.

c) *Forlandsundet*

Das Tertiär des Forlandsundes ist sowohl auf dem Prins-Karls-Forland als auch auf dem Oscar-II-Land ausgebildet (Abb. 3, Pkt. 2—4).

Die Tertiär-Füllung des Forland-Grabens, die auf kaledonischem Grundgebirge liegt, besteht ausschließlich aus klastischen Sedimenten, vor allem aus Sand- und Siltsteinen, Tonschiefern, unverfestigten Tonen, Konglomeraten und Brekzien. Ein Teil der Sedimente greift über die tektonischen Grabenränder hinaus. Die Gesamtmächtigkeit der Grabensedimente wird auf etwa 3000 bis 4000 m geschätzt. Das von uns besuchte Gebiet nördlich des Aavatsmark-Gletschers zeigte auffallend grobe Brekzien mit Gesteinsbrocken von mehreren Kubikmetern Größe und Tone, die eine geringe diagenetische Verfestigung aufweisen und daher als das jüngste Tertiär angesehen werden. Die Tertiär-Sedimente auf dem Prins-Karls-Forland sind dagegen stark verfestigt und z. T. stärker herausgehoben. Teile der Sedimentfolgen greifen auch über die westliche Grabenstörung über. Die tertiären Schichten sind nur an wenigen Stellen gut zugänglich, vor allem an der Sarsbukta. Die Fossilführung ist spärlich.

An pflanzlichen Fossilien wurden u. a. genannt (LIVŠIĆ 1974):

Equisetum arcticum HEER
Sequoia langsdorffii HEER
Metasequoia occidentalis (NEWBERRY) CHANEY
Taxodium dubium (STERNBERG) HEER
Cercidiphyllum elegans BUDANTS
Acer arcticum HEER
Tilia malmgrenii HEER

Faunenreste sind spärlich. LIVŠIĆ (1974) führte eine Reihe von Mollusken an, u. a.: *Elliptotellina tellinella* LAM., *Chlamys* ex. gr. *sublaevisatus* NYST. und *Solenocurtus* cf. *deshayesi* DESM.

MANUM (1960) nannte die Dinoflagellaten *Dellandrea phosphoritica* EISENACK, *Svalbardella cooksoniae* MANUM.

Eigene Aufsammlungen erbrachten Foraminiferen und wenige umgelagerte Coccolithen.

d) *Renardodden* (Abb. 3, Pkt. 13)

Auf der Südseite des Bellsundes liegt ein kleines, tektonisch isoliertes Tertiärvorkommen, das ebenfalls westlich des zentralen Beckens liegt, in einer ähnlichen Position wie das Tertiär des Forlandsund-Grabens. Auch hier wird die gesamte, etwa 400—500 m mächtige Folge aus Sandsteinen, Siltsteinen und Tonschiefern mit vereinzelt geringmächtigen Kohleflözen und Lagen mit Pflanzenresten aufgebaut.

Das kleine Vorkommen läßt sich in drei Horizonte gliedern, deren mittlerer marin ist. Wichtigste pflanzliche Fossilien (LIVŠIĆ 1974, SCWEITZER 1974) sind:

Equisetum arcticum HEER
Metasequoia occidentalis (NEWB.) CHANEY
Cercidiphyllum arcticum (HEER) BROWN
Cercidiphyllum lyellii BUDANTS
Acer arcticum HEER
Credneria spectabilis (HEER) KOCH
Tilia malmgrenii HEER

sowie zahlreiche Sporen und Pollen von Gymnospermen und Angiospermen (MANUM 1962), wie z. B.:

Sphagnum sp.
Lycopodium sp.
Pinus sp.
Ulmus sp.
Castanea sp.
Betula sp.
Tilia sp.

Eingelagerte Kohlenschmitzen enthalten u. a. zahlreiche, im Ausgehenden zerbröckelnde Bernstein-Schlieren.

Der marine Horizont führt Bauten von *Ophiomorpha nodosa* LUNDGREN sowie noch nicht genau bestimmte grabende Lamellibranchier, z. T. in Lebensstellung.

e) *Oyrlandet* (Abb. 3, Pkt. 14)

Das südlichste Tertiärvorkommen Spitzbergens ist von uns nur kurz aufgesucht worden. Das morphologisch sehr flache Gebiet ist größtenteils von jungem Moränenmaterial und Strandwällen bedeckt. Im Süden und Osten ist es tektonisch begrenzt, während im Norden eine diskordante Auflagerung auf Unterkreide bestehen soll. Aus diesem Grunde wird das Tertiärvorkommen den Basisschichten des zentralen Beckens zugerechnet.

4. ANALYSE DER TERTIARABLAGERUNGEN

a) *Ökologie*

Erste ökologische Analysen der Flora von Spitzbergen sind SCHLOEMER-JAEGER (1958), MANUM (1962) und SCHWEITZER (1974) zu verdanken. Danach entstanden unterer und oberer Pflanzenhorizont unter verschiedenen Bedingungen.

Der untere Pflanzenhorizont entstand unter paralischen (Küsten-)Bedingungen. Es lassen sich drei Assoziationen unterscheiden (SCHWEITZER 1974):

1. Küstenmoore. Sie erstreckten sich über ausgedehnte Schwemmlandebenen in Küstennähe, aus Schottern und feinklastischem Material aufgebaut. Niederungsmoore, Lagunen und Moorseen führten Sumpf- und Wasserpflanzen, an sie schlossen sich Röhricht- und Riedgraswiesen an. Diese Pflanzen sind bislang noch nicht genau bestimmt.
2. Taxodien-Sumpfwald, charakterisiert vor allem durch *Taxodium* und *Glyptostrobus*.
3. *Sequoia*-Wald. Dieser stand auf trockeneren Standorten und war stark mit *Metasequoia*, *Parataxodium* und *Ginkgo* sowie mit Laubgehölzen durchsetzt.

Der obere Pflanzenhorizont ist dagegen ausgesprochen limnischer Natur, er entstand aus *Metasequoia*- und Laubmischwäldern mit nur wenigen Wasserpflanzen aus flachen Binnenseen. Deren Uferregionen waren mit ausgedehnten Schachtelhalmwiesen (*Equisetum grimaldii*) bestanden. Auch der Farn *Osmunda spetsbergensis* bildete ausgedehnte Bestände. Bei den Bäumen dominierte *Metasequoia*, entweder in reinen Beständen oder vermischt mit *Cercidiphyllum*, *Credneria*, *Betula*, *Hamamelis* und *Acer*.

Die durch Pollen belegten Pinaceen werden auf entferntere Koniferenwälder auf trockeneren Standorten zurückgeführt, da sie makrofloristisch nicht nachgewiesen sind.

Ähnlich waren die Verhältnisse zur Zeit der Ablagerung am Kongsfjord (Brögger-Halbinsel: Abb. 3, Pkt. 1) (SCHLOEMER-JAEGER 1958). Vorherrschend sind *Metasequoia* und *Cercidiphyllum* sowie *Sequoia*. Laubbäume spielten ebenfalls eine größere Rolle als im unteren Pflanzenhorizont. Ökologisch besteht größere Ähnlichkeit mit dem oberen Pflanzenhorizont des Hauptbeckens.

Die wenigen pflanzlichen Fossilien aus dem Forlandsund-Gebiet sind die gleichen wie im Hauptbecken, sie sind aber für eine eingehendere Analyse zu spärlich. Auch für die Flora vom Kapp Lyell (Abb. 3, Pkt. 13) läßt sich keine genaue Einordnung durchführen. Nach SCHWEITZER dominieren hier *Metasequoia* und *Acer*.

Im ganzen ist die Tertiärflora Spitzbergens der heutigen Flora des warm-gemäßigten Südostasiens ähnlich. *Metasequoia*, *Glyptostrobus*, *Taiwania*, *Sciadopitys* und *Pseudo-*

Larix sind heute darauf beschränkt. Im südlichen Nordamerika sind *Sequoia* und *Taxodium* beheimatet.

Verglichen mit der üppigen Pflanzenwelt im tertiären Spitzbergen kann man die faunistische Überlieferung nur als dürftig bezeichnen. Eine eintönige, individuen- und artenarme, wenn auch teilweise dickschalige Molluskenfauna und eine überwiegend aus Sandschalern bestehende Foraminiferenfauna sind das Ergebnis langer und intensiver Suche, außerdem wenige Brachiopoden und marine Mikrofossilien. Bereits von HEER wurden relativ viele Insektenreste angegeben, die aber den Gegensatz zur marinen Fauna eher verstärken.

Doch dürften hier die ökologischen und sedimentologischen Bedingungen eine entscheidende Rolle spielen. Für die dunklen Schiefer wird eine überwiegend marin-brackische Fazies angenommen, was auch durch die spärliche Fauna belegt wird. Es wechseln rein marine mit Gezeiten- und Deltasedimenten ab. Insgesamt nimmt der festländische Einfluß nach oben zu. Einige der Sandsteine werden als fluviatile gedeutet, andere als Nehrungsgürtel mit Lagunen und Gezeitenkanälen (Priele; STEEL 1977). Die fein- bis grobklastischen, außerordentlich kalkarmen tertiären Sedimente sind für die Erhaltung kalkiger Fossilien äußerst ungünstig, so daß Fossilfunde mit Schalenerhaltung fast nur in den seltenen kalkigen Einlagerungen gelungen sind. So ist auch das Überwiegen agglutinierender Foraminiferen und das fast völlige Fehlen von Coccolithen zu verstehen. In 22 Sedimentproben aus unserem Material von Sarsbukta, Aberdeenflya, Selvågn, Renardodden, Sörkapp und dem Isfjord konnte Dr. CEPEK nur drei schlecht erhaltene Coccolithen feststellen.

Die Umgrenzung des tertiären Ablagerungsraumes und die Art der Sedimente lassen auf zeitweilige Aussüßung und Verbrackung des Meerwassers schließen. Dafür spricht auch der hohe Anteil der Cyrenen unter den Muscheln sowie das nahezu völlige Fehlen stenohaliner Formen wie Echinodermen (nur ein winziger Stachel wurde bislang gefunden), Brachiopoden und Korallen. Ein Vergleich mit der heutigen Ostsee liegt nahe.

b) Klima-Analyse

Aus einer Zusammenstellung von SCHLOEMER-JAEGER (1958) ergeben sich für die nächsten Verwandten der häufigsten Formen aus der Flora von Spitzbergen folgende Daten:

1. *Taiwania schaeferi* SCHL.-J.: Nächst verwandte rezente Form ist *T. cryptomerioides* HAYATA, Taiwan, warmgemäßigt, sehr hoher Niederschlag, immergrün, erreicht bis 50 m Höhe.
2. *Sequoia langsdorfii* (BRONG.) HEER: Sehr ähnlich ist *S. sempervirens* ENDL., Westhänge der Coast Range, Nordamerika, Januar-Temperatur 6° C, Schnee sehr selten, regenreich, immergrün, erreicht bis 100 m Höhe.
3. *Metasequoia occidentalis* (NEWB.) CHANEY: Ähnlich ist die rezente *M. glyptostroboides* HU et CHENG aus China (Szetschuan und Hupeh), lebt auf feuchten Abhängen in 700—1300 m Höhe, Januar-Temperatur 6,3°, kaum Frost, unbedeutender Schneefall, Niederschläge 1100—1200 mm hauptsächlich im Sommer, immergrün.
4. *Pseudolarix septentrionalis* SCHL.-J.: Heutige Form *P. kaempferi* GORD., heute in Bergwäldern in Tschekiang und Kiangsu, China, Januar-Temperatur 4,1°, Sommerregen von etwa 1250 mm, sommergrün.
5. *Cercidiphyllum arcticum* (HEER) BROWN: *C. japonicum* SIEB. et ZUCC. von Hokkaido bis Kiuschuu, Japan, Januar-Temperatur bis —7,5°, wenig Frost, 1000—1500 mm Niederschlag hauptsächlich im Sommer, sommergrün.

6. Die großblättrigen Angiospermen wie *Hamamelis*, *Acer*, *Vitis*, *Phyllites platania* weisen auf mildes und feuchtes Klima hin.

Aus dem starken Überwiegen von *Sequoia*- und *Metasequoia*-Resten schloß SCHLOEMER-JAEGER auf günstigste Lebensbedingungen für diese Arten, d. h. Januar-Temperaturen über 0° und ein warmgemäßigtes feuchtes Klima mit jahreszeitlichen Schwankungen (deutliche Jahresringe der Hölzer, herbstlicher Laubfall). Dieser Ansicht schloß sich SCHWEITZER (1974) an, während MANUM (1962), stark beeinflusst von der von ihm bearbeiteten Pollenflora, das Klima „not more than moderately temperate“ nannte. SCHLOEMER-JAEGER wies darauf hin, daß die Vegetationszeit der laubabwerfenden Pflanzen in der regenreichsten Zeit liegt. Immergrüne Hölzer leben in Räumen ohne große Schwankungen oder in Landstrichen, deren regenarme Jahreszeiten nebelreich sind.

Die faunistischen Klimazeugen sind gegenüber den pflanzlichen nicht sehr aussagekräftig. Die Dürftigkeit der marinen tertiären Fauna gehört zu den stärksten Eindrücken für den Besucher, verglichen mit denen des Perms oder auch noch der Trias, und es liegt nahe, sie als Zeichen für niedrige Wassertemperaturen anzusehen. Doch verhindert die geringe Bestimmungs-Genauigkeit definitive Parallelisierungen mit Formen, deren klimatische Ansprüche bekannt sind. VONDERBANK (1970) nahm ein eher kühlgemäßigtes Klima an, bei dem gelegentlich Schneefälle und leichter Frost nicht auszuschließen sind. In der Fauna sind sowohl Formen vertreten, die ähnlich aus dem eozänen Pariser Becken bekannt sind, als auch solche mit Beziehungen zur heutigen Arktis, dies besonders unter den Foraminiferen. HÄGG (1927) verglich die Größe rezenter Vertreter von *Conchocele* aus verschiedenen Gebieten mit fossilen und schloß danach auf eine Wassertemperatur im alttertiären Spitzbergen von 7° C. Großer Wert ist den tierischen Fossilien als Klimazeugen nicht beizumessen. Wahrscheinlich gab es an der Kreide-Tertiär-Wende auch in Polnähe keine „arktischen“ Temperaturen, die heutigen Bewohner dieser Regionen müssen entweder bereits über eine breite Eurythermie verfügt haben oder sich inzwischen an niedrige Temperaturen angepaßt haben; beides macht sie als Klimaindikatoren ungeeignet. Den stärker klimaabhängigen Pflanzen kommt zweifellos ein höherer Aussagewert zu. Doch vermögen z. B. *Metasequoia* und *Ginkgo* heute auch die Winter unserer Breiten zu ertragen.

c) Geologisches Alter

Nachdem HEER (1870) die arktischen Tertiär-Floren generell in das Miozän gestellt hatte, gelangte RAVN (1922) an Hand einer Fauna von marinen Wirbellosen, vorzugsweise Muscheln, zu einer anderen Einstufung. Er stellte die unteren Tertiär-Folgen in das mittlere bis höhere Paläozän, die oberen in das Eozän. Das Alter der Sedimente in den Nebenbecken (Kongsfjord, Renardodden, Forlandsund) ist noch nicht sicher bekannt. Spätere Funde haben RAVNs Altersdatierung nur wenig präzisieren lassen. Teils ließen sie sich wegen ihres Erhaltungszustandes nicht genau genug bestimmen, teils handelte es sich um Endemismen, auch sind es meist ökologisch festgelegte Formen mit geringer Entwicklungsgeschwindigkeit.

Eine Ausnahme scheint die Muschel *Conchocele conradii* (ROSENKRANTZ) zu machen. Sie kommt auf Spitzbergen nur in der Basilika-Formation, dort aber reichlich vor. Andererseits konnte ROSENKRANTZ (1942, 1951) sie in der Agatdalen-Formation Westgrönlands genau datieren. Dort kommt sie im älteren Dan vor (zusammen mit *Tylocidaris oedumi* BR. NIELSEN), direkt über Maastricht mit *Discoscaphiten* und überlagert von höherem Dan mit *Globigerina djaubergensis* BR. NIELSEN. Damit ist ein guter Hinweis darauf gegeben, daß die tieferen Schichten des Hauptbeckens auf Spitzbergen in

das ältere Paläozän zu stellen sind. Entgegen RAVNs Annahme mehren sich die Anzeichen dafür, daß der obere Pflanzenhorizont in das Oligozän gehört; dafür ist besonders LIVŠIC (1973, 1974) eingetreten, nachdem er zeitweilig auch noch Miozän angenommen hatte. Als Hinweis auf oligozänes Alter gab er besonders das Vorkommen der prosobranchen Schnecken *Valvata* sp. und *Hydrobia* sp. (= *Bayania* sp.?) an. Die Bestimmung dieser kleinen Formen scheint einigermaßen unsicher zu sein. Wegen der sehr ähnlichen Floren in beiden pflanzenführenden Horizonten neigte SCHWEITZER (1974) dazu, auch dem oberen paläozänes oder höchstens untereozänes Alter zuzusprechen. Besonders scheint ihm das Vorkommen von *Credneria spectabilis* im oberen Horizont für höheres Alter zu sprechen, wird diese doch als Kreide-Relikt angesehen (E. KOCH 1963). Auch von den Pflanzen her ist kein überzeugendes Alterskriterium zu erbringen. Das Tertiärvorkommen am Kongsfjord (Abb. 3, Pkt. 1) hat keine marinen Fossilien geliefert. Die dortige Flora stimmt ökologisch eher mit derjenigen des oberen Pflanzenhorizonts überein, führt aber andererseits Formen, die bislang nur im unteren Pflanzenhorizont gefunden worden sind, wie *Ginkgo spitsbergensis* und *Sequoia langsdorfii*. LIVŠIC (1973) und mit einigem Vorbehalt auch SCHWEITZER (1974) hielten das Kongsfjord-Vorkommen für etwa zeitgleich mit dem obersten pflanzenführenden Horizont des Hauptbeckens.

Auch vom kleinen Vorkommen am Renardodden (Abb. 3, Pkt. 13) sind bis auf wenige von uns gefundene und die schon von VONDERBANK genannte Lebensspur *Ophiomorpha* keine marinen Fossilien bekannt. Zwar stimmt es lithologisch eher mit der Firkanthen-Formation des Hauptbeckens überein, die Flora aber ist nach SCHWEITZER eher noch „moderner“ als die des oberen Pflanzenhorizontes — *Acer arcticum* ist besonders häufig — doch billigte er ihr höchstens untereozänes Alter zu.

Das Tertiärvorkommen am Forlandsund (Abb. 3, Pkt. 2—4) wurde von HARLAND aus tektonischen Überlegungen heraus als das jüngste auf Spitzbergen angesehen und nimmt eine gewisse Schlüsselstellung ein. Die spärliche Flora ist nicht wesentlich von derjenigen an den anderen Tertiärvorkommen verschieden, und auch die Molluskenfauna ist nicht entscheidend anders. An Mikrofossilien berichtete MANUM (1960) von einem Dinoflagellaten-Fund: *Svalbardella cooksoniae*. Unsere eigenen Proben von Sarsbukta (det. Prof. H. HAGN, München) enthielten Foraminiferen, deren Alter auf Oligozän hindeutete, doch ist tieferes Miozän nicht auszuschließen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Altersangaben für das Tertiär von Spitzbergen in neuerer Zeit nicht wesentlich genauer geworden sind als sie RAVN (1922) möglich waren. Es scheint sich aber die zuerst von LIVŠIC geäußerte Vermutung zu bestätigen, daß die jüngsten Ablagerungen an einigen Stellen oligozänen, wenn nicht gar untermiozänen Alters sind. Aussagen darüber haben bisher nur die Mikrofossilien ermöglicht. Daß die ältesten Ablagerungen dem unteren oder mittleren Paläozän angehören, wird allgemein angenommen.

Eine detaillierte Gliederung wäre allenfalls mit Hilfe von Säugetierfunden möglich. Dies war einer der Gründe für unsere Suche nach Säugetierresten. Der zweite galt der besseren Kenntnis der Säugetiere allgemein und ihrer Wanderwege im hohen Norden.

d) Wirbeltiere im Tertiär der Arktis

Die Säugetierfaunen von Nordamerika und Europa waren einander im Tertiär zeitweilig so ähnlich, daß eine direkte geographische Verbindung zwischen ihnen bestanden haben muß.

Besonders auffällig ist diese Ähnlichkeit an der Paläozän-Eozän-Wende, im Sparnacium, verglichen mit ihrer Unterschiedlichkeit im mittleren Eozän (Lutet), nur etwa 6—8 Mil-

lionen Jahre später. Nach einer Zusammenstellung von McKENNA (1975) waren von 40 sicher bestimmten europäischen Säugetiergattungen im Sparnacium 27 (= 67,5%) auch in Nordamerika vertreten, 2 außerdem in Asien, 13 (32,5%) endemisch. Im Lutet dagegen waren von 57 europäischen Gattungen nur 6 (=10,1%) auch in Amerika vertreten, aber 50 (= 87,7%) endemisch. Bei den im Lutet gemeinsamen 6 Gattungen handelt es sich um solche, die auch im Sparnacium schon beiden Regionen gemeinsam gewesen sind. Zwei so ähnliche Faunen erfordern direkten Austausch untereinander und damit auch direkte Landverbindungen. Diese müssen mithin bis zum Ende des Paläozäns bestanden haben, danach aber bald völlig abgerissen sein, so daß die Entwicklung in beiden Gebieten nach eigenen Gesetzen weiterging. Da Europa bis zum Ende des Eozäns durch die Turgai-Straße von Asien getrennt blieb, konnte seine Fauna nicht von daher beeinflusst werden.

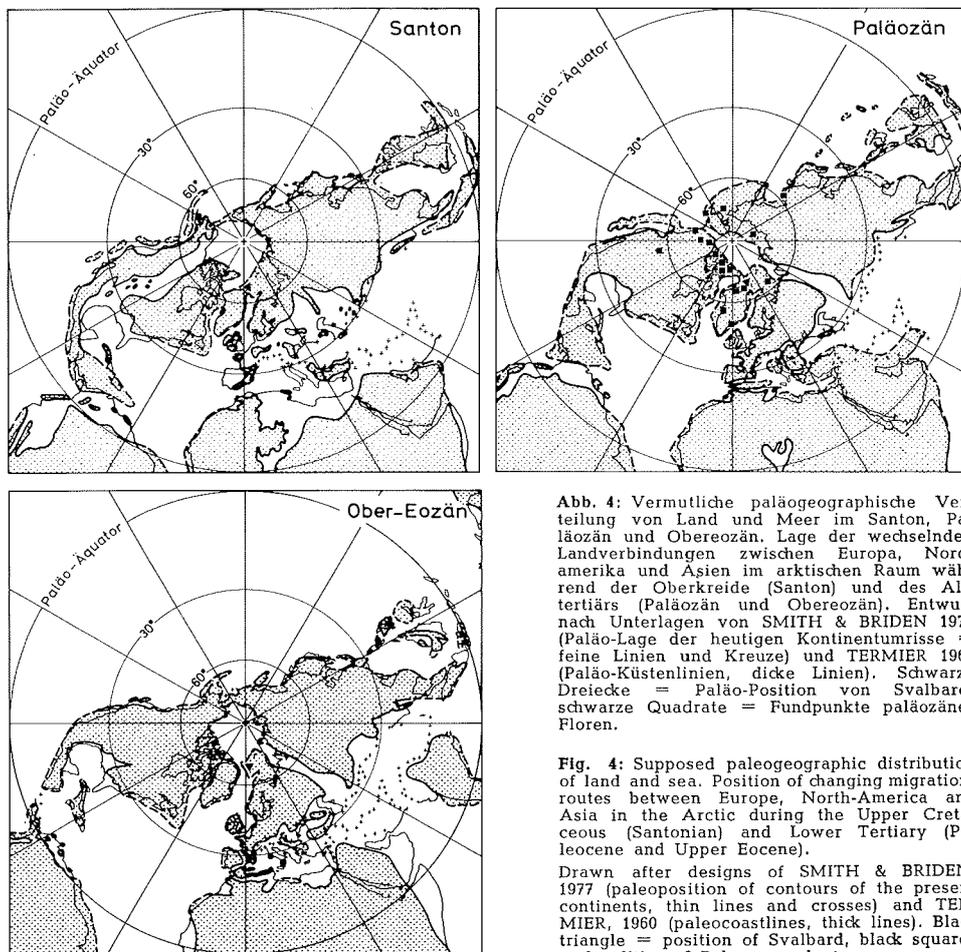


Abb. 4: Vermutliche paläogeographische Verteilung von Land und Meer im Santon, Paläozän und Obereozän. Lage der wechselnden Landverbindungen zwischen Europa, Nordamerika und Asien im arktischen Raum während der Oberkreide (Santon) und des Alttertiärs (Paläozän und Obereozän). Entwurf nach Unterlagen von SMITH & BRIDEN 1977 (Paläo-Lage der heutigen Kontinentumrisse = feine Linien und Kreuze) und TERMIER 1960 (Paläo-Küstenlinien, dicke Linien). Schwarze Dreiecke = Paläo-Position von Svalbard, schwarze Quadrate = Fundpunkte paläozäner Floren.

Fig. 4: Supposed paleogeographic distribution of land and sea. Position of changing migration-routes between Europe, North-America and Asia in the Arctic during the Upper Cretaceous (Santonian) and Lower Tertiary (Paleocene and Upper Eocene).

Drawn after designs of SMITH & BRIDEN, 1977 (paleoposition of contours of the present continents, thin lines and crosses) and TERMIER, 1960 (paleocoastlines, thick lines). Black triangle = position of Svalbard, black squares = localities of Paleocene plants.

Von Amerika her gesehen, muß der Faunenaustausch weit im Norden vor sich gegangen sein, wenn auch in breiter Front, denn der Atlantik war zu der Zeit schon weit offen und auch die Davis-Straße und die Baffin Bay waren seit dem Mesozoikum für Landwirbeltiere unpassierbar. Der Weg führte damit über das nördliche Grönland

(vgl. Abb. 4b). Von dort nach Europa muß er im Sparnacium noch unbehindert gewesen sein, und zwar nicht nur als „Straße“, sondern als „Lebensraum“. Aus heutiger Sicht kämen für den Austausch einerseits die nördliche Route über Spitzbergen, andererseits die südlichere über Island und die Faröer, die sog. Thule-Brücke in Betracht; diese wird heute in zunehmendem Maße für möglich gehalten (STRAUCH 1970, McKENNA 1975 u. v. a.).

Aus geologischen Gründen erscheint der Weg über Spitzbergen (McKENNAs „de Geer-Route“) realistischer. Spitzbergen bildet einen Teil des Barents-Schelfes (FREBOLD 1951; HARLAND 1969, 1973), der zum europäischen Festlandsockel gehört und wie Spitzbergen in der Oberkreide und möglicherweise auch noch im Paläozän zeitweilig landfest gewesen zu sein scheint. Der weitere Weg über Skandinavien — Walbeck — Pariser Becken war damit frei; auch wenn ZIEGLER (1975) von einem „geographic cul-de-sac“ schrieb, so waren doch Skandinavien und der baltische Raum landfest und als Wanderweg geeignet. Das änderte sich nur im Oligozän zeitweilig.

Es liegt nahe, in diesen Regionen nach Säugetieren zu suchen. Aus Skandinavien ist kein Alttertiär bekannt. Auf Spitzbergen hat die Suche (LEHMAN 1951, RUSSELL 1968, LEHMANN 1973) nach tertiären Wirbeltieren bislang nur einen Fischrest (*Pseudamia*) erbracht. Auch die gemeinsame Cambridge-Hamburg-Spitzbergen-Expedition nach Spitzbergen im Sommer 1975 hat trotz großen Einsatzes nicht die geringste Spur von Wirbeltieren erbracht.

Die Suche im Sommer 1975 erstreckte sich auf die Brögger-Halbinsel, auf das Tertiär beiderseits des Forlandsundes (Sarsbukta, Richardlaguna, Selvågn), Renardodden und mehrere Tertiärvorkommen am Van Mijenfjord sowie Sörkapp, nachdem 1972 bereits die Tertiärvorkommen im Süden des Isfjordes bis zum Sandsteinfjellet durchsucht worden waren (LEHMANN 1974). 1975 benutzten wir zusätzlich einen mobilen Schlammapparat, um auch kleinste Splitter zu sichern.

Unter den möglichen Gründen für das negative Ergebnis sind die ungünstigen Erhaltungsbedingungen besonders wichtig: Diese liegen in den großenteils klastischen, \pm kalkfreien Sedimenten sicherlich vor. Die sauren Moorwässer werden das ihrige zur Zerstörung von Knochen und Zähnen beigetragen haben.

Auch der Zufall kann eine große Rolle gespielt haben. Im Verhältnis zur großen Ausdehnung des Landes sind die wirklich zugänglichen Aufschlüsse in den in Betracht kommenden terrestrisch abgelagerten Horizonten nicht sehr ausgedehnt. So ist das Niveau des oberen Pflanzenhorizontes nur selten erreicht worden. Auch die Kleinheit der zu erwartenden Fossilien mag erschwerend sein. Andererseits haben ja nicht nur wir, sondern vor uns viele ausgezeichnete Beobachter ebenfalls keine Wirbeltierreste gefunden.

Daß wirklich keine Wirbeltiere auf Spitzbergen vorhanden gewesen sind, ist sehr wenig wahrscheinlich. Immerhin liegen Wirbeltierfaunen auch in anderen Ländern nicht so reichlich herum wie marine Wirbellose.

Dagegen war die Suche auf der westlichen Seite von Grönland erfolgreicher. Dort haben M. DAWSON und R. M. WEST seit 1973 auf mehreren Expeditionen auf Ellesmere Island in der Eureka Sound-Formation nach und nach umfangreiche paläogene Wirbeltierfaunen gesammelt.

Die Eureka Sound-Formation ist mehr als 3000 m mächtig und besteht aus marinen und terrestrischen Sedimenten von ähnlicher Ausbildung wie auf Spitzbergen. Die terrestrischen Schichten sind dunkle, kohlige Tonsteine, fein- bis mittelkörnige Sandsteine, gering inkohlte Kohlen und stellenweise harte Kalkbänke. Alle Wirbeltierfunde (140

Fundstellen) wurden in einer einzigen stratigraphischen Abfolge in drei verschiedenen Niveaus gemacht.

Die meisten Säugetierreste lagen in fein- bis mittelkörnigen sandigen Rinnenfüllungen, eingeschnitten in hellfarbige, feinkörnige Sandsteine und wechsellagernd mit mächtigen Kohlenflözen.

Das unterste Niveau gehört noch dem überwiegend marinen Teil der Eureka Sound-Formation an und enthielt Reste von teleostomen Fischen und Zähne der Hai-Gattung *Odontaspis*.

Im oberen Teil der Formation wurden zwei fossilführende Niveaus aufgefunden, jeweils in etwa 300—400 m mächtigen Sedimentlagen. Beide enthielten neben Resten von Fischen, Amphibien, Reptilien (darunter Schildkröten und Alligatoren) und Vögeln zahlreiche Reste von Säugetieren, wobei der untere Horizont der ergiebiger war. Im unteren Horizont wurden 18, im oberen 5 Säugetier-Gattungen gefunden (WEST, DAWSON & HUTCHISON 1977). Die untere Fauna wird etwa mit dem Spornacium bzw. Wasatch, die obere mit Vorbehalt mit dem unteren Lutet bzw. dem Bridger gleichgestellt. Das würde eine relativ lange Ablagerungszeit von einigen Millionen Jahren für die obere Eureka Sound-Formation postulieren.

Die untere, artenreichere Säugerfauna hat von 7 genauer bestimmten Gattungen 7 mit Nordamerika, 6 mit Europa (nur *Lambdaotherium* fehlt, ein Vertreter der in Europa ± nicht vertretenen Brontotherien) gemeinsam, aber nur 2 mit Asien. Das bedeutet, daß zur Zeit ihrer Ablagerung noch direkte Landverbindung mit Europa bestand — bzw. daß seit deren Unterbrechung noch nicht genügend Zeit zur Ausbildung endemischer Formen verlossen war. Nach Asien scheint dagegen noch keine direkte Verbindung bestanden zu haben.

Im oberen Horizont sind nur 3 Gattungen namentlich bestimmt, von denen alle drei mit Nordamerika und Asien, aber nur 2 mit Europa gemeinsam sind — in Europa fehlt wieder ein Brontotherier, diesmal *Manteoceras*. Gegenüber Europa hat sich die Situation also nicht verändert, während gegenüber Asien eine bessere Verbindung entstanden zu sein scheint — wenn man die wenigen Gattungen des oberen Horizontes überhaupt in dieser Weise interpretieren darf.

Die Eureka Sound-Fauna enthält als bemerkenswerteste Endemismen 5 Arten von Dermoptera — eine derart vielgestaltige Dermopteren-Fauna ist sonst nirgends bekannt geworden. Ihre Häufigkeit in dieser Polnähe muß besonderen Bedingungen entsprechen. Nordamerika war in jener Zeit das eigentliche Entwicklungszentrum der Säugetiere, während Europa schon durch seine geringe Größe und insulare Zerschnittenheit mehr zur Ausbildung von Endemismen neigte. Die Wanderungen gingen daher vorzugsweise von Nordamerika aus. Von Ellesmere Island bis Grönland war kein weiter Weg, aber ob es von dort über Spitzbergen weiterging oder über die Thule-Route, ist weiterhin unbekannt. Die ältesten Gesteine auf Island sind erst obermiozänen Alters. Für die Beantwortung der Frage nach der letzten Verbindung zwischen Europa und Nordamerika kann auch die an sich erstaunlich reichhaltige Ellesmere-Fauna keinen anderen Anhalt liefern als den Beweis, daß die klimatischen Verhältnisse bis in die höchsten Breiten (Fundstelle heute 78° 45' N, 82° 30' E und im Paläozän dem Pol kaum wesentlich ferner) das Gedeihen reich differenzierter Wirbeltierfaunen zuließen. Grönland braucht nicht einmal als Wanderweg gedient zu haben: im Paläozän lag Spitzbergen noch in seiner ursprünglichen Position an der Nordostecke von Grönland (HARLAND & HORSFIELD 1974). Erst mit der Öffnung des Grönland-Norwegen-Meer (Grönlandsee) wanderte Grönland nordwestwärts in seine jetzige Position in der Nähe von Ellesmere Island. Im

Paläozän scheint Ellesmere Island dem Spitzbergen-Nordeuropäischen Schelf näher gelegen zu haben als Grönland, von Grönland war es durch die nördliche Fortsetzung der Baffin Bay getrennt. Nach wie vor scheint der Schlüssel auf Spitzbergen zu liegen.

5. REGIONALER VERGLEICH SPITZBERGENS

Schon HEER (1868, 1870) wies auf die Häufung von Tertiär-Floren in der heutigen Arktis hin. Inzwischen sind Floren von ähnlicher Zusammensetzung wie diejenigen von Spitzbergen von zahlreichen Stellen bekannt geworden (Abb. 4b).

Charakteristische, oft vorherrschende Arten sind:

Ginkgo-Arten
Sequoia langsdorffii (BRONG.) HEER
Metasequoia occidentalis (NEWB.) CHANEY
Cercidiphyllum arcticum (HEER) BROWN
Macclintockia dentata HEER
Credneria spectabilis HEER

Könnte man bei der Tertiärfloren von Spitzbergen noch versucht sein, sie als Ausnahme zu betrachten und besondere paläogeographische Verhältnisse anzunehmen, aus denen heraus die klimatischen Ansprüche einer solchen Flora erfüllt werden könnten, so läßt die Häufung ähnlich üppiger Floren in der Nähe des damaligen Nordpols keine Alternative zur Annahme eines generell auch in Polnähe milden und feuchten Klimas zu (CLARK 1977). Damit sind A. DALLANDS (1976) von Meereis transportierte Gerölle im Tertiär von Spitzbergen schwer in Einklang zu bringen, auch wenn das tertiäre Hauptbecken fast völlig von Land umschlossen und weitgehend ausgesüßt war.

Heute dauert die Polarnacht auf Spitzbergen 4 Monate. Selbst wenn Spitzbergen im Paläozän weiter im Süden lag, so doch immer noch weit nördlich des Polarkreises, wie auch die übrigen „arktischen“ Tertiärfloren — und übrigens auch die kretazischen Floren z. B. von Kamtschatka und Grönland. Der biologische Einfluß der damit verbundenen langen Lichtlosigkeit scheint geringer gewesen zu sein als man vermuten möchte; es fällt aber auf, daß die sommergrünen Nadelhölzer wie *Metasequoia*, *Cercidiphyllum* und *Pseudolarix* besonders reichlich vertreten sind; auch die Jahresringbildung der Stämme ist ausgeprägt.

Was die Tierwelt betrifft, so waren lange, dunkle, aber relativ milde arktische Winter für die Wirbeltiere wohl kein gravierendes Problem. Wärme ist für Amphibien und Reptilien ein entscheidender Faktor, nicht aber Lichtlosigkeit; die Säugetiere waren sogar primär Nachttiere. Einige unter diesen, wie die Dermoptera, mögen sogar besonders günstige Bedingungen angetroffen haben.

Literatur

- Anderson, H. J. (1970): Pelecypoda. — In: K. Vonderbank, Geologie und Fauna der tertiären Ablagerungen Zentral-Spitzbergens, 89—103, Norsk Polarinst. Skr. 153, Oslo.
- Birkelund, T. & K. Perch-Nielsen (1976): Late Paleozoic-Mesozoic evolution of central East Greenland. — In: A. Escher & W. S. Watt, eds., Geology of Greenland, 304—339, Greenland Geol. Survey, Copenhagen.
- Callomon, J. H., Donovan, D. T. & R. Trümpy (1972): An annotated map of the Permian and Mesozoic formations of East Greenland. — Medd. Grønland 168 (3): 1—35.
- Clark, D. L. (1977): Paleontologic response to Post-Jurassic crustal plate movements in the Arctic Ocean. — In: R. M. West, ed., Paleontology and Plate Tectonics, 55—76, Milwaukee Pub. Mus. Spec. Papers Biol. Geol. 2, Milwaukee.
- Dalland, A. (1977): Erratic clasts in the Lower Tertiary deposits of Svalbard — evidence of transport by winter ice. — Norsk Polarinst. Årbok 1976: 151—166.
- Escher, A. & W. S. Watts, eds. (1976): Geology of Greenland. — Greenland Geol. Survey, 1—603, Copenhagen.
- Frebold, H. (1951): Geologie des Barentsschelfes. — Abh. Akad. Wiss. Berlin, Math. u. allg. Naturw. Kl. 1950 (5): 1—150.
- Hägg, R. (1925): A new Tertiary Fauna from Spitsbergen. — Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala XX: 39—56.

- Harland, W. B. (1969): Contribution of Spitsbergen to understanding of tectonic evolution of north Atlantic region. — Mem. Am. Ass. Petr. Geol. 12: 817—851.
- Harland, W. B. (1973): Tectonic evolution of the Barents Shelf and related plates. — Mem. Am. Ass. Petr. Geol. 19: 599—608.
- Harland, W. B. (1975): Palaeogene correlation in and around Svalbard. — Geol. Mag. 112 (4): 421—429.
- Harland, W. B. & W. T. Horsfield (1974): West Spitsbergen Orogen. — In: E. M. Spencer, ed., Data for orogenic studies, 747—755, Geol. Soc. London Spec. Publ. 4.
- Heer, O. (1868): Die fossile Flora der Polarländer, enthaltend die in Nordgrönland, auf der Melville-Insel, im Banksland, am Mackenzie, in Island und in Spitzbergen entdeckten fossilen Pflanzen. — Flora Fossilis Arctica 1, Zürich.
- Heer, O. (1870): Die miocene Flora und Fauna Spitzbergens. — Flora Fossilis Arctica 2 (3), 1871 K. svenska Vet.-Akad. Handl. 8 (7).
- Henderson, G., Rosenkrantz, A. & E. J. Schiener (1976): Cretaceous-Tertiary sedimentary rocks of West Greenland. — In: A. Escher & W. S. Watts, eds., Geology of Greenland, 340—362, Greenland Geol. Survey, Copenhagen.
- Kellogg, H. E. (1975): Tertiary stratigraphy and tectonism in Svalbard and continental drift. — Bull. Am. Ass. Petr. Geol. 59 (3): 465—485.
- Koch, E. (1963): Fossil plants from the Lower Paleocene of the Agatdalen (Angmártussut) Area, Central Nûgssuaq Peninsula, northwest Greenland. — Medd. Grønland 172 (5): 1—120.
- Lehman, J. P. (1951): Un nouvel amiide de l'Eocène du Spitzberg, *Pseudamia heintzi*. — Tromsø Mus. Arsh. Natur. Avd. 70 (3): 1—11.
- Lehmann, U. (1973): Zur Paläogeographie des Nordatlantiks im Tertiär. — Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Hamburg 42: 57—69.
- Lehmann, U. (1974): Bericht über die Spitzbergen-Expedition des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Hamburg. — Norsk Polarinst. Arbok 1972: 107—110.
- Livšić, Ju. Ja. (1965): Paleogenovye otloženija Zemli Nordenšel 'da (Zapadniy Spicbergen) [Paleogene deposits of Nordenskiöld Land (Vestspitsbergen)]. — In: V. N. Sokolov, ed., Mat.-ly po geologii Spicbergena, 185—208, Nauč.-issl. inst. geol. Arktiki, Leningrad.
- Livšić, Ju. Ja. (1973): Paleogenovye otloženija i platformenaja structura Spicbergena [Paleogene deposits and the platform structure of Svalbard]. — Trudy Nauč.-issl. inst. geol. Arktiki 174: 1—159, Leningrad.
- Livšić, Ju. Ja. (1974): Palaeogene deposits and the platform structure of Svalbard. — Norsk Polarinst. Skr. 159: 1—50.
- Major, H. & J. Nagy (1972): Geology of the Adventdalen map area. — Norsk Polarinst. Skr. 138: 1—58.
- Manum, S. (1960): Some Dinoflagellates and Hystrichosphaerids from the Lower Tertiary of Spitsbergen. — Nytt Mag. Bot. 8: 17—25.
- Manum, S. (1962): Studies in the Tertiary flora of Spitsbergen with notes on the Tertiary floras from Ellesmere Island, Greenland, and Iceland. — Norsk Polarinst. Skr. 125: 1—127.
- McKenna, M. (1975): Fossil mammals and Early Eocene North Atlantic land continuity. — Ann. Missouri Bot. Garden 62 (2): 335—353.
- Nathorst, A. G. (1910): Beiträge zur Geologie der Bären-Insel, Spitzbergens und des König-Karls-Landes. — Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala 10: 261—416.
- Øvrebø, O. & E. Talleraas (1977): The structural geology of the Troms area (Barents Sea). — Geojourn. 1 (1): 47—54.
- Orvin, A. K. (1934): Geology of the Kings Bay region, Spitsbergen. — Skr. Svalbard Ishavet 57: 1—195, Oslo.
- Orvin, A. K. (1940): Outline of the geological history of Spitsbergen. — Skr. Svalbard Ishavet 78: 1—57, Oslo (2nd ed. 1969).
- Raunsgaard Pedersen, K. (1976): Fossil floras of Greenland. — In: A. Escher & W. S. Watts, eds., Geology of Greenland, 519—535, Greenland Geol. Survey, Copenhagen.
- Ravn, J. P. J. (1922): On the mollusca of the Tertiary of Spitsbergen. — Result. norske staatsunderst. Spitsbergeneksped. 1 (2): 1—28.
- Rosenkrantz, A. (1942): Slaegten *Thyasira*'s geologiske optraeden. — Medd. dansk geol. Foren. 10: 277—278.
- Rosenkrantz, A. (1951): Kridt- og Tertiærformationens stratigrafiske forhold i Vestgrønland. — Medd. dansk geol. Foren. 12: 155—157.
- Rosenkrantz, A. (1970): Marine Upper Cretaceous and Lowermost Tertiary deposits in West Greenland. — Medd. dansk geol. Foren. 19: 406—453.
- Russell, D. E. (1968): Succession, en Europe, des faunes mammaliennes au début du Tertiaire. — Mém. Bur. Rech. Géol. Min. 58: 291—296.
- Rønnevik, H. & T. Navrestad (1977): Geology of the Norwegian shelf between 62°N and 69°N. — Geojourn. 1 (1): 33—46.
- Saemundsson, K. (1974): Evolution of the axial rifting zone in Northern Iceland and the Tjörnes fracture zone. — Bull. Geol. Soc. Am. 85: 495—504.
- Schloemer-Jaeger, A. (1958): Alttertiäre Pflanzen aus Flözen der Brögger-Halbinsel Spitzbergens. — Palaeontographica B 104: 39—103.
- Schweitzer, H. J. (1974): Die „Tertiären“ Koniferen Spitzbergens. — Palaeontographica B 149: 1—89.
- Smith, A. G. & J. C. Briden (1977): Mesozoic and Cenozoic paleocontinental maps. — Cambridge, 63 pp.
- Soper, N. J., Higgins, A. C., Downie, C., Matthews, D. W. & P. E. Brown (1976): Late Cretaceous-Early Tertiary stratigraphy of the Kangerdlugssuaq area, East Greenland and the age of opening of the north-east Atlantic. — Journ. Geol. Soc. 132: 85—104.

- Steel, R. J. (1977): Observations on some Cretaceous and Tertiary sandstone bodies in Nordenskjöld Land, Svalbard. — Norsk Polarinst. Årbok 1976: 43—68.
- Strauch, F. (1970): Die Thule-Landbrücke als Wanderweg und Faunenscheide zwischen Atlantik und Skandik im Tertiär. — Geol. Rdsch. 60 (1): 381—417.
- Termier, H. & G. Termier (1960): Atlas de paléogéographie. — Paris, 99 pp.
- Tessensohn, F. (1976): Lineare und zentrische Elemente im geologischen Bau Islands. — Geol. Jb. B 20: 57—95.
- Vonderbank, K. (1970): Geologie und Fauna der tertiären Ablagerungen Zentral-Spitzbergens. — Norsk Polarinst. Skr. 153: 1—120.
- Voo, van der, R. & R. B. French (1974): Apparent polar wandering for the Atlantic-bordering continents: Late Carboniferous to Eocene. — Earth Science Rev. 10: 99—119.
- West, R. M., Dawson, M. R. & J. H. Hutchison (1977): Fossils from the Paleogene Eureka Sound Formation, N.W.T., Canada: occurrence, climatic paleogeographic implications. — In: R. M. West, ed., Paleontology and Plate Tectonics, 77—93, Milwaukee Pub. Mus. Spec. Papers Biol. Geol. 2, Milwaukee.
- Ziegler, P. A. (1975): Geologic evolution of the North Sea and its tectonic framework. — Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 59: 1073—1097.
- Ziegler, P. A. (1977): Geology and hydrocarbon provinces of the North Sea. — GeoJourn. 1 (1): 7—32.