

## Substanzuntersuchungen an präkambrischen Favososphaeren/Silicobacteria.

### Teil 1: Die Ausgangssubstanz der Favososphaeren

Gusti Burmann<sup>1</sup>

Mit 8 Tafeln

#### Kurzfassung

Aus der präkambrischen Lausitzer Grauwackeneinheit wurden in mineralischer Substanz überlieferte Mikrofossilien – Favososphaeren – mit Hilfe von EDS (energiedispersives Spektrum) untersucht. Die Ergebnisse der Substanzanalysen belegen für die Kugeln eine Zusammensetzung aus SiO<sub>2</sub> als Hauptschubstanz und eine sulfidische Zusammensetzung für die opaken Einschlüsse (Sulfidkörner). Die Favososphaeren sind morphologisch annähernd vergleichbar mit dem rezenten marinen Archaeobacterium *Staphylothermus marinus*. Auf der Grundlage der Substanzdaten und der morphologischen Vergleichsmöglichkeit werden die Favososphaeren als eine spezielle Gruppe fossiler Archaeobacteria angesehen, bezeichnet als Silicobacteria. Sie sind gekennzeichnet durch einen schwefelabhängigen Metabolismus, den Einbau kieseliger Substanz und eine Lebensweise als Mikrobenthos. Die Silicobacteria (Favososphaeren sensu lato) werden unterschieden in die Familie Concentrisphaeridae mit konzentrisch-schaligem Aufbau und die Familie Favososphaeridae (Favososphaeren sensu stricto) mit Wabenstruktur.

Neue Taxa sind: *Tenuisphaera faveolata*, *Crassosphaera brandenburgensis*, *Concentrisphaera crassogranulata*, *C. duplicata*, *C. triplicata*, *C. associata*, *Favososphaera magna*, *F. intermedia*, *F. circumpolaris*, *F. bipolaris*, *F. aequatorialis*, *F. coronata*.

#### Abstract

Substance investigations of Precambrian Favosospheres/Silicobacteria. Part 1: Primary composition of Favosospheres.

Favosospheres (microfossils in mineral preservation) from the Precambrian Lusatian greywacke unit were investigated by EDS (energy dispersive spectrum). EDS-data indicate a SiO<sub>2</sub>-composition of the spheres and a sulfidic composition of opaque inclusions (sulfidic grains). The favosospheres are morphologically comparable with the living marine archaeobacterium *Staphylothermus marinus*. On the base of chemical and morphological data, the favosospheres are interpreted as a special group of fossil archaeobacteria, for which is proposed the name Silicobacteria. They are characterised by a sulfur-dependent metabolism, siliceous composition and a microbenthic habit. The Silicobacteria (Favosospheres sensu lato) are divided into the family Concentrisphaeridae, characterised by concentric structure of the spheres and the family Favososphaeridae (favosospheres sensu stricto), characterised by a honeycomb structure.

The following new taxa are described: *Tenuisphaera faveolata*, *Crassosphaera brandenburgensis*, *Concentrisphaera crassogranulata*, *C. duplicata*, *C. triplicata*, *C. associata*, *Favososphaera magna*, *F. intermedia*, *F. circumpolaris*, *F. bipolaris*, *F. aequatorialis*, *F. coronata*.

**Key words:** Favosospheres; Silicobacteria; Upper Proterozoic; Lusatian greywacke unit; Archaeobacteria; EDS

#### Einführung

Die ersten Funde von Favososphaeren aus der Lausitzer Grauwackeneinheit wurden 1972 veröffentlicht (Burmann 1972, Lorenz & Burmann 1972), nachdem bereits vorher durch Funde von Fadenalgen (Burmann 1966, 1969) das präkambrische Alter der Lausitzer Grauwackeneinheit paläontologisch belegt werden konnte. Die bereits kurz darauf folgende Publikation von Konzalova (1974) betraf den Nachweis gleichartiger Funde von *Favososphaera conglobata* aus der

ebenfalls proterozoischen Svinarov-Grauwacke der Serie D auf dem NW-Flügel des Barrandiums, die die Hoffnung aufkommen ließen, daß die Favososphaeren im geologisch beanspruchten Mitteleuropa für biostratigraphische Aussagen im höheren Präkambrium relevant werden könnten. Eine Mitteilung von Duchesne (1963) über Funde unter der Bezeichnung *Pyritosphaera barbaria* Love 1957 in Belgien aus vermutetem Kambrium erhielt damit einen möglicherweise neuen stratigraphischen Aspekt, vorausgesetzt, daß die tatsächliche Zugehörigkeit der Objekte

<sup>1</sup> Museum für Naturkunde, Institut für Paläontologie, Invalidenstr. 43, D-10115 Berlin, Germany.  
Erhalten März 1998, angenommen Juli 1998

geklärt werden kann. Auch im oberen Teil der Visingsö Beds in Südschweden (Vidal 1976: 18) und im Briovérien der Bretagne-Normandie wurden Favosphaeren gefunden (Chauvel & Mansuy 1981). Je größer jedoch die Anzahl der Fundpunkte wurde, desto verworrener wurde die Anwendung nomenklatorischer Begriffe. Da jedoch die taxonomische Unterscheidung wabenstrukturierter Mikroreste Voraussetzung für eine stratigraphische Deutung ist, wird in dieser Arbeit versucht, auf substantieller Basis zur Klärung des Problems am Beispiel der Favosphaeren aus der präkambrischen Lausitzer Grauwackeneinheit beizutragen.

Verwendete Abkürzungen: Lausitzer Grauwackeneinheit (LGE); Lößnitz-Zwönitzer Mulde (LZM); Museum für Naturkunde Berlin (MfN Berlin); Bundesanstalt für Geowissenschaften, Außenstelle Berlin (BGR Berlin); Kreuztischzahl (KTZ); Energie-dispersives Spektrum (EDS); Energie-dispersive X-ray analysis (EDX).

### Stratigraphisch-geologische Übersicht

Die Lausitzer Grauwackeneinheit (LGE) ist eine in der Lausitz (Ostsachsen) vorkommende präkambrische Sedimentfolge, die zum cadomisch geprägten Basement (Kemnitz & Budzinski 1994, Buschmann et al. 1995a, b) des Lügikums gehört. Sie ist im Bereich der Lausitzer Antiklinale nördlich des Lausitzer Granodioritmassives verbreitet und findet ihre westliche Fortsetzung in der Nordsächsischen Antiklinale (Saxolugikum nach Linnemann & Buschmann 1995). Unmittelbar nördlich des Granodioritmassives streicht sie von der Westlausitz (Großenhain) über die zentrale Oberlausitz (Kamenz) bis in die Ostlausitz (Görlitz) zutage. Daran schließt sich nördlich ein Bereich an, in dem die Lausitzer Grauwacke überwiegend von mesozoischen und känozoischen Sedimenten verdeckt ist – ihre Verbreitung ist hier durch Bohrungen erfaßt, außerdem steht sie in einzelnen Grundgebirgsauftragungen an; den nördlichsten Aufschluß von Lausitzer Grauwacke bildet der Koschenberg.

Eine stratigraphische Gliederung der Lausitzer Grauwacke wurde zunächst mit Hilfe lithologischer und tektonischer Kriterien (Winkeldiskordanz) durch Kartierung in der Ostlausitz versucht (Kamenzer und Görlitzer Schichten, Hirschmann 1966, 1970), später haben Brause et al. (1981, 1984, 1997) und Brause (1990) in der zentralen Oberlausitz mit den Wüsteberg-Schichten ein weiteres Niveau unterhalb der Kamenzer Schichten dieser Region ausgegliedert. Die Frage

nach einer eventuellen Gleichaltrigkeit von Görlitzer Schichten und Wüsteberg-Schichten mußte offen bleiben.

Mit den Kartierungsarbeiten von Kemnitz (1990) und Kemnitz in Brause et al. (1997) sowie Kemnitz & Budzinski (1991, 1994) insbesondere im südlichen Ausstrichgebiet der Lausitzer Grauwacke kam ein neuer Aspekt hinzu, der nicht nur die lithologische, sondern auch die stratigraphische Einheitlichkeit als Lausitzer Gruppe betonte und auf eine lithologische Vergleichsmöglichkeit mit der Stechovice-Gruppe auf dem SW-Flügel des Barrandiums verwies. Die bis heute bestehenden gegensätzlichen Anschauungen zur Gliederbarkeit der Lausitzer Grauwacke mit anorganischen Kriterien spiegeln sich im Glossar der Subkommission für Stratigraphie „Riphäikum – Silur“ von 1997 wider (Brause und Kemnitz in Brause et al. 1997).

Die in den letzten Jahren wiederaufgenommenen mikropaläontologischen Arbeiten führten zu folgender Gliederung der Lausitzer Grauwackeneinheit vom Hangenden zum Liegenden unter Berücksichtigung der Rothsteiner Schichten: Rothsteiner Schichten, Lugauer Schichten (I), Kreuzberg-Dubringer Schichten (II), Kamenzer Schichten (III), Wüsteberg-Schichten. Die römischen Zahlen entsprechen dabei Fossilassoziations (Assemblages I – III), durch die der biostratigraphische Aspekt dieser Gliederung begründet wird.

Assoziation I entspricht der Fadenalgen-Assoziation (oberes Vend, Burmann 1966), die im höchsten Präkambrium auf der Osteuropäischen Tafel verbreitet ist (als naheliegendstes Verbreitungsgebiet siehe Lubliner Senke in Moczyłowska 1991: 20); Assoziation II der Megaalgen (Stratophytales) wird bestimmt durch ein bis vor kurzem in der Lausitzer Grauwacke vollkommen unbekanntes Niveau einer dunkelfarbenen Wechsellagerung mit hohem Schieferanteil (Burmam 1997a; Burmam et al. 1997, 1998); Assoziation III entspricht dem Vorkommen von Favosphaeren mit der charakteristischen Form *Favosphaera conglobata* (Burmam 1972a, b; Lorenz & Burmam 1972).

Das Hangende und Liegende der durch die Fossilassoziations I – III unterscheidbaren Niveaus in der Lausitzer Grauwackeneinheit sind bisher durch Hilfskriterien einzuordnen. Die stratigraphische Position der Rothsteiner Schichten im Hangenden der LGE wird durch Unterlagerung mit Lugauer Schichten (Assoziation I, höheres Vend) der LGE aus dem liegenden Teil der Bohrung Rothstein IE bestimmt. Die Han-

gendgrenze der Rothsteiner Schichten ist bisher nirgendwo aufgeschlossen, sie werden aber nach Kartierungsdaten von Buschmann et al. (1995a) und Buschmann (1998) diskordant von Unterkambrium (unterstes Unterkambrium bisher nicht belegt) der Zwethauer Gruppe überlagert. Da die sog. Neben-Probe (Schüller 1949, Brause 1969) für die Altersdatierung der Rothsteiner Schichten auf Grund der andersartigen Lithologie entfällt (Burmam 1997a), besteht zwischen Buschmann und Burmam (persönliche Rücksprache Dresden 1998) Übereinstimmung über die stratigraphische Position der Rothsteiner Schichten als hohes Upper Vendian. Detailliertere Altersrelationen zu den Lugauer Schichten der LGE müssen aus der gesamttektonischen Position der Rothsteiner Schichten abgeleitet werden.

Da bisher keine Stratotypen definiert waren, wurden die Niveaus der Fossilassoziationen I–III innerhalb der neoproterozoischen Lausitzer Grauwackeneinheit an bestimmte Vorkommen (als Stratotypen) gebunden, deren Fossilführung publiziert ist: Lugauer Schichten (Assoziation I mit Dominanz von Fadenalgen, oberes Vend) im unteren Teil der Bohrung Rothstein IE (Burmam 1966); Kreuzberg-Dubringer Schichten (Assoziation II mit Megaalgen/Stratophytales) gebunden an die Vorkommen Kreuzberg und Dubring (Burmam 1997a; Burmam et al. 1997, 1998); Kamenzer Schichten (Assoziation III mit Dominanz von Favosphaeren, wichtigstes Mikrofossil *Favosphaera conglobata*) in der Altbohrung 3/63 westlich des Steinbruches Bernbruch/Butterberg bei Kamenz (Burmam 1972, Lorenz & Burmam 1972) und im NW-Profil des Großsteinbruches Oßling (Kemnitz & Budzinski 1994), beide Vorkommen in der zentralen Oberlausitz. Außer den genannten Eichpunkten der Fossilassoziationen I–III liegen zahlreiche weitere Fundpunkte dieser Assoziationen innerhalb der Lausitzer Grauwackeneinheit vor.

Für die durch Brause et al. (1981) als unterer Teil der LGE ausgehaltenen Wüsteberg-Schichten fehlt in deren Typus-Gebiet durch starke Kontaktmetamorphose des untersuchten Materials (weitgehende Biotitisierung der Gesteinsmatrix) bisher jeder Fossilhinweis (Halde am Wüsteberg bei Gelenau und unterste Sohle des Steinbruches Bernbruch, untersuchtes Material jeweils in enger räumlicher Verbindung zu kalksilikatischen Einlagerungen). Aus den Untersuchungen der fossilführenden Niveaus mit den Fossilassoziationen I–III innerhalb der gesamten Lausitz ergibt sich aber die Beobachtung, daß in

diesen bisher erfaßten fossilführenden Niveaus I–III Kalksilikatbildungen nicht in auffälliger Weise präsent sind, wie sie etwa am Wüsteberg, im Steinbruch Vogelberg, auf der untersten Sohle der Steinbrüche Bernbruch und Dubring aufgeschlossen sind sowie zeitweilig im Ostteil des Großsteinbruches Oßling abgebaut wurden und an der Gröditz-Weißenberger Skala vorkommen (Kemnitz & Budzinski 1994).

Da z. B. in fossilführenden Kamenzer Schichten mit *F. conglobata* vom NW-Profil des Steinbruches Oßling (Kemnitz & Budzinski 1994) bisher keine auffälligen Kalksilikatbildungen angetroffen wurden, trotz räumlicher Nähe zum Abbaubereich mit Kalksilikatbildungen aus dem Ostteil des Steinbruches (mündliche Information von Herrn Dipl.-Ing. W. Wießner), werden die kalksilikatführenden Sedimente auf Basis dieses indirekten Kriteriums bis auf weiteres (d. h. bis zum Aufzeigen gegensätzlicher Argumente) als ein älteres Niveau innerhalb der Lausitzer Grauwackeneinheit angesehen. Unter stratigraphischem Aspekt könnten dieses Niveau durchaus die Wüsteberg-Schichten (im Sinne eines noch zu definierenden stratigraphischen Umfanges) als Liegendes der Kamenzer Schichten darstellen, mit dem lithostratigraphischen Kriterium einer auffälligen Präsenz von Kalksilikatbildungen wie am Wüsteberg, die von tuffogenen Bildungen hergeleitet werden (Kemnitz & Budzinski 1994, Kemnitz 1998). Die Wüsteberg-Schichten werden in diesem Sinne als ein älteres stratigraphisches Niveau verstanden (mit gehäufte Präsenz von Kalksilikatbildungen, die in dieser Auffälligkeit untypisch sind für die Fossilniveaus I–III), unabhängig von ihrer Erstaussgliederung auf der Basis eines tektonischen Kriteriums (Brause et al. 1981). Diese Relation in der zentralen Oberlausitz wird auch gestützt durch die Fossilverteilung östlich der Neiße zwischen Zgorzelec-miasto und Jędrzychowice: Der verfaltete Profilanschnitt vom Liegenden zum Hangenden umfaßt auf dieser Strecke die Kamenzer (mit *Favosphaera conglobata*) und Lugauer Schichten. Kartierenden Geologen war seit langem aufgefallen (Hirschmann 1970, Kemnitz & Budzinski 1994), daß in der Görlitzer Umgebung keine oder kaum kalksilikatische Einschlüsse vorliegen. Das Fehlen kalksilikatischer Bildungen im Raum Görlitz-Zgorzelec wäre dadurch stratigraphisch begründbar, daß in diesem Abschnitt keine Äquivalente der kalksilikatführenden Wüsteberg-Schichten auftreten. Die bisherigen biostratigraphischen Untersuchungen im Niveau der Fossilassoziationen I–III führen zu dem Schluß,

daß die Kalksilikatbildungen bei auffälliger Häufigkeit nicht nur eine „tuffogeneous greywacke lithofacies“ (Kemnitz 1998) sind, sondern auch ein stratigraphisch älteres Niveau anzeigen. Auch die Häufigkeit dieser Bildungen in den Anatexiten der Oberlausitz, wie sie durch Kemnitz auf der Lausitz-Exkursion zur Tagung „Gondwanan Europe“ (Dresden 28. 4.–4. 5. 98) bildhaft vermittelt wurde, spricht für eine Gebundenheit in der vertikalen Verteilung. Trotz dieser Schlußfolgerung aus den bestehenden Beobachtungen kartierender Geologen in Verknüpfung mit den bisherigen biostratigraphischen Untersuchungen bleibt die Notwendigkeit bestehen, kontaktmetamorph weniger beanspruchte Äquivalente der Wüsteberg-Schichten zu finden und auch dieses Niveau fossilmäßig zu charakterisieren.

Dies ist auch relevant in Zusammenhang mit der Notwendigkeit, die Kamenzer Schichten biostratigraphisch zum Liegenden abzugrenzen. Trotz der Formenmannigfaltigkeit der Favosphaeren in den Kamenzer Schichten ist als korrelierbares Niveau relativ sicher immer nur das Niveau von *F. conglobata* auszuhalten, dies steht aber auch mit der lithologischen Gebundenheit der Form an Feingrauacken in Zusammenhang.

Die Favosphaeren der Fossilassoziati on III sind somit eine wichtige Fossilgruppe zur Ausgliederung der Kamenzer Schichten innerhalb der Lausitzer Grauwackeneinheit. Das für diesen Beitrag verwendete Untersuchungsmaterial entstammt überwiegend (aus durch diese Assoziati on definierten) Kamenzer Schichten einer Bohrung südlich der Torgau-Doberluger Synklinale (12 km südlich Calau) sowie aus Kamenzer Schichten vom Steinbruch Oßling (zentrale Oberlausitz).

### Übersicht zum Problem der taxonomischen Fossilzuordnung

Das taxonomische Problem der Fundbewertung von kugelförmigen Mikroobjekten mit Wabenstruktur aus präkambrischen Sedimenten äußert sich (a) in der Zuordnung gleichartiger Mikroobjekte zu unterschiedlichen taxonomischen Bezeichnungen, z. B. werden die von Duchesne 1963 abgebildeten Objekte zu *Pyritosphaera barbaria* Love 1957 gestellt, während ähnliche Formen aus der Lausitzer Grauwacke von Burmann (1972a) zu einer eigenen Gruppe, den Favosphaeren, zusammengefaßt wurden, deren morphologisch am weitesten differenzierte Form *Favosphaera conglobata* Burmann 1972 darstellt.

(b) Den extremsten Standpunkt vertrat Vidal (1976: 17), der die von ihm in der Visingsö Formation gefundenen einfachen Wabenkugeln als *Bavlinella faveolata* (Schepeleva 1962) benannte und alle übrigen Objektamen unterschiedlicher Autoren für wabenstrukturierte Formen als Synonyme dazu ansah: *Microsphaera faveolata* Sin & Liu 1973, *Sphaerocongregus variabilis* Moorman 1974, *Favosphaera conglobata* Burmann 1972 (sowie in Konzalova 1974), *Favosphaera sola* Burmann 1972, *Bavlinella faveolata* (in Volkova 1968).

Chauvel & Mansuy (1981) versuchten der Problematik dadurch aus dem Weg zu gehen, daß sie für Formen aus der Bretagne-Normandie eine buchstabenbezogene Benennung vergaben und in einem Diskussionsteil mögliche Beziehungen zu taxonomischen Bezeichnungen anderer Autoren anführten.

Eine Ursache dieser taxonomischen Unsicherheiten ist meines Erachtens dadurch bedingt, daß jeder Autor immer nur einen bestimmten Formenkreis oder auch nur Einzelobjekte zur Verfügung hat, morphologische Zusammenhänge oder Unterschiede von Objekten mit Wabenstruktur aber doch nur an umfangreicherem Material ableitbar sind. Dies sei am Beispiel *Sphaerocongregus variabilis* Moorman 1974 (präkambrische Hector Formation, Kanada) erläutert:

Voraussetzung der nachfolgenden Einschätzung ist die Beobachtung eines auffällig getrennten Fundnachweises in der Lausitzer Grauwackeneinheit: einerseits von unterschiedlichen Favosphaeren inclusive der am weitesten differenzierten Form *Favosphaera conglobata* und andererseits von *Sphaerocongregus variabilis*. Während *F. conglobata* von mehreren Fundorten in der Lausitz bekannt ist, wurde *S. variabilis* dort nur an einer Fundstelle nachgewiesen. Dies gab aber die Möglichkeit, die morphologische Variabilität der wabenstrukturierten Formen je Vorkommen zu beobachten. Im Ergebnis ist zu betonen, daß *S. variabilis* nicht einfach auf wabenstrukturierte Formen anzuwenden ist, sondern daß als wichtiges morphologisches Kriterium für die Zuordnung zu *Sphaerocongregus variabilis* auch unbedingt das in der Gattungsdiagnose genannte Einzelkriterium der kettenförmigen oder stabförmigen Aneinanderreihung von Kugeln (Moorman 1974: 529–530 „attached to similar cells to form rows or long chains“) präsent sein muß – zwar nicht bei jeder Einzelform, aber zumindest in derselben Probe. Von Moorman 1974 wurde ein Zusammenhang in

Form eines Wachstumszyklusses zwischen den unterschiedlichen Morphotypen von *S. variabilis* vermutet. Auch der Begriff *S. variabilis* Assemblage (Moorman 1974: 527) trägt dem Rechnung. Dieses gemeinsame Vorkommen unterschiedlicher Morphotypen von *S. variabilis* kann auch für die bisher einzige Fundstelle Eiskellerberg bei Kalkreuth in der Lausitzer Grauwacke bestätigt werden.

Unklar erscheint mir deshalb die Anwendung des Namens *S. variabilis* auf das bei Moczydłowska (1991: Pl. 15-I) abgebildete Objekt, da die Zugehörigkeit durch das Fehlen der stabförmigen Aggregate nicht gesichert ist (Hinweise fehlen zumindest auf der Abbildung und im Begleittext auf Seite 13 und 126; im Sediment trotzdem vorhanden?). Ein analoges Objekt, eine einzelne Wabenkugel, wird bei Vidal (1976: p. 17/fig. 7) als *Bavlinella faveolata* (Shep.) bezeichnet mit erweiterter Diagnose „... diagnosis as for the conspecific species *Sphaerocongregus variabilis* (Moorman 1974: 535)“. Auch hier fehlt jeder Hinweis auf die Präsenz von ketten- oder stabförmigen Aggregaten im Fundmaterial, die Zweifel an der Identität bleiben also. Für das von Moczydłowska (1991: 13, 126) angeführte Material kommt noch hinzu, daß das o.g. Vorkommen von *S. variabilis* aus der Assemblage 2 (Lublin Formation des „Upper Vendian“ mit Vendotaeniden; entspricht dem unteren Teil der Zone mit *Sabellidites-Vendotaenia*) vermeldet wird, unterhalb der die Assemblage 1 (Białopole Formation) folgt, „... which consists of filamentous sheaths and spheroidal envelopes of cyanobacteria“.

Als Vergleich für die Lugauer Schichten kommt das Niveau der Assemblage 1 (Białopole Formation) und eventuell noch ? Assemblage 2 (Lublin Formation) durch das bestimmende Vorkommen von Fadenalgen in Frage, beide zum „Upper Vendian“ gehörend. Die Kamenzer Schichten mit den Favosphaeren in der Lausitz sind aber an ein stratigraphisch tieferes Niveau gebunden, das leider in den polnischen Bohrungen bei Moczydłowska (1991) nicht mehr erfaßt bzw. nicht untersucht wurde.

Eine taxonomische Klarheit für das vermeldete Vorkommen von *S. variabilis* in der Lublin Formation (Assemblage 2; nicht aber aus der Assemblage 1 vermeldet) ist deshalb so relevant, weil hier eine Möglichkeit zur Eichung des stratigraphischen Niveaus für das Vorkommen von *S. variabilis* in den osteuropäischen Tafelsedimenten bestehen würde und dies dann auch für die Lausitz genutzt werden könnte. Das bleibt aber

solange unsicher, bis die Bestätigung vorliegt, daß auch tatsächlich *S. variabilis* im Sinne von Moorman (1974) vorliegt, d. h. mit kettenförmigen Aggregaten.

Die auffällige Fundpunkttrennung von *S. variabilis* und *F. conglobata* in der Lausitzer Grauwacke unterstreicht die Relevanz einer sorgfältigen morphologischen Trennung. Nur auf dem Wege der taxonomischen Trennung wird es möglich sein, auch stratigraphische Ergebnisse zu erzielen. Für die Lausitzer Grauwacke war die Einordnung der *S. variabilis* Assemblage (Eiskellerberg Serie Lau1/Probe 10) in die Gesamtfolge innerhalb der Lausitzer Grauwacke bisher noch nicht möglich, da auf Grund des isolierten Aufschlusses und der komplizierten Tektonik die Profilzusammenhänge unsicher sind. Das auffällig getrennte Vorkommen macht aber eine stratigraphische Relevanz mehr als wahrscheinlich.

Dieser Ansatz zu einer deutlichen morphologischen Trennung der Vorkommen (in diesem Fall von *S. variabilis* und *F. conglobata*) muß auch auf alle übrigen wabenstrukturierten Mikroobjekte ausgeweitet werden, wenn eine stratigraphische Zielsetzung besteht.

Nach wie vor reichen die bisher bekannten Literaturdaten zu *Bavlinella faveolata* nicht aus festzustellen, ob in dem originären Probenmaterial kettenförmige Objekte vorhanden sind (oder nicht), die einen Zusammenhang mit *S. variabilis* offenbaren könnten. Und ein morphologischer Vergleich mit *F. conglobata* ist ebenfalls nicht möglich, da neben anderen Kriterien *F. conglobata* eine abgegrenzte Kugelkolonie darstellt, bei *B. faveolata* aber die Art der Abgrenzung unsicher bleibt. Es ist also unklar, in welchem Formenkreis *B. faveolata* rein morphologisch einzuordnen ist. Auch sind Konvergenzen bei Mikrofossilgruppen unterschiedlicher Genese in Betracht zu ziehen. Nicht umsonst wird deshalb die stratigraphische Aussagekraft von *Bavlinella*, jedenfalls in der gegenwärtig unvollkommenen morphologischen Zuordnungsmöglichkeit, in Frage gestellt, da die Lösungsprodukte große strukturelle Ähnlichkeit auch mit Auflösungsresten von Framboidalpyrit aufweisen (Moczydłowska 1991: Pl. 15-H), so daß eine einwandfreie Trennung nicht immer möglich ist.

Ein weiterer Umstand, der taxonomische Verständigungsschwierigkeiten hervorruft, ist die Anwendung unterschiedlicher Untersuchungsmethodiken in Abhängigkeit vom Beanspruchungsgrad des Gesteins. So macht es offenbar keine Schwierigkeiten, eine gemeinsame Sprache für

die Bezeichnung von vergleichbaren Objekten (*Favosphaera conglobata*) aus der Lausitzer Grauwacke und der Svinarov-Grauwacke aus dem NW-Flügel des Barrandiums (Konzalova 1974) zu finden, da eine analoge Untersuchungsmethodik (in situ-Suche in Dünnschliffen) angewendet wird. Schwierig sind hingegen Vergleiche mit der Osteuropäischen Tafel, da dort die Auflösungsverfahren für das weniger beanspruchte Material eingesetzt wird.

Um der Lösung der taxonomischen Probleme näher zu kommen, wurden Substanzuntersuchungen an Favosphaeren vorgenommen. Ziel war die Ermittlung der mineralischen Ausgangssubstanz, aus der die Favosphaeren als „in mineralischer Substanz überlieferte Mikroproblematika“ zusammengesetzt sind. Diese Untersuchungen führten zu Ergebnissen, die die Notwendigkeit unterstreichen, daß nicht nur die morphologische Variabilität wabenstrukturierter Mikroobjekte erfaßt werden muß, sondern daß auch Substanzuntersuchungen einbezogen werden müssen, um auf diese Weise einen zusätzlichen Schlüssel in die Hand zu bekommen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu erkennen und eventuell sogar Aussagen zur Genese und Lebensweise zu treffen.

Die nachfolgend auf der Basis der Substanzuntersuchungen erzielten Ergebnisse gelten nur für die Favosphaeren; *Sphaerocongregus variabilis* wurde hingegen bisher nicht untersucht. Moorman (1974: 528) hat die „Hector assemblage“ als planktonische Flora interpretiert und hält die Formen für Vertreter der Cyanophyta mit Endosporulation. Wichtig für die Erfassung weiterer Unterschiede auch in Hinblick auf Substanzuntersuchungen erscheint mir die Beobachtung von Moorman (1974: 529), daß bei einem Teil der *S. variabilis* „dark patches“ im Zellinneren zu beobachten sind und „The patches are interpreted as being carbonaceous or pyritic material which has formed at the site of decay and/or replacement of cell content.“ Die substantielle Präzisierung dieses Kriteriums und seines Verteilungsmodus wäre eine künftige Aufgabe, um weitere Gemeinsamkeiten/Unterschiede zu den Favosphaeren zu erfassen.

### Untersuchungsziel

Das Hauptziel bestand in der Ermittlung von Substanzdaten der Favosphaeren durch EDS bzw. EDX, die eine genauere taxonomische Fassung für die Fossilgruppe ermöglichen sollten. In

der Regel erfolgen die morphologischen Untersuchungen lichtoptisch im Durchlicht, wobei die Wabenstruktur gut erkennbar ist. Die mineralische Substanz, aus der das Mikrofossil aufgebaut ist, ist graufarben und von geringer Doppelbrechung (vermutet wurde  $\text{SiO}_2$ ), außerdem sind in unregelmäßiger Verteilung opake Einschlüsse, aber auch opake Krusten vorhanden, als Substanz wurde hier Kohlenstoff oder Pyrit vermutet. Dieser für die taxonomische Abgrenzung gegenüber *Pyritosphaera barbaria*, *Bavlinella faveolata* und *Sphaerocongregus variabilis* als unzureichend betrachtete Kenntnisstand sollte durch substantielle und morphologische Daten am Rasterelektronenmikroskop mit Hilfe von EDS erweitert werden.

Außerdem wurden lichtoptisch Umwandlungserscheinungen, z. T. mit Strukturverlust, an den Favosphaeren belegt, die es ebenfalls substantiell über das energiedispersive Spektrum qualitativ zu erfassen galt.

Damit bestanden zwei Hauptaufgaben für die Substanzuntersuchungen: (1) die Ermittlung der Ausgangssubstanz, aus der die Favosphaeren aufgebaut waren, als sie ins Sediment eingebettet wurden und (2) die Erfassung von Umwandlungsprozessen an den in mineralischer Substanz überlieferten Mikrofossilien. Diese Publikation beinhaltet vorwiegend Ergebnisse zu (1) sowie ein Beispiel zu (2) über Umwandlungserscheinungen an *Favosphaera conglobata* mit partiellem Erhalt von  $\text{SiO}_2$  als Primärschubstanz.

### Untersuchungsmaterial

Das Untersuchungsmaterial entstammt Grauwackenschluffen der Kamenzer Schichten der Bohrung Nr. 1695/81 (ca. 12 km südlich Calau; Probe 60 und 62; Kernmarsch 212,8–214,5 m) in Südbrandenburg nahe dem Ostrand der Torgau-Doberluger Synklinale. Dieses Material ist nur mäßig thermisch beeinflusst (keine erkennbaren Merkmale kontaktmetamorpher Mineralsprossung) und weist keine erkennbaren Schieferungserscheinungen auf. Wichtig für die Auswahl des Materials war neben der fehlenden tektonischen Beanspruchung auch das Fehlen der Einwirkung von Atmosphärien. Damit war es geeignet zur Ermittlung der mineralischen Ausgangssubstanz, aus der die dreidimensional überlieferten Favosphaeren zum Zeitpunkt der Einbettung in die Gesteinsmatrix zusammengesetzt waren. Da sich die Fossilführung dieses Bohrungsmaterials aber überwiegend aus Solitärformen mit für den Nachweis günstigen opaken Einschlüssen zusammensetzt, die vorhandenen Kugelaggregate mit nur feinen opaken Einschlüssen im BSE-Modus aber kaum wiederzufinden waren, wurde Übertagematerial mit dem Kolonialaggregat *F. conglobata* aus dem NW-Teil des Steinbruchs Oßling bei Kamenz einbezogen. Dieses wies aber zum Teil starke Limonitisierungserscheinungen auf. Es eignete sich nur in einem Fall zur Erfassung der Ausgangssubstanz  $\text{SiO}_2$  (Tafel 5: 2, Tafel 6: 2, Tafel 7: 6), und wurde deshalb im weiteren zur Erfassung von Umwandlungsprozessen herangezogen.

Das hier abgebildete Fossilmaterial entstammt den Schlif-  
fen der Fundorte:

1. Bohrung Nr. 1695/1981 (siehe oben), Kernmarsch 212,8–214,5 m, Kamenzer Schichten;
  - a) Serie Klmach/Probe 60/Schliff S4/Erstserie (leg. G. Burmann; Sammlung Museum für Naturkunde Berlin, Inventar-Nr. 1998/32; Objekt S4e – alle folgenden „Objekt“-bezeichnungen beziehen sich auf artbezogene Markierungen in den Sammlungsschliffen mit Lageskizzen) für Holotypus *Crassosphaera brandenburgensis* n. gen. n. sp. (Tafel 1: 1) sowie *Concentrisphaera* sp./Objekt S4d (Tafel 1: 2).
  - b) Serie Klmach/Probe 62/Schliff C – lfd. Nr. 943 (leg. G. Burmann; Sammlung Museum für Naturkunde Berlin, Inventar-Nr. 1998/31; Objekte D, Z9a, T1, G, i, Z8, V) für die Holotypen *Concentrisphaera crassogranulata* n. gen. n. sp. (Tafel 7: 4a–c, Tafel 1: 5), *C. duplicata* n. sp. (Tafel 7: 3a–b, Tafel 1: 4), *C. triplicata* (Tafel 7: 1a–c, Tafel 1: 7), *C. associata* (Tafel 7: 5a–b), *Favosphaera intermedia* n. sp. (Tafel 8: 1), *F. bipolaris* (Tafel 8: 4, Tafel 5: 4, Tafel 6: 4), *F. circumpolaris* (Tafel 8: 3, Tafel 1: 3), *F. aequatorialis* n. sp. (Tafel 8: 5a–b, Tafel 5: 5, Tafel 6: 5a–d), *F. coronata* n. sp. (Tafel 8: 6, Tafel 5: 6, Tafel 6: 6) sowie weitere Exemplare von *Concentrisphaera duplicata* n. sp./Objekt R (Tafel 7: 2a–c, Tafel 1: 6), *Concentrisphaera* sp./Objekt j (Tafel 1: 3) und *Favosphaera magna* n. sp./Objekt S (Tafel 8: 2a–b, Tafel 5: 1)
2. NW-Teil Steinbruch ÖBling, obere Sohle, Aufschlußstand 1994, Kamenzer Schichten; Probe Ke782C/Schliff mit gleicher Nummer (leg. H. Kemnitz) mit Objekt KeB *Favosphaera conglobata* Burmann, 1972; (siehe Tafel 7: 6, Tafel 5: 2, Tafel 6: 2).
3. Löbnitz-Zwönitzer Mulde, Griffelschiefer, Ordoviz (Arenig); Probe S54/Schliff A (leg. B. Mingram) mit Objekt S54a für *Favosphaera grandifavosa* Burmann, 1972 (siehe Tafel 5: 3, Tafel 6: 3).
4. Außerdem wird Bezug genommen auf in Burmann (1972) abgebildetes Fossilmaterial aus a) der Altbohrung Bernbruch 3/63, die ca. 800 m westlich des Steinbruchs Bernbruch bei Kamenz in den Kamenzer Schichten der LGF angesetzt war: Objekt Bernbruch, Brg. 3, Probe C; Kernmarsch 54,3–56,3 m, Schliff S 1248/63 (leg. B. Gottesmann; Sammlung BGR Berlin, Inv.-Nr. X9998) für den Holotypus *F. aequabilis*, und Holotypus der zur selbständigen Art erhobenen *F. magna* und Schliff Kfs S 62/64 (ebenfalls Inv.-Nr. X9998) für in der vorliegenden Arbeit aus diesem Altmaterial umbenannte bzw. zur neuen Gattung erhobenen Holotypus von *Tenuisphaera faveolata* n. gen. n. sp. und den Holotypus von *Favosphaera conglobata* Burmann, 1972; sowie b) aus der Brg. Klettwitz 1/62/Probe 21, Kernmarsch 200,7–202,7 m, Schliff 2375/65 (leg. G. Burmann; Sammlung BGR Berlin, Inv.-Nr. X9997) für den Holotyp *F. sola* Burmann 1972.

## Untersuchungsmethodik

Die Untersuchungen wurden am Rasterelektronenmikroskop Jeol 6300 durchgeführt, das mit dem Energiedispersivem Röntgenspektrometer EDR 288 ausgestattet ist.

Die Untersuchungsmethodik bestand in der punktuellen und flächenmäßigen Ermittlung der Element-Zusammensetzung der Mikrofossilien durch Aufnahme des energiedispersiven Spektrums (EDS). In der Regel wurde nur im BSE-Modus (backscattered electrons) gearbeitet. Der Arbeitsabstand für Filmfotos und digitale Fotos wurde bei 8 mm (5–12 mm) gewählt, die Aufnahme von digitalen Belegfotos zur Substanzuntersuchung, Punktspektren (Punktanalysen), Flächenspektren und Elementmaps erfolgte bei 39 mm (36–39 mm). Als Arbeitsspannung wurden überwiegend 20 keV gewählt, nur in seltenen Fällen wurde auf 15 oder 25 keV ausgewichen.

Durchgeführt wurden eine vorwiegend qualitative Analyse über die Erfassung von Punkt- und Flächenspektren sowie standardfreie quantitative Analysen in Auswertung der Punktspektren. Durch Elementmaps unterschiedlicher Auflösung (68 Meßpunkte/Zeile×50 Zeilen oder 136 Meßpunkte×100 Zeilen bei einer Meßdauer von 1 sec pro Meßpunkt) wurde die Verteilungsdichte der Elemente vorwiegend von Si, O, Al, K, Mg, Fe, daneben von Ca, Ti, P, S, Cu, Ni, Co zweidimensional dargestellt. Von den Elementmaps der Einzelemente wurden Überlagerungsmaps zusammengestellt. Auf Grund der hohen SiO<sub>2</sub>-Gehalte wurden je Mikroobjekt jeweils zwei Mapserien gestartet, um auch die Elemente geringerer Verteilungsdichte erfassen zu können.

## EDS-Daten

### 1. Untersuchte Mikroobjekte

Die Mikroobjekte sind im BSE-Modus auf den Tafeln 1 und 5 dargestellt, die zugehörigen lichtmikroskopischen Aufnahmen zeigen die Tafeln 7 und 8. Die lichtmikroskopischen Aufnahmen (Durchlicht) wurden erst nach der EDS-Untersuchung angefertigt, die Kontrastschärfe ist daher durch die Kohlenstoff-Bedampfung beeinträchtigt. Der Vergleich von BSE-Aufnahmen mit den lichtmikroskopischen Aufnahmen ist erforderlich, weil in der Regel nur im Durchlicht der konzentrisch-schalige Aufbau bei der Familie Concentrisphaeridae und die Wabenstrukturierung bei der Familie Favosphaeridae erkennbar wird. Außerdem sind im BSE-Modus Kugelummrisse, die im Durchlicht sehr deutlich hervortreten, nicht mehr wiederzuerkennen, wenn die SiO<sub>2</sub>-Sphären in eine SiO<sub>2</sub>-Matrix eingebettet sind. Die BSE-Aufnahmen dienen deshalb nur der Zuordnung der Substanzdaten, die morphologisch-taxonomischen Daten müssen auf die lichtoptischen Fotos bezogen werden.

Der Schliff Klmach62/CL/943 mit den Objekten Z9a, D, R, T1, j, G, T2, S2, i, Z8 und V ist senkrecht zur Schichtung gefertigt, die Schichtungsebene im Dünnschliff liegt jedoch in einem Winkel zur Horizontalebene, wie aus den Objekten auf Tafel 1: 3 (Objekt j) und 7 (Objekt T1) sowie Tafel 5: 1 (Objekt S) ersichtlich. Diese Orientierung ist wichtig für die Schlußfolgerung über eine gleichsinnige (in der Schichtungsebene liegende) Orientierung der die Kugeln linsig umgebenden SiO<sub>2</sub>-Matrix bzw. SiO<sub>2</sub>-Apophysen, die von den Sphären ausgehen. Andere Mikroobjekte (D, R; i, Z8, V) auf Tafel 1 und 5 wurden aus dieser normalen Schräglage für die BSE-Aufnahmen und Elementmaps herausrotiert. Dadurch ergeben sich in einigen Fällen leichte Winkelabweichungen in der Richtungsorientierung der Objekte. Für den auf den ersten Blick etwas schwierigen Vergleich der Abbildungen zu *Favo-*

*sosphaera aequatorialis* sei extra erwähnt, daß die annähernd gleichgerichtete Orientierung des Durchlichtfotos (Tafel 8: 5a–b) und des BSE-Fotos (Tafel 5: 5) an den zwei längeren Kerblinien im oberen und unteren Bildbereich erkennbar ist. Diesen Richtungen entspricht auch der Verlauf der Al- und Si-Verbreitungslinien des zugehörigen Elementmaps auf Tafel 6: 5a–d. (Das bei nur schwacher Vergrößerung aufgenommene Map soll die weit über die Sphäre hinausreichende SiO<sub>2</sub>-Verbreitung belegen.

Die untersuchten Mikroobjekte sind zwei verschiedenen morphologischen Gruppen innerhalb der Favosphaeren zuzuordnen: (a) Die auf Tafel 1: 1–2, 4–7 dargestellten Mikroobjekte entsprechen dem Strukturtyp mit konzentrisch-schaligem Aufbau. Die neben den taxonomischen Bezeichnungen aufgeführten Kurzbezeichnungen der Objekte (S4e, S4d, Z9a, D, R, T1) dienen anstelle von Kreuztischzahlen zur Wiederauffindung in dem im Kapitel Untersuchungsmaterial angegebenen Schliften S4 von Probe 60 (Objekte S4e und S4d) und Schliff C-943 von Probe 62 (Objekte Z9a, D, R, T1) aus den Kamenzer Schichten der Bohrung Nr. 1695/1981. Die Objektbuchstaben entsprechen generell Lagekennzeichnungen der Mikroobjekte auf einer dem Inventarmaterial beigefügten Lageskizze.

(b) Solitäre Wabenkugeln (Kolonien 1. Ordnung) der Favosphaeren sensu stricto mit im Durchlicht deutlich erkennbarer Wabenstruktur stellen die Vertreter der Gattung *Favosphaera* auf Tafel 5: 1, 4–6 (Objektbezeichnungen S, i, Z8, V ebenfalls zur Wiederauffindung im Schliff C-943 der Probe 62) dar. Diese tektonisch weitgehend unbeanspruchten und unveränderten Objekte entstammen ebenfalls der Bohrung 1695/81 aus Südbrandenburg.

(c) Da keine unveränderten Objekte der morphologisch am weitesten differenzierten *Favosphaera conglobata* zur Verfügung standen, wurde ein von Kontaktmetamorphose beeinflusstes Exemplar von *F. conglobata* aus dem NW-Teil des Steinbruchs Oßling (Tafel 5: 2; Objektbezeichnung KeB ebenfalls zur Wiederauffindung im Schliff Ke782C) in die Untersuchung einbezogen. Es weist aber in einem substantiell unveränderten Restbereich im Durchlicht noch die typische Kugelstruktur von *F. conglobata* (Kolonien 2. Ordnung) auf.

(d) Zum Vergleich wurden die Untersuchungen durch zahlreiche ordovizische Objekte von *Favosphaera grandifavosa* aus dem Griffelschiefer der Lößnitz-Zwönitzer Mulde ergänzt; davon wurde ein Beispiel ausgewählt (Tafel 5:

3). Dieses Material ist insgesamt stark durch Schieferungstektonik überprägt, die Ausgangssubstanz der Favosphaeren ist aber bestimmbar, da nur einzelne Objekte sekundär umgewandelt (chloritisiert) wurden. Damit besteht für alle unter a bis d genannten Objekte die Voraussetzung zur Bestimmung der mineralischen Ausgangssubstanz.

Alle hier untersuchten Objekte sind als digitale BSE-Fotos auf den Tafeln 1 und 5 abgebildet, da sie der Untersuchungsthematik zur Erfassung der substantieller Daten mit EDS angepaßt sind. Zum Verständnis der morphologisch-strukturellen Merkmale wurden die BSE-Fotos durch lichtoptische Vergleichsfotos auf den Tafeln 7 und 8 mit zum Teil unterschiedlichen Tubuseinstellungen ergänzt. Nur auf diesen Durchlicht-Fotos sind die folgenden Merkmale erkennbar: (1) für die Familie Concentrisphaeridae der konzentrisch-schalige Aufbau der SiO<sub>2</sub>-Sphäre, soweit er nicht durch Sulfidkörner nachgezeichnet ist (nur im letzteren Fall ist der Strukturaufbau auch im BSE-Modus teilweise erkennbar). Zum Beispiel ist der dreischalige Aufbau von *Concentrisphaera triplicata* im Durchlicht auf Tafel 8: 1a–c deutlich erkennbar, auf dem entsprechenden BSE-Bild (Tafel 1: 7) ist jedoch nur die innere Schale durch den Sulfidbesatz angedeutet. Die SiO<sub>2</sub>-Strukturen sind im Oberflächenanschnitt (Grobpolitur bei Dünnschliffertigung) im BSE- (und auch im SE-)Modus nicht erkennbar.

(2) für die Familie Favosphaeridae die Wabenstruktur, soweit sie nicht durch Sekundärprozesse (druckbedingtes Aufbrechen von Suturen an den Waben bei Einbettung im Sedimentmaterial siehe Tafel 5: 4 und Tafel 8: 4 für *Favosphaera bipolaris*, Schieferungsprozesse, Stoffumwandlungen bei der ordovizischen *F. grandifavosa* auf Tafel 5: 3) aufgelockert oder nachgezeichnet wird. Zum Beispiel ist die Wabenstruktur von *F. circumpolaris* (Durchlicht Tafel 8: 3, BSE-Modus Tafel 1: 3), *F. aequatorialis* (Durchlicht Tafel 8: 5a–b, BSE-Modus Tafel 5: 5) und *F. coronata* (Durchlicht Tafel 8: 6, BSE-Modus Tafel 5: 6) nur im Durchlicht erkennbar. Generell ist die Wabenstruktur bei substantiell noch nicht veränderten, polierten Mikroobjekten im BSE- und SE-Modus meist nicht erkennbar.

In den Erläuterungen zu den lichtoptischen Vergleichsobjekten auf den Tafeln 7 und 8 ist jeweils Bezug genommen auf die zugehörigen BSE-Fotos, bei den taxonomischen Beschreibungen sind jeweils alle drei Darstellungsarten aufgeführt (Durchlicht, BSE-Modus, EDS-Elementmap).

## 2. EDS-Ergebnisse

Mit EDS untersucht wurden zunächst die im Durchlicht durch deutliches Wabenmuster strukturierten Kugeln (Tafel 1: 3 und Tafel 5: 1, 4–6), da sie die größeren Objekte darstellten, sodann wurde die Untersuchung auf die in der Regel kleineren konzentrisch-schaligen Formen ausgedehnt (Tafel 1: 1–2, 4–7). Das Wiederauffinden der wabenstrukturierten Formen gestaltete sich im Rasterelektronenmikroskop aber weitaus schwieriger: so mußten schließlich für das Objekt i (Tafel 5: 4) im Durchlicht die peripheren Titanflecke als Markierung gewählt werden, um das Objekt im BSE-Modus wiederzuerkennen.

### A. Wabenkugeln (Solitärformen)

#### A1. Hauptsatzung der Wabenkugeln und Wabenstruktur

Die im Lichtmikroskop (Durchlicht) deutlich erkennbaren Mikroobjekte mit Wabenstruktur heben sich mit ihrer Kontur im BSE-Bild von der Grauwackenschluffmatrix generell kaum ab (Tafel 5: 1, 4–6). Die Ursache besteht darin, daß die Wabenkugeln aus  $\text{SiO}_2$  aufgebaut sind (Tafel 6: 1, 4–6) und sich dadurch von silikatischen Komponenten der Gesteinsmatrix in der Graubstufung kaum unterscheiden. Zum besseren Vergleich sind auf Tafel 5 und 6 die digitalen BSE-Fotos der Mikrofossilien und die zugehörigen Elementmapergebnisse in analoger Weise angeordnet. Es handelt sich bei den Elementmaps bzw. Überlagerungsmaps für verschiedene Elemente auf Tafel 6 generell um Maps, die bei niedriger Auflösung und schwacher Vergrößerung ausgeführt wurden. Dies diente speziell dem Ziel, die starke Präsenz von  $\text{SiO}_2$ , hier stellvertretend ausweisbar durch die Maximalkonzentration von Si, im Bereich der Mikrofossilien zu belegen.  $\text{SiO}_2$  als Hauptsatzung ist für alle zu *Favosphaera* gehörenden Mikroobjekte von Tafel 5: 1–6 durch die zugehörigen Maps auf Tafel 6 zu belegen. Das trifft zu sowohl auf die nur leicht thermisch beanspruchten Solitärformen von Tafel 5: 1, 4–6 (Kolonien erster Ordnung) als auch die kontaktmetamorph beeinflusste Kugelkolonie 2. Ordnung *F. conglobata* von Tafel 5: 2, aber auch für die schieferungsbeeinflusste *F. grandifavosa* von Tafel 5: 3 (siehe jeweils die zugehörigen Maps auf Tafel 6).

Die Wabenkugeln erscheinen im BSE-Bild kompakt, da die Wabenstruktur substantiell nicht unterlegt ist (Tafel 5: 1, 2, 5, 6). Nur bei Druckbeanspruchung (Suturen auf Tafel 5: 4 ver-

mutlich bei der Sedimenteinkbettung entstanden) wird die Wabenstruktur durch Suturen aufgelockert und nachgezeichnet und ist dann auch im BSE-Bild angedeutet. Das zugehörige lichtoptische Erscheinungsbild auf Tafel 8: 4 läßt bereits eine starke Auflockerung erkennen im Gegensatz zu den noch kompakt gestalteten übrigen Wabenkugeln auf dieser Tafel. Anders ist das Erscheinungsbild von Favosphaeren in durch Schieferungstektonik stark beanspruchten Sedimenten, wie dies das Objekt S54a (Tafel 5: 3 von *F. grandifavosa*) erkennen läßt: Auch hier bildet  $\text{SiO}_2$  noch die Hauptsatzung der Wabenkugeln (siehe die beiden grauen Kugeln im oberen Bildbereich von Tafel 5: 3 und dazu das Mapergebnis Tafel 6: 3), die Wabenstruktur ist aber weitgehend aufgelockert und dient als Lösungsbahn für Stoffumwandlungen. Das helle Objekt im unteren Teil von Tafel 5: 3 ist bereits vollkommen chloritisiert (siehe dazu Mapergebnis Tafel 6: 3 rechts unten).

Für *Favosphaera conglobata* von Tafel 5: 2 (Objekt KeB) wird durch das Mapergebnis niedriger Auflösung von Tafel 6: 2 der Erhalt einer  $\text{SiO}_2$ -Restfläche im Zentrum und eine marginale Limonitierung ausgewiesen, die Ca-Flächen entsprechen dem kontaktmetamorph gebildeten Allanit (links: mit Pyriteinschluß). Der Chloritanteil (Mg, Fe) auf Tafel 6: 2 nahe dem rechten Objektrand liegt bereits außerhalb des ehemaligen Mikrofossils.

#### A2. An Wabenkugeln anhaftende $\text{SiO}_2$ -Matrix

Die unverändert überlieferten präkambrischen Wabenkugeln sind im BSE-Bild auch deshalb so schwer erkennbar, weil sie ebenfalls aus  $\text{SiO}_2$  bestehende Apophysen (Tafel 5: 1, Map siehe Tafel 6: 1) oder kappen- und lobenartige Erweiterungen bzw. Anlagerungen aufweisen (diese an den wabenstrukturierten Kugeln anhaftenden Teile sind im Durchlicht ohne Wabenstruktur), die die Kugelgestalt des Mikrofossils im BSE-Bild gleichsam verdecken (Tafel 5: 4–6; siehe dazu das Map von Tafel 6: 4, 5a–d, 6). Nur bei *F. intermedia* von Tafel 5: 1 ist die Kugelgestalt des Mikrofossils auch im BSE-Bild deutlich durch die nur grobe Politur und die Abgrenzung von den Apophysen, im zugehörigen Elementmap liegt aber keine stoffliche Trennung zwischen Kugelbereich und anhaftenden  $\text{SiO}_2$ -Apophysen vor.

Diese Erscheinung des apophysenähnlichen Anhaftens von unstrukturierter  $\text{SiO}_2$ -Substanz am wabenstrukturierten  $\text{SiO}_2$ -Kugelkörper von

Mikrofossilien wurde erst im BSE-Bild erkannt und durch die Elementmaps bestätigt.

Da die Erscheinung an Mikrofossilien aus tektonisch nicht beanspruchten Sedimenten zu beobachten ist, besteht auch keine Notwendigkeit, eine streßbedingte Verursachung (z. B. als Druckschattenbildung) anzunehmen, sondern die Entstehung kann eher mit dem Mikrofossil als Verursacher zusammenhängen, zumal diese Erscheinung ebenfalls bei den konzentrisch-schaligen Formen nachgewiesen ist (siehe Punkt B2). Es handelt sich dabei vermutlich um eine verkieselte Gallerte, hier bezeichnet als anhaftende  $\text{SiO}_2$ -Matrix. Während die Wabenkugeln im Durchlicht in erster Linie durch ihre Wabenstruktur deutlich abgegrenzt sind, ist eine mögliche Präsenz anhaftender  $\text{SiO}_2$ -Matrix zumeist nur zu vermuten, wirklich erkennbar ist ein Zusammenhang erst im BSE-Bild. Da die Erscheinung auch mehrere, als lockere Ansammlung vorliegende Wabenkugeln betreffen kann, läßt die Einhüllung durch eine Gallerte, die später verkieselte, den Schluß auf eine benthische Lebensweise zu (Mikrobenthos, Mikromatte).

#### A3. Sulfideinschlüsse in Favosphaeren

Im Durchlicht opake Einschlüsse haben sich nicht als Kohlenstoff, sondern als Sulfide erwiesen. Eine Regelmäßigkeit der Verteilung von Sulfidkörnchen ist in den grobwabigen Kugeln allerdings weniger ersichtlich als bei den konzentrisch-schaligen Formen. Der normale Verteilungsmodus in grobwabigen Kugeln besteht in der Anordnung feiner Körnchen zwischen den Grenzen der Wabenzellen (Tafel 5: 4; das Map auf Tafel 6: 4 hat für diesen Nachweis eine zu geringe Auflösung) oder in Zwickeln. Daß aber auch andere Verteilungsvarianten „ausprobiert“ wurden, zeigen die beiden Figuren 5 und 6 auf Tafel 5 von *Favosphaera aequatorialis* und *F. coronata*: Bei beiden Objekten, die im Durchlicht deutlich strukturierte Wabenkugeln darstellen, sind die Sulfidkörnchen als Kranz von unterschiedlicher Form angeordnet – bei *F. aequatorialis* sind diese im Durchlicht räumlich als aus kleineren Sulfidkörnchen bestehender Äquatorgürtel erkennbar, bei *F. coronata* liegt ein sehr grobkörniges Kranzgebilde vor. Selbst bei *F. conglobata* von Tafel 5: 2 sind trotz nicht mehr kompakter, sondern löcheriger Ausbildung des  $\text{SiO}_2$  (Korrosion) auf der Restfläche noch kleine Sulfidkörnchen erkennbar. Der Flächennachweis der Sulfide muß bei hoher Auflösung geführt werden, die lichtoptische Detailaufnahme

von *F. conglobata* mit den opaken Sulfideinschlüssen liegt auf Tafel 7: 6 vor. Aber selbst bei dem in niedriger Auflösung vorliegenden Map von *F. coronata* auf Tafel 6: 6 zu den größeren Sulfideinschlüssen von Tafel 5: 6 ist der Sulfidnachweis bereits positiv. Hierzu existiert noch ein Map mit stärkerer Vergrößerung und höherer Auflösung ohne Si, um die Verteilung von S, Fe, Cu einerseits und Fe, Mg andererseits zu präzisieren.

#### A4. Zum C-Nachweis an Favosphaeren

Um den mit dem Gerät möglichen C-Nachweis (Ordnungszahl 6) zu prüfen, wurden zunächst im Durchlicht gut erkennbare Wandungen von weniger und stark inkohlten Chitinozoen und Acritarchen untersucht, die ca. 1  $\mu\text{m}$  und mehr  $\mu\text{m}$  Wanddicke aufweisen. Der Test verlief positiv. Sowohl in Punktanalysen als auch in den Flächendarstellungen (Elementmaps) konnte die C-Präsenz im Spektrum und im Map belegt werden: Im BSE-Bild und im Elementmap zeichnen sich sowohl Querschnitte als auch Anschnitte von Chitinozoen- und Acritarchenwandungen ab, die direkt in der oberen Anschnittebene liegen und zuvor im Lichtmikroskop (Durchlicht und Auflicht) geprüft und ausgewählt wurden. Auch die Harzaufkittmasse des Dünnschliffs (Tafel 6: 2) mit C-Areal im oberen Mapteil, zugehöriges BSE-Bild siehe Tafel 5: 2, gibt bei lockerer Struktur oder Lückenhaftigkeit der polierten Gesteinsmatrix Impulse ab.

Probleme für den Nachweis organischer Wandungen bestehen aber dann, wenn auch im Durchlicht bereits visuell Unsicherheiten zur Präsenz von Kohlenstoff bestehen. Dann sind die Nachweisgrenzen erreicht. Die sich im Durchlicht deutlich abhebende Wabenstruktur der Favosphaeren hebt sich im BSE-Bild nicht ab, d. h. sie ist substantiell nicht unterlegt. Auch für die recht grobwabigen Vertreter mit Wabenzellgrößen von 3  $\mu\text{m}$  ist eine Erkennbarkeit im BSE-Bild nur gegeben, wenn sekundäre Prozesse die Primärstruktur nachzeichnen bzw. eine Strukturauflöckerung wie Suturenbildung durch Druckbeanspruchung oder Lösungsprozesse vorliegt. Ein aus organischen Wandungen bestehendes Netzwerk ist nicht zu belegen.

Der fehlende C-Nachweis kann bei den Favosphaeren aber nicht als Beleg für ein völliges Fehlen von Kohlenstoff im Bereich der Wabenzellen herangezogen werden, da die Relation zwischen Wabenzelldurchmesser (1–2–3  $\mu\text{m}$ ) und Wandungsstärke (vermutet wird 30:1) außerhalb

der hier bestehenden Nachweisgrenze liegt. Außerdem bleibt die Frage offen, ob die organische Wandung der Einzelwaben fossil überhaupt überlieferungsfähig war. Es werden deshalb andere Kriterien mit einbezogen werden müssen. Auch wird durch Inkohlungsprozesse eine weitere Substanzminderung dünner Wabenwandungen im Vergleich zu möglichen analogen Mikroobjekten aus Tafelregionen eingetreten sein. Für die Favosphaeren bleibt deshalb die Frage nach der Präsenz fossil überlieferbarer Wandungssubstanz der Wabenzellen vollkommen offen.

*Bavlinella faveolata* Shepeleva aus dem Präkambrium der Russischen Tafel ist bisher nur als Lösungsprodukt bekannt und dieses Lösungsprodukt könnte, bezogen auch auf die Wabenstrukturierung, aus organischer Substanz bestehen. Für diese Einschätzung müßten aber auch detaillierte Daten zur jeweils verwendeten Aufbereitungsmethodik angegeben werden. An dieser Stelle wird davon ausgegangen, daß in den sechziger Jahren in den palynologischen Laboratorien der ehemaligen Sowjetunion die Konzentration der organischen Substanz nach der chemischen Aufbereitung überwiegend durch Zentrifugieren mit Schwereflüssigkeit erfolgte. Bei Einsatz dieser Arbeitsmethode wäre deshalb die Zusammensetzung des Lösungsproduktes *B. faveolata* aus organischer Substanz am wahrscheinlichsten, dies ist aber nur eine Vermutung.

Andererseits blieben auch bei in den sechziger Jahren durchgeführten Tests zur HF-Auflösung (ohne Schweretrennung) von Favosphaeren aus nur leicht thermisch beanspruchter Lausitzer Grauwacke der Bohrung NSL-Kleinkoschen hyaline Restgebilde zurück, deren Erkennbarkeit sich jedoch nur auf die einzelnen Kugeln der Kugelkolonie *F. conglobata* bezog, nicht jedoch auf eine Wabenstrukturierung. Es bleibt also wieder die Frage nach dem in situ-Habitus von *Bavlinella faveolata* offen, sowohl morphologisch wie substantiell, um diese Mikroobjekte zuordnen oder abgrenzen zu können.

## B. Konzentrisch-schalige Formen (Solitärformen)

Unter den hier dargestellten konzentrisch-schaligen Objekten (Tafel 1: 1–2, 4–7) der Gattungen *Crassosphaera* und *Concentrisphaera* wird von der methodischen Seite besonders das Objekt *Concentrisphaera crassogranulata* von Tafel 1: 5 vorgestellt (dreischaliger Aufbau im Durchlicht siehe Tafel 7: 4a–c) mit den zugehörigen Elementmaps und Überlagerungsmaps von Tafel 2: 1–6 und Tafel 3: 1–5 sowie den Punktanalysen

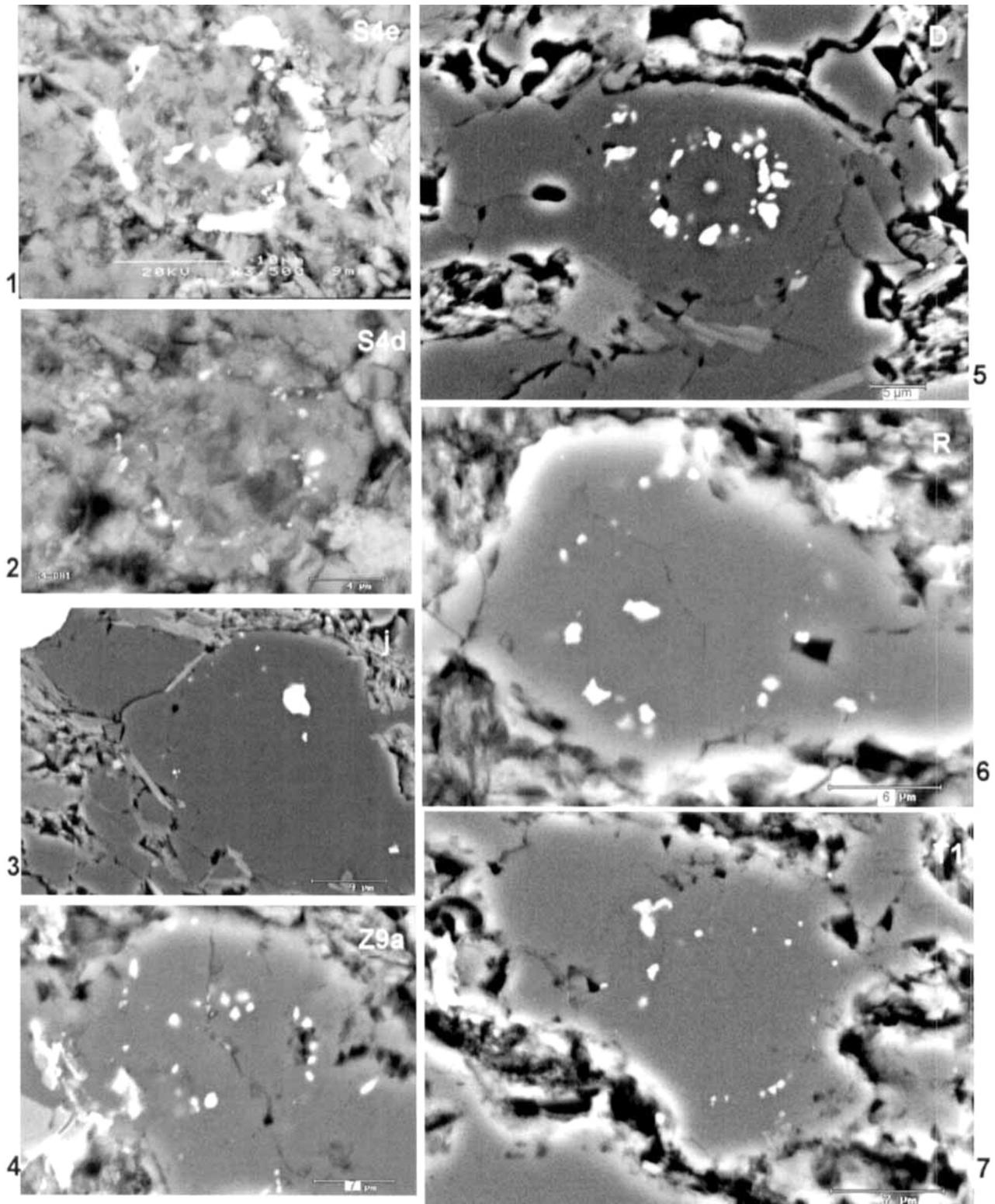
P1 bis P13 auf Tafel 4. Die Ergebnisse sind aber repräsentativ für die anderen Objekte. Mit der vergleichenden Farb- und Schwarzweiß-Darstellung auf Tafel 2 und 3 wird das Problem der Schwarzweiß-Konvertierung und der erforderlichen Reduzierung der Elementanzahl von 8 auf 4 Elemente im Überlagerungsmap gegenüber dem farbigen Original angeschnitten.

### B1. Hauptschubstanz der konzentrisch-schaligen Kugeln

Die konzentrisch-schaligen Kugeln weisen in der Regel im Durchlicht nur in seltenen Fällen Bereiche mit einer (kleinzelligen) Wabenstruktur auf (siehe Burmann 1972: 417, Tafel I: 13 und 419, Tafel IV: 10–11), die Bereiche zwischen den Kugelschalen erscheinen in der Regel strukturlos. Dafür wird durch opake Einlagerungen ein schaliger Aufbau angedeutet. Die Substanz der opaken Einlagerungen erleichtert das Wiederauffinden im BSE-Bild. Die Hauptschubstanz aller auf Tafel 1: 1–7 dargestellten konzentrisch-schaligen Kugelobjekte ist  $\text{SiO}_2$ . Am Beispiel von *Concentrisphaera crassogranulata* auf Tafel 1: 5 werden die unterschiedlichen methodischen Möglichkeiten dargestellt, dies zu belegen. Tafel 2: 1 mit der Mapserie 1 aus 8 Elementen ist ein Intensitätsmap mit Si als stärkster Komponente. Die Fehlstellen für die Sulfide sind im Inneren der Si-Verbreitungsfläche erkennbar. Tafel 2: 4 stellt das zugehörige Überlagerungsmap dar, aus dem die gegenläufige Verbreitung von  $\text{SiO}_2$  des Kugelobjektes und Al, K, Na als Komponenten der Gesteinsmatrix ablesbar ist. Tafel 3: 1 gibt das Ergebnis in der Schwarz-Weiß-Darstellung wieder, das zugehörige Überlagerungsmap mit Si von Tafel 3: 3 mußte gegenüber dem farbigen Original von Tafel 2: 4 zur Unterscheidbarkeit der Graustufen von 8 auf 4 Elemente Si, Al, Fe, S reduziert werden.

### B2. An den konzentrisch-schaligen Solitärformen anhaftende $\text{SiO}_2$ -Matrix

Mehrere BSE-Abbildungen auf Tafel 1: 5–7 lassen neben einer konzentrisch-schaligen Anordnung auch (wie oben bei den Wabenkugeln beschrieben) pfropfartige Erweiterungen des Kugelobjektes erkennen. Auf Tafel 2: 1 der Mapserie 1 ist deutlich abzulesen, daß diese unförmigen Apophysen aus der gleichen Substanz bestehen, wie die Sphären selbst, nämlich  $\text{SiO}_2$ . Diese Apophysen sollen wie bei den wabenstrukturierten Formen von Punkt A dieses Kapitels als (im Durchlicht strukturlose) anhaftende



Tafel 1. 1–7. Digitale BSE-Fotos von konzentrisch-schalig gebauten Vertretern der Familie Concentrisphaeridae der Favosphaeren s.l. (Silicobacteria). Außer den taxonomischen Bezeichnungen und Maßen sind für Fig. 1, 3–4, 6–7 nur die zugehörigen Ergebnisse der einzelnen Elementmappings kurz erläutert, aber für das Mikrofossil auf Fig. 5 sind die Mapergebnisse in vollem Umfang auf Tafel 2–3 dargestellt. 1. *Crassosphaera brandenburgensis* n. gen. n. sp., Genotypus; Objekt S4e/Pr. 60; Durchmesser d1 (innerer) = 17  $\mu\text{m}$ , d2 (äußerer) = 20  $\mu\text{m}$ , Sulfidschale 2–3  $\mu\text{m}$ , zentrales Sulfidkorn 3  $\mu\text{m}$ . Im Kugelinneren  $\text{SiO}_2$ , Sulfidkranz mit Fe und Cu, Körner im Inneren ebenfalls Sulfide mit Fe und Cu. 2. *Concentrisphaera* sp.; Objekt S4d/Pr. 60; Durchmesser d1 (innerer) = 9  $\mu\text{m}$ , max. Korngröße <1  $\mu\text{m}$ ; d2 (äußerer) = ca. 15  $\mu\text{m}$ . Feine Sulfidkörnchen sind auf einer inneren Kugelschale angeordnet. Besetzungsdichte der Körnchen mittel bis dicht. Elementmap nicht durchgeführt. 3. *Favosphaera circumpolaris* n. sp., Holotypus; Objekt j/Pr. 62; d (äußerer) = 30  $\times$  35  $\mu\text{m}$ ; Wabengröße 1.5  $\mu\text{m}$ ; größtes Sulfidkorn =

SiO<sub>2</sub>-Matrix bezeichnet werden im Gegensatz zur eigentlichen Sphäre. Diese anhaftende SiO<sub>2</sub>-Matrix erschwert im BSE-Bild die Abgrenzung der eigentlichen Kugel in gleicher Weise, wie das bei den wabenstrukturierten Formen (Tafel 5: 4–6) zu beobachten ist. Bei beiden morphologischen Gruppen wird die anhaftende SiO<sub>2</sub>-Matrix als verkieselte Gallerte angesehen, es ist keine tektonisch bedingte Erscheinung.

### B3. Sulfideinschlüsse in konzentrisch-schaligen Formen

Auf Tafel 4 sind die Ergebnisse der Punktspektren für die konzentrisch-schalige *Concentrisphaera crassogranulata* von Tafel 1: 5 dargestellt. Sie ermöglichen eine genauere Ermittlung der qualitativen Elementzusammensetzung kleinerer Körner als es im Map möglich wäre. Zu berücksichtigen ist bei der Kleinheit der Objekte, daß der Hintergrund, d. h. die einbettende Matrix, im Spektrum mit präsent ist.

Das BSE-Bild auf Tafel 4 enthält die Lage der Analysenpunkte für *C. crassogranulata*. Sie verteilen sich (a) mit P1–P3 auf den Kern der Sphäre, (b) mit P12 auf den Bereich zwischen Kern und Peripherie, (c) mit P14 (Spektrum hier aus Platzgründen nicht mehr dargestellt) auf den Bereich der Anhaftung außerhalb der Sphäre. Die zugehörigen Spektren P1–P3, P12 und P14 belegen die Zusammensetzung der Analysenpunkte aus SiO<sub>2</sub>, wie dies bereits im Map 1 von Tafel 2: 1 erkennbar war. (d) Der Schwerpunkt der Nachweise bei den Punktanalysen besteht aber in der Zusammensetzung für die punktarti-

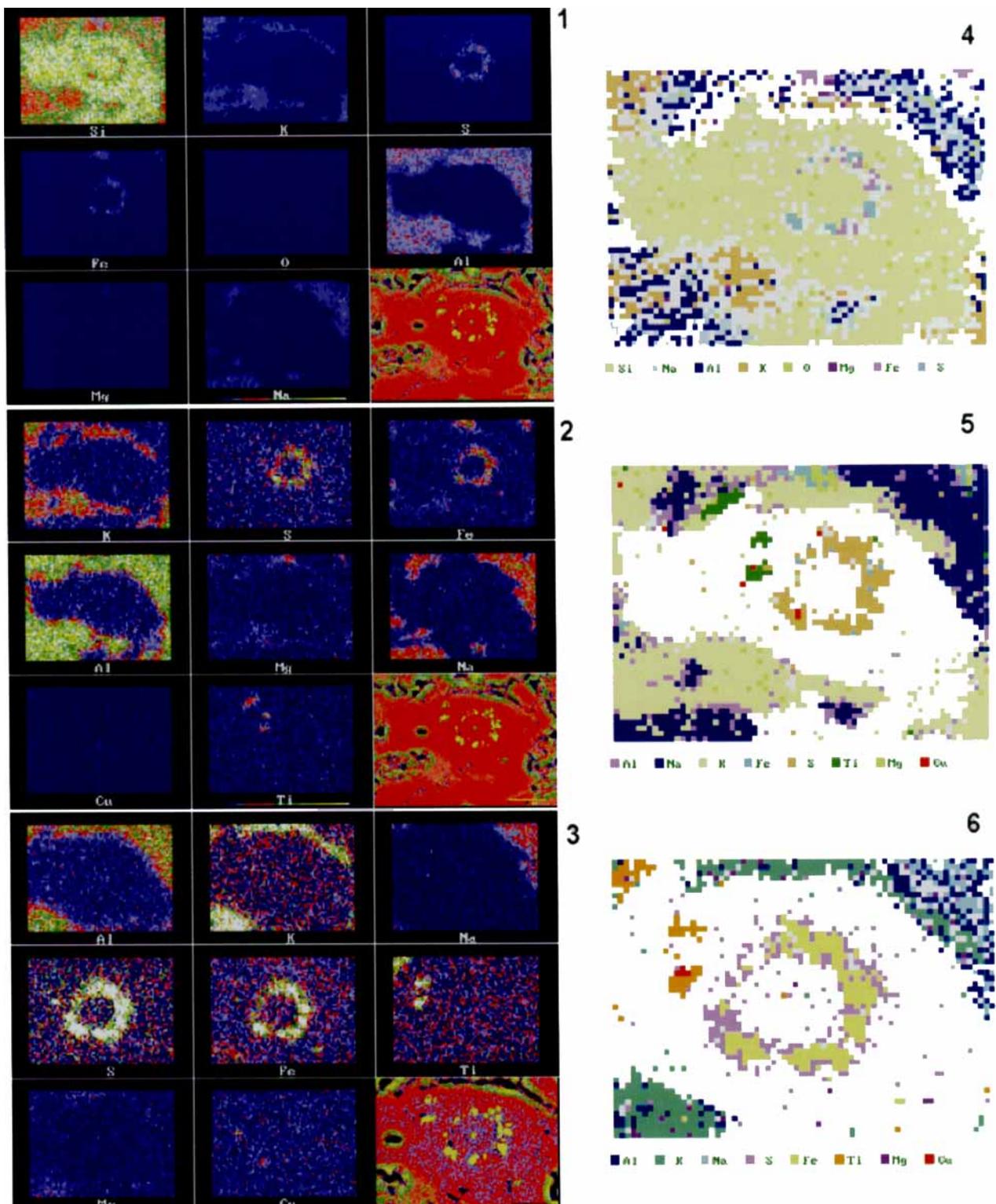
gen Gebilde P4–P11. P4, P5, P6, P7 sind Sulfidkörner, der Fe-Peak weist auf Pyrit hin, in Spuren kann Ni vorhanden sein. P8, P9, P10, P11 sind von noch geringerer Größe, die Zusammensetzung aus Pyrit ist jedoch auf dem Hintergrund der Einbettung in SiO<sub>2</sub> aus den Punktspektren ableitbar. Für P11 ist die Überlagerung eines Pyritkörnchens mit einem Titanfleck ablesbar. Die überwiegend pyritische Zusammensetzung der Körner spiegelt sich auch in den Elementmaps wider: Das Überlagerungsmap von Tafel 2: 5 gibt trotz niedriger Auflösung Fe und S bereits als Hauptkomponenten in den Körnern an, das Überlagerungsmap von Tafel 2: 6 mit Fe und S als Hauptkomponenten wurde bei stärkerer Vergrößerung und niedriger Auflösung abgeleitet. Weitere Metalle außer Fe liegen mit Ni und Cu nur in Spuren vor. (e) Einziger Analysenpunkt aus der einbettenden Gesteinsmatrix ist P13. Die Al-Si-K-Peaks mit kleineren Mg-Fe-Peaks lassen (trotz des ungewöhnlichen Ca-Peaks) einen Biotit vermuten.

Die Mapbeispiele von Tafel 2 und die Analysebeispiele von Tafel 4 für *C. crassogranulata* können verallgemeinert werden, da die Ergebnisse auch an den anderen aufgeführten Objekten wiederholt wurden. Dies betrifft neben SiO<sub>2</sub> als Hauptschubstanz der Sphären die sulfidische Zusammensetzung der im BSE-Bild hellen Körner. Differenzierungen ergeben sich meist für die Zusammensetzung der Sulfideinlagerungen. Wenn auch Pyrit überwiegt, so wurde außer Nickel wie im obigen Beispiel D an anderen Objekten bevorzugt Kupfer ermittelt, und zwar in stärkeren Anteilen im Vergleich zu den Spuren im Objekt

(Fortsetzung der Legende Tafel 1)

4 µm. Links oben weißes Phosphat, rechts unten mittelgrauer Feldspat (Al-Na), im Zentrum im gleichen Grauton die SiO<sub>2</sub>-Kugel mit peripheren feinen Sulfidkörnchen und größerem Sulfidkorn (Pyrit) im Inneren. **4.** *Concentrisphaera duplicata* n. sp.; Objekt Z9a/Pr. 62; Durchmesser d1 (innere Kugelschale) = 11 × 11 µm, Sulfidkörner < 1 µm; d2 (äußerer Kugeldurchmesser) = 18 × 20 µm. SiO<sub>2</sub>-Kugel, die eine innere sowie periphere Kugelschale mit Sulfidkörnchenbesetzung (Pyrit) aufweist. SW-Quadrant mit Ca und Ti in den hellen Flecken. Die Hauptfläche wird von SiO<sub>2</sub> eingenommen, nach SE auch über den Kugelbereich hinaus. **5.** *Concentrisphaera crassogranulata* n. gen. n. sp.; Genotypus; Objekt D/Pr. 62; Kugelschale d1 (innere) = 8 (Unterkante) und 12 µm (Oberkante des Sulfidbesatzes), d2 (mittlere) = 17 µm, d3 (äußere) = 21 µm. Zentrales Pyritkorn < 1 µm, max. Korndurchmesser = 2 µm, mittlere Korngröße auf d1 ca. 1–1,5 µm. Im BSE-Modus nur d1 und andeutungsweise d3 erkennbar durch Sulfidbesatz. Im linken Randfeld zusätzliche 17 × 17 µm-Fläche von SiO<sub>2</sub> als Anhang an der SiO<sub>2</sub>-Kugel. Konzentrisch-schalige Form, dreischalig im Durchlicht. Hauptbesatz mit Pyrit auf d1. Details siehe Tafel 2–3. **6.** *Concentrisphaera duplicata* n. sp., Holotypus; Objekt R/Pr. 62; Durchmesser d1 (innerer) = 11 × 12 µm, Sulfidkörner auf der Kugelschale bis 1 µm, max. Sulfidkorn im Zentrum > 4 × 1 µm; d2 (äußerer) = 16 × 18 µm; rechts unten SiO<sub>2</sub>-Anhang im SE-Quadrant 6 × 8 µm. SiO<sub>2</sub>-Kugel mit Pyritkörnchen auf der inneren Kugelschale. **7.** *Concentrisphaera triplicata* n. sp., Holotypus; Objekt T1/Pr. 62; Durchmesser d1 (innerer) = 12 µm; d2 (mittlerer) = 17 µm, d3 (äußerer) = 22 µm. Im BSE-Modus nur d1 und andeutungsweise d2 durch Sulfidkörnchen erkennbar. Sulfidkörnchen auf innerer Kugelschale überwiegend ca. 0,3 µm, maximal 1 µm. Größtes Sulfidkorn ca. 1,3 µm. SiO<sub>2</sub>-Anhang 12 × 17 µm. Wahrscheinlich ehemals auch peripherer Sulfidbesatz auf der äußeren Kugelschale, die stärker korrodiert ist. SiO<sub>2</sub> in allen kompakt wirkenden Flächenanteilen. Großkorn Pyrit, überlagert von Ti-Fleck.

Plate 1. 1–7. BSE-images from spheres with concentric structure from the family Concentrisphaeridae in the group favosphaeres sensu lato (syn. Silicobacteria). Short descriptions of the results of element mappings are given for figs 1, 3–4 and 6–7, but for the selected microfossil in fig. 5, all corresponding element mappings are listed in plate 2–3. Besides termini and measures for figs. 1, 3–4, 6–7 are given only short descriptions from the results of element mappings, but for the selected microfossil on fig. 5 all the corresponding element maps are demonstrated on plate 2–3.



Tafel 2. 1–6. Elementmaps (Fig. 1–3) und zugehörige Überlagerungsmaps (Fig. 4–6) von *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp. 1–3. Elementmaps von *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp., Holotypus; Maßangaben siehe Tafel 7: 4a–c. 1 (Map 1). Intensitätsmap geringer Auflösung mit Si als Hauptelement, geeignet für Si-Darstellung, Gesteinsmatrix Al-K-Na gegenläufig. Die Fläche der höchsten Si-Konzentration entspricht dem Umriss der SiO<sub>2</sub>-Sphäre sowie ihrer SiO<sub>2</sub>-Anlagerungen. 2 (Map 2). Intensitätsmap gleicher Auflösung und gleicher Vergrößerung wie Fig. 1 mit Al als Hauptelement. Elemente mit geringerem Gesamtanteil (S, Fe, Ti) kommen besser zur Geltung. 3 (Map 3). Intensitätsmap mit niedriger Auflösung, aber stärkerer Vergrößerung zur besseren Erfassung der Elemente mit geringeren Gehalten (S, Fe, Ti, Cu). Der Sulfidkranz auf der inneren Kugelschale besteht aus Pyrit (S-Fe), links oben überlagern zwei Ti-Flecken ein Pyritkorn; Spuren von Cu. 4–6. Drei Überlagerungsmaps von jeweils 8 Elementen für *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp. in der Farbvariante auf der Basis der Konditionen der drei nebenstehenden Elementmapserien von Fig. 1–3. 4. Überlagerungsmap mit Si als Hauptelement. Das Areal erhöhten Si-Gehaltes (SiO<sub>2</sub> als Hauptsubstanz im Bereich der Mikrofossilkugel) hebt sich deutlich von der gegenläufig-

D. Dieser deutliche Cu-Anteil trifft zu für *Cras-sosphaera brandenburgensis* (Objekt S4e auf Tafel 1: 1) als Beispiel für die konzentrisch-schaligen und *Favosphaera coronata* (Objekt V auf Tafel 5: 6) als Beispiel für die wabenstrukturierten Formen.

In dem Map (hier nicht dargestellt) zu *Cras-sosphaera brandenburgensis* von Tafel 1: 1 zeichnet sich für die im BSE-Bild hellen Körner des Kerns und der Kruste jeweils ein deutlicher S-Ring, Fe-Ring und Cu-Ring ab, d. h. es ist in der gesamten Kruste ein Cu-Anteil präsent. Die scheinbare Lücke links unten (hier mittlere Graustufe) im BSE-Bild (Tafel 1: 1) ist durch Titan belegt. Bei *Favosphaera coronata* von Tafel 5: 6 ist der Kranz aus hellen großen Körnern im Map (Tafel 6: 6 sowie ableitbar aus einem zusätzlichen Detailmap) von einem S-Kranz, einem Fe-Kranz und einem Cu-Kranz überlagert, d. h. auch hier ist Cu in den einzelnen Sulfidkörnern vertreten. Außer Cu und Ni wurden an anderen Objekten auch selten Sn und Pb in den Sulfidkörnern erfaßt.

Gesamtinterpretation zu *Concentrisphaera crassogranulata* (Objekt D von Tafel 1: 5 und Tafel 2: 1–6): (1) Das kugelige Mikrofossil besteht aus SiO<sub>2</sub>. (2) Es ist in einer aus Si, Al, K, Na bestehenden Gesteinsmatrix eingebettet (vermutlich Feldspat). (3) Direkt am Mikrofossil befinden sich unregelmäßige Auswüchse, die ebenfalls aus kieseliger Substanz bestehen. Da diese Erscheinung mehrfach beobachtet wurde, kann sie in der Deutung als verkieselte Gallerte einen Hinweis auf eine Lebensweise als Mikrobenthos geben. (4) Auf einer inneren Kugelschale befindet sich ein Kranz von Sulfidkörnern, die überwiegend aus Pyrit bestehen. Spuren von Cu sind nur an den größeren Körnern erfaßbar. Die überwiegend auf Kugelschalen angeordneten Pyritkörner werden als Stoffwechselprodukte angesehen und ihre Präsenz wird als Hinweis auf einen schwefelabhängigen Metabolismus des kugeligen Organismus gedeutet. (5) Die Größenrelation von Gesamtorganismus und Körnchengröße mit Konzentration der Sulfidkörner auf einer inneren Kugelschale läßt darauf schließen, (a) daß das Wachstum von innen nach außen gerichtet war und (b) daß aus Stabilitätsgründen

ihr Einschluß auf einem bereits verfestigten, verkieselten Kern erfolgte. Damit besteht Anlaß, eine sukzessive Verkieselung von innen nach außen bei konzentrisch-schaligem Wachstum zu vermuten. Der Einbau der kieseligen Substanz innerhalb der Sphäre ist dann Teil des Lebenszyklus, während die Verkieselung der anhängenden oder z. T. einschließenden Gallerte erst in der Endphase erfolgte. (6) Der konzentrisch-schalige Aufbau innerhalb der dreischaligen SiO<sub>2</sub>-Sphäre entspricht keiner stofflichen Differenzierung, nur der Sulfidkornbesatz auf der inneren Kugelschale zeichnet dieselbe im BSE-Bild stofflich nach.

Damit ergibt sich, daß *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp. von Tafel 1: 5 ein mehrschalig aufgebaute Mikroorganismus war, der kieselige Substanz eingebaut hat und einen S-abhängigen Metabolismus aufwies, wobei er die gebildeten Pyritkörner mit stark unterschiedlicher Besetzungsdichte auf den Kugelschalen eingebaut hat. Zum Teil war er von einer schützenden Gallerte umgeben, die später verkieselte.

## Interpretation

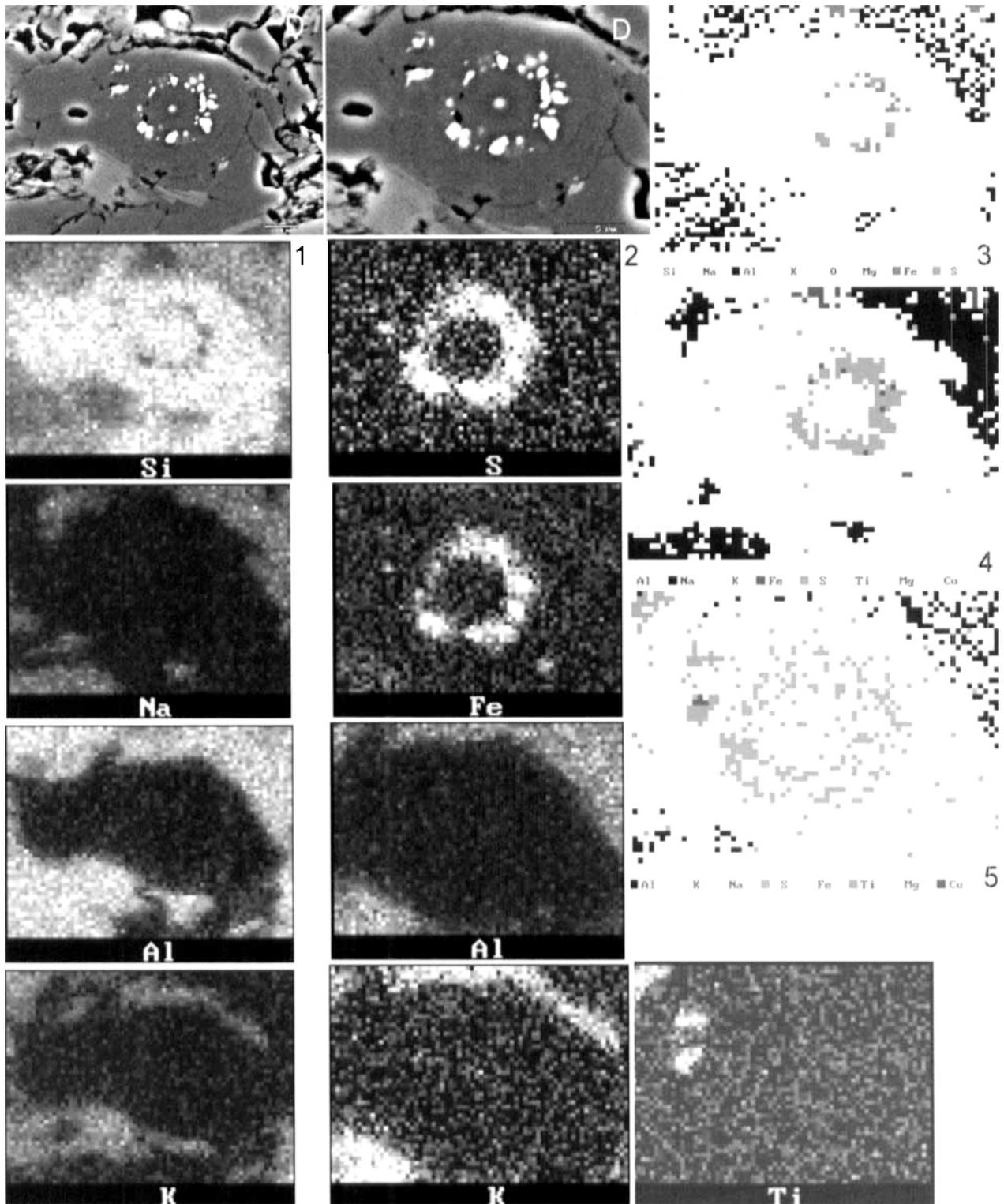
### 1. Zum Pyrit im Sediment

Um die Substanzbestimmungen zu interpretieren, soll noch auf eine Beobachtung hingewiesen werden, die sich auf den Pyrit in der untersuchten Grauwackenschluffprobe 62 der Bohrung 1695/81 bezieht. In der Probe sind größere (mm-Bereich) syngenetische bis frühdiagenetische Pyritkristalle vorhanden. Außerdem kommen kleine, allerdings relativ wenige kompakte Pyritkügelchen vor, die Framboidalpyrite (10–15 µm) mit deutlichen Kristallkanten der sie zusammensetzenden Kleinkristalle darstellen und zumeist in der Nähe der großen Pyritkristalle auftreten. Ein Zusammenhang (Übergänge, räumlicher Bezug) mit den in der Probe untersuchten Mikrofossilien wurde nie beobachtet. Im Gegenteil, es hat den Anschein, daß im näheren Umfeld der Pyritkristalle die Mikrofossilien unterrepräsentiert sind. Damit ist für die untersuchte präkambrische Schluffprobe von der gleichzeitigen Präsenz von Mikrofossilien mit SiO<sub>2</sub> als Hauptsubstanz einschließlich körnigen Pyriteinschlüs-

(Fortsetzung der Legende Tafel 2)

gen Kontur der Gesteinsmatrix mit Al-K sowie Fe-Mg ab. Keine stofflichen Differenzierungen zwischen SiO<sub>2</sub>-Sphäre und SiO<sub>2</sub>-Anlagerungen. 5. Überlagerungsmap mit Al als Hauptelement. Durch Weglassen des Si bereits besseres Abheben des auf der inneren Kugelschale befindlichen Sulfidkranzes. 6. Überlagerungsmap bei stärkerer Vergrößerung: die Differenzierung von Fe und S im Sulfidkranz ist bereits im Detail möglich, die Überlagerung von Titanflecken und Pyritkorn sind erkennbar. Spuren von Cu sind lokalisiert.

Plate 2. 1–6. Element maps (figs. 1–3) and overlapping maps (figs. 4–6) from *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp.



Tafel 3. 1–5. Schwarz-Weiß-Vergleichsdarstellungen für ausgewählte Elementmaps (figs 1–2) und Überlagerungsmaps (figs 3–5) von *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp. im Vergleich zu Tafel 2: 1–6. Sie erfolgt auf der Basis der drei farbigen Originalmapdarstellungen für 8 Elemente von Tafel 2: 1–3. Maßangaben siehe Tafel 7: 4a–c. Die Aussagemöglichkeit der Schwarz-Weiß-Darstellung ist methodisch eingeschränkt, bei den Überlagerungsmaps sind nur ca. 4 Graustufen darstellbar im Vergleich zur Farbvariante von 8–9 Elementen in den Überlagerungsmaps von Tafel 2: 4–6. Die ausgewählte Anordnung von wenigen Elementen kann jedoch die relevante Verteilung nachzeichnen (Si für die Sphären und anhaftende  $\text{SiO}_2$ -Matrix auf fig. 3, Na-K für die einbettende Gesteinsmatrix auf fig. 4, Al für die Gesteinsmatrix auf fig. 3 und 5, S-Fe für die Sulfidkörner fig. 5). 1–2. Auswahl von einzelnen Elementmaps. 1. Digitales BSE-Foto schwacher Ausgangsvergrößerung mit zugehörigen Ausschnitten schwarz-weiß-konvertierter Elementmaps (Si-Na-Al-K) auf der Basis von Tafel 2: 1. 2. Digitales BSE-Foto stärkerer Vergrößerung mit zugehörigen Ausschnitten schwarz-weiß-konvertierter Elementmaps (S-Fe-Al-K-Ti) auf

sen, größeren syn- bis frühdiagenetischen Pyritkristallen im Sediment und untergeordnet kleineren Framboidalpyriten im Sediment auszugehen. Es gibt keine Anzeichen dafür, daß in dieser nur leicht thermisch beanspruchten, und deshalb für die Substanzuntersuchungen bewußt ausgewählten Bohrungsprobe aus der präkambrischen Lausitzer Grauwackeneinheit irgendwelche Umwandlungsprozesse abgelaufen sind, weder daß eine Pyritisierung von Mikrofossilien erfolgt ist, noch daß eine Zersetzung vorhandenen Pyrites erfolgt ist. Als Vergleichsprobe für Umwandlungsprozesse an präkambrischen Mikrofossilien stand Material aus der Lausitzer Grauwacke vom Steinbruch Oßling zur Verfügung, das sowohl stärkeren thermischen Einwirkungen (beginnende Biotitisierung in der Grauwackenmatrix und Fleckenbildung im Feinschluff, aber noch äußere Kontaktzone) als auch Atmosphären ausgesetzt war. Das auf Tafel 5: 2 abgebildete Objekt *Favosphaera conglobata* war unter den zahlreichen anderen Fundobjekten dieser Probe das einzige, das noch einen Restkern von SiO<sub>2</sub> mit kleineren Pyritkörnchen erkennen ließ. Alle übrigen Objekte waren entweder einerseits chloritisiert und/oder allanitisiert oder andererseits durch Limonitisierungsprozesse partiell oder stark zersetzt. In der Feingrauwacke eingeschlossene Pyrite waren bis auf wenige Kerne weitgehend limonitisiert.

Für das ausgewählte Untersuchungsmaterial zu den wabenstrukturierten und konzentrisch-schaligen Formen aus der Bohrung 1695/81 in Südbrandenburg nahe Calau besteht deshalb kein Zweifel am primären Charakter der ermittelten Substanzdaten, d. h. es handelt sich um Ausgangssubstanzen, aus denen die Mikrofossilien zum Zeitpunkt ihrer Einbettung im Sediment primär zusammengesetzt waren. Auch sind die Körnigkeit (keine Kristallkanten im deut-

lichen Gegensatz zu den erwähnten kleinen Framboidalpyriten) und die Verteilungsmodi der in den Mikrofossilien erkennbaren Sulfideinlagerungen ein Indiz, daß die Sulfideinlagerungen die Form in statu nascendi des Mikrofossils angenommen haben. Es besteht deshalb auch keine Veranlassung, die Bezeichnung *Pyritosphaera barbaria* Love 1957 (siehe Duchesne 1963) für diese Objekte zu verwenden. Es handelt sich bei den Favosphaeren um eine eigenständige Gruppe, die durch morphologische wie auch substantielle Daten faßbar ist und deren Überlieferung in mineralischer Substanz primär als SiO<sub>2</sub> bzw. einer SiO<sub>2</sub>-Modifikation erfolgte.

Es besteht sicher Untersuchungsbedarf zur Verfolgung von Prozessen der Pyritisierung von Mikrofossilien, wie z. B. als eindeutige Erscheinung bekannt durch die Pyritisierung von Radiolarien. Im Griffelschiefer des Ordoviziums wären in diesem Zusammenhang sicher mikrofazielle Untersuchungen aus unterschiedlichen Verbreitungsarealen im Saxothuringikum aufschlußreich, die sich mit der Erhaltungsform von Favosphaeren in Abhängigkeit vom Redoxpotential befassen würden. Auch die Präsenz und Erhaltung im Griffelschiefer (Arenig) vorkommender Radiolarien hätte in diesem Zusammenhang eine Kontrollfunktion für die Überlieferung von SiO<sub>2</sub> als Ausgangssubstanz von Mikrofossilien bzw. deren Einbettungsbedingungen. Diese Fragestellung ist jedoch ausdrücklich nicht Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit, auf eine derartige Fragestellung im Ordoviz sollte jedoch hingewiesen werden.

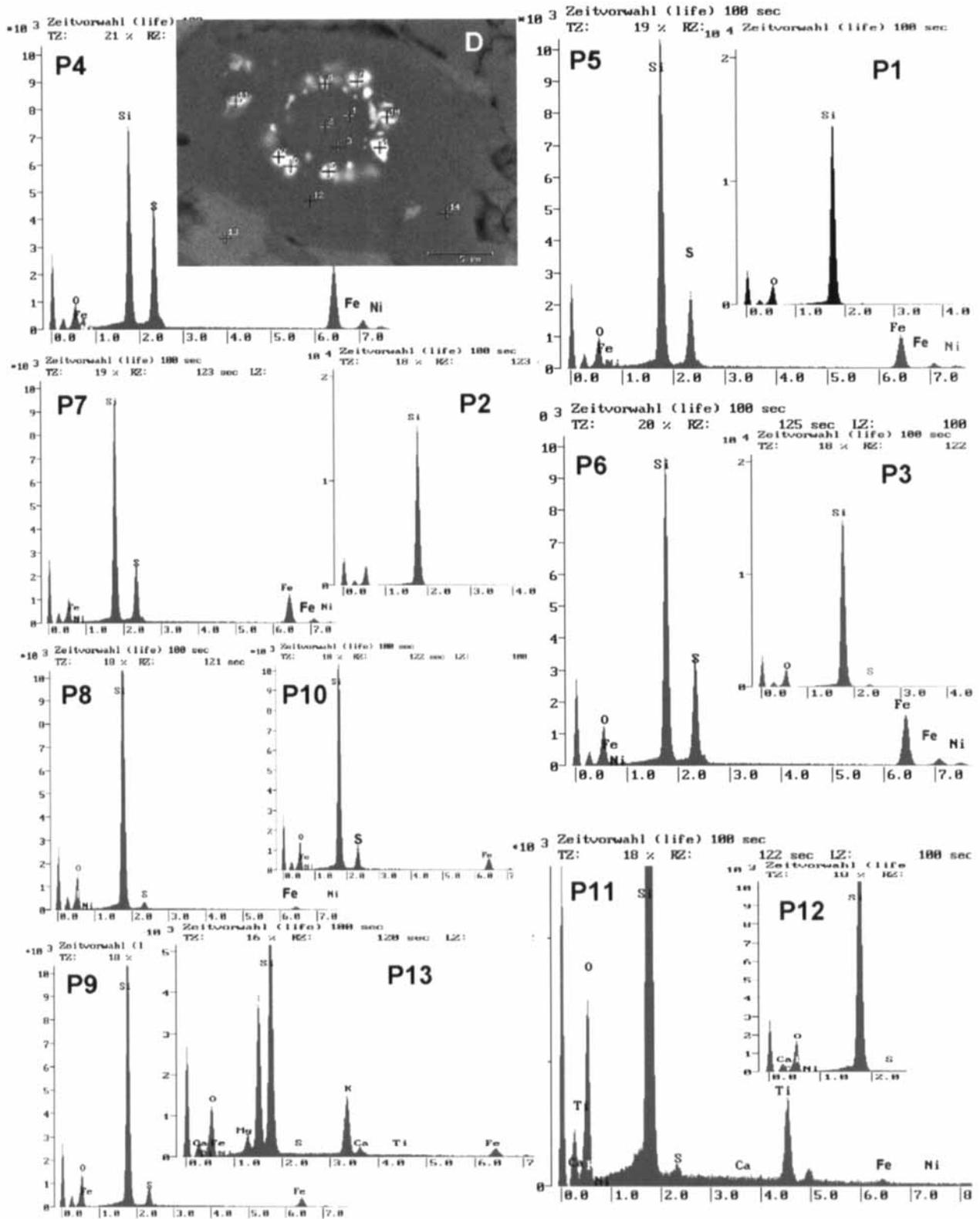
## 2. Ausgangssubstanz und Sulfidverteilung

Für die aufgeführten Beispiele der wabenstrukturierten und konzentrisch-schaligen Vertreter der Favosphaeren ist belegt, daß die Sphären

(Fortsetzung der Legende Tafel 3)

der Basis von Tafel 2: 3. 3–5. Überlagerungsmaps mit reduzierter Elementzahl. Die Schwarz-Weiß-Darstellung der Überlagerungsmaps ist mit erheblichen Aussageeinschränkungen verbunden, es können nicht mehr als 4 Elemente gleichzeitig dargestellt werden. Das vorliegende Beispiel soll deshalb als Versuch die Gegenläufigkeit und somit Darstellbarkeit ausgewählter Elemente sichtbar machen – im Gegensatz zur komplexen Überlagerung in der Farbdarstellung. 3 (zu **Map 1**). Die Gegenläufigkeit von Si zu Al aus der einbettenden Gesteinsmatrix ist auch in der Schwarz-Weiß-Darstellung gut darstellbar. 4 (zu **Map 2**). Anstelle von Al wurden Na und K aus der Gesteinsmatrix gewählt, um den Umriß der gegenläufigen Si-Leerfläche darzustellen. Die Pyritzusammensetzung des Sulfidkranzes ist bereits erkennbar. 5 (zu **Map 3**). Bei stärkerer Vergrößerung umgrenzen Al, geeigneter aber noch in diesem Fall K, grob die Gesteinsmatrix. Die Pyritzusammensetzung des Sulfidkranzes erscheint eindeutig als Zweikomponenten-Darstellung (Fe, S).

Plate 3. 1–5. Black-and-white conversion for selected element maps (figs 1–2) and overlapping maps (figs 3–5) from *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp. in comparison to plate 2: 1–6. The conversion is based on three coloured original mappings for 8 elements (see plate 2: 1–3). For measurements see plate 7: 4a–c. The black-and-white graph is reduced. The overlapping maps can represent only 4 elements in grey scale in comparison to 8–9 elements in the coloured version. However, a selected arrangement of a small number of elements can demonstrate the relevant distribution (Si for spheres and adhered SiO<sub>2</sub>-matrix in fig. 3, Na-K for embedding rock matrix in fig. 4, Al for embedding rock matrix in figs. 3 and 5, S-Fe for sulfidic grains in fig. 5). 1–2. Selection of some element maps. 3–5. Overlapping maps with reduced number of elements.



Tafel 4. Digitales BSE-Foto von *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp. (Arbeitsabstand 39 mm; Maßstab 5 µm; Maße siehe auf Tafel 7: 4a-c) mit Analysenpunkten 1-14 und zugehörigen Analysenkurven (Punktspektren) von P1-P13. **P1-P3.** Analysenpunkte im Kugelinneren (unterhalb der inneren Kugelschale); alle drei zugehörigen EDS-Kurven belegen den C-Peak von der Kohlenstoff-Bedampfung, einen O-Peak und einen sehr hohen Si-Peak; aus letzteren ist das Vorhandensein von Quarz (SiO<sub>2</sub>) abzuleiten. **P4-P10.** Analysenpunkte aus dem Sulfidkranz auf der inneren Kugelschale. Die Daten belegen Pyrit mit SiO<sub>2</sub> als Hintergrund. Vereinzelt (P5, P6) sind Spuren von Ni (an den Nachweisgrenzen) erkennbar. Für das Flächenmap (Map 3) wurde aus dem Flächenspektrum Cu ausgehalten, das im Map nahe P11 lokalisiert wurde. Auch dieser Beleg befindet sich an der Nachweisgrenze. **P11.** Titanfleck neben einem Pyritkorn auf SiO<sub>2</sub>-Hintergrund. **P12.** SiO<sub>2</sub> zwischen innerer Kugelschale und Kugelperipherie. **P13.** Silikat der angrenzenden Gesteinsmatrix mit erhöhtem Al- und K-Peak sowie

aus SiO<sub>2</sub> zusammengesetzt sind und neben dieser Haupts substanz für die mineralischen Mikrofossilien körnige Sulfideinschlüsse unterschiedlicher Konfiguration und von unterschiedlichem Verteilungsmodus charakteristisch sind. Diese Relation von SiO<sub>2</sub> und Sulfidverteilung läßt auf einen kontinuierlichen Einbau der Sulfidkörner schließen bei einem Wachstum von innen nach außen. Bei einer Interpretation als Mikrofossilien muß die Präsenz der Sulfide nicht wie üblich auf einen Zersetz organischer Substanz zurückgeführt werden, sondern die eingelagerten Sulfidkörner sind Endprodukte eines aktiven Stoffwechsels, der im Mikroorganismus abgelaufen ist. Damit ergibt sich der Hinweis auf einen schwefelabhängigen Metabolismus wie bei den chemolithotrophen Bakterien. Außer den substantiellen Daten ist auch die stratigraphische Gebundenheit bestimmter morphologisch definierter Vertreter (konzentrisch-schalige Formen insgesamt, von den wabenstrukturierten Favososphaeren insbesondere *Favososphaera conglobata* als am weitesten differenzierte Form) an das Präkambrium und deren interregionaler Nachweis im höheren Präkambrium unter anderem Böhmens, der Lausitz und Bretagne-Normandie ein weiteres Indiz für deren organogene Natur.

Da es keine grundsätzlichen substantiellen Unterschiede zwischen den beiden morphologischen Hauptgruppen gibt, besteht die Möglichkeit, sie durch das einheitliche Kriterium von SiO<sub>2</sub> als am Aufbau der Sphären beteiligte Haupts substanz als einheitliche Gruppe der Silicobacteria zusammenzufassen (s. u.), die außerdem durch einen analogen S-abhängigen Stoffwechsel gekennzeichnet ist.

### 3. Lebensweise

Den Vertretern beider Familien (siehe unten) der Silicobacteria gemeinsam ist ihr Vorkommen als Mikrobenthos. Dies wird daraus abgeleitet, (a) daß coccoide Einzelobjekte sowohl der Concentrisphaeridae als auch der Favososphaeridae aus SiO<sub>2</sub> bestehende Apophysen oder kappen-, loben- oder unförmige kieselige Anhänge aufweisen, die als verkieselte Gallerte gedeutet werden; (b) daß die Sulfideinlagerungen nicht erst in der Phase des Absterbens durch den Zersetz organischer Substanz gebildet wurden, sondern be-

reits zu Lebzeiten der coccoiden Form als Stoffwechselendprodukte eingelagert wurden; dadurch erhöhte sich auch die Festigkeit und Stabilität der Mikroobjekte; (c) daß gleiche Morphotypen mit mehr oder weniger deutlichen Sulfideinlagerungen lockere Ansammlungen in der Schichtebene bilden können, deren räumlicher Zusammenhalt nur durch bodengebundene Lebensweise als Mikrobenthos gewährleistet sein konnte. Solche lockeren Ansammlungen werden als Mikromatte angesehen.

Es ist auffällig, daß in den Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit immer nur Favososphaeren im weiteren Sinne, also im gesamten Umfang der Concentrisphaeridae und der Favososphaeridae (s. u.) angetroffen wurden, kaum aber andere Mikrofossilien. Die Favososphaeren decken dabei mit ihrem Vorkommen ein breites Korngrößenspektrum der einbettenden Sedimente ab, d. h. sie sind von Feinschluffen bis in Feingrauwacken anzutreffen. Die größten Formen wie *F. conglobata* als Kolonie 2. Ordnung sind dabei in den grobkörnigsten Sedimenten dieser Reihe von Vorkommen, den matrixreichen Feingrauwacken, verbreitet. Dies steht in auffälligem Gegensatz zu den Lugauer Schichten, in denen häufig Fadenalgen zu finden sind und Favososphaeren bislang gänzlich fehlen.

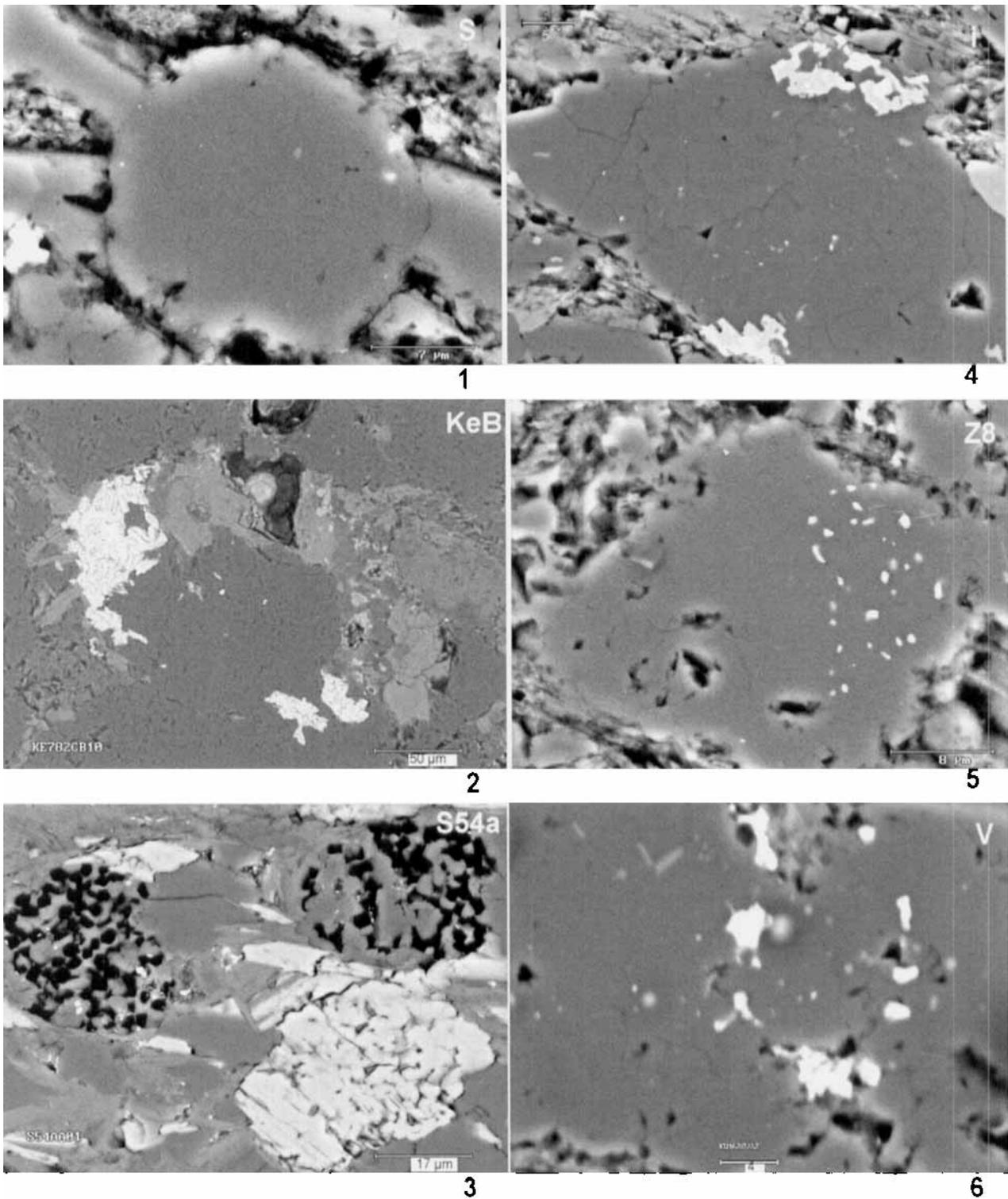
Die Favososphaeren der Kamenzer Schichten repräsentieren deshalb wohl auch ein Bildungsmilieu, das mit der Genese der Grauwacken (der Kamenzer Schichten) zusammenhängt. Positive Kriterien dafür, ob es sich um Bildungen der aphotischen Zone handelt, sind jedoch nicht faßbar, auszuschließen ist diese Möglichkeit jedoch nicht.

Weiterhin ist nicht auszuschließen, daß mit den möglicherweise im Hangenden der Kamenzer Schichten folgenden Kreuzberg-Dubringer Schichten, die die Megaalgen *Stratophytales* beinhalten (maximal mögliche Vegetationstiefe abhängig von der Lichtdurchlässigkeit der Wassersäule über dem photosynthesierenden Phytobenthos; Burmann 1997a), eine beträchtliche Anhebung des Meeresbodens verbunden war und die normale Grauwackensedimentation unterbrochen wurde. Die erneut einsetzende Grauwackensedimentation der jüngeren Lugauer Schichten mag vermutlich nicht mehr die Bildungstiefen der Kamenzer Schichten erreicht haben.

(Fortsetzung der Legende Tafel 4)

kleinerem Mg-, Fe- Peak (?Biotit). P14. als Kurve nicht dargestellt. Identisch mit P1–P3 und P12: SiO<sub>2</sub>. Lage außerhalb der Kugel in direkt anliegender SiO<sub>2</sub>-Matrix.

Plate 4. BSE-image of *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp. with marker points 1–14 and corresponding analyses P1–P13.



Tafel 5. 1–6. Digitale BSE-Aufnahmen von im Durchlicht deutlich wabenstrukturierten Objekten der Familie Favosphaeridae (Favosphaeren s. str.) der Silicobacteria. Die Figuren 1, 4–6 beziehen sich auf substantiell nicht umgewandelte Favosphaeren aus der Lausitzer Grauwacke (Präkambrium) mit im Durchlicht deutlich erkennbarer Wabenstruktur (Wabenkugeln erster Ordnung). Ihre Wabenstruktur ist jedoch substantiell nicht unterlegt und durch die fehlende Druckbeanspruchung auch nicht aufgelockert, sie ist deshalb im BSE-Bild an unbeanspruchten Objekten in der Regel nicht erkennbar, die Objekte erscheinen im BSE-Bild kompakt und strukturlos. Nur an Figur 4 sind durch leichte Druckbeanspruchung (eventuell bei der Einbettung) Suturen entstanden, die die Wabenstruktur nachzeichnen. Diese unveränderten Objekte wurden zur Bestimmung der Ausgangssubstanz der Favosphaeren ausgewählt. Figur 2 und 3 sind dagegen Beispiele für die partielle Erhaltung von  $\text{SiO}_2$ -Restsubstanz bei Umwandlungsprozessen in den Favosphaeren. 1. *Favosphaera magna* n. sp.; Objekt S; Kugeldurchmesser  $d = 25 \mu\text{m}$ ; im Durchlicht deutliche Wabenstruktur mit ca.  $1 \mu\text{m}$  Wabenzellen, im BSE-Bild Wabenstruktur nicht erkennbar (d. h. substantiell nicht unterlegt). Vom scheinbar kompakten Kugelkörper aus  $\text{SiO}_2$  gehen ebenfalls aus  $\text{SiO}_2$  bestehende Apophysen (Breite ca. 6 und  $9 \mu\text{m}$ ) ab. 2. *Favosphaera conglobata*; Objekt KeB; BSE-Bild, Maße im Durchlicht:

Zieht man zum Vergleich zwei Arbeiten heran (Chauvel & Mansuy 1981, über das Brioverien der Bretagne-Normandie und Knoll 1991, über die Draken Conglomerate Formation von Nordost-Spitsbergen), so fällt sofort die, wenn auch im Detail erweiterungsbedürftige, Vergleichbarkeit der Mikrofossilführung des Brioverien mit den Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit auf, während, selbst bei Gleichaltrigkeit, ein Vergleich mit der Draken Formation auf Grund des ausgeprägten Faziesunterschiedes (Neoproterozoic tidal flat/lagoon complex nach Knoll 1991) nicht möglich wäre. Anhand der Draken-Fossilien, darunter Stromatolithenbildner und Phytoplankton, ist eine Unterscheidung der Flachwasserbildungen in 5 Biofaziesbereiche möglich. Man wird deshalb in zusammenhängenden Profilen künftig auch nach Fazieszonenfossilien suchen müssen, die bestimmten stratigraphischen Niveaus zuzuordnen sind.

Eine Artenarmut in Zusammenhang mit der Varanger-Vereisung, wie sie Weber et al. (1991) für die Mikrofossilien der Lausitzer Grauwacke vermutete, ist nicht zu belegen. In den Kamenzer Schichten ist ein reiches Mikrobenthos in Form der lithoautotrophen Favososphaeren vor-

handen, es fehlen dort jedoch die photosynthesierenden Organismen.

Die Präsenz von lichtabhängigen Megaalgen in einem Teilabschnitt der Lausitzer Grauwackeneinheit einerseits (Kreuzberg-Dubringer Schichten, vermutete Mächtigkeit von 20–30 m) und andererseits die Dominanz von schwefelabhängigen Archaeobacteria in den Kamenzer Schichten (vermutete Mächtigkeit über 1000 Meter) ist Ausdruck der unterschiedlichen Teufenlage des Meeresbodens. Die Kamenzer Schichten werden als Turbidite angesehen (Kemnitz & Budzinski 1994), absolute Meterangaben für die Bildungsteufe sind jedoch (im Gegensatz zu den Megaalgen der Kreuzberg-Dubringer Schichten) nicht aus der Favososphaeren-Führung abzuleiten, eine größere Bildungtiefe bis hin zur aphotischen Zone kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Auch der einzig mögliche Rezentvergleich mit *Staphylothermus marinus* läßt eine weite Teufenvariation von Flachwasser und Tiefenwasser zu (siehe unten).

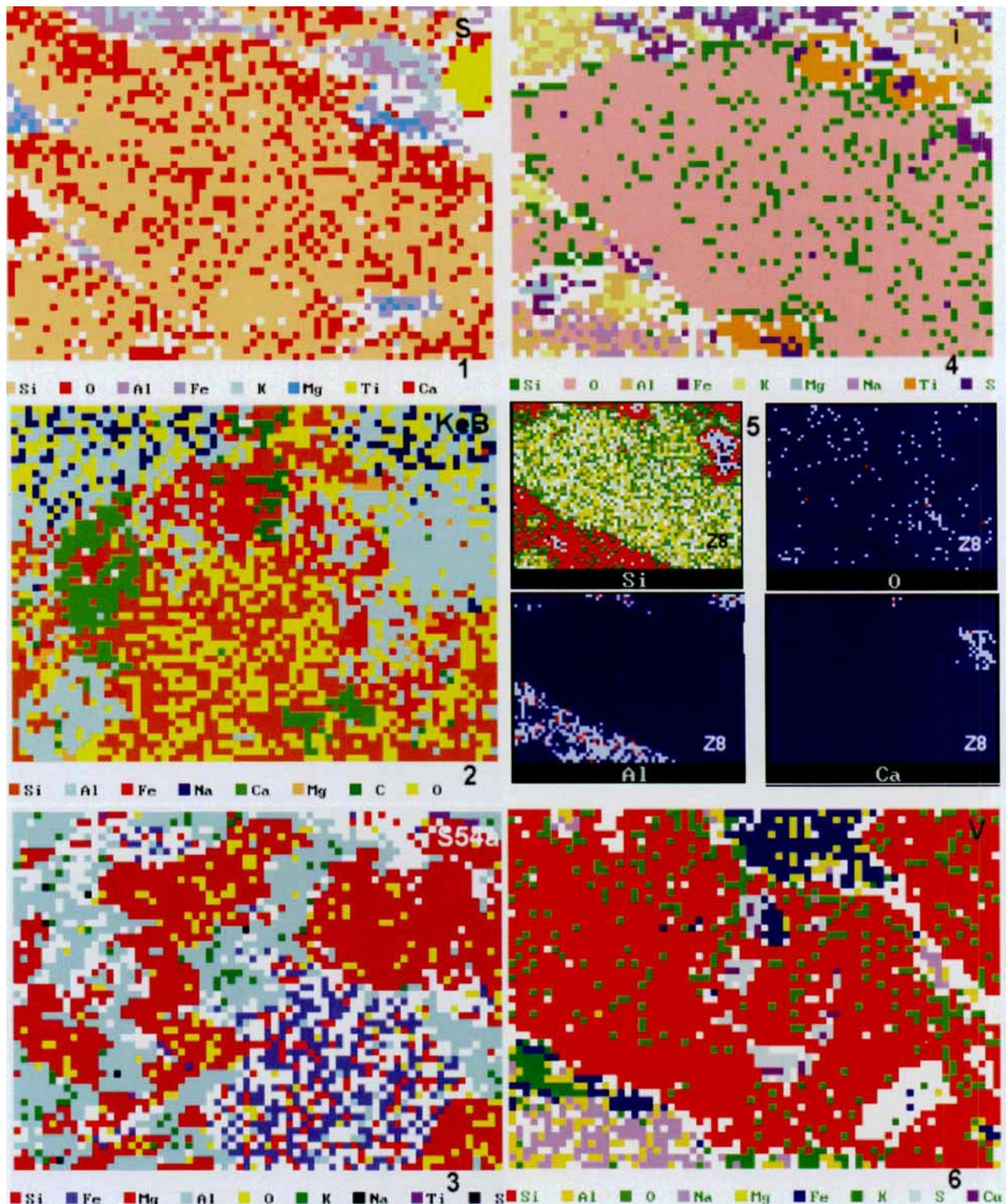
#### 4. Rezentvergleich

Von den zwei morphologischen Haupttypen der Favososphaeren im höheren Präkambrium, den

(Fortsetzung der Legende Tafel 5)

Gesamtdurchmesser (inclusive umgewandelter Flächenanteile):  $155 \times 175 \mu\text{m}$ , davon strukturierte  $\text{SiO}_2$ -Restfläche  $105 \times 120 \mu\text{m}$ ; drei helle Allantiflecke, oben links mit Pyriteinschluß; oben Limonitsaum. Entammt einer Probe Ke782C/leg. H. Kemnitz aus dem NW-Teil des Steinbruchs Oßling, die zahlreiche überwiegend limonitisierte Kugelkolonien von *F. conglobata* enthält. Das abgebildete Objekt besitzt Seltenheitswert für die Probe: Während limonitisierte Objekte durch Volumenvergrößerung einen vollkommenen Verlust der Fossilstruktur erfahren, ist hier in einem größeren Kernbereich noch die Ausgangssubstanz  $\text{SiO}_2$  nachweisbar und als sehr wichtiges Kriterium für die eindeutige Zuordnung im Durchlicht (aber nur innerhalb des  $\text{SiO}_2$ -Bereiches) die Kugelstruktur von *F. conglobata* überliefert. **3.** *Favososphaera grandifavosa*; Schliff S54-A, Objekt S54a. BSE-Bild. Die absoluten Maße wurden im Durchlicht gemessen: linke Wabenkugel  $28 \times 31 \mu\text{m}$ , rechte Wabenkugel  $30 \times 33 \mu\text{m}$ , Chloritkugel  $38 \times 40 \mu\text{m}$ . Zwei Wabenkugeln aus dem ordovizischen Griffelschiefer lassen auch im BSE-Bild die Wabenstruktur deutlich erkennen, da die Struktur durch Druckbeanspruchung aufgelockert wurde und Lösungsprozesse die Ausgangssubstanz teilweise weggeführt oder umgewandelt haben. Beide Wabenkugeln im oberen Bildbereich sind noch überwiegend aus  $\text{SiO}_2$  aufgebaut (siehe Tafel 6: 3), im unteren Bildteil liegt ein vollkommen chloritisiertes Mikroobjekt vor. Alle drei Kugeln waren neben weiteren Wabenkugeln Bestandteil einer Mikromatte. Vorkommen im Griffelschiefer (Arenig) der Löbnitz-Zwönitzer Mulde. **4.** *Favososphaera bipolaris* n. sp., Holotypus; Objekt i; Kugeldurchmesser erkennbar durch die beiden Titanflecken d1 (gestauchte Achse) =  $33 \mu\text{m}$ , d2 (verlängerte Achse) =  $41 \mu\text{m}$ , Wabenzelle ca.  $2.8 \mu\text{m}$  (im Bereich der Pyritpunkte), abgeleiteter Durchschnitt  $2\text{--}3 \mu\text{m}$ ; oberer Titanfleck  $6 \times 16 \mu\text{m}$ . Linksseitig an der Kugel  $\text{SiO}_2$ -Anlagerung  $14 \times 17 \mu\text{m}$ , rechts ebenfalls  $\text{SiO}_2$ -Anlagerung, über den Bildrand hinausreichend. Wabenkugel mit zwei peripheren Titanflecken (inclusive Schwefel-Nachweis), die im Gegensatz zu den im BSE-Bild kompakten Wabenkugeln von Fig. 1, 5 und 6 durch Drucksuturen aufgelockert ist und die Wabenstruktur andeutungsweise erkennen läßt. **5.** *Favososphaera aequatorialis* n. sp., Holotypus; Objekt Z8; im Durchlicht deutliche Wabenstruktur, im BSE-Bild Wabenstruktur nicht erkennbar (d. h. substantiell nicht unterlegt); d =  $33 \mu\text{m}$ , Sulfidkörner ca.  $0.8\text{--}1.2 \mu\text{m}$ , Gürtelbreite ca.  $8 \mu\text{m}$ . **6.** *Favososphaera coronata* n. sp., Holotypus; Objekt V; im Durchlicht deutliche Wabenstruktur, im BSE-Bild Wabenstruktur nicht erkennbar (d. h. substantiell nicht unterlegt); Durchmesser d =  $38 \mu\text{m}$  (annähernd SW-NE-Bilddiagonale), Pyritkranz Längsbreite  $22 \mu\text{m}$ , Querbreite  $14 \mu\text{m}$ ; größere Sulfidkörner  $2 \times 3 \mu\text{m}$  und  $3 \times 4 \mu\text{m}$ . Zum Gesamtumriß des Mikroobjektes siehe auf Tafel 6: 6 die Verbreitungsfläche der höchsten Si-Konzentration mit dem Durchmesser ebenfalls in SW-NE-Erstreckung bei etwas geringerer Vergrößerung.

Plate 5. 1–6. BSE-images from different species of the family Favososphaeridae (favosospheres sensu stricto), group Silicobacteria. Objects in figs 1 and 4–6 represent favosospheres from the Precambrian Lusatian graywacke unit, which in translucent light are characterised by a distinct honeycomb-structure (honeycomb-spheres first order). In the BSE-image their honeycomb-structure is not supported by material data: The microfossils appear compact, without signs of a distinct structure. Only in fig. 4 the suture lines show the honeycomb-structure. This appearance is caused by a pressure on the microfossil during its emplacement in the sediment. The microfossils in figs 1 and 4–6 were not influenced by secondary processes, and therefore, they served as the initial material for the determination of material data. In contrast, the microfossils in figs 2–3 are examples of partial conservation of siliceous material during secondary processes in favosospheres.



Tafel 6. 1–6. Überlagerungs- und Elementmaps zu den BSE-Fotos der Fam. Favosphaeridae von Tafel 5: 1–6, die Anordnung erfolgte in der gleichen Weise. Die Überlagerungsmaps von Fig. 1–4 und 6 wurden von zugehörigen Elementmapserien mit je 8–9 Elementen für jedes Mikrofossil abgeleitet. In einigen Fällen wurde für das Überlagerungsmap (Tafel 6: 1 und 6) sowie Elementmap (Tafel 6: 5) ein etwas größerer Bildausschnitt gewählt im Vergleich zum jeweils zugehörigen BSE-Foto von Tafel 5: 1 und 5–6. Dadurch hebt sich im Map die Si-Kontur der SiO<sub>2</sub>-Sphären und der anhaftenden SiO<sub>2</sub>-Matrix übersichtlicher von den Al-K-Na-Umrissen der Gesteinsmatrix ab. Der Bildausschnitt der Maps von Tafel 6: 2–4 ist annähernd identisch mit dem der zugehörigen BSE-Fotos von Tafel 5: 2–4. 1. Überlagerungsmap von *Favosphaera magna* n. sp., etwas größerer Flächenausschnitt im Vergleich zu Tafel 5: 1. Die Kugel besteht aus SiO<sub>2</sub>, von ihr gehen nach rechts und links ebenfalls aus SiO<sub>2</sub> bestehende Apophysen ab. 2. Überlagerungsmap von *Favosphaera conglobata* Burmann, 1972. Überlagerungsmap von Objekt KeB in den gleichen Umrissen wie das BSE-Foto von Tafel 5: 2. Der Kern des ovalen Mikroobjektes

konzentrisch-schaligen und den allein durch deutliche Wabenstruktur bestimmten, ist die erste Gruppe offenbar auf das Präkambrium begrenzt, während die Favososphaeren sensu stricto auch im Ordoviz präsent sind. Die letzteren wurden 1972 als *Favososphaera grandifavosa* in die Gruppe der sonst nur aus dem Präkambrium bekannten Favososphaeren einbezogen (Burmman 1972: Tafel VI: 1–6). Auch die an ihnen durchgeführten Substanzuntersuchungen erbrachten weitgehende substantielle Identität der ordovizischen mit den präkambrischen Formen. Das einzige Kriterium zur Unterscheidung präkambrischer und ordovizischer wabenstrukturierter Formen besteht in der Erreichbarkeit eines größeren absoluten Durchmessers (Holotyp 77  $\mu\text{m}$ , Burmann 1972: Tafel VI: 1–3) und eines größeren Wabenzelldurchmessers (3–6  $\mu\text{m}$ ), während die präkambrischen Formen des untersuchten Formenkreises als Solitärformen ca. 35  $\mu\text{m}$  im Gesamtdurchmesser bzw. 3  $\mu\text{m}$  im Wabenzelldurchmesser selten überschreiten. Es liegen bislang keine Argumente vor, die gegen eine Zusammengehörigkeit präkambrischer und ordovizischer Favososphaeren sprechen würden.

Unter diesem morphologischen Aspekt ist es deshalb überraschend aber nicht unerwartet gewesen, daß in der Rezentliteratur über die Archaea eine morphologisch nahestehende Form beschrieben wurde. Von Fiala et al. (1986) wurde *Staphylothermus marinus* als neue Gattung und Art unter den Hyperthermophilen der Archaeobacteria aufgestellt. Nach Stetter (1994: 149) sind

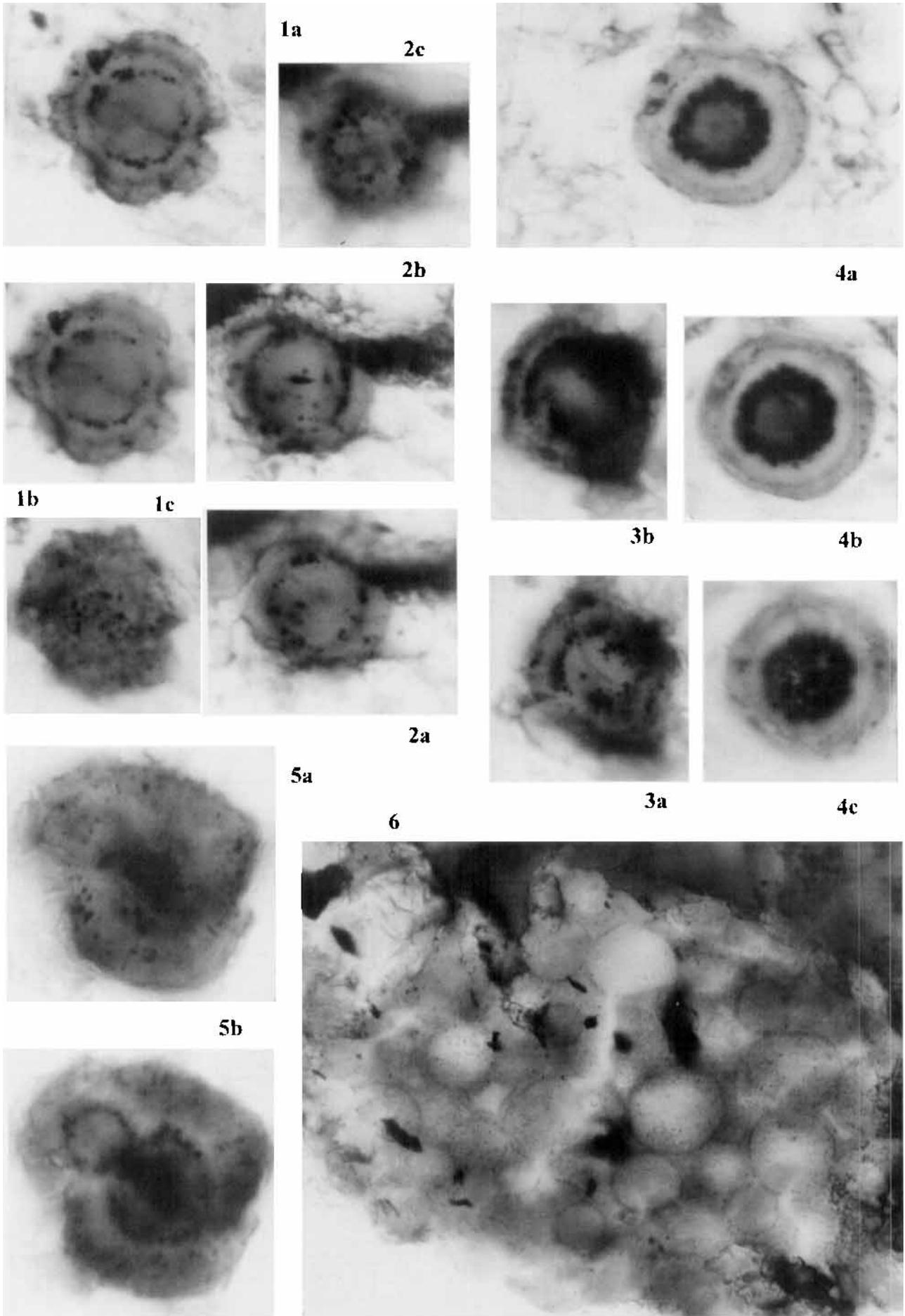
es coccoide Zellaggregate („cells ... are coccoid and arranged in grapelike aggregates“) mit Zelldurchmessern für unterschiedliche Kolonien von 0,5 bis 15  $\mu\text{m}$ . Die in Madigan et al. (1997: 763) enthaltene elektronenoptische Darstellung (Fig. 17.21, aufgenommen von H. König und K. O. Stetter) von *S. marinus* zeigt eine z. T. aufgelockerte, z. T. kompakt zusammenhängende „Zellkolonie“ aus Einzelzellen von über 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser. Die Art ist marin und wurde aus Hydrothermalquellen im Flachwasserbereich sowie aus der Umgebung von black smokers aus 2500 m Wassertiefe isoliert. Nach Stetter (1994) beträgt die optimale Wachstumstemperatur 92 °C (min. 65 °C, max. 98 °C; pH 4,5–8,5). Nun sind die ordovizischen und älteren Favososphaeren keine traubenartigen Aggregate, sondern kompakte Sphären und der Einbau von  $\text{SiO}_2$  ist offenbar ihre Besonderheit, trotzdem lassen Größenordnung und die habituelle Besonderheit der kompakten wabenförmigen Zellpackung bei *S. marinus* eine morphologische Ähnlichkeit erkennen. Auch im Stoffwechsel sind wahrscheinlich deutliche Unterschiede vorhanden: *S. marinus* ist zwar ein schwefelabhängiger Organismus, doch chemoorganotroph (Madigan et al. 1997: 759), während die Favososphaeren als chemolithotroph angesehen werden. Es erfolgt also keine Gleichsetzung, sondern die Akzeptanz gewisser Ähnlichkeiten.

Im Ergebnis dieser morphologischen Ähnlichkeiten mit einem Vertreter der Archaea und vor allem unter Berücksichtigung der Präsenz

(Fortsetzung der Legende Tafel 6)

besteht noch aus  $\text{SiO}_2$ , das ist der Bereich, in dem im Durchlicht noch die Struktur von *F. conglobata* überliefert ist. Die Flecken mit Ca entsprechen Allanit (mit Ce und La), dessen Bildung im Bereich des Mikrofossils auf die Kontaktmetamorphose zurückzuführen ist. Der dritte Abschnitt im Bereich des Mikrofossils ist durch Limonitisierung (erkennbar am erhöhten Fe-Anteil) und z. T. Tonmineralbildung gekennzeichnet. Die Seltenen Erden La und Ce sowie der erhöhte P-Gehalt im Limonitisierungsbereich sind in einem weiteren Überlagerungsmap mit höherer Auflösung erfaßt; das hier dargestellte Überlagerungsmap mit niedriger Auflösung dient der Erfassung der Si-Umriss als dem Element mit dem höchsten Gehalt. **3.** Überlagerungsmap von *Favososphaera grandifavosa* Burmann, 1972; gleicher Bildausschnitt wie Tafel 5: 3. Der Grad der stofflichen Umwandlung ist durch den starken Al-Anteil im Kern des linken Kugelobjektes ersichtlich, im rechten Kugelobjekt ist jedoch die Ausgangssubstanz  $\text{SiO}_2$  noch weitgehend erhalten. Das Objekt unten rechts ist vollkommen chloritisiert (Fe, Mg). **4.** Überlagerungsmap von *Favososphaera bipolaris* n. sp., Holotypus. Gleicher Bildausschnitt wie Tafel 5: 4. Die  $\text{SiO}_2$ -Verbreitungsfläche der Wabekugel und der anhaftenden  $\text{SiO}_2$ -Matrix heben sich gut von der Gesteinsmatrix mit der gegenläufigen Al-Verbreitung ab. Am oberen und unteren Kugelrand lokal Ti und S angereichert. **5a–d.** *Favososphaera aequatorialis* n. sp., Holotypus. 4 einzelne Elementmaps (Si, O, Al, Ca) mit niedriger Auflösung aus einer Mapserie. Flächenausschnitt zur Erfassung der Gesteinsmatrix etwas größer im Vergleich zu Tafel 5: 5. Deshalb ist auf dem Überlagerungsmap rechts ein Ca-Fleck erfaßt (der von Ti überlagert wird). Die Si-Kontur des Mikroobjektes mit Si-Anlagerungen hebt sich deutlich von der Gesteinsmatrix (hier konturiert durch Al) ab. **6.** Überlagerungsmap von *Favososphaera coronata* n. sp., Holotypus; etwas größerer Flächenausschnitt im Vergleich zu Tafel 5: 6. Si und gegenläufig die Al-Kontur kennzeichnen die Grenze Mikroobjekt zu Gesteinsmatrix. Insbesondere links der Kugel ist kieselige Anlagerungsmatrix am Mikroobjekt zu vermuten. Trotz niedriger Auflösung ist die Zusammensetzung des Sulfidkranzes übersichtsmäßig bereits erkennbar.

Plate 6. **1–6.** Element maps and overlapping maps, belonging to the BSE-images from the family Favososphaeridae in plate 5: 1–6, arranged in the same order as in plate 5. The overlapping maps in figs. 1–4 and 6 are based on mappings with 8–9 elements for each microfossil. In a few cases, the map-cut is somewhat larger (plate 6: 1 and 5–6) than the BSE-images in plate 5: 1 and 5–6. This provides a better impression of the contour line of Si belonging to spheres and adherent  $\text{SiO}_2$ -matrix in relation to Al-K-Na from the rock matrix. The map-cut in plate 6: 2–4 is the same as that for the BSE-images in plate 5: 2–4.



von Sulfidkörnern in den Favososphaeren sensu lato/Silicobacteria (Stoffwechsel) werden die Favososphaeren als Vertreter einer fossilen Gruppe der Archaea angesehen. Es wäre sicher von Interesse, Daten für eine mögliche Herkunft des Rezentorganismus zu gewinnen. Denn vergleicht man die Entstehung der größeren Wabenstruktur innerhalb der präkambrischen Formen, so leuchtet ein, daß *S. marinus* bereits ein hochentwickelter Vertreter in Bezug auf seine unbekannteren Vorfahren sein müßte, auch in Bezug auf den Stoffwechsel.

## Morphologie und Taxonomie

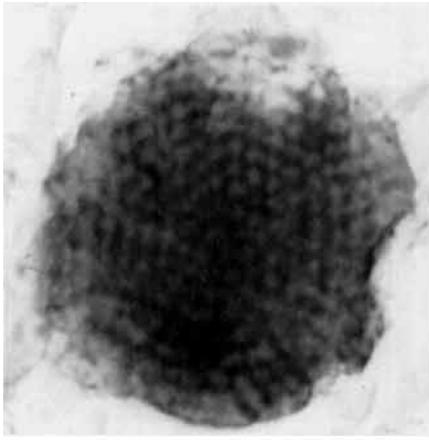
Die Merkmalsunterscheidung und -gruppierung der fossilen Favososphaeren sensu lato, die auf Grund ihrer SiO<sub>2</sub>-Zusammensetzung und der Merkmale für einen schwefelabhängigen Stoffwechsel zur Gruppe der Silicobacteria zusammengefaßt werden, folgt einer künstlichen Klassifikation, sie ist nicht gleichzusetzen mit derjenigen der Rezentbotanik. Sie werden aber den Hyperthermophilen der Archaea zugeordnet.

Archaeobacteria

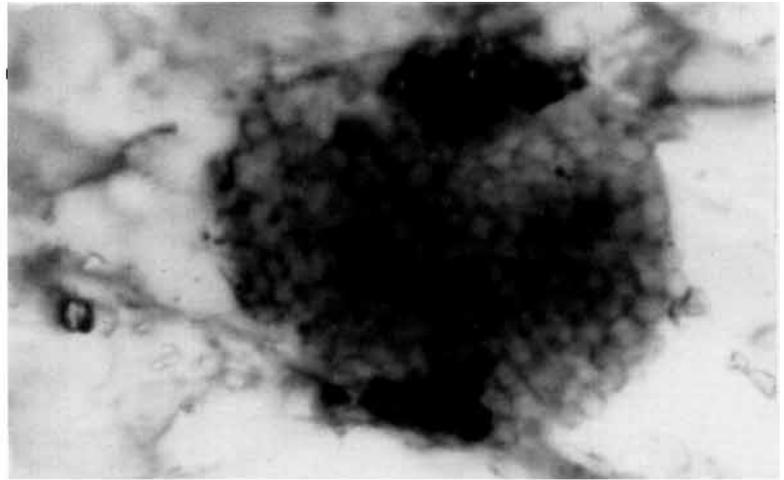
Hauptgruppe (kingdom) Crenarchaeota (Hyperthermophile der Archaea)

Tafel 7. 1–6. Lichtmikroskopische Aufnahmen (Durchlicht) von Vertretern der Familie Concentrisphaeridae sowie *Favosphaera conglobata* zum Vergleich mit den BSE-Aufnahmen von Tafel 1: 4–7 und Tafel 5: 2. Die Objekte zeigen die konzentrisch-schalige Grundstruktur der SiO<sub>2</sub>-Sphäre ohne Wabenstruktur und die zumeist orientierte Einlagerung der opaken Sulfidkörnchen auf Kugelschalen. Die Objekte auf dieser Tafel entstammen dem Schliff Klmach62/CL/943 (Lausitzer Grauwacke aus der Bohrung 1695/81 ca. 7 km südlich Calau, Kamenzer Schichten) mit Ausnahme von Fig. 6, die aus dem Probenschliff Ke782C stammt (Lausitzer Grauwacke aus dem Steinbruch Öbling, NW-Profil nach Kemnitz 1994, Kamenzer Schichten). **1a–1c.** *Concentrisphaera triplicata* n. sp., Holotypus, Film 98/3/31, 30, 32; dreischalig; Fig. 1a als lichtmikroskopischer Vergleich zum BSE-Bild von Tafel 1: 7 (Objekt T1). Fig. 1a und 1b nahe der Schliifoberfläche (Fig. 1b oberste Schnittebene, Fig. 1a dicht darunter als Medianebene, aber ebenfalls oben, Kugelumriß hier schärfer erfaßt). Fig. 1c Unterseite der angeschnittenen Sphäre. Die unterschiedlichen Tubuseinstellungen von Fig. 1b, 1a, 1c von oben nach unten lassen die räumliche Verteilung der schwarzen Sulfidkörnchen insbesondere auf der innersten Kugelschale erkennen. Während auf dem BSE-Bild von Tafel 1: 7 fast nur die innere Kugelschale durch die dichtere Besetzung mit Sulfidkörnchen erkennbar ist, ist im Durchlicht (Tafel 7: 1a) deutlich noch eine mittlere Kugelschale unterhalb der teilweise resorbierten Außenschale unterscheidbar. Die lockere Besetzung der mittleren und äußeren Kugelschale mit Sulfidkörnchen ist im BSE-Bild nur noch sporadisch erkennbar, lichtoptisch aber durch verschiedene Tubuseinstellungen nachweisbar. Die Mehrschaligkeit der SiO<sub>2</sub>-Sphäre ist nur im Lichtmikroskop deutlich, im BSE-Bild Tafel 1: 7 ist die strukturelle Anordnung nur durch eingelagerte Sulfidkörner nachweisbar. Maße: Innere Kugelschale d1 = 12 µm, mittlere Kugelschale d2 = 17 µm, äußere Kugelschale d3 = 22 µm; Kugelschalenabstände ca. 2.5 µm (differierend zwischen 2–3.5 µm). Pyritkörnchen in der Regel < 1 µm. **2a–2c.** *Concentrisphaera duplicata* n. sp., Holotypus; Film 98/3/22-24; zweischalig; Fig. 2a als Vergleichsbild zur BSE-Aufnahme auf Tafel 1: 6 (Objekt R). Fig. 2a–2c entsprechen der Reihenfolge der Tubuseinstellungen von oben über die Mitte nach unten: von der Schliifebene (2a) über den Medianbereich mit einem zentralen Sulfidkorn (2b) und die Sulfidkörnchen auf der Unterseite der inneren Kugelschale (2c). Die äußere Kugelschale ist teilweise resorbiert, aber einzelne Pyritkörner auf dieser Kugelschale sind erhalten. Die äußere Kugelschale ist lichtmikroskopisch gut gegen die substantiell gleichartige SiO<sub>2</sub>-Innenkugel abgesetzt (obwohl keine lichtmikroskopisch erkennbare Wabenstruktur vorliegt), während das BSE-Bild nur durch die Sulfidkörner eine Abgrenzung ermöglicht. Maße: Innere Kugelschale d1 = 11 × 12 µm, äußere Kugelschale d2 = 16 × 18 µm; zentrales längliches Sulfidkorn 4 × 1 µm; weitere Sulfidkörnchen 1–2 µm; verkieselter Anhang (unten rechts) 6 × 8 µm. **3a–3b.** *Concentrisphaera duplicata* n. sp.; Film 98/3/3-4; zweischalig; Fig. 3a als Vergleichsbild zur BSE-Aufnahme auf Tafel 1: 4 (Objekt Z9a). Fig. 3a (oben) und 3b (unten) entsprechen der Reihenfolge der Tubuseinstellungen vom Medianschnitt an der Schliifoberfläche (3a) und dem unteren Drittel (3b) des restlichen Kugelbereiches. Lichtoptisch ist eine einseitige Verdrückung der SiO<sub>2</sub>-Sphäre zu beobachten. Aus dem BSE-Bild läßt sich die Präsenz von SiO<sub>2</sub>-Anlagerungen ableiten. Maße: Innere Kugelschale d1 = 13 × 13 µm, äußere Kugelschale d2 = 18 × 20 µm; Schalenabstand ca. 3 µm; Sulfidkörner ca. < 1 µm. **4a–4c.** *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp., Holotypus; Film 98/3/11,7,10; dreischalig; Fig. 4a als Vergleichsbild zur BSE-Aufnahme auf Tafel 1: 5 (Objekt D). Fig. 4a–4c entsprechen der Reihenfolge der Tubuseinstellungen von oben nach unten vom Medianschnitt an der Schliifoberfläche (4a) bis an die Unterseite der inneren Kugel (4c) mit Sulfidkornbesatz. Trotz mehrschaligem Aufbau liegt eine deutliche Dominanz der Sulfidkorn-einlagerung auf der inneren Kugelschale vor, während die Mehrschaligkeit im Aufbau der SiO<sub>2</sub>-Sphäre nur lichtoptisch zu belegen ist, im BSE-Bild aber substantiell nicht unterlegt ist. Maße: Innere Kugelschale d1 = 8 µm (Innenseite der inneren Kugelschale) und d2 = 12 µm (äußere Seite der inneren Kugelschale, entspricht der äußeren Grenze des dichten Sulfidkornbesatzes), mittlere Kugelschale d3 = 17 µm, äußere Kugelschale d4 = 21 µm. Oberer Kugelanschnitt beschädigt (gekürzt auf Fig. 4a, siehe auch Oberkante auf BSE-Bild Tafel 1: 5), im unteren Bereich aber rund (Fig. 4c). Verkieselte Anlagerung ca. 17 × 17 µm (links auf Fig. 4a, vergleiche mit BSE-Bild Tafel 1: 5). Sulfidkorngröße auf Innenschale bis 2 µm. **5a–5b.** *Concentrisphaera associata* n. sp., Holotypus; Film 98/3/18,21; Fig. 5a (oben) und 5b (unten, Medianebene) entsprechend der Tubuseinstellung. Vergleichsobjekt zur Koloniebildung bei konzentrisch-schaligen Objekten, ohne lichtmikroskopisch erkennbare Wabenstruktur. Sulfidkornverteilung: dichterer Besatz auf den Innenkugeln, lockerer Besatz auf der gemeinsamen Außenschale. Maße: Innenkugel d1 = 13 µm, Nebenkugel d2 = 8 µm, gemeinsame Außenschale d3 = 30 µm; Höhe der Außenschale h = max. 8 µm, Sulfidkörnchen ca. < 1 µm. **6.** *Favosphaera conglobata* Burmann 1972. Film 98/4/9; aus Probe Ke782C. Als lichtoptisches Vergleichsbild zum BSE-Bild von Tafel 5: 2 (Objekt KeB) und dem Überlagerungsmap einzelner Elemente von Tafel 6: 2. Lichtoptisch erkennbar sind im SiO<sub>2</sub>-Restbereich einer ursprünglichen Großkolonie dicht gepackte Einzelkugeln unterschiedlicher Größe. Der Randbereich ist limonitisiert (oberer Randbereich) und allanitisert (links oben und rechts unten). Maße: Gesamtkolonie 155 × 175 µm, davon erkennbarer kugelstrukturierter Restbereich aus SiO<sub>2</sub> 105 × 120 µm.

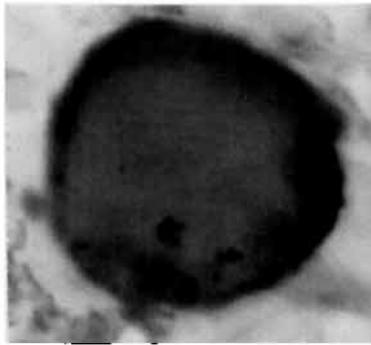
Plate 1–6. Bright-field images of the genus *Concentrisphaera* and *Favosphaera conglobata*, distributed in Kamenz formation of the Neoproterozoic Lusatian graywacke unit.



1

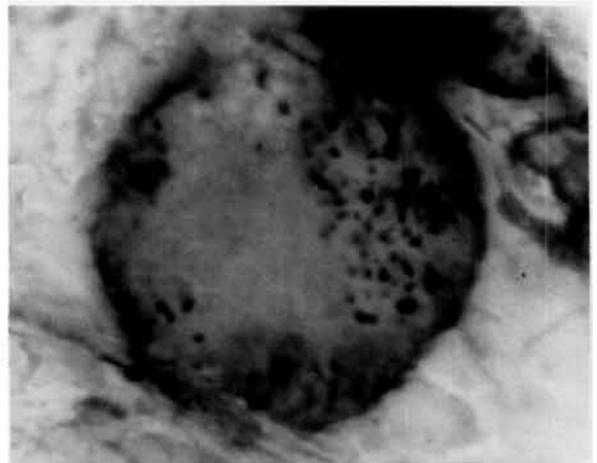


4

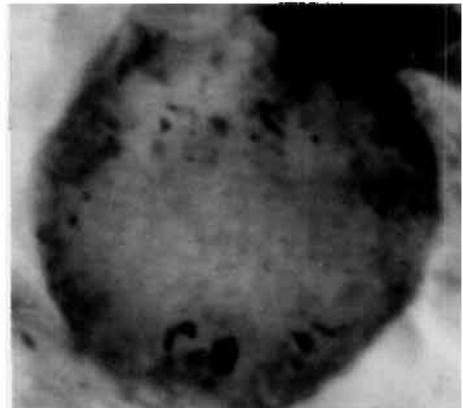
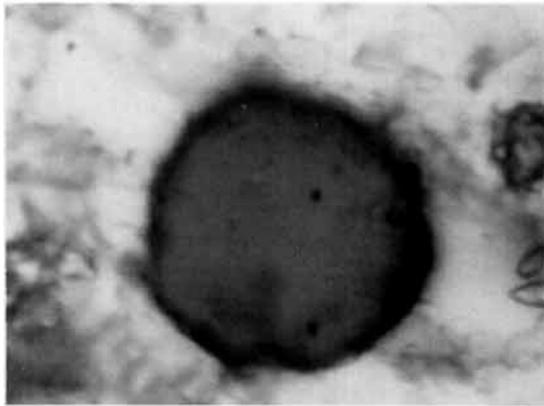


2a

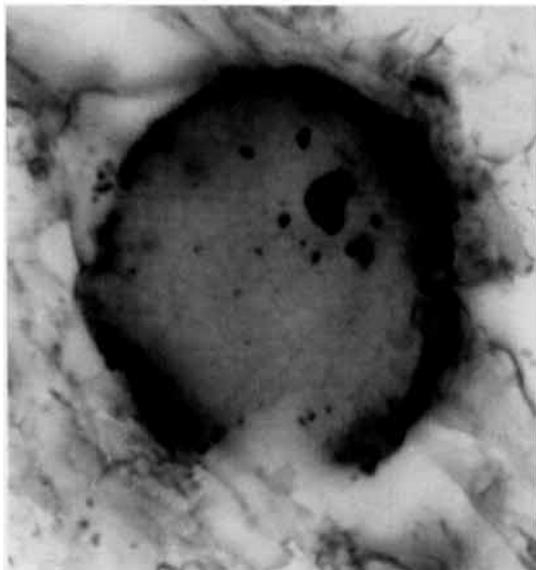
2b



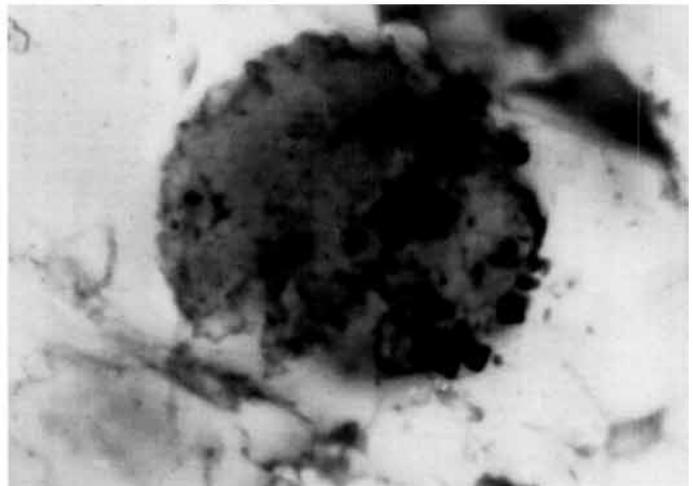
5a



5b



3



6

## Ordnung Silicobacteria (fossil) n. ordo

(Synonyma: Favosphaeren sensu lato, Silicobacteriales)

**Diagnose:** Bei den Favosphaeren sensu lato handelt es sich um aus kieseliger Substanz aufgebaute coccoide, koloniale Mikrofossilien (Gesamtdurchmesser ca. 8–80 µm, überwiegend 10–30 µm), bei denen das Endprodukt eines schwefelabhängigen Metabolismus durch Sulfidkörnchen gebildet wird. Diese Sulfide können in unterschiedlicher Form in die kieselige Hauptsubstanz eingelagert sein, wobei die Körnigkeit der Sulfide und ihr Einlagerungsmodus auf ihre organogene Entstehungsweise hinweisen.

Morphologische Haupttypen sind konzentrisch-schalig gebaute Formen und Formen mit kompakter Wabenstruktur, die als Solitärformen (Kolonien erster Ordnung) oder als koloniale Aggregate (Kolonien zweiter Ordnung) vorkommen.

Auf Grund eines teilweise möglich erscheinenden Rezentvergleiches mit *Staphylothermus marinus* (Wabenzellaggregate ähnlicher Größenordnung, marin, S-abhängiger Stoffwechsel) als Vertreter der Hyperthermophilen unter den Archaeobacteria werden die Favosphaeren s.l. ebenfalls den Archaeobacteria zugeordnet. Auf Grund ihrer Fähigkeit zum Einbau kieseliger Hauptsubstanz werden die Favosphaeren s.l. zur fossilen Gruppe der Silicobacteria zusammengefaßt.

In Abhängigkeit vom Strukturaufbau (konzentrisch-schalig oder wabenstrukturiert) und dem davon abhängenden Verteilungsmodus der Sulfideinlagerungen sowie von der lichtmikroskopisch erkennbaren Größe der Wabenzellen sind im Präkambrium zwei Hauptgruppen unterscheidbar, die konzentrisch-schalig gebauten Concentrisphaeridae n. fam. und die wabenstrukturierten Favosphaeridae n. fam.

Tafel 8. 1–6. Lichtmikroskopische Aufnahmen (Durchlicht) von Vertretern der Familie Favosphaeridae (auf dieser Tafel sämtlich einfache Wabekugeln als Kolonien erster Ordnung) zum Vergleich mit den BSE-Aufnahmen von Tafel 1: 3 und Tafel 5: 1 und 4–6. Die in der Grundmorphologie ähnlichen Wabekugeln zeigen unterschiedliche Wabenzellgrößen und den unterschiedlichen Verteilungsmodus von Sulfidkörnchen. Die Objekte auf dieser Tafel entstammen sämtlich dem Schlift Klmach62/CL/943 (Lausitzer Grauwacke aus der Bohrung 1695/81 ca. 7 km südlich Calau, Kamenzer Schichten). Mit Ausnahme von Tafel 8: 1 wurden alle Sphären mit EDS untersucht: Die Wabekugeln bestehen sämtlich aus SiO<sub>2</sub> und sind linsenartig von einer SiO<sub>2</sub>-Matrix umgeben oder von der Kugel gehen SiO<sub>2</sub>-Apophysen ab. Die lichtmikroskopisch opaken Körnchen sind Sulfideinlagerungen, überwiegend Pyrit. **1.** *Favosphaera intermedia* n. sp., Holotypus; Film 98/3/36; Objekt T2; als Beispiel für eine relativ grob strukturierte, kompakte SiO<sub>2</sub>-Wabekugel (ohne EDS-Untersuchung, da schwierige Wiederaufindung und schlechte Darstellbarkeit durch fehlende Sulfidmarkierung in Quarzmatrix) mit nur geringer Einlagerung von Sulfidkörnchen. Maße: Sphärendurchmesser d = 30 × 35 µm, Wabenzellen max. 2.5 µm. **2a–2b.** *Favosphaera magna* n. sp.; Film 98/2/22 und 19; kompakte Wabekugel; Fig. 2b als lichtoptisches Vergleichsbild zum BSE-Bild von Tafel 5: 1. Von der SiO<sub>2</sub>-Sphäre ausgehende SiO<sub>2</sub>-Apophysen liegen in ihrer Haupterstreckung in der Schichtungsebene (auf Tafel 5: 1 und Tafel 8: 2b jeweils gleiche Orientierung: von links oben nach rechts unten). Relativ kleiner Wabenzelldurchmesser und stark zurücktretende Präsenz von Sulfideinlagerungen, vorhandene Sulfidkörnchen unregelmäßig verteilt. Maße: Sphärendurchmesser d = 25 µm, Wabenzellen 1 µm, Sulfidkörnchen max. 1–2 µm. **3.** *Favosphaera circumpolaris* n. sp., Holotypus; Film 98/2/6; kompakte Wabekugel; als lichtoptisches Vergleichsbild zum BSE-Bild auf Tafel 1: 3. Maße: Sphärendurchmesser d = 30–35 µm, Wabengröße 1.5 µm, größtes Sulfidkorn 5 µm. **4.** *Favosphaera bipolaris* n. sp., Holotypus; Film 98/2/1; aufgelockerte Wabekugel; als lichtoptisches Vergleichsbild zum BSE-Bild auf Tafel 5: 4. Die lichtoptisch sehr deutliche Wabenstruktur ist nicht mehr kompakt, sondern bereits aufgelockert. Nur deshalb ist sie im SE- und BSE-Bild erkennbar. Im Zentrum von Fig. 4 auf dieser Tafel heben sich zwei schwarz umrandete Wabenzellen ab, die lichtoptisch schwarze Umrandung entspricht der hellen Umrandung aus kleinen Sulfidkörnchen auf dem BSE-Bild von Tafel 5: 4. Sowohl die lichtoptische (Tafel 8: 4) wie auch die BSE-Aufnahme (Tafel 6: 4) lassen die Einbettung der SiO<sub>2</sub>-Wabekugel in eine substantiell gleichartige Matrix erkennen. Die Haupterstreckung dieser SiO<sub>2</sub>-Matrix liegt linsenartig in der Schichtungsebene (auf dem Bild von links oben nach rechts unten im senkrecht zur Schichtung orientierten Schlift). Bipolare Anlagerung von Titanit, innerhalb dessen sich noch Sulfidkörnchen abheben. Maße: Sphärendurchmesser d = 33 × 41 µm, Wabenzellen 3 µm, polare Sulfidkörnchen 2 × 3 µm. **5a–5b.** *Favosphaera aequatorialis* n. sp., Holotypus; Film 98/2/17 und 15; Fig. 5a als lichtmikroskopische Vergleichsabbildung zum BSE-Bild auf Tafel 5: 5 (Objekt Z8). Reihenfolge der Anordnung entsprechend der Tubuseinstellung von oben (Fig. 5a, Median-schnitt auf der Schliffoberfläche) nach unten (5b). Bandartige Anordnung der Sulfidkörnchen. Kugelumriß nur lichtoptisch abgrenzbar (Tafel 8: 5a), das BSE-Bild (Tafel 5: 5) zeigt dagegen die Anlagerung von gleichartiger SiO<sub>2</sub>-Substanz an die Sphäre, wobei die Haupterstreckung der Anlagerungssubstanz linsenartig in der Schichtungsebene liegt (hier von links nach rechts im senkrecht zur Schichtung orientierten Schlift). Maße: Sphärendurchmesser d = 33 µm, Sulfidkörnchen ca. 1 µm, max. 2–3 µm, Wabengröße max. 2 µm. **6.** *Favosphaera coronata* n. sp., Holotypus; Film 98/2/8; kompakte Wabekugel; als lichtoptisches Vergleichsbild zum vergrößerten BSE-Bild auf Tafel 5: 6 (Objekt V) und dem zugehörigen Elementmap auf Tafel 6: 6. Lichtoptisch ist zweifelsfrei, wenn auch nicht sehr deutlich abbildbar, eine Wabenstruktur erkennbar, die im BSE-Bild vollkommen fehlt, so daß auch der lichtoptisch einwandfrei erkennbare Kugelumriß des Mikroobjektes im BSE-Modus nur durch die Randlage von Sulfidkörnchen (rechte Bildhälfte auf dieser Tafel 8: 6 und Tafel 5: 6) wiederzuerkennen ist. Das Elementmap auf Tafel 6: 6 belegt die Einbettung der SiO<sub>2</sub>-Sphäre mit Sulfidkranz in eine SiO<sub>2</sub>-Matrix. Lichtoptisch hebt sich hier die graufarbene, wabenstrukturierte Sphäre gegenüber Tafel 5: 6 von der substantiell gleichartigen, aber hellen SiO<sub>2</sub>-Matrix gut ab. Maße: Sphärendurchmesser d = 38 µm, Wabenzellen 1.5–2 µm, Sulfidkranz 14 × 22 µm, mit größeren Sulfidkörnchen; weitere feine Sulfidkörnchen in der Wabekugel meist < 1 µm.

Plate 8. 1–6. Bright-field images from different species of genus *Favosphaera* in Kamenz formation of the Neoproterozoic Lusatian graywacke unit.

## Familie Concentrisphaeridae n. fam.

Typusgattung: *Concentrisphaera* n. gen.

**Diagnose:** Aus SiO<sub>2</sub> zusammengesetzte, konzentrisch schalig aufgebaute Sphären mit Einschlüssen und/oder peripheren Anlagerungen von Sulfidkörnchen. Außerhalb der Sphäre kann SiO<sub>2</sub> angelagert sein als verkieselte Gallerte.

**Beschreibung:** Die primär aus kieseliger Hauptschubstanz zusammengesetzten coccoiden Formen weisen einen konzentrisch-schaligen Aufbau auf, der durch die Anordnung der Sulfidkörnchen auf Kugelschalen verstärkt wird. Bis zu drei solcher mit Sulfidkörnchen besetzter oder angereicherter Kugelschalen in einem Objekt wurden beobachtet, z. T. liegen auch ein oder mehrere unförmige Sulfidkerne vor. Die Mikrofossilien treten überwiegend als Solitärformen oder als Solitärformen, die lockere Ansammlungen bilden, auf. Selten treten kompakte Gebilde (Kolonien zweiter Ordnung) aus mehreren konzentrisch-schaligen Sphären auf.

Das Wachstum der konzentrisch-schalig gebauten Formen war von innen nach außen gerichtet, wobei ein kontinuierlicher SiO<sub>2</sub>-Einbau in die jeweils peripheren Lagen der Wabenzellen von innen nach außen erfolgte. Deshalb ist davon auszugehen, daß der Kugelkern bereits abgestorben und verkieselt war, als der periphere Bereich noch aktiv war. Nur so konnte eine stabile Einlagerung der Sulfidkörner erfolgen.

Die schalige Anordnung der Sulfidkörner ist darauf zurückzuführen, daß die Stoffwechselprodukte zunächst im „Jugendstadium“ nach außen verdrängt und dann mit fortschreitender Verkieselung eingeschlossen wurden (Einschlußphase), was gleichzeitig zur Stabilisierung beitrug. Dann erfolgte als zweite Etappe wiederum die Verdrängung sich neubildender Sulfidkörner in die aktuelle Peripherie, um dann ebenfalls mit weiterem Objektwachstum wieder eingekieselt zu werden. Zu vermuten ist die Existenz der jeweils peripheren Lage einer bzw. mehrerer aktiven „Zell“schichten, die von außen durch eine Gallerte geschützt war.

Eine extreme Verlagerung des Stoffwechselproduktes Sulfid in den peripheren Bereich liegt bei den Formen vor, die innen aus SiO<sub>2</sub> bestehen und außen von einer fast kompakten Sulfidschale umschlossen werden (Tafel 1: 1, *Crasosphaera brandenburgensis* n. gen. sp.).

Wie bei den u. g. Favosphaeridae können auch die Vertreter der Concentrisphaeridae un-

förmige Anhänge aus unstrukturierter kieseliger Matrix aufweisen, die von der Verkieselung einer sie linsenförmig einhüllenden Gallerte herrühren.

## Familie Favosphaeridae n. fam.

Typusgattung: *Favosphaera* Burmann 1972

**Diagnose:** Aus SiO<sub>2</sub> zusammengesetzte Sphären, die kompakt aus einer Wabenstruktur aufgebaut sind und Sulfidkörnchen eingelagert haben können. Die Sphären bilden Wabenkugeln als coccoide Solitärformen (Kolonien erster Ordnung) oder Kugelkolonien (Kolonien zweiter Ordnung).

**Beschreibung:** Sie umfaßt die Favosphaeren sensu stricto, d. h. die coccoiden, aus kieseliger Hauptschubstanz aufgebauten Formen, die (im Durchlicht) eine deutliche Wabenstruktur erkennen lassen. Die Sulfideinlagerung erfolgt zumeist in Form kleiner Sulfidkörnchen zwischen den Wabenzellgrenzen oder in Zwickeln, aber auch aberrante Verteilungsformen wie z. B. äquatoriale Kornanordnung oder Kranzkränze und polare Ansammlungen sind möglich. Überwiegend, doch nicht immer, besteht ein Zusammenhang zwischen größerem Wabenzelldurchmesser und größerem Gesamtdurchmesser.

Unterschieden werden Kolonien 1. Ordnung (einfache Wabenkugeln, als Solitärformen; oder aus Solitärformen bestehende lockere Ansammlungen) und Kolonien 2. Ordnung, bei denen mehrere Kugeln zu einer kompakten Kolonie zusammengewachsen sind. Besonders deutlich ist dies bei *Favosphaera conglobata*, bei der mindestens eine der meist unterschiedlich großen Kugeln eine erkennbare Wabenstruktur aufweist. Bei *F. aequabilis* Burmann 1972 (415, Tafel II: 8–10) ist infolge der kleineren Kugeldurchmesser innerhalb der kompakten Kugelgruppe eine Wabenstruktur meist nicht erkennbar. Teilweise liegen die Kugeln mit Wabenstruktur innerhalb einer Kugelgruppe auch nicht in der Anschnittebene.

**Zusammenhang zwischen Concentrisphaeridae und Favosphaeridae:** Die prägnanten Vertreter bei den Concentrisphaeridae sind Formen mit mehrschaligem Bau (Tafel 7: 1–5) und bei den Favosphaeridae grobwabige Formen (Tafel 8: 1, 4) oder *F. conglobata* (Tafel 7: 6). Daneben existieren zahlreiche Formen, deren Zuordnung auf Grund einer geringeren Differenziertheit der vorhandenen Merkmale schwierig wird. Ohne Zweifel bestehen aber

morphologische Zusammenhänge zwischen den konzentrisch-schaligen Formen und den deutlich wabenstrukturierten Formen. In Burmann 1972 (417: Tafel III: 13; 419, Tafel IV: 10–11) sind aus Bohrungsmaterial von Bernbruch bei Kamenz Mikroobjekte abgebildet, die an Durchlichtfotos von Dünnschliffen einen konzentrisch-schaligen Aufbau erkennen lassen, der nicht durch die Sulfideinlagerung bewirkt wird, sondern durch eine konzentrisch angelegte feine Wabenstrukturierung. Aus der Beschreibung geht eindeutig hervor, daß die Wabenkugel von Burmann 1972 (417, Tafel III: 13) lichtmikroskopisch im Zentralbereich feinstrukturiert, d.h. feinwabig strukturiert ist (Gesamtdurchmesser 14 µm, Kerndurchmesser 8 µm, Außenschicht 3 µm), und daß sich die strukturlose Außenschicht deutlich gegen den strukturierten Kern absetzt. Das Objekt in Burmann 1972 (419, Tafel IV: 10–11; *Favososphaera sola* ssp. *magna* mit einem Gesamtdurchmesser von 25 µm, Wabendurchmesser 1 µm; konzentrisch gebaut, Kern 6 µm, Mittelschicht 2 µm, Außenschicht 6 µm, Außenschale 1 µm) enthält ebenfalls einen feinwabig strukturierten Teilbereich, der in Höhe der mittleren Kugelschale deutlich erkennbar ist.

Diese beiden Formen (insbesondere erkennbar an Burmann 1972, 419, Tafel IV: 10) belegen, daß die Anordnung der feinen Waben partiell auf Kugelschalen erfolgte und daß bei diesen Objekten innerhalb einer Sphäre (aber zwischen verschiedenen Kugelschalen) die Größe der Wabenzellen variieren konnte, eine sonst nicht mehr beobachtete Erscheinung. So wäre aber zu verstehen, warum innerhalb der kompakten Kugelkolonie *Favososphaera conglobata* die einzelnen Wabenkugeln so unterschiedlich feinstrukturiert sein können. Die Formen mit partieller Wabenfeinstruktur beim konzentrisch-schaligen Bautyp werden in einer neuen Gattung *Tenuisphaera* zusammengefaßt.

Je deutlicher wabenstrukturiert eine Kugel erscheint, desto weniger läßt sie Hinweise auf einen konzentrisch angelegten Aufbau erkennen. Je größer die Wabenzellen, desto deutlicher wird das Prinzip der dichtesten Kugelpackung mit der Wabenstruktur offenbar.

Die Zunahme der Wabenzellgröße eröffnete die Möglichkeit, auch die Gesamtgröße als Solitärform zu erhöhen. *Favososphaera intermedia* n. sp. (Tafel 5: 4) aus der präkambrischen Lausitzer Grauwacke erreicht als Solitärform mit einer Wabenzellgröße zwischen 2,5–3 µm schon einen Gesamtdurchmesser von ca. 35 µm. Dies entspricht bereits den Durchschnittsmaßen von

*Favososphaera grandifavosa* aus dem ordovizischen Griffelschiefer (Arenig), erreicht jedoch bei weitem nicht deren Maximalmaße von bis zu 100 µm. Der Unterschied besteht aber darin, daß die präkambrischen Formen in viel größerer Formenvielfalt vorkommen, d. h. sie sind nicht auf die wabenstrukturierten Solitärformen begrenzt, und daß sie dadurch in ihrer Verbreitung in feinklastischen Sedimenten ein umfangreicheres Korngrößenspektrum abdecken (Feinschluffe mit *F. sola*; Grobschluffe mit *F. magna* n. sp., *F. intermedia* n. sp., bis zu Feingrauwacken mit *F. conglobata*). Von der präkambrischen Formenvielfalt scheint sich im Altpaläozoikum allein *F. grandifavosa* erhalten zu haben, die in der Fazies des Schluffschiefers vorkommt, aber nur als Kolonie 1. Ordnung.

Doch auch im präkambrischen Material sind beträchtliche Objektgrößen erreichbar. Dies trifft dann jedoch weniger auf die Solitärformen zu als auf die wabenstrukturierten Kugelkolonien zweiter Ordnung, d. h. *F. conglobata*. Durch kompaktes Zusammenfügen von deutlich oder weniger deutlich strukturierten Wabenkugeln ist eine maximale Größe der Großkolonien bis zu ca. 200 µm erreichbar (Fundpunkt Steinbruch Oßling in der Oberlausitz, Probe Ke782C). Wir haben im Präkambrium den ungewöhnlichen Umstand zu verzeichnen, daß (a) mit *F. conglobata* überhaupt eine Mikrofossilüberlieferung auch in (matrixhaltigen) Grauwacken erfolgt und (b) ausgerechnet die großwüchsigen Kolonien in diesen Grauwacken überliefert sind. Dies hängt sicher mit der Lebensweise zusammen: Die großwüchsigen *F. conglobata*-Kolonien sind immer isoliert im Sediment, während die generell kleineren Solitärformen der Concentrisphaeridae und Favososphaeridae in den feinkörnigeren Sedimenten des Schluffbereiches auch linsenförmige Mikromatten oder sogar (nachgewiesen) über mehrere cm Erstreckung zu verfolgende Biomatten bilden können, vermutet wird aber an der Lokalität Zgorzelec-miasto eine noch weit umfangreichere Erstreckung.

In Diskussionen wurden diese Primärfunde von Großkolonien in Grauwacken oft angezweifelt und als Umlagerung verdächtigt. Sämtliche Beobachtungen haben aber ergeben, daß das Größenspektrum von Solitärformen und Kolonien in dem Korngrößenspektrum der Lithotypen Feinschluff-Grobschluff-Feingrauwackematrixhaltige Grauwacke mit *F. conglobata* in der Grauwacke endet und demzufolge *F. conglobata* nicht aus feinkörnigen Bereichen herzuleiten ist. Außerdem spricht die unbeschädigte

Erhaltung in den Zwickeln zwischen den Grauwackenkomponenten gegen einen weiten Transportweg. Es muß sich also nach den bisherigen Beobachtungen annähernd um eine Bildung in situ handeln. In Analogie zu den anderen Favosphaeren in den feinerkörnigen Bereichen ist auch für *F. conglobata* eine Lebensweise als Mikrobenthos zu vermuten, obwohl es dafür keine Vergleichsbeispiele gibt.

Während somit bei den Concentrisphaeridae eine lichtmikroskopisch erkennbare Wabenstruktur noch nicht ausgebildet ist, ist durch *Tenuisphaera* n. gen. eine Verbindung der konzentrisch-schaligen zu den wabenstrukturierten Formen der Favosphaeridae zu belegen. Die deutlich werdende Ausbildung der Wabenstruktur bei den Favosphaeridae eröffnet im Präkambrium gegenüber den Concentrisphaeridae Möglichkeiten einer absoluten Größenzunahme: a) durch eine Vielzahl kleiner Wabenzellen bei *F. magna* n. sp., b) durch eine Vergrößerung der Wabenzelldurchmesser bei *F. intermedia* n. sp. im Vergleich zu *F. sola*, c) durch Bildung kompakter Kolonien, die aus Wabenkugeln zusammengesetzt sind wie *F. aequabilis* und *F. conglobata*.

Hinweis zu den Meßwerten: Die absoluten Meßangaben beziehen sich in der Regel auf verifizierte Messungen im Durchlicht (Tafeln 7 und 8), die auch auf die entsprechenden Erläuterungen zu den BSE-Abbildungen auf den Tafeln 1 und 5 übertragen wurden. Die absoluten Werte der Messungen im Durchlicht sind häufig etwas größer als die für den BSE-Modus anhand der eingetragenen Maßstäbe abgeleiteten Werte. Dies hat seine Ursache in der räumlichen Gesamterfassung der Sphäre im Durchlicht durch die unterschiedlichen Tubuseinstellungen, wodurch immer der volle Sphärendurchmesser gemessen wird. Im BSE-Modus ist dagegen immer nur eine zufällige Schnittebene erfaßt, wobei dieser Anschnitt zumeist etwas kleiner als die Medianebene ist. Um Irritationen zu vermeiden, wird deshalb bei den absoluten Maßen immer nur Bezug auf die Messungen im Durchlicht genommen.

Familie Concentrisphaeridae n. fam.

Genus: **Concentrisphaera** n. gen. (siehe unten)

*Tenuisphaera faveolata* n. gen. n. sp.; Zusammenhang von partieller Wabenstruktur und konzentrischem Schalenaufbau.

*Crassosphaera brandenburgensis* n. gen. n. sp.; ohne Waben, einschalig; externe, verdickte Sul-

fidschale.

*Concentrisphaera crassogranulata* n. gen. n. sp.; dreischalig, aber dichte interne Sulfidkornbesetzung.

*C. duplicata* n. sp.; zweischalig, mit beidschalig lockerem Sulfidkornbesatz.

*C. triplicata* n. sp.; dreischalig, mit lockerem Sulfidkornbesatz.

*C. associata* n. sp.; doppelschalige Kolonie: verknüpfte Nachbarkugeln (Kleinkolonie, mit Sulfidkornbesatz) mit gemeinsamer Außenschale

### **Tenuisphaera** n. gen.

Typusart: *Tenuisphaera faveolata* n. sp.

Derivatio nominis: Benannt nach der Feinwabigkeit von Teilbereichen der konzentrisch-schaligen Form (*tenuis* latein. fein; *sphaera* latein. Kugel).

Diagnose: Konzentrisch-schalige Solitärformen aus SiO<sub>2</sub>, die neben unstrukturierten Schalenbereichen auch partiell feinwabige Kugelschalenbereiche (oder Feinwabigkeit im Zentralbereich) aufweisen. Der Sulfidkornanteil ist unauffällig.

### **Tenuisphaera faveolata** n. gen. n. sp.

1972 *Favosphaera sola* ssp. *magna*; Burmann: 419, Tafel IV: 10–11

1972 unbenannt, Wabenkugel, Kern feinstrukturiert; Burmann: 417, Tafel III: 13

Derivatio nominis: Benannt nach der Feinwabigkeit der partiell ausgeprägten Wabenstruktur (*faveolatus* latein. feinwabig). Die ursprüngliche Zuordnung von Tafel IV/Bild 10–11 zu ssp. *magna* in Burmann (1972) bezog sich auf eine andere Gattung und Art, das Exemplar war kein Holotypus.

Holotypus: Tafel IV: 10–11 in Burmann 1972; Schliff Kfs S 62/64, KTZ 22,9/126,2; Sammlung der BGR Berlin, Inv.-Nr.: X9998.

Locus typicus: Bernbruch, Brg. 3, Pr. C; Kernmarsch 54.3–56,3 m.

Stratum typicum: Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

Maße (in Burmann 1972): (a) Tafel IV: 10–11: d = 25 µm, Wabendurchmesser 1 µm, Kern 6 µm, Mittelschicht 2 µm, Außenschicht 6 µm, Außenschale 1–2 µm; Kern und Mittelschicht mit Feinwabenstruktur. (b) Tafel III: 13: d = 14 µm, Kerndurchmesser 8 µm, Außenschicht 3 µm; Zentralbereich mit Feinwabenstruktur.

Diagnose: Konzentrisch-schalige Solitärformen von ca. 15–25 µm, die neben unstrukturierten

Schalenbereichen auch feinwabige Kugelschalenbereiche (oder Feinwabigkeit im Zentralbereich) aufweisen. Der Sulfidanteil ist unauffällig.

**Bemerkung:** *Favosphaera sola* ssp. *magna* Burmann 1972 wurde neu geordnet. Der Holotyp von ssp. *magna* wird zur Art *Favosphaera magna* n. sp. für relativ großwüchsige Wabensphären mit kompakter Feinwabigkeit ohne Schalenbau erhoben, während die zwei weiteren, seinerzeit ssp. *magna* zugeordneten Objekte hier als *Tenuisphaera faveolata* n. gen. n. sp. für konzentrisch-schalige Objekte mit partieller Feinwabigkeit abgetrennt wurden. Letztere sind als morphologische Übergangsformen zwischen konzentrisch-schaligen Formen ohne Wabenstruktur (*Concentrisphaeridae*) und Sphären mit kompakter Wabenstruktur (*Favosphaeridae*) zu werten. Das partielle Einsetzen der Feinwabigkeit in den konzentrisch-schaligen Formen bildet eine morphologische Überleitung zum Auftreten, aber nicht Einsetzen der kompakten Wabenstruktur ohne schaligen Aufbau (da mehrere Möglichkeiten bestehen) und dem Größerwerden des Wabenzelldurchmessers.

**Vergleich:** *Favosphaera sola* Burmann 1972 (417, Tafel III: 9–12) ist als Solitärkugel mit deutlicher Oberflächenstruktur zumeist ohne erkennbare Innenstruktur ein Grenzfall. Am seinerzeit untersuchten Objekt ist die wabige Netzstruktur durch die Umgrenzungen mit Pyrit peripher auffällig nachgezeichnet, sonst wären die SiO<sub>2</sub>-Wabenzellen nicht zu erkennen, es existiert bei *F. sola* vermutlich ansatzweise eine äußere Sulfidschale. *Tenuisphaera faveolata* soll konzentrisch-schaligen Formen mit im Inneren partieller Wabenstruktur vorbehalten sein.

### ***Crassosphaera* n. gen.**

Typusart: *Crassosphaera brandenburgensis* n. sp.

**Derivatio nominis:** Benannt nach der dicken äußeren Sulfidschale (*crassus* latein. dick, grob; *sphaera* latein. Kugel).

**Diagnose:** Im Inneren (BSE-Erscheinungsbild) strukturlose Sphäre mit einem Durchmesser von ca. 20 µm, die aus SiO<sub>2</sub> besteht, und von einer bis zu mehrere µm dicken Außenschale aus Sulfid umgeben wird, die unregelmäßig unterbrochen ist. Auch im Inneren der Sphäre können einzelne größere Sulfidkörner eingelagert sein.

**Bemerkung:** Wahrscheinlich ist die Außenschale aus großen Sulfidkörnern zusammengewachsen, dies bedingt ihren unruhigen Ober-

flächenverlauf. Der Aufbau ist am besten bei Medianschnittlage im BSE-Bild erkennbar, im Lichtmikroskop ist nur eine opake Kugel erkennbar.

### ***Crassosphaera brandenburgensis* n. gen. n. sp.**

Tafel 1, Fig. 1

**Derivatio nominis:** Benannt nach der Lage der Fundpunkt-Bohrung im Südteil des Bundeslandes Brandenburg.

**Holotypus:** Tafel 1: 1 (BSE-Modus); Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/32; Objekt S4e im Schliff S4/Erstserie von Probe 60.

**Locus typicus:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau; Kernmarsch 212,8–214,5 m; Probe 60.

**Stratum typicum:** Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße:** Durchmesser d1 (innerer Durchmesser) = 17 µm, d2 (äußerer Durchmesser) = 20 µm, Sulfidschale 2–3 µm, zentrales Sulfidkorn 3 µm.

**Diagnose:** Eine im Inneren strukturlos erscheinende SiO<sub>2</sub>-Kugel von ca. 20 µm Durchmesser wird im Medianschnitt von einem unterbrochenen, sonst aber recht massiven Sulfidkranz umgeben, der Teil einer peripheren Sulfid-Kugelschale ist. Im Inneren der Sphäre liegen ebenfalls einzelne größere Sulfidkörner vor.

**Vergleich:** Von den anderen konzentrisch-schaligen SiO<sub>2</sub>-Sphären unterscheiden sie sich durch die auffällig dicke äußere Sulfidschale. Die unregelmäßige Form der großen Teilkörner, aus der die äußere Sulfidschale zusammengesetzt ist, spricht aber für die gleiche Genese, wie sie bei den Sulfidkörnern der konzentrisch-schaligen und wabenstrukturierten Formen angenommen wird (Stoffwechselendprodukt). Gegenüber *Favosphaera sola* Burmann 1972 fehlt bei *Crassosphaera brandenburgensis* n. sp. die Wabenstrukturierung.

**Bemerkung:** Da die Art im Lichtmikroskop nur als opake Kugel in Erscheinung tritt, ist man auf Funde mit Medianschnitt im BSE-Modus angewiesen. Das Elementmap ergab SiO<sub>2</sub> für den Innenraum der Sphäre, in den hellen Sulfidkörnern sind S, Fe und Cu nachgewiesen.

### ***Concentrisphaera* n. gen.**

Typusart: *Concentrisphaera crassogranulata* n. sp.

**Derivatio nominis:** Benannt nach dem konzentrisch-schaligen Aufbau der Sphäre (concentrisch).

tricus latein. konzentrisch, schalig; sphaera latein. Kugel).

**Diagnose:** Konzentrisch-schalig aufgebaute SiO<sub>2</sub>-Sphäre (mehrere Kugelschalen, die sich nur im Durchlicht abheben) mit Einlagerung von Sulfidkörnchen unterschiedlicher Größe und Besetzungsdichte auf den Kugelschalen. Die Sphäre ist entweder zweischalig und besteht aus einer inneren und einer peripheren Kugelschale oder dreischalig. Jede der bis zu drei Kugelschalen kann mit Sulfidkörnchen besetzt sein. Die Verteilung der Sulfidkörnchen (Verteilungsdichte, Korngröße) kann aber bei den einzelnen Arten unterschiedlich sein. Auch der Zentralraum kann mit einem oder mehreren Körnern oder Körnern belegt sein. Der Gesamtdurchmesser variiert ca. zwischen 10–22 µm. Teile einer äußeren SiO<sub>2</sub>-Matrix können außerhalb der Sphäre angelagert sein.

***Concentrisphaera crassogranulata* n. gen. n. sp.**

Tafel 7, Fig. 4a–c; Tafel 1, Fig. 5; Tafel 2; Tafel 3; Tafel 4

**Derivatio nominis:** Benannt nach der Grobkörnigkeit der eingelagerten Sulfidkörner (crassus latein. dick, grob; granulatus latein. körnig).

Holotypus: Tafel 7: 4a–c (Durchlicht), Tafel 1: 5 (BSE-Modus); Elementmaps: Tafel 2: 1–6, Tafel 3: 1–5; Punktanalysen Tafel 4: P1–P13; Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt D im Schliff C/lfd.Nr 943 von Probe 62.

**Locus typicus:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau; Kernmarsch 212,8–214,5 m; Probe 62.

**Stratum typicum:** Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße:** (Messung im Durchlicht) Innere Kugelschale d1 (Unterkante) = 8 µm (Innenseite der inneren Kugelschale, unterhalb der Sulfidlage), innere Kugelschale d1 (Oberkante) = 12 µm (äußere Seite der inneren Kugelschale, entspricht der äußeren Grenze des dichten Sulfidkornbesatzes), mittlere Kugelschale d2 = 17 µm, äußere Kugelschale d3 = 21 µm. Verkieselte Anlagerung ca. 17 × 17 µm (links auf Fig. 4a, vergleiche mit BSE-Bild Tafel 1: 5). Mittlere Sulfidkorngröße auf Innenschale ca. 1–1,5 µm, max. 2 µm, zentrales Pyritkorn <1 µm. Auf der Mittel- und Außenschale nur feinste Sulfidkörnchen <1 µm; Relation der Kugelschalenradien r1:r2:r3 = 4(+2):8:10,5 µm; Höhe der Mittelschale ca. 3 µm, ca. Außenschale 2 µm. Im linken Randfeld zusätzliche 16 × 17 µm-Fläche von SiO<sub>2</sub> als An-

hang an der SiO<sub>2</sub>-Kugel. Oberer Kugelanschnitt beschädigt (gekürzt auf Fig. 4a, siehe auch Oberkante auf BSE-Bild Tafel 1: 5), im unteren Bereich aber rund (Fig. 4c).

**Diagnose:** Konzentrisch-schalig gebaute SiO<sub>2</sub>-Sphäre von ca. 20 µm Durchmesser. Die lichtoptisch erkennbare Dreischaligkeit ist im BSE-Modus nicht nachweisbar. Nur die innere Kugelschale, die mit relativ großen Sulfidkörnchen (1–2 µm) dicht besetzt ist, wird durch die Sulfideinlagerung substantiell unterlegt. Ein kleines zentrales Sulfidkorn ist erhalten. Auf der Mittel- und Außenschale ist dagegen der Besatz mit feinsten Pyritkörnchen äußerst spärlich, aber vorhanden. Peripher liegen außerhalb der Sphäre beidseitig SiO<sub>2</sub>-Anlagerungen vor.

**Vergleich:** Das Schwergewicht der Sulfidkorn-einlagerung liegt bei der dreischaligen *C. crassogranulata* n. sp. auf der inneren Kugelschale, die beiden äußeren Kugelschalen sind kaum besetzt, während *C. duplicata* n. sp. doppelschalig ist und beide Kugelschalen mit kleineren Körnern locker besetzt sind. Die ebenfalls dreischalige *C. triplicata* n. sp. weist eine andere Relation der Kugelschalen zueinander auf und ist weitaus sparsamer in der Sulfidkornausbildung auf der internen Kugelschale (vergleiche die BSE-Darstellungen Tafel 1: 5 und Tafel 1: 7).

***Concentrisphaera duplicata* n. sp.**

Tafel 7, Fig. 2a–c und Tafel 1, Fig. 6  
Tafel 7, Fig. 3a–b und Tafel 1, Fig. 4

**Derivatio nominis:** Benannt nach den jeweils mit Sulfidkörnchen besetzten zwei Kugelschalen (duplicatus latein. doppelt).

Holotypus: Tafel 7: 2a–c (Durchlicht), Tafel 1: 6 (BSE-Modus); Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt R im Schliff C/lfd.Nr 943 von Probe 62.

Zusatze exemplar: Tafel 7: 3a–b (Durchlicht), Tafel 1: 4 (BSE-Modus); Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt Z9a im Schliff C/lfd.Nr 943 von Probe 62.

**Locus typicus:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau; Kernmarsch 212,8–214,5 m; Probe 62.

**Stratum typicum:** Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße (Holotypus):** (Messung im Durchlicht) Innere Kugelschale d1 = 11 × 12 µm, äußere Kugelschale d2 = 16 × 18 µm; Sulfidkörner auf der inneren Kugelschale ca. 1 µm, max. 2 µm, zentrales längliches Sulfidkorn 1 × 4 µm; verkieselte Anhang unten rechts 6 × 8 µm.

(Zusatzexemplar): (Messung im Durchlicht) Innere Kugelschale  $d_1 = 11 \times 11 \mu\text{m}$ , äußere Kugelschale  $d_2 = 18 \times 20 \mu\text{m}$ . Schalenabstand ca.  $4\text{--}5 \mu\text{m}$ , Sulfidkörnchen  $<1 \mu\text{m}$ . Exemplar leicht gestaucht, deshalb Meßwerte variierend in Abhängigkeit von der Tubuseinstellung.

Diagnose: Zweischalig aufgebaute  $\text{SiO}_2$ -Sphäre (Größenordnung ca.  $15\text{--}20 \mu\text{m}$ ), die auf der inneren und der peripheren Kugelschale mit kleinen Pyritkörnchen locker besetzt ist. Auch im Zentralraum können einzelne Körnchen auftreten.

Erhaltung: Durch Körnchenverluste am Außenrand kann die periphere Schale geringer besetzt sein.

Vergleich: Bei *Concentrisphaera duplicata* n. sp. ist lockerer Körnchenbesatz aus relativ feinen Körnchen auf beiden Kugelschalen kennzeichnend. *C. crassogranulata* und *C. triplicata* sind dreischalig. Ein Übergang zu *C. triplicata* mit dem Aufbau einer weiteren Kugelschale ist möglich.

#### ***Concentrisphaera triplicata* n. sp.**

Tafel 7, Fig. 1a–1c und Tafel 1, Fig. 7

Derivatio nominis: Benannt nach dem dreischaligen Aufbau der Sphäre; triplicatus latein. dreifach.

Holotypus: Tafel 7: 1a–1c (Durchlicht), Tafel 1: 7 (BSE-Modus); Film 98/3/31, 30, 32; Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; ObjektT1 im Schliff C/lfd. Nr 943 von Probe 62.

Locus typicus: Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau; Kernmarsch 212,8–214,5 m; Probe 62.

Stratum typicum: Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

Maße: (Messung im Durchlicht) Innere Kugelschale  $d_1 = 12 \mu\text{m}$ , mittlere Kugelschale  $d_2 = 17 \mu\text{m}$ , äußere Kugelschale  $d_3 = 22 \mu\text{m}$  (entspricht Gesamtdurchmesser); Kugelschalenabstände ca.  $2,5 \mu\text{m}$  (differierend zwischen  $2\text{--}3,5 \mu\text{m}$ ); Relation der Kugelschalenradien  $r_1:r_2:r_3 = 6:8,5:11$ ; Pyritkörnchen auf der inneren Kugelschale in der Regel  $<1 \mu\text{m}$  (ca.  $0,3 \mu\text{m}$ , maximal  $1 \mu\text{m}$ ), größtes Einzelkorn von Pyrit mit ca.  $1,3 \mu\text{m}$  in räumlicher Assoziation mit Titanverbindung auf der mittleren Kugelschale. Verkieselter Anhang (oben links)  $12 \times 17 \mu\text{m}$ . Im BSE-Modus nur  $d_1$  und andeutungsweise  $d_2$  erkennbar.

Diagnose: Deutlich dreischalige  $\text{SiO}_2$ -Sphäre von ca.  $22 \mu\text{m}$  Gesamtdurchmesser. Der Innendurchmesser von ca.  $12 \mu\text{m}$  weist die innere Kugelschale als recht großsphärisch aus. Alle drei Kugelschalen weisen feine Sulfidkörnchen auf, wobei die Besetzungsdichte auf der inneren Kugelschale am stärksten ist.

Erhaltung: Die äußere Kugelschale ist teilweise kerbenartig resorbiert.

Vergleich: *Concentrisphaera triplicata* ist wie *C. crassogranulata* dreischalig, die Unterschiede bestehen in der Größenrelation der inneren Kugelschale (deutlich größer bei *C. triplicata*) sowie der Besetzung der inneren Kugelschale mit Sulfidkörnchen (deutlich größere Körner und stärkere Besetzung auf der inneren Kugelschale von *C. crassogranulata*).

Sulfidkorngröße und Verteilungsmodus sind ähnlicher zu *C. duplicata*, letztere ist aber zweischalig.

#### ***Concentrisphaera associata* n. sp.**

Tafel 7, Fig. 5a–b

Derivatio nominis: Benannt nach der Ausbildung als Kleinkolonie (associatus latein. gruppiert, assoziiert).

Holotypus: Tafel 7: 5a–b (Durchlicht); Film 98/3/18, 21; Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt G im Schliff C/lfd. Nr 943 von Probe 62.

Locus typicus: Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau; Kernmarsch 212,8–214,5 m; Probe 62.

Stratum typicum: Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

Maße: Größere Innenkugel  $d_1 = 12 \times 13 \mu\text{m}$ , kleinere Innenkugel  $d_2 = 8 \times 9 \mu\text{m}$ , gemeinsame Außenschale (Gesamtdurchmesser)  $d_3 = 28 \times 32 \mu\text{m}$ ; Höhe der Außenschale über der größeren Innenkugel  $h_1 = 7$  und Gegenseite  $8 \mu\text{m}$ ; Höhe der Außenschale über kleinerer Innenkugel  $h_2 = 5 \mu\text{m}$ . Größe der Sulfidkörnchen überwiegend  $<1 \mu\text{m}$ , maximal ca.  $1 \mu\text{m}$ .

Diagnose: Aus wenigen Kugeln (erkennbar zwei in der Anschnittebene) unterschiedlicher Größe zusammengesetzte Kleinkolonie, die von einer gemeinsamen Außenschale beträchtlicher Stärke umgeben ist, Gesamtgröße ca.  $30 \mu\text{m}$ . Die Innenkugeln sind peripher deutlich mit kleinen Sulfidkörnchen besetzt (Tafel 7: 5b), auch in die Außenschale sind randlich kleine Sulfidkörnchen eingelagert (Tafel 7: 5a), deren Maximalgröße bis ca.  $1 \mu\text{m}$  erreichen kann. Die Höhe der ge-

meinsamen äußeren Kugelschale ist von der Position über den Innenkugeln abhängig ca. 5 µm über der kleineren Innenkugel, ca. 7–8 über der größeren Innenkugel. Die Oberfläche der Außenschale weist ein farbloses Chagrin auf, die opaken feinen Sulfidkörnchen in diesem Bereich sind bereits etwas größer, einzelne Körner werden bis zu ca. 1 µm. (Dieses Chagrin an der Oberfläche kann Ausdruck einer nicht näher erkennbaren Feinstruktur sein).

**Erhaltung:** Die äußere Kugelschale ist offenbar leicht verzogen und gerissen.

**Bemerkung:** (1) Die Deutung des dunklen zentralen Fleckes als größeres Sulfidkorn (Tafel 7: 5b) ist nicht gesichert. (2) Die äußere Kugelschale ist in ihrem Basalteil leicht aufgehellet (Tafel 7: 5b), aber nicht scharf genug abgegrenzt, um sie zu untergliedern.

**Vergleich:** Ausgeprägte Mehrschaligkeit (Doppelschaligkeit, Dreischaligkeit) ist vorwiegend bei Solitärformen ausgeprägt, wie z. B. bei *C. duplicata*, *C. triplicata*. *C. associata* belegt hiermit deutliche Doppelschaligkeit auch für Kolonialaggregate bei konzentrisch-schaligen Formen. Wabenstruktur ist nicht erkennbar.

Familie Favosphaeridae n. fam.

#### Genus: *Favosphaera* Burmann 1972

**Alte Diagnose:** Wabenförmig aufgebaute kugelige Gebilde unbekannter systematischer Stellung, die in einer trübe durchscheinenden mineralischen Substanz überliefert sind und andeutungsweise ein organisches Skelett aufweisen. Die räumlich angeordneten „Wabenzellen“ sind dicht gepackt und rufen in verschiedener Tubushöhe eine wabenförmige Netzstruktur hervor. Es wurden einfache Wabenkugeln und Kugelkolonien unterschieden. Jede Wabenkugel ist in der Regel aus Wabenzellen eines konstanten Durchmessers (einheitlichen Rasters) aufgebaut, sie kann grob- oder feinmaschig strukturiert sein, mitunter ist die Wabenstruktur undeutlich oder nicht erkennbar. Für verschiedene Kugeln schwankt sowohl der Wabenzelldurchmesser als auch der Kugeldurchmesser. Die Wabenkugeln treten als Einzelkugeln (Kolonien 1. Ordnung) auf oder können Kugelaggregate aufbauen (Kolonien 2. Ordnung).

Auch in den Kugelaggregaten ist die Wabenzellgröße innerhalb einer Wabenkugel immer konstant, während sie für die verschiedenen Wabenkugeln des Kugelaggregates jeweils unterschiedlich sein kann. Auch der Gesamtdurchmesser jeder Wabenkugel kann differieren.

**Ergänzung zur Diagnose:** (1) Substanz: Im Ergebnis der Substanzuntersuchungen mit EDS wurde die mineralische Hauptschubstanz der Wabensphären als SiO<sub>2</sub> bestimmt. Lichtmikroskopisch opake Teilchen, für die ursprünglich Kohlenstoff vermutet wurde, treten im BSE-Modus als helle Körnchen in Erscheinung und haben sich im Ergebnis der Substanzbestimmung mit EDS als Sulfide erwiesen. Die Wabenstruktur war an den untersuchten EDS-Beispielen von SiO<sub>2</sub>-Sphären substantiell nicht unterlegt. Vermutungen zur Präsenz von Kohlenstoff wurden durch EDS nicht bestätigt (unklar, ob primär oder außerhalb der Nachweisgrenzen), lichtmikroskopisch opake Einlagerungen haben sich als Sulfidkörnchen erwiesen. (2) Die Präsenz von Sulfidkörnchen ist nicht auf die Zersetzung von Eiweiß zurückzuführen, sondern Ergebnis eines Sulfurabhängigen Metabolismus. (3) Lebensweise: Die Überlieferung in mineralischer Substanz mit Besonderheiten zur Anhaftung einer strukturlosen SiO<sub>2</sub>-Matrix und die Anordnung der konzentrisch oder wabig strukturierten Sphären im Sediment weisen auf Mikrobenthos hin.

**Bemerkung:** Die Originaldiagnose von *Favosphaera* Burmann 1972 wurde hier der Übersichtlichkeit halber aufgeführt, da die Originalarbeit schon älteren Datums ist, und durch die neuen Substanzdaten zu ergänzen war.

Typusart: *Favosphaera conglobata* Burmann 1972 (Holotyp: 413, Tafel I: 1–3) d = 95–105 µm, d<sub>min</sub> = 3 µm, d<sub>max</sub> = 20 µm; Bernbruch bei Kamenz/zentrale Oberlausitz, Brg. 3, Probe C, Kernmarsch 54,3–56,3 m (leg. B. Gottesmann); Sammlung BRG Berlin, Inv.-Nr. X9998; Schliff Kfs S 62/64, KTZ 23,0/126,6.

Zu dieser Art gehörende Mikroobjekte aus den Kamener Schichten am NW-Obling bei Kamenz (Probe Ke782C/leg. Kemnitz) erreichen maximale Größen der Kugelkolonien von über 200 µm.

#### Weitere Arten:

*Favosphaera sola* Burmann, 1972 (Holotypus: 417, Tafel III: 8–12) d = 16 µm; Waben = 1 µm

*Favosphaera sola* ssp. *magna* Burmann, 1972 (Holotypus: 415, Tafel II: 3–7) d = 30 µm; Waben = 1 µm; siehe diese Arbeit neu als *F. magna* n. sp.

*Favosphaera aequabilis* Burmann, 1972 (Holotypus: 415, Tafel II: 8–10) d = 50 µm; Einzelkugel = max. 8 µm

*Favosphaera grandifavosa* Burmann, 1972 (Holotypus: 423, Tafel VI: 1–3) d = 77 µm, Waben = 6 µm; diese Arbeit siehe Tafel 5: 3 und Tafel 6: 3.

Die Angaben zur Herkunft und Inv.-Nr. der Holotypen siehe im Kapitel Untersuchungsmaterial.

Neue Arten (siehe unten):

*F. magna* n. sp.; Waben 1 µm, feinwabig; Durchmesser ca. 30 µm; wenig Sulfidkörnchen

*F. intermedia* n. sp.; Waben 2 bis 2,5 µm, grobwabig; Durchmesser ca. 35 µm; wenig Sulfidkörnchen; feine Zwickelfüllungen.

*F. bipolaris* n. sp.; Waben 3 µm, sehr grobwabig; Durchmesser 40 µm; bipolar angeordnete Sulfidkörnchen, feine Zwickelfüllungen.

*F. circumpolaris* n. sp.; Waben 1,5 µm, Durchmesser 35 µm, Ungleichkörnigkeit begrenzter Anzahl von Sulfidkörnchen, irreguläre Verteilung.

*F. aequatorialis* n. sp.; Waben 1,5 bis 2 µm, Durchmesser 33 µm; typisch die periphere Anordnung von zahlreichen kleineren Sulfidkörnchen, zonare Anordnung oder unterhalb der gesamten Außenschale.

*F. coronata* n. sp.; Waben 1,5 bis max. 2 µm, Durchmesser 38 µm; irregulär verteilt zahlreiche kleine Pyritkörnchen, peripher grobkörniger Pyritkranz.

Zur Bedeutung der Unterscheidungskriterien: Um eine Abgrenzung zu den ordovizischen Formen zu ermöglichen, wird das Kriterium der maximal erreichbaren Wabenzellgröße und des Gesamtdurchmessers einbezogen. So sind die präkambrischen Solitärformen mit einer maximalen Wabenzellgröße von 3 µm auf Gesamtdurchmesser von ca. 35 bis 40 µm begrenzt, während die ordovizischen Formen bis zu 6 µm Wabenzellgröße erreichen können und als Solitärformen (Kolonie 1. Ordnung) mit bis zu 80 µm Gesamtdurchmesser erreichen können, die bei präkambrischen Formen nur von Kolonien 2. Ordnung wie *F. conglobata* erreicht werden. Es ist deshalb erforderlich, nicht nur eine Einzelform zu beachten, sondern die Gesamtheit der Morphotypen in einer Probe zu berücksichtigen. So kann der Großteil der ordovizischen Formen 2–3 µm Wabenzellgröße und 30–40 µm Gesamtdurchmesser aufweisen, gehört aber zu *F. grandifavosa*, weil auch größere Formen mit ihnen assoziiert sind.

Es wird deshalb nachfolgend *F. sola* ssp. *magna* BRM. 1972 umbenannt in *F. magna* für Solitärformen mit zahlreichen Waben bei kleinem Wabendurchmesser (Feinwabigkeit) und als neue Art *F. intermedia* n. sp. aufgestellt, die für größerwabige präkambrische Solitärformen gilt.

Für die präkambrischen Wabenkugeln wurden insgesamt die Kriterien Wabenzellgröße, Gesamtdurchmesser und Sulfidkornverteilungsmodus zur diagnostischen Unterscheidung gewählt. Für Erstbetrachter mag dies zum Teil schwierig

nachzuvollziehen sein. Es wurde jedoch davon ausgegangen, daß die Morphotypen im gleichen Probenmaterial an anderen Exemplaren wiedererkannt wurden, wie dies zum Beispiel für die feinwabige *F. magna* n. sp. und die grobwabige *F. intermedia* n. sp. zutrifft. Aber auch für den Sulfidverteilungsmodus zeichnet sich durchaus eine diagnostische Bedeutung ab. Die gewählte Namengebung wie *F. aequatorialis* oder *F. circumpolaris* soll dabei weniger im engen Sinne des Wortes verstanden werden (auch wenn dies in der Diagnose formuliert ist), als jeweils einen bestimmten Verteilungstyp charakterisieren. So steht *F. aequatorialis* n. sp. für den Verteilungstyp peripherennahe Sulfidkornverteilung zahlreicher Körnchen begrenzter Korngröße, dies muß aber nicht auf ein äquatoriales Band begrenzt sein, sondern die Verteilung kann unter der gesamten Außenschale erfolgen. Dieser Verteilungstyp ist bei unterschiedlichen Exemplaren dann aber auch immer mit dem gleichen Wabenzelltyp kombiniert. Auch bei *F. circumpolaris* n. sp. geht es nicht um die spezifische Lage der Körner zueinander am bestehenden Beispiel, sondern um die Mengen- und Größenrelation unterschiedlicher Korn Typen zueinander. *F. circumpolaris* n. sp. repräsentiert dann als Beispiel diesen Verteilungstyp.

#### ***Favosphaera magna* n. sp.**

1972 *Favosphaera sola* ssp. *magna* Burmann – Burmann: 406, Tafel II: 3–7

**Derivatio nominis:** Benannt nach der bereits auffälligen Größe für eine Solitärform (im Vergleich zu *F. sola*) in Verbindung mit der Kleinwabigkeit, magnus latein. groß.

**Holotypus:** Tafel II: 3–7 in Burmann 1972; S 1248/63; KTZ 19,5/104,4; Sammlung der BGR Berlin, Inv.-Nr. X9998.

**Locus typicus:** Altbohrung Bernbruch Nr. 3/ Probe C westlich vom Steinbruch Bernbruch bei Kamenz/Zentrale Oberlausitz; Kernmarsch 54,3–56,3 m.

**Stratum typicum:** Kamener Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße:** Gesamtdurchmesser 30 µm, Wabendurchmesser 1 µm (Holotyp).

**Erweiterte Diagnose:** Die Sphäre ist eine kompakte, aus SiO<sub>2</sub> bestehende Wabenkugel mit auffälliger Kleinwabigkeit (1 µm) in Bezug zu einer mittleren Gesamtgröße von 20–35 µm. Durch die Kleinwabigkeit ergibt sich eine hohe Relation von der Anzahl der Waben zum Ge-

samtdurchmesser. Sulfidkörnchen sind nur untergeordnet vorhanden.

**Bemerkung:** Der Terminus „kompakte Wabenkugel“ bedeutet, daß die Wabenstruktur dreidimensional innerhalb der gesamten Sphäre lichtmikroskopisch erkennbar ist, die Erkennbarkeit beschränkt sich nicht wie bei *F. sola* auf die Kugelperipherie.

**Vorkommen:** Die Formen treten meist isoliert auf (selten Bildung loser Gruppen) und bevorzugt in Proben, in denen auch kompakte Kugelaggregate wie *F. conglobata* zu beobachten sind. **Vergleich:** Die Wabendurchmesser von *F. magna* entsprechen mit 1 µm denen von *F. sola*, aber die Gesamtgröße ist mit 20–35 µm größer als die von *F. sola* (ca. 15 µm) und die Sulfidpräsenz spielt bei *F. sola* eine größere Rolle.

*F. magna* n. sp. ist von *F. intermedia* n. sp. deutlich durch die Kleinheit der Wabenzellen von ca. 1 µm gegenüber 2,5 µm unterschieden, wodurch eine unterschiedliche Rate an Wabenzellen bezogen auf den Durchmesser vorliegt (Grobstruktur bei *F. intermedia* n. sp., Feinwabigkeit bei *F. magna* n. sp.). Die Gesamtdurchmesser überlagern sich bei ca. 30 µm. Auch gegenüber *F. aequatorialis* n. sp., *F. coronata* n. sp. und *F. circumpolaris* n. sp. ist die Feinheit der Wabenstruktur auffällig.

Läßt man die Wabengröße außer Acht, ist in Bezug auf den relativ geringen Anteil an eingelagerten Sulfidkörnchen am ehesten ein Vergleich mit dem Anteil bei *F. intermedia* n. sp. gegeben. Andererseits ist bei leichter Zunahme der Wabengröße, der Gesamtgröße und des Sulfidanteils ein Übergang von *F. magna* n. sp. zu *F. circumpolaris* n. sp. denkbar.

Insgesamt hat *F. magna* n. sp. gegenüber den anderen untersuchten Wabenkugeln *F. intermedia* n. sp., *F. bipolaris* n. sp., *F. aequatorialis* n. sp., *F. coronata* n. sp. und *F. circumpolaris* n. sp., sämtlich Kolonien erster Ordnung, einen eigenständigen Habitus sowohl in Bezug auf die Wabenzellgröße als auch den Sulfidkornanteil. Allen genannten Formen gemeinsam ist unabhängig von der Größe die Anlagerung von SiO<sub>2</sub>-Matrix an die SiO<sub>2</sub>-Kugel.

**Substantielle Ergänzungsuntersuchungen:** Sie konnten am Typusmaterial von 1972 zu *Favosphaera magna* n. sp. nicht vorgenommen werden. Zu diesem Zweck stand aber das nachfolgende, als *F. magna* n. sp. bestimmte Untersuchungsobjekt aus dem Probenmaterial der Probe 62 aus der Bohrung 1695/81 zur Verfügung,

an dem die EDS-Untersuchungen der meisten anderen Mikroobjekte dieser Arbeit vorgenommen wurden. Das Objekt wird nachfolgend mit der substantiellen Interpretation beschrieben.

***Favosphaera magna* n. sp.**

Tafel 5, Fig. 1 und Tafel 8, Fig. 2a und 2b

**Material:** Tafel 5: 1 (BSE-Modus), Tafel 8: 2a, 2b (Durchlicht); Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt S im Schliff C/lfd. Nr. 943 von Probe 62.

**Vorkommen:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau in Südbrandenburg; Km 212,8–214,5 m, Probe 62; Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße:** (Messung im Durchlicht) Kugeldurchmesser  $d = 25 \mu\text{m}$ ; Wabenzellen ca. 1 µm; nur wenige Opakkörnchen 1 bis 2 µm; SiO<sub>2</sub>-Apophysen: 6 × 14 µm, 7 × 13 µm; gegenüberliegende Seite: 9 × 10 µm.

**Beschreibung:** Kompakte, aus SiO<sub>2</sub> bestehende Wabenkugel von 25 µm Durchmesser mit deutlichen, aber kleinen Wabenzellen von 1 µm. Daraus ergibt sich eine hohe Relation von der Anzahl der Wabenzellen bezogen auf den Durchmesser. Der Anteil an Sulfidkörnchen ist gering, die vorhandenen Körnchen sind irregulär verteilt, bevorzugt im peripheren Bereich. Im BSE-Bild (Tafel 5: 1) sind von der SiO<sub>2</sub>-Kugel ausgehende SiO<sub>2</sub>-Apophysen ausgewiesen, deren Einregelung mit der querschnittenen Schichtungsebene übereinstimmt und die sich hier auch im Durchlicht abzeichnen.

***Favosphaera intermedia* n. sp.**

Tafel 8, Fig. 1

**Derivatio nominis:** Benannt nach der mittleren Wabenzellgröße, intermedius latein. mittlerer.

**Holotypus:** Tafel 8: 1 (Durchlicht); Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt T2 im Schliff C/lfd. Nr. 943 von Probe 62. Nur lichtoptische Aufnahme, keine EDS-Untersuchung, aber analoge optische Daten wie die durch EDS bestimmten SiO<sub>2</sub>-Sphären.

**Locus typicus:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau in Südbrandenburg; Km 212,8–214,5 m, Probe 62.

**Stratum typicum:** Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße:** Kugeldurchmesser  $d_1 = 35 \mu\text{m}$ ; verkürzte, beschädigte Seite  $d_2 = 30 \mu\text{m}$ ; Wabenzellen ca. 2 µm, bis max. 2,5 µm; Opakkorn auf der Unterseite 3 × 4,5 µm.

**Diagnose:** Großwüchsige, kompakte Wabenkugel von 35 µm Durchmesser mit deutlich unterscheidbaren Wabenzellen von mittlerer Größe mit 2 µm bis etwas >2 µm.

In die Kugel sind, in sporadischer Verteilung, sehr feine opake Körnchen meist als Zwickelfüllung eingelagert (Zwickeltypus). Ein größeres opakes Korn von fast 5 µm Länge belegt untergeordnete Opakkornüberlieferung.

**Beschreibung:** Das Foto von Tafel 8: 1 entspricht der Medianebene, gibt aber nicht die Verteilung des opaken Inhaltes wieder. Etwas oberhalb, d. h. im Niveau der Schliffoberfläche, ist die sporadische, sehr feine Zwickelfüllung mit opaken Körnchen deutlich erkennbar, das größere Opakkorn liegt auf der Unterseite im rechten oberen Bereich der Kugel.

**Bemerkung:** Obwohl nicht mit EDS untersucht, ist auf Grund der Graufärbung und des optischen Verhaltens in Analogie zu den anderen Wabenkugeln als mineralische Hauptsubstanz der Sphäre SiO<sub>2</sub> und für die opaken Körnchen eine sulfidische Zusammensetzung anzunehmen.

**Vergleich:** (1) Im gleichen Probenmaterial sind Formen zuzuordnen, die durch analoge grobe Wabenstruktur (bedingt durch die Wabenzellgröße) auffallen und nur sporadisch Sulfid ohne besondere Verteilungsanordnung aufweisen. Die Abgrenzbarkeit von *F. intermedia* n. sp. zuzuordnenden Exemplaren gegenüber *F. circumpolaris* n. sp. mit relativ geringem Sulfidanteil ist gegeben, die Unterscheidbarkeit auffällig durch die unterschiedliche Wabenzellgröße.

(2) Gegenüber *F. magna* n. sp. (mit 1 µm Wabengröße) ist der größere Wabendurchmesser (2 bis 2,5 µm) von *F. intermedia* n. sp. bestimmend, bei geringen Größenabweichungen im Gesamtdurchmesser ergibt sich deshalb für *F. intermedia* eine geringere Relation von Wabenanzahl zum Gesamtdurchmesser als bei der kleinstwabigen *F. magna*. *F. bipolaris* n. sp. (3 µm; 35 µm) weist noch eine ähnliche Größenordnung auf, die Tendenz einer weiteren Zunahme der Wabenzellgröße ist aber offensichtlich. Bezogen auf die Sulfidkornverteilung weist *F. bipolaris* n. sp. bipolar angeordnete Sulfidkörner auf.

Die ordovizische *F. grandifavosa* Burmann 1972 erreicht maximal (Holotyp 6 µm, 77 µm) mehr als das Doppelte der Wabenzellgröße und des Gesamtdurchmessers. Da innerhalb *F. grandifavosa* auch kleinere Objekte auftreten, ist für die Artzuweisung die innerhalb einer Probe auf-

tretende Größendifferenzierung zu berücksichtigen. Bei neoproterozoischen Favosphaeren wurden derartige Maße bei Wabenkugeln erster Ordnung nicht beobachtet.

(3) Die weitgehende Reduzierung von auffälligen Sulfidkorneinlagerungen bei *F. intermedia* schließt nicht die Präsenz von feinen Zwickelfüllungen aus. Es ist zu vermuten, daß mit dem scheinbaren Erwerb der Wabenstruktur (der in Wirklichkeit nur das Sichtbarwerden dieses ursprünglich wegen seiner Feinheit lichtoptisch nicht unterscheidbaren Strukturmerkmals durch absolute Größenzunahme der einzelnen Kolonialzellen bedeutete) Einlagerungsprobleme für die Sulfidbildungen auftraten. Bei den wabenstrukturierten Formen fehlen mit den konzentrisch-schaligen Formen von *Concentrisphaera* vergleichbare Sulfidkorneinlagerungen auf Kugelschalen. Die neoproterozoischen wabenstrukturierten Formen bieten aber andere Unterscheidungsmöglichkeiten in der Anordnung der Sulfideinlagerungen, wie z. B. *F. bipolaris* n. sp., *F. coronata* n. sp., *F. aequatorialis* n. sp. *F. intermedia* gehört offenbar zu denjenigen, die das Problem weitgehend gelöst haben, die relativ „sauber“ geworden sind. Es wird vermutet, daß außer dem Zwickelbau auch die Fähigkeit erworben wurde, die durch den Stoffwechsel entstandenen Sulfidsubstanzen weitgehend rechtzeitig auszulagern. Die feinen opaken Zwickelfüllungen zwischen den Wabenzellen sind ein Hinweis auf extrazelluläre Sulfidablagerung. Zu lösen war deshalb die Sulfidkornverteilung in Bezug auf die Gesamtkolonie, sofern dies ein Problem gewesen wäre. Da die Sulfidkörner als mechanisch stabilisierender Faktor für die bentisch lebenden Favosphaeren offenbar nutzbar waren, dürfte das Problem eher ein geometrisches gewesen sein (Zusammenwirken von dichtester Kugelpackung und irregulärer Sulfidkornvergrößerung).

#### ***Favosphaera bipolaris* n. sp.**

Tafel 8, Fig. 4, Tafel 5, Fig. 4, Tafel 6, Fig. 4

**Derivatio nominis:** Benannt nach der bipolaren Anordnung größerer Sulfidbildungen; *bipolaris* latein. zweipolig.

**Holotypus:** Tafel 8: 4 (Durchlicht) und Tafel 5: 4 (BSE-Modus), BSE-Überlagerungsmap auf Tafel 6: 4. Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt i im Schliff C/lfd. Nr 943 von Probe 62.

**Locus typicus:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau in Südbrandenburg; Km 212,8–214,5 m, Probe 62.

Stratum typicum: Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

Maße: (Messung im Durchlicht) Kugeldurchmesser (auch im BSE-Modus erkennbar durch die beiden hellen Titan-haltigen Flecken) d1 (gestauchte Achse) = 33 µm, d2 (verlängerte Achse) = 41 µm; Wabenzellen ca. 3 µm (ca. 2,8 µm im Bereich der Umgrenzung durch kleine Pyritpunkte); oberer Titan-haltiger Fleck 6 × 16 µm, kleinerer Fleck 3 × 11 µm. In beide Ti-Flecke eingeschlossene Sulfidbildungen von 2 × 3 µm. Linksseitig (BSE-Modus) an der Kugel SiO<sub>2</sub>-Anlagerung 14 × 17 µm, rechts ebenfalls ca. 30 µm breite SiO<sub>2</sub>-Anlagerung, über den Bildrand hinausreichend.

Diagnose: Kompakte, großwüchsige Wabenkugel, die in mineralischer Substanz mit SiO<sub>2</sub> als Hauptsubstanz überliefert ist mit relativ großen Wabenzellen. Sulfide liegen vor partiell als sehr feine Zwickelfüllungen (Bildmitte: Körnchenanordnung um zwei Wabenzellen erkennbar) sowie als einzelne größere Körnchen von 2 × 3 µm Größe, hier mit bipolarer Verteilung. Der Wabendurchmesser ist (2,5 bis) ca. 3 µm, der Gesamtdurchmesser liegt bei ca. 35–40 µm. Dadurch ergibt sich eine mittlere Relation der Wabenanzahl zum Gesamtdurchmesser. Die im BSE-Bild erkennbare, auch lichtoptisch deutliche SiO<sub>2</sub>-Anlagerung ist als Rest einer verkieselten Gallerte zu interpretieren.

Bemerkung: (1) Die bipolar vorhandenen Sulfidkörnchen sind hier in Titan-haltige Flecken eingebettet. (2) Für die Zuordnung bestimmende Kriterien sind neben der Grobwabigkeit die Verteilungsrelation der Sulfidkörner, nicht die spezielle Ausrichtung der Einzelkörner.

Erhaltung: Die Form wurde während der Einbettung im Sediment leicht gestaucht, wodurch auch im BSE-Bild die sonst nur lichtmikroskopisch erkennbare Wabenstruktur durch Suturlinien nachgezeichnet wird.

Vergleich: In Bezug auf die Größenordnung von Gesamtgröße und Wabenzellgröße ist *F. bipolaris* n. sp. annähernd vergleichbar mit *F. intermedia* n. sp. Obwohl *F. bipolaris* n. sp. im Neoproterozoikum mit zu den größten Kolonien 1. Ordnung gehört, reicht sie nicht an die etwa doppelte Maximalwerte aufweisenden typischen Vertreter von *F. grandifavosa* Burmann 1972 (Holotyp 77 µm) aus dem Unterordoviz (Arenig) heran. Als Kolonie erster Ordnung bleibt sie auch mit ca. 40 µm Durchmesser weit unter den

Maximalwerten von *F. conglobata* Burmann 1972 (Holotyp ca. 100 µm, inzwischen aber Formen bis 200 µm bekannt). Die als diagnostisches Kriterium für *F. bipolaris* n. sp. angeführte bipolare Anordnung der größeren Sulfidkörnchen ist bisher ohne direkte Vergleichsmöglichkeit. Sie stellt einen der Morphotypen der Sulfidverteilung dar und läßt sich nur zu anderen Verteilungsweisen der Sulfidkörner bei *F. aequatorialis* n. sp., *F. coronata* n. sp., *F. circumpolaris* n. sp. in Bezug setzen.

### ***Favosphaera circumpolaris* n. sp.**

Tafel 8, Fig. 3 und Tafel 1, Fig. 3

Derivatio nominis: Benannt nach der Anordnungsweise der größeren Sulfidkörnchen; circumpolaris latein. circumpolar.

Holotypus: Tafel 8: 3 (Durchlicht), Tafel 1: 3 (BSE-Modus); Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt j im Schliff C/lfd.Nr 943 von Probe 62. EDS-Analyse zur Substanzbestimmung wurde durchgeführt.

Locus typicus: Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau in Südbrandenburg; Kernmarsch 212,8–214,5 m, Probe 62.

Stratum typicum: Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

Maße: (Messung im Durchlicht) Durchmesser d = 30 (gekappt) × 35 µm, Wabengröße ca. 1,5 µm, größtes Sulfidkorn 3,5 × 5,5 µm, größere Sulfidkörnchen ca. 1 µm; SiO<sub>2</sub>-Matrix-Anlagerungen 6 × 18 µm (deutlich abgesetzt in der linken Bildhälfte im Durchlicht und BSE-Modus) und 10 × 20 µm.

Diagnose: Aus SiO<sub>2</sub> bestehende, kompakte Wabenkugel mit deutlicher Wabenstruktur von ca. 1,5 µm Wabenzellgröße. Kennzeichnend ist eine geringe Anzahl größerer Körnchen: Die wenigen größeren Sulfidkörner von 1–3 µm sind hier circumpolar um ein großes opakes Korn von ca. 5 µm angeordnet. Kleinere Sulfidkörnchen sind unregelmäßig in sehr lockerer Besetzungsdichte in der Kugel verteilt. An die Wabenkugel ist SiO<sub>2</sub>-Matrix angelagert.

Vergleich: (1) Im gleichen Probenmaterial sind Formen zuzuordnen, deren Aussehen durch analoge Wabenzellgröße und analog geringe Kornanzahl bestimmt wird bei zufälliger Streuung der wenigen größeren Körnchen innerhalb der gesamten Kugel.

(2) In Bezug auf die Gesamtgröße von 35 µm und Wabenzellgröße von 1,5 µm besteht ein naher Bezug zu *F. aequatorialis* n. sp. und *F. coro-*

*nata* n. sp., der Unterschied besteht vor allem in deren auffälligeren Sulfidanteil insgesamt und der Verteilungsanordnung der Sulfidkörnchen, aber auch etwas in der Wabenzellgröße.

***Favosphaera aequatorialis* n. sp.**

Tafel 8, Fig. 5a und 5b; Tafel 5, Fig. 5; Tafel 6, Fig. 5a–d

**Derivatio nominis:** Benannt nach der zonenförmigen Anordnung von Sulfidkörnern in Form eines Äquatorialgürtels; *aequatorialis* latein. *aequatorial*.

**Holotypus:** Tafel 8: 5a und 5b (Durchlicht), Tafel 5: 5 (BSE-Modus), Tafel 6: 5a–d (4 Elementmaps, Orientierung zum kleineren Ausschnitt auf Tafel 5: 5 an den beiden Kerblinien oben und unten im Bild); Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt Z8 im Schliff C/lfd. Nr 943 von Probe 62.

**Locus typicus:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau in Südbrandenburg; Kernmarsch 212,8–214,5 m, Probe 62.

**Stratum typicum:** Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße:** (Messung im Durchlicht)  $d = 33 \mu\text{m}$ ; Sulfidkörner ca.  $0,8\text{--}1,2 \mu\text{m}$ , vereinzelt größere Körner von 2 bis  $3 \mu\text{m}$ ; Gürtelbreite ca.  $8 \mu\text{m}$ ; Wabengröße ca. 1,5 bis max.  $2 \mu\text{m}$ ;  $\text{SiO}_2$ -Anlage-rung  $5 \times 12 \mu\text{m}$ .

**Diagnose:** Kompakte Wabenkugel aus  $\text{SiO}_2$  als Hauptschubstanz, mit peripheren  $\text{SiO}_2$ -Anlagen aus verkieselter Gallerte. Zahlreiche Sulfidkörnchen weisen eine etwa annähernd gleiche Korngröße (bis ca.  $1 \mu\text{m}$ , max. bis  $2 \mu\text{m}$ ) auf und sind auf den peripheren Bereich unterhalb der Außenschale verteilt. An diesem Objekt sind die Sulfidkörnchen zu einem durchgehenden, unregelmäßigen äquatoriale Gürtel angeordnet.

**Bemerkung:** Die BSE-Darstellung auf Tafel 5: 5 entspricht dem Kugelanschnitt in einer Ebene. Die Lichtmikroskopie (Tafel 8: 5a und 5b) ermöglicht die Beobachtung der dreidimensionalen Anordnung der Sulfidkörner in Form eines unregelmäßigen Äquatorialgürtels.

**Vergleich:** In der Wabengröße und im Gesamtdurchmesser vergleichbar mit *F. intermedia*.

Der Unterschied besteht für *F. aequatorialis* n. sp. in der randnahen Lage von Sulfidkörnchen und deren spezifischer Anordnung als Äquatorialgürtel, während bei *F. intermedia* n. sp. keine auffällige Körnerverteilung vorliegt.

Die band- bis breitzonenartige Verteilung der Sulfidkörner von durchschnittlich ca.  $1 \mu\text{m}$  bei *F.*

*aequatorialis* n. sp. ist nur eine Variante der Deponierung von kleineren Sulfidkörnern in unmittelbarer Außenrandnähe von Wabenkugeln. Durch das BSE-Bild wird hier für *F. aequatorialis* n. sp. die zonenartige Anordnung gestützt. Es besteht aber ein enger Zusammenhang zu ebenfalls wabenstrukturierten Formen im gleichen Probenmaterial, deren gesamte Außenhülle, d. h. ohne Zonenausbildung oder partielle Besetzung, von solchen Körnern in analoger Besetzungsdichte und Korngröße wie bei *F. aequatorialis* n. sp. unterlagert ist. Alle Übergänge sind zu beobachten, charakteristisch ist aber immer die Beteiligung etwa gleichgroßer, doch relativ kleiner Körner ( $1\text{--}2 \mu\text{m}$ ), ihre Lage in der Nähe des Außenrandes und das Fehlen auffällig großer Körner.

***Favosphaera coronata* n. sp.**

Tafel 8, Fig. 6; Tafel 5, Fig. 6; Tafel 6, Fig. 6

**Derivatio nominis:** Benannt nach der kranzartigen Anordnung größerer Sulfidkörner; *coronatus* latein. *kranzförmig*.

**Holotypus:** Tafel 8: 6 (Durchlicht), Tafel 5: 6 (BSE-Modus), Tafel 6: 6 (EDS-Überlagerungsmap, geringere Vergrößerung im Vergleich zu Tafel 5: 6, um die Elemente im Umfeld darzustellen). Sammlung MfN Berlin/Institut für Paläontologie, Inv.-Nr. 1998/31; Objekt V im Schliff C/lfd. Nr. 943 von Probe 62.

**Locus typicus:** Altbohrung 1695/81 ca. 12 km südlich Calau in Südbrandenburg; Kernmarsch 212,8–214,5 m, Probe 62.

**Stratum typicum:** Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

**Maße:** (Messung im Durchlicht) Durchmesser  $d = 38 \mu\text{m}$ , Wabenzellen ca. 1,5 bis  $2 \mu\text{m}$ ; Längsbreite des Pyritkranzes  $22 \mu\text{m}$ , Querbreite  $14 \mu\text{m}$ ; größere Sulfidkörner  $2 \times 3 \mu\text{m}$  und  $3 \times 4 \mu\text{m}$ .

**Diagnose:** Aus  $\text{SiO}_2$  bestehende, kompakte Wabenkugel mit deutlicher Wabenstruktur, in die ein Kranz von größeren Sulfidkörnern eingelagert ist. An die Wabenkugel ist  $\text{SiO}_2$ -Matrix angelagert.

**Vergleich:** *F. coronata* entspricht in den Maßen von Wabenzelldurchmesser und Gesamtdurchmesser der Größenordnung von *F. intermedia* n. sp. und *F. aequatorialis* n. sp. Die Besonderheit besteht aber in der Ausbildung eines orientiert angelegten Sulfidkranzes, jedoch kleiner als äquatoriale Maße. Auffällig ist auch die Größe der orientiert angeordneten Sulfidkörner mit bis zu  $4 \mu\text{m}$ . Gemeinsam zu *F. aequatorialis* n. sp. ist die besondere Anordnung von Sulfid-

körnern, unterschiedlich die Ausgestaltung dieser Anordnung.

Bemerkung: Sowohl *F. aequatorialis* n. sp. als auch *F. coronata* n. sp. stellen wohl einen besonderen Versuch dar, das Problem der Pyriteinlagerung in Zusammenhang mit dem Größerwerden der Wabenzellen zu lösen.

### ***Favosphaera conglobata* Burmann 1972**

Tafel 5, Fig. 2 und Tafel 7, Fig. 6

Material: Dünnschliff Ke782C/Grauwacke, Objekt KeB; Film 98/4/9; leg. Dr. H. Kemnitz; Tafel 7: 6 als lichtoptisches Vergleichsbild zum BSE-Bild von Tafel 5: 2 (Objekt KeB) und dem zugehörigen EDS-Überlagerungsmap Tafel 6: 2.

Herkunft: NW-Profil Steinbruch Oßling/zentrale Oberlausitz.

Stratigraphie: Kamenzer Schichten der Lausitzer Grauwackeneinheit.

Maße: Messung im Durchlicht: Kugelstrukturiert erhaltener SiO<sub>2</sub>-Bereich 105 × 120 µm, ursprüngliche Größe des gesamten Kugelaggregates 155 × 175 µm (inclusive der strukturlosen limonitisierten und allanitisierten Randabschnitte); Einzelkugeln in der Kolonie 12–19 µm, max. Durchmesser 22 und 23 µm; Kugelschalen um Einzelkugeln Höhe = 1–2 µm.

Beschreibung: Lichtoptisch erkennbar sind im SiO<sub>2</sub>-Restbereich einer ursprünglichen Großkolonie dicht gepackte Einzelkugeln unterschiedlicher Größe erhalten, die im BSE-Modus nicht zu unterscheiden sind. Der Randbereich des Kugelaggregates ist limonitisiert und allanitisiert. Bei den Einzelkugeln im SiO<sub>2</sub>-Bereich heben sich Ränder ab sowie eine punktate Struktur. Diese punktate Struktur entspricht aber nicht mehr der primär sicher vorhanden gewesenen Wabenstruktur (*Favosphaera conglobata* als Kolonie zweiter Ordnung), sondern wird vermutlich durch sekundäre Poren in den feinflöcherig-korrodierten Kugeloberflächen hervorgerufen, die bei hochauflösenden BSE-Untersuchungen erkennbar sind, vereinzelt sind solche Poren noch mit Sulfidkörnchen besetzt. Gegenüber dem BSE-Bild von Tafel 5: 2 läßt aber die lichtoptische Darstellung von Tafel 7: 6 einen höheren Anteil an opaken Sulfideinschlüssen im überlieferten Restbereich der SiO<sub>2</sub>-Kugeln erkennen. Der auf Tafel 7: 6 abgebildete mehrkugelige, lichtoptische Ausschnitt entspricht dem unstrukturierten grau-farbenen Zentrum der BSE-Abbildung auf Tafel 5: 2. Zur Vergleichsorientierung dienen (a) die Allanitflecken (links oben und rechts unten auf Tafel 7: 6) und (b) die unregel-

mäßigen drei kleinen Pyritkörnchen mit dem kleinen, länglichen Titanitfleck in ihrer Mitte auf Tafel 7: 6, die auf dem BSE-Bild von Tafel 5: 2 jeweils gut wiederzuerkennen sind.

Der dunkelgraue Oberrand auf Tafel 7: 6 entspricht lichtoptisch dem limonitisierten Bereich der primären Großkolonie, der helle Abschnitt mit zwei opaken Einschlüssen links oben entspricht dem Allanit mit Pyriteinschlüssen auf Tafel 5: 2. Die Substanzdeutung ergibt sich aus dem Elementmap auf Tafel 6: 2.

### ***Favosphaera grandifavosa* Burmann 1972**

Tafel 5, Fig. 3 und Tafel 6, Fig. 3

Material: Dünnschliff S54-A, Objekt S54a, leg. Dr. B. Minigram. Tafel 5: 3 (BSE-Modus), Tafel 6: 3 (zugehöriges EDS-Überlagerungsmap). (Messung im Durchlicht, siehe Maße).

Herkunft: Steinbruch Affalter.

Stratigraphie: Griffelschiefer (Unteres Ordoviz) der Löbnitz-Zwönitzer Mulde.

Maße: Verifizierte Messung im Durchlicht: linke Wabenkugel 28 × 31 µm, Wabengröße 2–3 µm; rechte Wabenkugel 30 × 33 µm, Wabengröße 3–4 µm; helle Chloritkugel 38 × 40 µm.

Beschreibung: In Auswertung des Überlagerungsmaps für einzelne Elemente auf Tafel 6: 3 bestehen die zwei oberen Wabenkugeln aus SiO<sub>2</sub>, wobei die linke Kugel bereits partiell einen hohen Al-Anteil aufweist. Die untere helle Kugel ist vollkommen chloritisiert.

Die Wabenstruktur ist erkennbar, weil die SiO<sub>2</sub>-Waben zum Teil an den Wabensuturen herausgebrochen oder weggelöst wurden. Diese Auflockerung ist durch intensive Schieferungsprozesse bedingt. Unter den pt-Bedingungen der Schiefergebirgstektonik erfolgte teilweise eine Chloritisierung der Wabenkugeln, teilweise ist ein erhöhter Al-Gehalt in den aufgelockerten Wabenkugeln nachweisbar.

### **Zusammenfassung**

1. Durch substantielle Untersuchungen an den Favosphaeren wurden Kriterien gefunden, die für diese Mikrofossilgruppe eine über bisherige morphologische Kriterien hinausgehende Abgrenzung gegenüber anderen Taxa ermöglicht. Daraus folgt die Notwendigkeit, daß auch weitere wabenstrukturierte Mikrofossilien wie *Bavlinella faveolata* und *Sphaerocongregus variabilis* zur Erfassung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden unter anderem auch substantiell untersucht werden.
2. Auf der Grundlage der EDS-Daten werden die Favosphaeren als coccoide, koloniebildende Mikrofossilien betrachtet, deren Sphären aus SiO<sub>2</sub> aufgebaut sind.
3. In die Kieselsäure als Hauptsubstanz der Sphären sind Sulfidkörnchen eingebaut, die auf Grund ihrer Körn-

chenform (keine erkennbaren Kristallkanten) und ihrer unterschiedlichen Verteilungsmodi innerhalb der Sphären als organogen gebildet angesehen werden.

4. Die in die Favososphaeren eingelagerten Sulfidkörner werden als Stoffwechsel-Endprodukte eines schwefelabhängigen Metabolismus betrachtet.
5. Im BSE-Modus sind an den Favososphaeren ebenfalls aus SiO<sub>2</sub> zusammengesetzte Apophysen oder unförmige SiO<sub>2</sub>-Anlagerungen (SiO<sub>2</sub>-Matrix) erkennbar, die als Reste einer verkieselten Gallerte gedeutet werden. Die unregelmäßig-linsige Form ist parallel zur Schichtungsebene orientiert.
6. Auf Grund der mineralischen Zusammensetzung, der Einlagerung von Sulfiden als schwergewichtigen Komponenten und der wahrscheinlichen Einhüllung in eine Gallerte werden sie als Mikrobenthos interpretiert. Lockere Ansammlungen solcher Sphären mit Einhüllung in eine Gallerte werden als Mikromatten angesehen.
7. Für die konzentrisch-schaligen Formen gibt es Hinweise, die auf ein Wachstum von innen nach außen deuten, d. h., während ein Zentralbereich durch den Einbau von SiO<sub>2</sub> bereits verfestigt ist, befindet sich die aktive Kugelschale mit den lebenden Zellen jeweils im peripheren Bereich.
8. Auf Grund des Einbaus von SiO<sub>2</sub> werden die Favososphaeren sensu lato als (fossile) Gruppe der Silicobacteria zusammengefaßt, die Einlagerung der Sulfidkörnchen kennzeichnet sie als Gruppe mit einem schwefelabhängigen Metabolismus.
9. Eine bedingte Vergleichsmöglichkeit besteht zu dem rezenten, hyperthermophilen Archaeobacterium *Staphylothermus marinus* in der Bildung traubiger Aggregate mit teilweise kompakter Wabenstruktur, in ähnlicher Größenordnung der Wabenzellen und im schwefelabhängigen Stoffwechsel, der allerdings organotroph ist. Außerdem ist diese rezente Vergleichsform ebenfalls marin und als Mikrobenthos anzusehen.
10. Auf der Basis des bedingt möglichen Rezentvergleiches werden die Favososphaeren sensu lato (= Silicobacteria) als fossile Archaeobacteria innerhalb der Hyperthermophilen angesehen.
11. Morphologisch werden sie nach einer künstlichen Klassifikation in zwei Familien unterschieden: in die konzentrisch-schalig aufgebauten Formen der Familie Concentrisphaeridae und die Formen mit kompakter Wabenstruktur der Familie Favososphaeridae.
12. Da in ihrem Hauptvorkommen in der Lausitz – den Kamenzer Schichten – keine andere Mikrofossilgruppe beobachtet wurde, insbesondere als photosynthesierende Organismen anzusehende Mikrofossilien fehlen, wird dies als biofazielle Besonderheit angesehen. Sie kann mit einer größeren Tiefenlage des Meeresbodens in Zusammenhang stehen, die Existenz in der aphotischen Zone ist aber nicht zu beweisen. Die begleitenden Grauwacken werden als Turbidite angesehen (Kemnitz & Budzinski 1994).
13. Die Vertreter der Familie Concentrisphaeridae sind bisher nur aus dem Präkambrium bekannt. Unter den präkambrischen Vertretern der Familie Favososphaeridae ist *Favososphaera conglobata* die morphologisch am weitesten differenzierte Form und bisher ebenfalls nur aus dem höheren Präkambrium bekannt. Außer aus den Kamenzer Schichten wurden analoge Funde dieser prägnanten Objekte von Konzalova (1974) aus der Svinarov-Grauwacke auf dem NW-Flügel des Barrandiums abgebildet.
14. Die Favososphaeren s. l. (= Silicobacteria) bilden eine chemolithotrophe Mikrofossilgruppe, die im höheren Präkambrium stratigraphisch relevant und insbesondere für die Datierung von bestimmten Grauwackenserien heranzuziehen ist.
15. Für die Erweiterung stratigraphischer Anwendungen wabenstrukturierter Mikrofossilien ist eine ähnliche substan-

tielle und morphologische Klärung insbesondere für *Sphaerocongregus variabilis* und *Bavlinella faveolata* angebracht.

## Danksagung

Für die freundliche technische Unterstützung bei den Arbeiten am REM danke ich Frau Dr. H. Kemnitz und Frau U. Glenz vom GeoForschungsZentrum Potsdam und für seine umfangreichen Bemühungen Herrn P. Czaja vom Naturkundemuseum der Humboldt-Universität zu Berlin. Die Untersuchungen wurden im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes ermöglicht, dessen Leitung Herr Prof. Dr. H.-P. Schultze, Direktor des Institutes für Paläontologie der HUB, übernommen hat, wofür ich ihm sehr danke. Die Probenahme wurde freundlicherweise durch Herrn Dr. Wasternack vom Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg in Kleinmachnow ermöglicht.

## Literatur

- Brause, H. 1969. Das verdeckte Altpaläozoikum der Lausitz und seine regionale Stellung. – Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Klasse F: Bergbau, Hüttenwesen und Montangeologie Jg. **1968** (1): 1–143.
- 1990. Grauwackenserien und ihre Faltung. – Exkursionsführer „Oberproterozoikum und Känozoikum der Lausitz“, Tagung Hoyerswerda 14.–17. 11. 1990 der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften Berlin: 4–7.
- Brause, H., Elicki, O. & Kemnitz, H. 1998. Lausitzer Masse. In Ziegler, W. et al. (eds.). Stratigraphie von Deutschland. II. Ordovizium, Kambrium, Vendium, Riphäikum. Teil I: Thüringen, Sachsen, Ostbayern. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg Frankfurt/Main **200**: 299–334.
- Brause, H., Hortenbach, R., Leonhardt, H. & Raithel, E. 1984. Präkambrium und Känozoikum bei Kamenz. – Exkursionsführer **31**. Jahrestagung Gesellschaft für Geologische Wissenschaften (GGW) 8.–12. 9. 1984 in Freiburg: 83–89.
- Brause, H., Schubert, G. & Hortenbach, R. 1981. Beitrag zur präkambrischen und zur pleistozänen Tektonik im Gebiet von Kamenz. – Veröffentlichungen des Museums der Westlausitz Kamenz **5**: 9–27.
- Burmann, G. 1966. Mikroreste aus der Lausitzer Grauwackenformation. – Monatsberichte der deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin **8** (3): 218–224.
- 1969. Organische Mikrofossilien in präkambrischen Sedimenten Sachsens und Thüringens. – Monatsberichte der deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin **11** (4): 297–307.
- 1972a. Problematika aus der Lausitzer Grauwackenformation. – Zentrales Geologisches Institut Berlin, Jahrbuch für Geologie **4**: 387–423.
- 1972b. Alterskriterien für das Präkambrium am Nordrand der Böhmisches Masse. Teil II: Biostratigraphische Ausagemöglichkeiten. – Geologie **21** (4/5): 418–433.
- 1997a. Präkambrisches Algenbenthos aus Kieselpeliten. Teil 1: *Palisadia wagneri* n. gen. n. sp. – erste Makroalge aus dem Präkambrium Deutschlands. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften **25** (1/2): 41–89.
- 1997b. Präkambrisches Algenbenthos aus Kieselpeliten. Teil 2: *Kobylyisa konzalovi* n. gen. n. sp. – ein Retikulum mit Vakuolen aus der Blovice-Formation des Barrandiums/Tschechische Republik. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften **25** (1/2): 91–107.

- Burmam, G., Hübner, F., Lobst, R., Rathner, U. & Wiedemann, F. 1997. Zur Fossilführung und Lithologie der Kreuzberg-Dubring-Schichten aus der Lausitzer Grauwacken-Einheit. – Exkursionsführer und Veröffentlichungen der Gesellschaft für Geowissenschaften e. V., Berlin, Tagungsband zur 6. Jahrestagung in Freiberg 2.–7. 10. 1997, **200** (1997): 195–197.
- 1998. Zur Fossilführung und Lithologie der Kreuzberg-Dubring-Schichten aus der Lausitzer Grauwacken-Einheit. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften (im Druck).
- Buschmann, B. 1998. Pre-Symposium Excursion, day 1: Rothstein Rock. – Schriften des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden, **9**: 33–35.
- Buschmann, B., Linnemann, U., Schneider, J. & Süss, T. 1995a. Die cadomische Entwicklung im Untergrund der Torgau-Doberluger Synklinale. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften **23** (5/6): 729–749.
- Buschmann, B., Schneider, J. & Süss, Th. 1995b. Cadomische Leitformationen – Eine Fallstudie. – Terra Nostra, Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung Bonn **95** (8): 90.
- Chauvel, J. J. & Mansuy, C. 1981. Micropaléontologie du Protérozoïque du Massif Armoricaïn (France). – Precambrian Research **15** (1): 25–42.
- Duchesne, J.-C. 1963. Un gisement de *Pyritosphaera barbaria* dans le Cambrien de la vallée du Bayehon. – Annales de la Société Géologique de Belgique, **86** (2): 126–130.
- Fiala, G., Stetter, K. O., Jannasch, H. W., Langworthy, T. A. & Madon, J. 1986. *Staphylothermus marinus* sp. nov. Represents a novel genus of extremely thermophilic submarine heterotrophic Archaeobacteria growing up to 98°C. – Systematic and Applied Microbiology **8**: 106–113.
- Hirschmann, G. 1966. Assyntische und variszische Baueinheiten im Grundgebirge der Oberlausitz (unter spezieller Berücksichtigung der Geologie des östlichen Görlitzer Schiefergebirges). – Freiburger Forschungshefte **C 212**: 1–146.
- 1970. Zur Tektonik und Metamorphose der Lausitzer Grauwackeneinheit und ihrer geotektonischen Stellung. – Berichte der Deutschen Gesellschaft für geologische Wissenschaften, A, Geologie und Paläontologie **15** (3): 369–378.
- Kemnitz, H. (mit R. Bergner, J. Eidam, M. Krauss). 1990. Kenntnisstand Lausitzer Antiklinorium. – Exkursionsführer „Oberproterozoikum und Känozoikum der Lausitz“, Tagung Hoyerswerda 14.–17. 11. 1990 der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften Berlin: 10–13.
- Kemnitz, H. 1998. Pre-Symposium Excursion, day 1, stop 2 (part 1 – sedimentology): Quarry Butterberg near Bernbruch. – Schriften des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden, **9**: 23–24.
- Kemnitz, H. & Budzinski, G. 1991. Beitrag zur Lithostratigraphie und Genese der Lausitzer Grauwacken. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften **19** (4): 449–457.
- 1994. Die Grauwacken der Lausitz und ihre cadomische Prägung. – Abhandlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie zu Dresden **40**: 37–97.
- Knoll, A. H., Swett, K. & Mark, J. 1991. Paleobiology of a Neoproterozoic tidal flat/lagoonal complex: The Draken Conglomerate Formation, Spitsbergen. – Journal of Paleontology **65**: 531–570.
- Konzalova, M. 1974. Some new microorganisms from the Bohemian Precambrian (Upper Proterozoic) and Middle Cambrian. – Review of Palaeobotany and Palynology **18**: 41–56.
- Linnemann, U. & Buschmann, B. 1995. Terrane der Saxothuringischen Zone. – Terra Nostra, Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung Bonn **95** (8): 115.
- Lorenz, W. & Burmam, G. 1972. Alterskriterien für das Präkambrium am Nordrand der Böhmisches Masse. I und II. – Geologie **21**(4/5): 405–433.
- Love, L. G. 1957. Micro-organisms and the presence of syngenetic pyrit. – Quarterly Journal of the Geological Society London **113**: 429–440.
- 1963. The composition of *Pyritosphaera barbaria* Love 1957. – Palaeontology **6**: 119–120.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M. & Parker, J. 1997. Brock Biology of Microorganisms. (Eighth edition). 986 pp.; Prentice Hall International, London.
- Moczydlowska, M. 1991. Acritarch biostratigraphy of the Lower Cambrian and the Precambrian-Cambrian boundary in southeastern Poland. – Fossils and Strata **29**: 127 pp.
- Moorman, M. 1974. Microbiota of the Late Proterozoic Hector Formation, southwestern Alberta, Canada. – Journal of Paleontology **48**: 524–539.
- Schepeleva, E. D. 1962. Rastitelnyje (?) ostatki neiswestnoj sistematitscheskoj prinadleshnosti is otloshenij bawlinskoj serii Wolgo-Uralskoj neftenosnoi prowinzii. – Doklady Akademii Nauk SSSR **142** (2): 456–457.
- Schüller, A. 1949. Die Gesteine des Unterkarbon von Dobrilugk und des „Algonkium“ von Rotstein bei Liebenwerda. – Abhandlungen der Geologischen Landesanstalt Berlin, Neue Folge **213**: 1–14 und 21–41.
- Sin Yu-sheng & Liu Kiu-chih 1973. On Sinian micropalaeoflora in Yenliao region of China and its geological significance. – Acta Geologica Sinica **1973**: 1–64.
- Stetter, K. O. 1994. The lesson of Archaeobacteria. – Early life on Earth. Nobel Symposium No. **84** (ed. by S. Bengtson): 143–151; Columbia University Press, New York.
- Vidal, G. 1976. Late Precambrian microfossils from the Vingsö Beds in southern Sweden. – Fossils and Strata **9**: 1–57.
- Weber, B., Kemnitz, H. & Paech, K. 1991. Zur Kenntnis der Mikrofossilien und Problematika aus der Lausitzer Grauwacke (Kamenzer Gruppe). – Veröffentlichungen des Museums der Westlausitz Kamenz **14**: 9–34.
- Volkova, N. A. 1968. Acritarcha of Precambrian and Lower Cambrian deposits of Estonia. – Problematics of Riphean and Cambrian layers of the Russian Platform, Urals and Kazakhstan. Trudy Geologitscheskovo Instituta Akademii Nauk U.S.S.R. **188**: 8–36.