

Zur Entwicklung der Fusuliniden.

Von Hans v. Staff.

Die mikroskopische Durchsicht von etwa 1000 Dünnschliffen, die unter anderem fast das gesamte Material des zu früh verstorbenen E. SCHELLWIEN¹, sowie alle erreichbaren Schliffe von v. MÖLLER, KROTOW, SCHWAGER, VOLZ, FRECH, YABE², sowie des nordamerikanischen National-Museums und meine eigenen umfassen, hat mich auf eine Reihe von Gesichtspunkten hingewiesen, die vielleicht zur Erklärung einiger allgemeinerer Probleme von Interesse sein können. Doch wollen die folgenden Sätze weniger als abschließende Lösungen verwickelter Fragen, als vielmehr als Anregung zu weiteren Beobachtungen angesehen werden. Ihr Zweck wäre demnach, wenn sie mit den Ergebnissen weiterer Forschung nicht mehr in Einklang zu bringen wären, nicht verfehlt, sondern erst eigentlich erreicht. — An eine zunächst zu gebende Zusammenfassung seien einige den Entwicklungsgang der Nummulitiden vergleichsweise berücksichtigende Vermutungen geknüpft und einige Bemerkungen über die Intensität der sogenannten permischen Eiszeit angeschlossen.

I. Eine kritische Darstellung des bunten Wechsels der phylogenetisch eng zusammenhängenden, morphologisch sehr unterschiedenen Fusulinidenformen würde etwa folgendermaßen zu gestalten sein: Freischwimmende, teils noch agglutinierende, teils kalkschalige Foraminiferen mit involuter und fast symmetrischer Aufrollung nautiloider Form gehen allmählich über zu rein kalkigen Schalen und immer symmetrischeren, kugeligeren Formen. Septen und Wände, die bei *Endothyra* meist noch wenig differenzierten Bau zeigen, akzentuieren sich allmählich schärfer. Die Septen werden bei *Fusulinella* regelmäßiger, auch wohl etwas gefältelt, und biegen in fast rechtem, scharf markiertem Winkel nach innen ab. Die Kommunikationsöffnungen beschränken sich jetzt mehr und mehr auf die in der Mitte des untersten Teiles des Septums gelegene „Mundspalte“, sowie die seitlichen, in seinem Untersaum durch die Fältelung gebildeten kleineren Öffnungen. Bei

¹ Dieses Material wurde mir zugänglich durch die Liebenswürdigkeit von Herrn Prof. FRECH, der mir die Herausgabe und Fortführung von SCHELLWIEN'S „Monographie der Fusulinen“ übertrug. Ihm und Herrn Prof. TORNQVIST, dessen gütiges Entgegenkommen mir die Untersuchung der Schliffe wesentlich erleichterte, erlaube ich mir auch an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

² Herr Dr. YABE hatte die Liebenswürdigkeit, mir persönlich eine Anzahl seiner vorzüglichen und hochinteressanten Schliffe zu zeigen und zu erklären. Auch ihm sage ich hierfür meinen besten Dank.

Schwagerinen der *princeps*-Gruppe, sowie bei einigen amerikanischen Fusulinen (*Fus. scialis*) finden sich jedoch — sei es als Rückschlag infolge Konvergenz der Lebensweise, sei es, daß ihre Vorfahren stets diese Septalporen beibehalten hatten — auch poröse Septen (vergl. *Fus. arctica*, *Fus. incisa* etc.). Im Beginne des Obercarbon geht ein Teil der bis dahin erst den Typ der Fusulinellen oder der entwickelteren Endothyren (*E. Boumanni*, *E. crassa* etc.) repräsentierenden Formen zu einer anderen Lebensweise über. Ein freies¹ Kriechen am Meeresgrunde (und Abweiden von Algen etc.) läßt wahrscheinlich die gestrecktere fusulinenhafte Form entstehen. Nicht mehr die Leichtigkeit, sondern die Festigkeit der nicht porösen² Schale wird angestrebt. Ein

¹ Im Gegensatz z. B. zu den sich festheftenden Orbitoliten. Beachtenswert erscheint mir für diese Fragen auch die teilweise auffällige Konvergenz der Form bei *Schwag. princeps* und gewissen Ammoniten und Bellerophonitiden. Einige Gruppen dieser höheren Tiere gleichen in Größe und Gestalt zuweilen derartig den kugeligen Schwagerinen, daß mir ein Rückschluß auf eine gewisse Gleichartigkeit der Lebensweise nicht gänzlich unbegründet erscheint. Namentlich die Fauna des Siosiokalks (dessen oftgenannte, bisher nie beschriebene *Fusulina* sich als echte *Schwagerina* erwies!), wie sie GEMMELLARO abgebildet hat, enthält sehr instructive Beispiele. Ich glaube, daß in diesen Fällen die Annahme einer Konvergenz infolge Gleichartigkeit der Lebensverhältnisse gesicherter wäre, als eine Erklärung des sehr auffälligen Phänomens durch Mimicry oder dergl., da die Schalenkonstruktion doch zu sehr eine Lösung mechanischer Probleme darstellt, als daß bei gegebenen äußeren Bedingungen eine beträchtlichere Variabilität möglich wäre.

² Was von älteren Beobachtern bei den Fusuliniden bisher als Poren bezeichnet wurde, ist ein wesentlich anders aufzufassendes Strukturmerkmal. Das Verdienst, gegen die fast erdrückende Autorität v. MÖLLER'S, SCHWAGER'S, SCHELWIEN'S zuerst Zweifel geäußert zu haben, gebührt W. VOLZ, der als erster eine schematische Abbildung gab, die für das Genus *Sumatrina* die tatsächliche Porenlosigkeit der Wand und ihre Zusammensetzung aus zwei Strukturelementen, Dachblatt und Dachskelett, klar zur Anschauung brachte. Auch H. GIRTY äußerte Bedenken gegen die bisherige Annahme einer Porosität der Fusulinenwand. H. YABE schloß sich diesen Bedenken gleichfalls an. Der Liebenswürdigkeit von Herrn Prof. W. VOLZ, der mir in dieser Frage mehrfach bereitwilligst zur Seite stand, verdanke ich eine Reihe von Hinweisen, die mir beim Studium dieses Problems von sehr großem Werte waren. — Die Untersuchungen H. DOUVILLE'S ergeben ebenfalls mit so zwingender Notwendigkeit die Porenlosigkeit der Fusulinidenschale, daß eine wesentliche Umgestaltung der Systematik und Nomenklatur (Perforata—Imperforata!) nicht nur gerechtfertigt, sondern dringend geboten erscheint. Mit W. VOLZ schlage ich demnach für die äußerste, unporöse, sehr dünne Kalkschicht, die im Schließ ganz dunkel erscheint, den Namen Dachblatt vor. Das Maschenwerk, das als Stütze dieses Dachblattes durch ein System sich durchkreuzender Lamellen, deren wabenartige Anordnung zwischen sich nur mehr oder weniger engstehende röhrenförmige Hohlräume läßt, gebildet

eigenartiges System von Maschen, die das dünne Dachblatt stützen, hat sich ausgebildet. Die Septen werden zahlreicher und oft sehr intensiv gefaltet. Die Fältelung nimmt immer regelmäßigeren Formen an, die Enge der Aufrollung und oft die Streckung nimmt zu. Von der Gruppe der *Fus. alpina* zu *Fus. gramma-avenae*, *Fus. japonica* und den Saltrangetypen ist eine Entwicklung in diesem Sinne deutlich. Die gut angepaßten und daher teilweise über weite Gebiete verbreiteten Formen erreichen meist bedeutende Größe (bis etwa 2,4 cm). Das vermehrte Atmungs- und Stoffwechselbedürfnis löst das Problem der Kommunikationsöffnungen auf mannigfache Art. Auch hier ist morphologisch ein Übergang von der fast „porenlosen“, überaus dünnwandigen, d. h. kurzwabigen, wohl im Brackwasser lebenden *Fus. obsoleta* zu der dickwandigen grobmaschigen *Fus. Krafftii* von Darwas und den sumatrischen Typen vorhanden.

Die wiederholten Schwankungen der Grenzen von Land und Wasser im Obercarbon und in der unteren Dyas lassen immer neue Varietäten entstehen. Fast stets sind Jugend- und Alterswindungen erheblich verschieden, als Zeichen, daß die Arten rascher Umprägung unterliegen.

Aus gebläht spindelförmigen benthonischen Formen entsteht die pelagische¹, freischwimmende, kugelige *Schwagerina*

wird, sei Dachskelett genannt. (Die Hohlräume hat, ohne sie richtig gedeutet zu haben, abgebildet SCHELLWIEN, Palaeontographica. 44. Taf. XXII, Fig. 5 u. 6.) Vgl. W. VOLZ, Geol. u. Pal. Abh. KÖKEN 1904. 10. p. 177—194. — H. DOUVILLÉ in Compt. rend. séance Ac. Sci. Paris 1906, Bull. soc. géol. de France 1906. 4^o. Sér. VI. p. 576 und 588. — H. GIRTY in Am. Journ. Sci. 1904. 17. — H. YABE in Journ. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo Japan, 1906. 21. 5. p. 6 und 7. — Übrigens dürfte es sich hier, soweit ich nach eigenen Schriffen urteilen kann, um eine Frage handeln, die zunächst lediglich theoretischer Lösung zugänglich ist: Da das Dachblatt dünner als ein Dünnschliff ist, könnte nur ein das Dach von außen tangierender Schliff beweisend sein, und diese Eigenschaft eines Schliffes wäre, selbst wenn zufällig erreicht, wohl kaum nachweisbar. — Übrigens verspricht R. J. SCHUBERT (Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. 1903. p. 376/377) an anderer Stelle Gründe für die Porosität anzugeben.

¹ Ein Rückschluß auf diese Veränderung der Lebensweise läßt sich mit einem gewissen Grade von Wahrscheinlichkeit ziehen, wenn wir die verschiedene Art des Vorkommens bei Fusulinen und Schwagerinen vergleichen. Die mit den im allgemeinen provinziell verbreiteten benthonischen Fusulinen zusammen, wenn auch allerdings nur äußerst spärlich vorkommenden Productiden, Crinoidenstielglieder, *Cidaris*-Stacheln etc. lassen im Verein mit der petrographischen Beschaffenheit des Versteinerungsmediums, zwischengelagerten Korallenbänken, Oolithen und Landpflanzen, bezw. kohlenführenden Schichten, auf eine ufernahe Zone vorwiegend kaltriger Sedimentation schließen, deren Tiefenmaximum im allgemeinen 100—200 m nicht überschreiten dürfte. Die Lage der einzelnen Fusulinen-

princeps. Sie knüpft an die Formenreihe der *Fus. regularis—incisa—secalis* (und *Fus. simplex*) an. Das Ideal der Leichtigkeit der Schale scheint hier erreicht. Weniger aktiv, als vielmehr passiv verbreiten sich ihre charakteristischen Gehäuse rasch über die ganze Erde. Die Entstehung dürfte im mediterranen (bezw. russischen) Gebiete oder in Nordamerika zu suchen sein, da hier sich verschiedene Zwischenformen zu einem primitiven, diesen Gegenden gemeinsamen Fusulinentyp finden. — Aber die Lebensbedingungen wurden, vielleicht nur lokal, für diese Schwagerinengruppe allmählich ungünstiger. Größere Festigkeit der Schale, die auf ein Leben in größerer Tiefe hindeuten könnte, wird erfordert. Andere Nachkommen der Fusulinellen suchen sich den neuen Verhältnissen anzupassen. Die Septen verlieren die Poren, die auf den Untersaum der Septen beschränkte Fältelung wird stärker, die Umgänge werden enger, das Maschenwerk der Wände dichter. *Verb. Verbecki*, *Dol. lepida* treten auf, versteifen sich z. T. durch ein Basalskelett und treten bald wieder hinter seltensamen Gebilden zurück, die C. SCHWAGER als *Schwag. craticulifera*, H. YABE als *Neoschwagerina*, W. VOLZ als *Sumatrina* bezeichnete. In der rhombischen bis tonnenförmigen Gestalt des Achsenschnitts und der z. T. überaus starken Versteifung der oft zahlreichen Umgänge des Gehäuses, sowie im Bau der ersten Windungen sind alle diese Formen wesentlich von den Schwagerinen unterschieden. Der Ausbildung dieser extremen Formen scheint namentlich der Küstengürtel des großen Pazifischen Ozeans der Paläodyas günstig gewesen zu sein. Ob und wie weit eine Abkühlung, etwa die der „dyadischen Eiszeit“, hier eingewirkt hat, ist nicht mit Gewißheit zu sagen (vergl. KOKEN im Festbande des N. Jahrb. f. Min. etc. 1907). Doch wäre es denkbar, daß die Bewohner der Oberfläche (*Schwag. princeps*) oder des flachen Meeresgrundes (Fusulinen des kleinen spindelförmigen Typs) unter ihrem Ein-

fundorte auf der Erde scheint in ihren Beziehungen zu den Meeresgebieten des Carbon und Perm dem Gesagten durchaus zu entsprechen. — Eine weitere Stütze meiner Ansicht sehe ich in den Folgerungen, die J. WALTER aus der Verbreitungsweise der lebenden Thalamophoren zieht. Seine Worte („Die Lebensweise der Meerestiere“. Jena 1893. p. 209 und 211) stimmen vollkommen mit dem an *Fusulina* zu Beobachtenden (provinzielle Verbreitungsweise etc.) überein:

„Foraminiferen lieben nicht kiesige oder grobsandige Gebiete des Meeresbodens, ziehen vielmehr ein feinkörniges, schlammiges Sediment vor.

Sobald irgendwo benthonische Foraminiferen im Vergleich zu pelagischen Arten in einem Absatz häufig vorkommen, so zeigen sie relativ seichtes Wasser und die Nähe von Land an . . .

. . . Alles das spricht dafür, daß die benthonischen Foraminiferen für die Beurteilung von Lokalfaunen und von Faziesunterschieden einen hohen Wert besitzen, aber als Leitfossilien nicht gut brauchbar sind.“

fluß zu leiden hatten und teils sich umbildeten, teils anderen, an etwas größere Meerestiefen angepaßten und wohl versteiften¹ Formen das Feld mehr und mehr räumen mußten. In die obere Dyas sollen (nach DOUVILLÉ², doch ist diese Frage noch nicht geklärt) einige wenige Formen, namentlich Neoschwagerinen (*YABE's globosa*-Typ?), übergehen, um hier bald endgültig auszusterben. Die große Seltenheit von Metazoenresten in fusulinidenführenden Schichten macht Altersbestimmungen oft recht schwierig, zumal gerade aus den höchsten in Frage kommenden Schichten (China, Kleinasien etc.) noch viel zu wenig Material vorliegt. Das Problem des Aussterbens der Fusuliniden ist daher bis jetzt noch nicht völlig gelöst, und ihr Verschwinden nach einer kurzen Blüte, ihre weltweite Verbreitung ebenso, wie der Reichtum an Formen, fordert unwillkürlich zu einem Vergleich mit den ebenso arten- und individuenreichen, den Fusuliniden eng verwandten Nummulitiden auf.

II. Zweimal im Laufe der Erdgeschichte gelangt fast unvermittelt ein Stamm der Foraminiferen in sehr eigenartiger Weise zu einer stratigraphischen Bedeutung, die ihnen im Reiche der Protisten eine Sonderstellung einräumt. Von offenbar relativ kleinen und nicht ganz regelmäßigen Typen leiten sich sehr große Formen, teilweise wahre Riesen ihres Geschlechts, ab, deren überaus komplizierter Schalenbau eine erstaunliche Symmetrie aufweist. Fusuliniden und Nummulitiden sind involut (eine Ausnahme bildet nur *Assilina*), und ihre medialen Sagittalschnitte gleichen sich in überraschender Weise. Häufiger Dimorphismus und manche andere Besonderheit des Schalenbaus sind beiden gemeinsam. Beider Auftreten bietet zudem auch in der ganzen sprunghaften Art des Erscheinens, des Weltoberbens und des Erlöschens nach verhältnismäßig kurzer Blütezeit so viel Analoges, daß unwillkürlich die Frage sich aufdrängt, ob es nicht etwa ganz allgemeine erdgeschichtliche Faktoren seien, deren Wiederkehr zu zwei verschiedenen Zeiten das gleiche Phänomen herbeiführt. Und wirklich scheint sehr vieles für eine derartige Annahme zu sprechen.

Der Schluß des Paläozoikums teilt mit dem Beginn des Tertiärs eine Reihe von Eigenschaften, die beiden Zeiträumen eine Sonderstellung zuweisen. Es handelt sich um etwa folgendes:

a) Eine erdumspannende Gebirgsfaltung beginnt in der Mitte des Carbons wie an der Wende zwischen Kreide und Tertiär.

¹ Während in sehr großen Meerestiefen die Bildung dicker Kalkschalen durch die kalklösende Einwirkung des zunehmenden Kohlensäuregehalts und die niedere Temperatur gehindert wird, dürfte an der Untergrenze des vertikalen Lebensbezirks der Fusuliniden der Wasserdruck schon eine erhebliche Versteifung des Gehäuses erfordern haben bei Organismen, die schon aus Gründen des Stoffwechsels und der Atmung den innersten Teil der involuten Schale nicht mit Sarkode erfüllen konnten.

² Bull. Soc. géol. France 1906, p. 576—587.

b) In einer hierauf folgenden Zeit relativ hoher, auf der ganzen Erde ziemlich gleichmäßiger Temperatur entstehen mächtige Lager von Stein- bzw. Braunkohlen. Die Atmosphäre ist kohlen-säurereich. Die mit der Gebirgsfaltung einsetzende sehr intensive Verwitterung verwandelt die Silikate in gewaltigen Mengen in Carbonate (vergl. FRECH, Zeitschr. Ges. f. Erdk. 1902. p. 690). Dazu kommt noch die ebenfalls höchst beträchtliche Masse des in früheren Perioden als Sediment gebildeten, jetzt gehobenen und der Verwitterung preisgegebenen Calciumcarbonats.

c) Im Obercarbon wie im Eocän verbreitet sich plötzlich eine Foraminiferengruppe weltweit und bildet durch den Kalk ihrer Schalen Sedimente von großer Mächtigkeit.

d) Eine langsam eintretende Abnahme der Temperatur (die in der Paläodyas sogar eine Art „Eiszeit“ veranlaßt) läßt allmählich ausgeprägte Klimazonen entstehen¹. Die Fusuliniden beginnen langsam auszusterben und sind zu Beginn der Neodyas so gut wie vollständig verschwunden. Ebenso scheint die (wohl von den meisten Forschern angenommene) Abkühlung des Oligocäns auf die Nummuliten intensiv einzuwirken, denn schon im Beginn dieser Periode verschwinden sie vollständig.

Es liegt nahe, etwa folgenden Zusammenhang der allgemeinen Vorgänge mit dem Schicksale der genannten Foraminiferengruppen zu vermuten. Die gebirgsbildenden Kräfte veränderten die Grenzen von Kontinenten und Meeren namentlich im Gebiete der Kontinentalsockel, die sowohl den echten Fusuliniden² wie den Nummuliten (sowie den paläogenen Lepidocyclinen, Miliolinen, Orthophragminen und Alveolinen) zur Wohnstätte dienten, wiederholt und erheblich. Dieser Wechsel der Lebensbedingungen beförderte die Artbildung. Das warme Klima (im Verein mit dem Kohlensäuregehalt der Luft) gab die Möglichkeit zur Bildung mächtiger organogener Kalksedimente³. Alle derartigen Ablagerungen, die aus Zeiten

¹ Einer Wiedererwärmung in der Mitte des Dyas(?) folgte im Zechstein ein erneutes Herabgehen der Wärme (vergl. FRECH, l. c. 1906. p. 541) und das definitive Erlöschen der letzten Neoschwagerinen. (Diese „Wiedererwärmung“ wäre jedoch lediglich dann anzunehmen, wenn eine „Eiszeit“ voranginge. Sonst läge ein gleichmäßiges Absinken der Temperaturen von der Obergrenze des Carbon bis in die Zechsteinzeit vor.)

² Eine Karte der Verbreitung der Fusuliniden zeigt einige auffallende Besonderheiten. Einmal gehören die Fusuliniden fast lediglich der Nordhemisphäre an, da ein mächtiger, Südamerika z. T., Afrika, Vorderindien und Australien umfassender Kontinent ihr Vordringen nach Süden hinderte. (Nur Itaituba und ?Bolivia liegen südlich des Äquators.) Ferner liegen die Fundorte nie mehr als höchstens ca. 1500 km von den Küsten der obercarbonen Kontinente entfernt.

³ Dafür, daß die Fusuliniden lediglich in ziemlich warmem Wasser zu existieren vermochten, spricht eine ganze Reihe von Umständen. Einmal ist ihre Entstehung in einer Zeit erfolgt, in der bis zum Polarkreis

mit Klimazonen stammen, sind tropisch oder subtropisch. Pachyodonten, Korallen (und auch *Globigerina*, *Orbitoides* etc.) sind an hohe Temperatur gebunden, ebenso wie die rezenten Orbitoliten.

Daß derartige Strandverschiebungen in warmem Klima die Entwicklung von kalkschaligen Foraminiferen mit sehr großer, regelmäßiger, mehr oder weniger involuter (resp. assilinenhafter — bei Festheftung? —) Schale begünstigen, scheint u. a. auch durch das Verhalten von *Orbitolina* (*O. lenticularis* und *O. concava*) bewiesen. Der Höhepunkt der Orbitolinen fällt in die Zeit der großen Transgressionen am Schluß der unteren Kreide. Ihr endgültiges Erlöschen im Cenoman erscheint als Folge des Abschlusses der dem Meere Calciumcarbonat zuführenden Strandverschiebungen und vor allem der beginnenden Abkühlung, welche die Oberkreide charakterisiert.

Eine derartige einschneidende Änderung der allgemeinen klimatischen Bedingungen mag hoch spezialisierten Formen der Protisten wohl besonders verhängnisvoll werden, namentlich wenn diese bereits in ihrer eigenen Organisation eine Tendenz zeigen, die einer Fortentwicklung entgegensteht. Als eine solche, die Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit lähmende Tendenz wäre vielleicht die „Involutität“¹ (Streben nach nautiloider Einrollung) anzusehen, die bei größeren Individuen naturgemäß Atmung und

Korallen lebten, d. h. in der die Temperatur bis dorthin nie unter 20° sinken durfte. Ferner wechselten die fusulinidenführenden Schichten sehr häufig mit Oolith- oder Korallenbänken, so daß die Annahme einer einigermaßen gleichen Temperatur für sie überaus wahrscheinlich ist. Die Wechsellagerung von Oolithen weist auf Verhältnisse hin, in denen Calciumcarbonat im Meerwasser im Überschuß gelöst war und es daher kalkschaligen Foraminiferen erleichtern mußte, große Schalen zu bilden. Vor allem die intensive Verdunstung tropischer und subtropischer Küstengebiete ist für eine starke Anreicherung mit kohlensaurem Kalk günstig. Vergl. JOHN MURRAY and ROBERT IRVINE „On coral reefs and other carbonate of lime formations in modern seas“ (Proc. Royal Soc. Edinb. 1890. 17. p. 79—109), sowie EM. HAUG „Traité de Géologie I“. 1907. p. 102/103. Für alle kalkassimilierenden Organismen bieten vor allem die warmen Meere die geeigneten Bedingungen. Endlich weist der Vergleich mit den großen Thalamophoren der Gegenwart (und der Vergangenheit) mit zwingender Notwendigkeit für die Fusuliniden auf ein Milieu hin, das etwa den submarinen Plateaus von Florida entspricht. Allerdings dürfte bei den Fusuliniden der Lebensbezirk etwas ausgedehnter sein als bei den Korallen, da der Einfluß der Isochimenen wohl weniger für sie in Betracht kommen dürfte, als der der mittleren Jahreswärme, für die ein Minimum von etwa 15—20° sicherlich nicht zu hoch angesetzt sein wird.

¹ Vergl. E. SPANDEL, „Die Foraminiferen des Permocarbons von Hooser, Kansas.“ (Abh. d. Naturhist. Ges. Nürnberg. 1901. Sonderabzug p. 18.)

Stoffwechsel der inneren Sarkodemasse¹ hindern mußte, zumal da eine weitere Größenzunahme immer niedrigere Umgänge aus Festigkeitsgründen verlangte.

Wenn auch diese Ausführungen² keineswegs den Anspruch machen wollen, mehr als eine bloße Vermutung zu sein, oder mehr als einen Teil der vielleicht sehr mannigfachen Ursachen des genannten Problems zu berücksichtigen, so zeigen sie bis zu einem gewissen Grade vielleicht doch, daß M. NEUMAYR (Die Stämme des Tierreichs. 1889. p. 197) etwas zu pessimistisch war, als er über diese Fragen schrieb:

„Welche Umstände diesen eigentümlichen Vorgang veranlaßt haben mögen, ist uns durchaus rätselhaft, und wir können uns nicht einmal eine vernünftige Möglichkeit der Erklärung denken.“

III. Ein Blick auf eine Karte der Verbreitung der Fusuliniden (die beste bisher gegebene Zusammenstellung³ findet sich bei E. KOKEX, N. Jahrb. f. Min. etc. Festband 1907. Taf. XIX) zeigt uns einige Eigentümlichkeiten, die die Frage nach der Art und Intensität der permischen „Eiszeit“ etwas näher beleuchten. Wir sehen, daß auf der nördlichen Hemisphäre Fusulinen sich an einer ganzen Reihe von Stellen am Polarkreise finden, einmal sogar bis etwa zum 80. Grad hinauf sich polwärts verschieben (Spitzbergen).

¹ Wengleich diese bei erwachsenen Individuen kaum noch die innersten Umgänge erfüllt haben dürfte. Der Atemmangel muß bei den Fusuliniden um so fühlbarer gewesen sein, als die „Porosität“ der Schale, die ja wenigstens den letzten Umgang hätte ventilieren können, nach VOLZ, GIRTY, DOUVILLÉ (sowie meinen Beobachtungen) nicht existiert.

² Ich glaube, kurz zusammengefaßt, die stammesgeschichtliche Entwicklung der Riesenformen hochdifferenzierter, kalkschaliger Foraminiferen vor allem mit der Zufuhr großer Mengen kohlen-sauren Kalks in Meere tropischen Charakters, wie sie vor allem im Obercarbon (in der Mitte der Kreide) und im Eocän erfolgt sein dürfte, in Zusammenhang bringen zu können. Diese Erklärung gestattet einige Phänomene, deren Ähnlichkeit bisher übersehen, oder auch als zufällig oder unerklärlich betrachtet wurde, als in ihrer Gleichartigkeit kausal bedingt anzusehen und in den großen Zusammenhang der geologischen Entwicklung einzuordnen.

Unter den sicherlich außerdem noch beteiligten anderen Ursachen wäre vor allem noch an das Vorhandensein derjenigen Tiere zu denken, denen die großen Foraminiferen als Nahrung dienen konnten. Vielleicht spielt das Zurücktreten bzw. Fehlen der Cephalopoden und Trilobiten bei dem Fusulinen-Nummuliten-Phänomen auch eine Rolle.

³ Allerdings besteht eine Differenz zwischen Text p. 540 und der Signatur der Karte: die Fusulinenfundorte in Alaska (Wrangellberge, Yukonfluß), Prince Albert-Land, K. Bathurst und Grinnelinsel, Spitzbergen, Bäreninsel, Timangebirge, Norddwina (auch Ural und Wolgaknie), sowie Ussuribucht (Wladiwostock) liegen auf der Karte im Bereich der grünen Pfeile, während der Text ihr bis in arktische Breiten vorgeschobenes Auftreten auf warme Strömungen zurückführt.

Die Annahme, daß golfstromähnliche Strömungen die zum Leben dieser Tiere erforderliche Wärme geliefert haben könnten, ist aus geographischen Gründen angesichts des beträchtlichen Areal der in Frage kommenden Gebiete wohl ausgeschlossen. Auch E. KOKEN hat bei seiner Rekonstruktion der Meeresströmungen diese Gegenden größtenteils mit kalten Strömungen versorgen müssen (vergl. Anm. 3 p. 698). Allerdings ist es keineswegs sicher, daß die Fusulinen dieser Gegenden zur Zeit der permischen „Eiszeit“ dort gelebt haben. Immerhin aber ist für Wladiwostok und Alaska, Spitzbergen und die Tscheschskajabai ein Vorkommen von Formen gesichert, die wenigstens für die Grenze von Obercarbon und Perm bezeichnend sind. Noch für diese Zeit wäre demnach eine allgemeine Wärme des Meerwassers erforderlich (ich will von KOKEN's hypothetischen kalten Strömungen hier ganz absehen¹, da sie eine noch höhere Temperatur verlangen würden), in der Fusulinen und Schwagerinen existieren konnten. Nach dem bereits oben Gesagten hätten wir diese Wärme als für ein tropisches oder subtropisches Klima bezeichnend anzusetzen. Vom Beginn des Obercarbons, von der Stufe des *Spir. mosquensis* an, müßte diese Temperatur annähernd gleichmäßig geherrscht haben². Kurz zusammengefaßt wäre nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnis vom Standpunkte des Fusulinisten, ohne Berücksichtigung anderer Gesichtspunkte, also folgendes über das Klima des Schlusses des Paläozoikums zu sagen:

1. Im gesamten Obercarbon ist das Klima einheitlich (ohne Ausbildung scharfer Klimazonen) ein tropisches oder subtropisches. Bis hinauf zum 80. Breitengrad herrschen Temperaturverhältnisse, die mindestens dem heutigen Mittelerrangebiet entsprechen³.

¹ Für das Obercarbon ist ja überhaupt zu beachten, daß der geringeren Ausprägung der Klimazonen eine Abnahme der thermischen Differenzierung der Meeresströmungen entsprechen muß.

² Dies steht an sich durchaus nicht im Widerspruch zu der für die Temperatur der Steinkohlenbildung im allgemeinen angenommenen mäßigen (wenn auch keineswegs geringen) Wärme. Klimafragen der Vergangenheit müssen eben stets eine verschiedene Lösung finden, je nachdem Meeresniveau oder höher gelegene Kontinente, Seetiere oder Landpflanzen berücksichtigt werden. Der Unterschied, der sich zwischen dem von FRECH geforderten „im ganzen feuchten, gemäßigten Klima“ (vergl. Leth. palaeoz. II. p. 265, sowie Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. 1906, p. 538—541) und der durch das Vorkommen der Korallen bewiesenen Heraufschubung des Isochimene von 20° über den Polarkreis ergibt, ist vielleicht durch ein die Steinkohlenbildung beeinflussendes Kontinental- und Gebirgsklima lokaler Art zu erklären. Die Abhängigkeit der Lage der europäischen Steinkohlenfelder von den gewiß sehr hohen (vergletscherten?) variskischen und armorikanischen Faltengebirgen wäre hierbei zu berücksichtigen (vergl. SOLGER, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. 1905, p. 711 ff.).

³ Geographische Gesichtspunkte lassen es nicht recht zu, das Vorkommen von Spitzbergen auf warme Strömungen zurückzuführen.

2. Auch an der Wende des Obercarbons zum Perm dauern diese Verhältnisse an. Trotz der naturgemäß noch dürftigen Kenntnis der arktischen Länder läßt die Verbreitung der Schwagerinen und der langgestreckten Riesenformen der Fusulinen des pazifischen Gebietes diesen Schluß als gesichert erscheinen.

3. Unbedingt dem Perm zuzurechnende Fusuliniden finden sich lediglich südlich des 40. Grades nördl. Br. Die einzige Ausnahme macht Dalmatien (wo R. J. SCHUBERT vom 42. Grad *Sumatrina* und *Neoschwagerina* anzeigte) und ein Fundort von British Columbia vom 50. Breitengrade¹. Nach H. DOUVILLÉ wäre das Alter dieser hochspezialisierten Fusuliniden eventuell dem oberen Perm zuzurechnen. Bis auf weitere Untersuchungen ist es indes vorsichtiger, sie höchstens bis zum Beginn der Neodyas zu datieren.

4. Irgend eine Plötzlichkeit der Entwicklung der Fusuliniden ist nirgends zu beobachten². Vielmehr zeigen die meisten Genera von der Obergrenze des Carbons bis zum Aussterben der letzten Neoschwagerinen zwar eine deutliche Weiterentwicklung, aber auch durch das Nebeneinander der verschiedenen Formen die Allmählichkeit dieser Vorgänge.

5. Demnach ist für das Klima nur folgende Möglichkeit gegeben: Ungefähr von der Obergrenze des Carbons an kühlt sich die Temperatur langsam in der Art ab, daß an der Grenze der Neodyas nur bis zum 40., ausnahmsweise (durch warme Strömungen etc. begünstigt?) bis zum 50. Grad nördl. Br. ein Jahresmittel von nicht unter etwa 15—20° herrschte.

6. Da demnach eine allgemeine Vereisung sich nicht erweisen läßt, im Gegenteil mit vollster Bestimmtheit für die ganze Dauer der sogenannten „permischen Eiszeit“ ein etwas wärmeres Klima, als es die Gegenwart besitzt, gefordert werden muß, bleibt nur die Möglichkeit, die gefundenen Vereisungsspuren — nach KOKEN'S Vorschlage — durch lokale Ursachen zu erklären.

7. Die Hypothese einer Verlagerung der Pole hat, wie E. KOKEN ausführt, viele Schattenseiten. Auch die Fusuliniden widersetzen sich einer solchen Umwälzung unbedingt. Es läge nämlich das permische *Doliolina*—*Neoschwagerina*—*Sumatrina*-Vorkommen Sumatras näher dem verlagerten Südpole, als irgend ein Vereisungszentrum! Außerdem lägen die Fundorte Guatemala (Chiapas), Texas, California, die eine etwa für die Untergrenze des Perm charakteristische Fauna zeigen, in unmittelbarer Nähe des in Mexiko zu suchenden

¹ Für diesen Fundort läge es vielleicht nahe, die Einwirkung einer dem heutigen Kuro-Siwo-Strome entsprechenden warmen Strömung zu vermuten.

² Vergl. auch H. YABE (l. c. p. 26—27): „A replacement of an older type by a younger seems never to have happened.“

nördlichen Gegenpols (vergl. A. PENCK, Zeitschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1900. p. 261 ff.).

8. Als einzige Ursache der Vereisungsphänomene blieben somit hochgelegene Bergländer anzunehmen, die bei der an der Untergrenze des Perms einsetzenden geringfügigen Klimaverschlechterung bei gleichzeitig reichlicher Niederschlagsmenge Gletschermassen¹ von derartiger Ausdehnung zu bilden vermochten, daß die Zungengebiete bis zum Meeresniveau heruntergehen konnten.

9. Es wäre demnach die Hauptperiode der glazialen Abtragung der in der mittelcarbon-permischen tektonischen Periode gebildeten Hochgebirge und Hochplateaus in die Unterhälfte der Dyas zu setzen. Da anzunehmen sein dürfte, daß in Zeiten relativ sehr hoher Temperaturen bis in hohe Breiten hinauf die Klimazonen weniger ausgeprägt waren, und umgekehrt, wäre es vielleicht nicht richtig, die Lage der australischen (Wendekreis (34) — 43° südl. Br.), indischen (25 — 33° nördl. Br.), afrikanischen (Wendekreis bis 33° südl. Br.) und südamerikanischen (Wendekreis) Vereisungsgebiete mit den Verhältnissen der Gegenwart zu vergleichen. Vielmehr wäre die Möglichkeit ins Auge zu fassen,

¹ Auch das von KOKEN (l. c. p. 531) erwähnte, seinerzeit von G. MÜLLER berichtete Vorkommen gekritzter Geschiebe aus Westfalen ließe sich (in 51—52° nördl. Br.) event. sehr wohl durch einen Gletscher der variskischen Alpen erklären (vergl. Compt. rend. X. Int. Geol. Congr. 1907. p. 132). Wie mir die Betrachtung der Photographien zeigte, dürfte ein Zweifel an dem glazialen Ursprung kaum möglich sein. Die Berechnungen E. KOKEN's (l. c. p. 543—54) ergeben, da der Betrag der Ablation absichtlich wohl zu hoch veranschlagt wurde, eine Größe des Einzugsgebietes von 70000 qkm. Nach KUROWSKI liegt die Schneegrenze auf jedem Gletscher in der mittleren Höhe der gesamten Gletscheroberfläche. Da sowieso, der niedrigen Breitenlage entsprechend, die Zungenlänge nicht allzu groß angesetzt werden darf, wird der Abtragsbetrag noch weit geringer, zumal ja auch die Richtung des anzunehmenden Gletschers nach Norden sowie eine starke Schuttdecke ihn nicht unwesentlich herabsetzen könnten. Auch der Einfluß der Konvergenz (SURELL et CÉZANNE, Études sur les torrents, II. p. 300. — DE LAPPARENT, Tr. d. Géol. 1906. p. 297—299) wäre zu berücksichtigen. Aber auch bei KOKEN's Größenannahme läge die Möglichkeit einer Erklärung der indischen Vereisung durch lokale Gletscher wohl noch vor, um so mehr, als auch seine Annahme eines Jahresmittels von ca. 25° im Meeresniveau (180 × 25 = 4500 m) event. um einige Grade zu hoch angesetzt sein dürfte, um möglichst ein Maximum der Größenausdehnung zu erhalten. — Gegenteilige Ansicht äußert EDGEWORTH DAVID (Compt. rend. X. Int. Geol. Congr. 1907. p. 457), der aus einer Lage der Schneegrenze von 300 bis allerhöchstens 1500 m eine Temperaturdepression von mindestens 12—15° folgert. Doch resultiert diese Folgerung lediglich aus der unbewiesenen Annahme (l. c. p. 474) einer Eisenstehung „on plateaux of low relief“. Vergl. dagegen FRECH (Compt. rend. 1907. p. 134), der wenigstens für Australien bedeutende carbone Gebirgsbildung für erwiesen hält.

daß die größere Gleichförmigkeit des Klimas eine starke Akzentuierung der eigentlichen Tropen verhindert hätte¹. (Das Abklingen der Vereisung wäre dann event. als Folge der Abtragung der Gebirge ebensowohl, als der Herausbildung von Klimagürteln anzusehen, die die Tropen relativ stärker erwärmten.)

10. Die ARRHENIUS'sche Kohlensäurehypothese würde durch diese Erwägungen keineswegs in ihrer Bedeutung herabgemindert: Gerade die intensive glaziale Abtragung hätte durch Konsumierung der atmosphärischen Kohlensäure zur Carbonat-Umbildung der Silikate die mittelpermischen Klimazonen herausbilden geholfen.

Zusammenfassend wäre über die Frage der „permischen Eiszeit“ folgendes zu sagen: Die Verteilung der Fusulinenfundorte auf der Erde widersetzt sich nach Lage und Alter ebensowohl der Annahme einer Polverlagerung als einer allgemeinen Eiszeit². Demnach sind nur lokal wirkende Ursachen der Glazialphänomene anzunehmen, und auch diese können — wenigstens stellenweise³ — nur von sehr kurzer Dauer gewesen sein.

¹ Auch DE LAPPARENT (l. c. 1906, p. 990) zieht aus der Gleichförmigkeit der obercarbonen Fauna vom 82. Grade nördl. Br. bis Bolivia den Schluß, daß im Obercarbon der Äquator nicht in physiologisch wirksamer Weise wärmer war, als die Polarregion, in der u. a. *Lithostrotion* dauernd eine Wassertemperatur von mindestens 20° anzeigen dürfte. — Von Interesse ist es, daß DE LAPPARENT aus der Art des Wachstums der Pflanzen den Schluß zieht, daß das Klima der Kohlenbildung „très chaud et humide“ (l. c. p. 989) und ohne Jahreszeiten war. Bis zum 74. Grade nördl. Br. zeigt übrigens auch die Pflanzenwelt des Obercarbons eine vollständige Gleichförmigkeit der Spezies. — Gegen den Wert der paläozoischen Korallen für die Lösung von Klimafragen wendet sich J. W. GREGORY (Compt. rend. X. Int. Geol. Congr. 1907, p. 411 und 412) vielleicht zu scharf. Aber auch er kommt zu dem Schlusse (l. c. p. 425): The three best known glacial centres occurred on the borders of the old continent of Gondwanaland, farthest from the equator; and they were probably all near mountainous country, facing seas open to the colder zones. Trotz event. kalten Klimas der Polarregion doch also keine wirkliche permische „Eiszeit“!

² Wie sie in FRECH's Lethaea II, 3 Dyas, 1901, p. 582 als „die ganze Erde betreffende Klimaschwankung“ zu erweisen gesucht wird. Auch die p. 627 vorgeschlagene Polverlagerung um ca. 40° hat die Lage des Gegenpols an der Grenze von Colorado und Wyoming entschieden gegen sich. Die Lage des „supponierten dyadischen Hochgebirges Indiens“ in 15° südl. Br. bedeutet ebenfalls eine Schwierigkeit, auf die FRECH selbst l. c. hinweist.

³ Vergl. die Überlagerung der Glazialbildungen der Salt-range durch Fusulinenkalk, den FRECH (l. c. p. 669) „echt paläodyadisch“ nennt. Auch die Kürze der Dauer spricht an sich eher gegen als für allgemeine Ursachen der Vereisung.

Wenn die hier vorläufig angeführten Daten bei einer Revision der asiatischen Fusuliniden¹ Bestätigung finden, wäre die Bezeichnung „Eiszeit“ für die Zeit der paläodyadischen Glazialbildungen vielleicht besser fallen zu lassen², da es dem Sprachgebrauche nicht recht entsprechen würde, diesen Namen einer Periode mit möglicherweise wärmerem Klima zu geben, als die Jetztzeit besitzt.

— — —
¹ Mein Freund G. DYHRENFURTH hat die mühevollen Durchsicht und Bearbeitung der aus asiatischen Fundorten stammenden Fusuliniden des von SCHELLWIEN zusammengebrachten Materials übernommen, von der eine reiche Ausbeute an stratigraphisch wertvollen Tatsachen zu erwarten ist.

² Die gleiche logische Konsequenz zieht auch M. MANSON (Compt. rend. X. Int. Geol. Congr. 1907. p. 368): „L'absence de formes pélagiques de type arctique ou semiarctique est décisive et rend impossible l'opinion qu'il y a eu une série d'âges de glace. — La distribution uniforme des fossiles met ce point hors de discussion.“