DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

5. Mai 1922.

Heft 18.

Zur Frage nach dem Vorkommen von Befruchtungsvorgängen bei Bakterien.

Von Heinz Potthoff, Münster i. W.

Nach den Angaben in unseren Hand- und Lehrbüchern fehlen bei zwei Klassen des Pflanzenreiches, den blaugrünen Algen und den Bakterien, die man wegen der Art der vegetativen Vermehrung durch Spaltung der Zellen als Schizophyten oder Spaltpflanzen zusammengefaßt hat, geschlechtliche Vorgänge.

Was die blaugrünen Algen angeht, so sind bei ihnen tatsächlich noch keine sexuellen Vorgänge beobachtet worden. Anders bei den Spaltpilzen oder Bakterien. Es finden sich in der Literatur eine Reihe von Angaben über Erscheinungen, die sich vielleicht als Sexualreaktionen deuten lassen. *Autogamie* oder besser noch *Pädogamie*, eine Art Selbstbefruchtung durch Verschmelzung eben erst aus ein und derselben Mutterzelle entstandener Zellen, glaubt *Schaudinn*¹⁾ bei seinem *Bazillus Bütschlii* und *Bazillus sporonema* beobachtet zu haben. Er stellte bei diesen beiden Arten fest, daß kurz vor der Sporenbildung in der Mitte der Zelle eine Querwand entstand, die kurz darauf resorbiert wurde. Bei *Bazillus sporonema* bildete sich außerdem eine Einschnürung in der Mitte der Zelle. In der Verschmelzung der Zellen nach der Auflösung der Querwand erblickt *Schaudinn* den sexuellen Vorgang. Man kann im Zweifel sein, ob es sich hier tatsächlich um Sexualreaktionen handelt. Manche Autoren geben diesen Erscheinungen eine andere Deutung, so *Dobell*²⁾, der ähnliches bei *Bacillus spirogyra* und *lunula*, Bakterien, die er im Darm von Kröten und Fröschen entdeckte, beobachtete. Erscheinungen, bei denen vielleicht auch die Verschmelzung von 2 Tochterzellen vorliegt, bemerkte *Henneberg*³⁾ zufällig bei *Bacterium oxydans*, ging aber nicht wie *Schaudinn* auf die Zytologie der Zelle ein. Er sah häufiger bei diesem Essigbakterium einige Zellen eines Fadens kurze Seitenzweige treiben, die dann an der Spitze anschwellen. Entstanden solche Gebilde an zwei Nachbarzellen, so schmiegen sich die Seitenzweige aneinander. *Henneberg* glaubt, daß unter Umständen die trennende Zellwand verschwinden kann. Ob er wirklich die Resorption der Wand beobachtete, geht aus seinen Ausführungen nicht hervor. Es erscheint zwei-

felhaft, ob *Hennebergs* Beobachtungen in diesem Zusammenhang überhaupt zu erwähnen sind.

Bei den vorhin genannten Erscheinungen der *Pädogamie*, die im Innern der Bacterienzelle stattfinden, können nur zytologische Untersuchungen, wie *Schaudinn* sie anstellte, zu der Vermutung, daß Sexualreaktionen vorliegen, Anlaß geben. Andere Forscher haben nun Vorgänge beobachtet, die ohne weitere Untersuchung des Zellinnern das Bild einer geschlechtlichen Erscheinung darbieten, weil sie zweifelsfreien, sexuellen Vorgängen anderer Organismen ähnlich sehen.

Eine der bedeutsamsten Entdeckungen dieser Art, die merkwürdigerweise fast vergessen worden ist, machte *Foerster*⁴⁾ bei *Chromatium Okenii*, einem großen, schon von *Ehrenberg* beobachteten roten Schwefelbakterium. Unser Autor fand im Faulwasser kurz nach dem ersten, makroskopisch an einem feinen roten Anflug auf dem Schlamm erkennbaren Auftreten von Chromatien eine Anzahl dieser interessanten Bakterien durch zylindrische Brücken starr miteinander verbunden. Es handelte sich um keine dauernde Vereinigung. Nach Verlauf von wenigen Minuten bis zu einigen Stunden erfolgte die Trennung, bei der nach *Foersters* Meinung die Brücke sich teilte. Was dann mit den Brückenhälften geschah, ob sie abgeschnürt oder resorbiert wurden, konnte *Foerster* nicht feststellen. Auch gelang es ihm nicht, das Entstehen einer Verbindung zu beobachten. *Foerster* nahm wohl mit Recht an, daß es sich hier um einen sexuellen Vorgang handelte.

Ähnliche Dinge fand *Fuhrmann*⁵⁾, dem *Foersters* Arbeit unbekannt geblieben war, bei einer *Pseudomonas*art. (Unter dem Gattungsnamen *Pseudomonas* faßt der Bacteriologe diejenigen stäbchenförmigen Spaltpilze zusammen, die durch polare Begeißelung gekennzeichnet sind.) *Fuhrmann* sah an Stäbchen von *Pseudomonas cerevisiae*, einer Bakterienart, die er aus Flaschenbier isolierte, endständige kolbige Anschwellungen auftreten und fand, daß zuweilen zwei Bakterien von dieser Form mit der Breitseite aneinanderlagen und daß ein feiner Faden die kolbigen Anschwellungen der beiden Zellen verband. Er vergleicht diese Erscheinung mit der Zygosporenbildung höherer Pilze. In späteren Veröffentlichungen⁶⁾

¹⁾ *Schaudinn*, Arch. f. Prot. Kunde 1902, Bd. 1, 306.

²⁾ *Dobell*, CC. Ref. B. C. II, 1909, Bd. 25, S. 278; Journ. of. micr. sc. n. s. 1909, Bd. 53, S. 509. Vergleiche desselben Autors Arbeit in derselben Zeitschrift 1911.

³⁾ *Henneberg*, W., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 4, S. 14, 1898.

⁴⁾ *Foerster*, F., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 11, S. 257, 1892.

⁵⁾ *Fuhrmann*, F., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 16, S. 309, 1906.

⁶⁾ *Fuhrmann*, F., Beihefte zum Bot. Zentralbl. Bd. 23, S. 1, Abt. I u. II, 1908; Vorl. über techn. Mycologie, Jena 1915.

über *Pseudomonas cerevisiae* läßt Fuhrmann diese Beobachtungen unerwähnt.

Ich selbst konnte dann bei meinen Untersuchungen von *Chromatium Okenii* Foersters Beobachtung bestätigen, ohne zunächst von seinen Forschungen Kenntnis zu haben. Ganz ähnliche Vorkommnisse fand ich bei Rhodospirillen. In einer kürzeren Mitteilung⁷⁾ habe ich darüber berichtet und komme unten darauf zurück.

Nach dem Erscheinen meiner Mitteilung erhielt ich durch die Freundlichkeit des Verfassers ein Buch von Löhnis⁸⁾ „Life Cycles of the Bacteria“, aus dem hervorgeht, daß, wie Löhnis schon im Jahre 1916 feststellen konnte, auch beim *Bacillus Azotobacter*, der wegen seines Stickstoffbindungsvermögens schon von vielen Forschern untersucht worden ist, sexuelle Erscheinungen, ähnlich wie Foerster sie beobachtete, auftreten. In einem weiteren Werk, das 1921⁹⁾ erschien, gibt Löhnis dann eine umfassende Zusammenstellung der Literatur über Beobachtungen solcher Vereinigungen von Zellen und von entwicklungs-geschichtlichen Bakterienstudien überhaupt, illustriert durch eine große Zahl von Mikrophotogrammen.

Was diese Angaben über Verbindungsstadien und sexuelle Vorgänge anbetrifft, so handelt es sich meiner Meinung nach in vielen Fällen nicht um echte Verbindungen im Sinne Foersters, vielmehr um ein zufälliges Nebeneinanderlagern oder Zusammenkleben von Bakterien. Die weitere kritische Beleuchtung der einzelnen Beobachtungen bringe ich in einer späteren ausführlicheren Arbeit und gebe im folgenden eine kurze Zusammenstellung meiner eigenen Forschungsergebnisse, die ich teilweise in der oben erwähnten früheren Veröffentlichung mitteilte und die inzwischen einige Erweiterung erfahren haben.

Zuerst beobachtete ich Verbindungsstadien bei Purpurbakterien. Um Rohkulturen dieser Bakterien zu erhalten, verwandte ich das Verfahren von Winogradsky¹⁰⁾. Ein Standzylinder von 1–1½ Liter Inhalt wurde mit zerquetschten Rhizomen von *Typha* oder *Acorus Calamus* beschickt. Darüber wurde mit Gips versetzter Teichschlamm geschichtet und so viel Teichwasser zugesetzt, daß etwa ein Drittel des Gefäßes mit Wasser gefüllt war. Je nach der Jahreszeit zeigte sich nach 8 oder 14 Tagen auf dem Schlamm ein roter Anflug, der, wie sich bei der mikroskopischen Untersuchung herausstellte, größtenteils von *Chromatium Okenii* gebildet

wurde. Bei den zuerst auftretenden Chromatien bemerkte ich mehrfach jene schon von Foerster beobachteten merkwürdigen Erscheinungen. Fast alle Chromatien trugen Knospen und viele waren durch den Knospen ähnlich sehende Gebilde starr miteinander verbunden. Die Knospen und Brücken waren 1–1½ μ breit und 1½–2 μ lang. Sie zeigten häufig in der Mitte, gleichlaufend mit der Längsrichtung des Chromatiums eine oder seltener auch 2 je nach Einstellung bald helle, bald dunkle Linien. Bei der Trennung der Verbindungsstadien blieb meist die ganze Brücke bei dem einen *Chromatium*, doch konnte ich in einem Fall auch beobachten, daß die Brücke sich teilte, und zwar blieb der größte Teil der Brücke bei dem einen *Chromatium*, während bei dem anderen nach der Trennung noch ein Zäpfchen von nur 0,5 μ Höhe zu sehen war (Fig. 1a). Die Tren-

Fig. 1. Verbindungsstadium von *Chromatium Okenii*. Vergr. 1500 : 1.

nung erfolgte erst nach Lebendfärbung mit Gentianaviolett, wahrscheinlich infolge der schädigenden Wirkung des Farbstoffs. Dasselbe Stadium hatte ich längere Zeit ungefärbt fest verbunden gesehen. Eine merkwürdige Erscheinung war dabei zu beobachten, die vielleicht Schlüsse auf die Vorgänge in der Brücke ziehen läßt. Die Brücke zeigte gleichlaufend mit der Längsrichtung der Chromatien zwei helle Linien. Auffällig war nun, daß die Färbung der Brückenteile der Färbung der Chromatien entsprach. (Ich meine hier Färbung durch Bacteriopurpurin, nicht etwa durch Anilinfarbstoff.) Das kleinere *Chromatium* war blaßrot gefärbt, während das große einen leuchtend roten Farbton zeigte. Der Farbe der Chromatien entsprechend war die Brücke jenseits der Linie, bei der später die Trennung erfolgte, nach dem größeren *Chromatium* zu rot, in Richtung auf das kleinere blaßrot gefärbt. Man könnte daraus schließen, daß beide Bakterien irgendwelche Substanz sei es Plasma oder Kerne oder aber beides an die Brücke abgeben. Zuweilen beobachtet man eigenartig gespaltene Knospen.

Die Dauer der Verbindungsstadien betrug einige Minuten bis zu einigen Stunden. Bei meinen Untersuchungen waren morgens zwar Knospen, aber keine Verbindungsstadien festzustellen, erst bei steigender Tageswärme, und zwar

⁷⁾ Potthoff, H., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 55, S. 9, 1921.

⁸⁾ Löhnis, F., Life Cycles of the Bacteria, Journal of Agricultural Research, Vol. VI, Nr. 18, Department of Agriculture, Washington 1916.

⁹⁾ Löhnis, F., Studies upon the Life Cycles of the Bacteria, Part I, Review of the Literature 1838–1918, Washington, Government Printing Office 1921.

¹⁰⁾ Winogradsky, S., Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Bakterien, Heft I, Leipzig, Arthur Felix, 1888.

am häufigsten an warmen Tagen, traten Verbindungen auf.

Um Genaueres über die Struktur der Knospen und Brücken zu erfahren, wandte ich, wie ich oben schon nebenher erwähnte, Lebendfärbung nach Zettnow, Färbung mit stark verdünnten Farblösungen ohne vorhergehende Fixierung, an. Bei Färbung mit Gentianaviolett färbte sich zunächst die Knospe violett und zeigte häufig in der Mitte eine oder zwei helle, farblose Linien, die den hellen Linien bei lebend ungefärbten Chromatien entsprachen.

Die Knospe färbte sich immer zuerst, dann erst das *Chromatium*. Chromatien ohne Knospen nahmen den Farbstoff langsamer auf als die knospentragenden und die durch Brücken miteinander verbundenen Bakterien. Diese werden auch bald bewegungslos, während die knospenlosen Bakterien längere Zeit der Wirkung des Farbstoffs ausgesetzt, noch lebhaft beweglich bleiben.

Fig. 2, ein Mikrophotogramm, zeigt fixierte und mit Eisenhämatoxylin gefärbte Chromatien mit Knospen und ein Verbindungsstadium.

Fig. 2. Chromatien mit Knospen und ein Verbindungsstadium, Färbung mit Eisenhämatoxylin. Vergr. 1000 : 1. Mikrophotogramm.

Vier Tage nach dem zuerst beobachteten Auftreten von Knospen und Brücken war in der Kultur nichts mehr von derartigen Erscheinungen zu sehen. Es wurde in Abständen von 1 zu 2 Tagen weiter untersucht. Die Chromatien waren in lebhafter Vermehrung begriffen. Es waren aber keine Knospen und Verbindungsstadien mehr zu finden, wohl aber eine Menge von kleineren und besonders großen Formen.

Bei einer anderen Chromatiumart, *Chromatium Weissii*, stellte ich ebenfalls das Auftreten von Knospen und Verbindungsstadien fest. Diese etwas kleinere Art trat zusammen mit anderen *Thiorhodobakterien* an der Glaswand eines Aquariums, in dem *Elodea* und Algen verfaulten, in größeren Mengen auf. Die Knospen und Brücken waren kleiner und schwächer lichtbrechend als bei *Chromatium Okenii*. Nur $\frac{1}{2}$ —1 μ lang und $\frac{1}{2}$ μ breit, traten sie an allen Stellen des Chromatienkörpers, meist in einer Reihe nebeneinander (Fig. 3 a), doch häufig an einem Pol auf

(Fig. 3 b). Verbindungsstadien konnte ich ebenfalls feststellen (Fig. 3 c).

Wenn ich den zur Züchtung von Purpurbakterien hergestellten Kulturen keinen Gips zusetzte, so traten neben wenigen Chromatien Purpurspirillen in größerer Zahl auf. Etwa 8—10 cm von der Wasseroberfläche entfernt zeigte sich bei den im Sommer 1921 angesetzten Rohkulturen schon nach 8—10 Tagen an der Glaswand des Gefäßes ein rotbrauner Ring, der größtenteils von einem *Rhodospirillum* gebildet wurde, das dem *Rhodospirillum photometricum* glich. In der erwähnten früheren Mitteilung habe ich schon ausführlich über die eigenartigen Erscheinungen, welche bei diesem wegen seiner Lichtempfindlichkeit so genannten *Spirillum* auftreten und die meiner Meinung nach den Vorgängen bei Chromatien analog sind, berichtet. Die Spirillen tragen seitlich oder auch an einem Pol kleine, schwach lichtbrechende 1 μ breite, $\frac{1}{2}$ —1 μ lange Knospen. Ob diese Knospen den Ausstülpungen, welche Zettnow¹¹⁾ an *Spirillum serpens* beobachtete und photographierte oder den Knospen, die Meirowsky¹²⁾ an *Spirillum rubrum* und *Spirillum tyrogenum* Denecke sah, homologe Gebilde sind, wage ich nicht zu entscheiden.

Fig. 3. *Chromatium Weissii* mit Knospen und ein Verbindungsstadium. Vergr. 1500 : 1.

Fig. 4. Verbindungsstadium von *Spirillum photometricum*. Vergr. 1500 : 1.

Meirowsky glaubt, daß die Knospen eine Rolle in der Entwicklungsgeschichte der Bakterien spielen. Er kommt zu diesem Schluß, weil er aus den losgelösten Knospen kurze Spirillen hervorragen sah, die, wie er meint, zu Spirillen von normaler Größe heranwachsen. Irgendwelche Verbindungsstadien hat Meirowsky nicht bemerkt. Ich selbst konnte in sehr vielen Fällen das Entstehen einer starren Verbindung beobachten. Das eine *Spirillum* legte sich mit der Knospe an die Membran des anderen an. Nach einigen zitternden Bewegungen war plötzlich eine starre Verbindung hergestellt (Fig. 4).

Die Trennung erfolgte nach etwa viertelstündiger bis mehrstündiger Dauer der Verbindungen, wobei die Brücke ungeteilt bei dem einen *Spirillum* blieb. Die Beobachtung des Vorganges

¹¹⁾ Zettnow, E., Centralbl. f. Bakt., Abt. II, Bd. 10, S. 689, 1891.

¹²⁾ Meirowsky, Studien über die Fortpflanzung von Bakterien, Spirillen und Spirochäten. Berlin, Julius Springer, 1914.

war schwierig, da die Trennung unter heftigen Bewegungen meist ruckartig erfolgte und die Spirillen sich gleich weiter schraubten. Was die Struktur der Brücken und Knospen angeht, so zeigen beide häufig in der Mitte gleichlaufend mit der Längsrichtung des *Spirillum* eine je nach Einstellung bald helle, bald dunkle Linie. Lebendfärbung nach Zettnow, Färbung mit stark verdünnter Methylenblaulösung, ergab blau gefärbte Knospen und Spirillen. Die Knospen und Brücken färben sich etwas stärker als das Spirillum selbst. Die helle Linie in der Mitte bleibt ebenso wie bei den Chromatiumknospen und -brücken ungefärbt.

Dauerpräparate, die ich durch Trockenfixierung herstellte, ergaben gefärbt verhältnismäßig gute der Struktur der lebenden Zelle entsprechende Bilder. Die Brücke zeigte meist deutlich die charakteristische helle, ungefärbte Linie in der Mitte, die manchmal mehr oder weniger schräg zur Längsrichtung des Spirillums verlief. Färbung nach Giemsa ergab blauviolett gefärbte

der beiden Spirillen von der Knospe nichts mehr zu sehen. Erst bei Lebendfärbung mit Methylenblau, Gentianaviolett oder nach Giemsa traten Knospen und Brücken, die sich mit den genannten Farbstoffen stark färbten, deutlich hervor (Fig. 7).

Bei einer *Pseudomonas*art beobachtete ich ebenfalls Verbindungsstadien. Ob die oben erwähnten von Fuhrmann bei *Pseudomonas cerevisiae* beobachteten Erscheinungen in irgendeiner Beziehung zu den von mir festgestellten Verbindungen stehen, erscheint mir zweifelhaft. Fuhrmann äußert sich nicht über die Färbbarkeit des Verbindungsfadens. Handelte es sich um eine Verbindung durch eine Knospe, so wäre ihm sicher die intensive Färbung der Brücken, die sich meist stärker färben als die Bakterien, aufgefallen (siehe Fig. 12). Anschwellungen an den Enden der Stäbchen, die Fuhrmann erwähnt, habe ich nicht bemerkt. Das Entstehen von Verbindungsstadien und die Trennung, Vorgänge, die ich mehrfach bei meinen Untersuchungen von

Fig. 5. Verbindungsstadium von *Spirillum photometricum*, trocken fixiert, Färbung nach Giemsa. Vergr. 500:1. Mikrophotogramm.

Fig. 6. Spirillen mit 2 Brücken. Vergr. 1500:1.

Fig. 7. Verbindungsstadium von *Spirillum volutans*. Vergr. 2000:1.

Brücken, bei rotvioletter Spirillenkörper mit blauvioletten Einschlüssen und hellen Vakuolen (Fig. 5).

Häufiger kam es vor, daß zwei Brücken die Spirillen verbanden. Ich sah solche Stadien bei fixierten und gefärbten, wie auch bei lebenden Spirillen (Fig. 6).

Ähnliche Erscheinungen wie bei *Spirillum photometricum* konnte ich bei Reinkulturen von *Spirillum volutans*, die ich der Freundlichkeit von Herrn Professor Zettnow verdanke, feststellen. Die Knospen waren bei dieser Spirillenart von wechselnder Größe, von 0,2 μ bis zu 0,5 μ Länge und 0,2 μ bis 0,4 μ Breite. Wegen der geringen Größe der Knospen und der stark lichtbrechenden Einschlüsse der Spirillen war die Beobachtung der nur schwach lichtbrechenden Knospen bei lebend ungefärbten Spirillen sehr schwierig. Die Knospen waren nur schwach sichtbar. Legte sich ein *Spirillum* an die Knospe und entstand eine Verbindung, so war infolge der Lichtbrechung an den Membranen

Fig. 8. *Pseudomonas* sp. Geißelfärbung. Vergr. 1000:1. Mikrophotogramm.

lebendem, ungefärbtem Material feststellen konnte, hat Fuhrmann nicht beobachtet.

Ich fand die *Pseudomonaden* mit ihren Verbindungsstadien im Abwasser einer Brauerei, das meist eine Temperatur von 20–25° hat. Die Stäbchen waren 1 μ breit und kurz nach der Teil-

lung etwa 6μ lang. Sie zeigten stark lichtbrechende Körnchen von unregelmäßiger Lagerung. Bei kürzeren Stäbchen war nur an einem Pol ein Büschel von Geißeln vorhanden, die meist zu einem Zopf verflochten waren (Fig. 8). Längere Stäbchen trugen an jedem Pol ein Geißelbüschel. Eins war immer stärker und länger. Die schwach lichtbrechenden Knospen und Brücken traten meist seitlich an den Stäbchen in Ein- oder Mehrzahl auf (Fig. 9 u. 10). Stäbchen mit Knospen und Brücken bewegten sich meist lebhaft. Zuweilen waren die Stäbchen an einem Ende leicht gebogen und trugen dann an der konvexen Seite der Biegung eine Knospe. Derartige Formen waren gleich lebhaft beweglich wie die

Fig. 9. Verbindungsstadium von *Pseudomonas* sp. Vergr. 2000:1.

Fig. 10. *Pseudomonas* sp. Doppelverbindung. Vergr. 2000:1.

Fig. 11. Verbindung von geradem und gekrümmtem Stäbchen. Vergr. 2000:1.

geraden Stäbchen. Verbindungen zwischen geraden und gekrümmten Bacterien habe ich häufiger beobachtet (Fig. 11).

Verbindungsstadien entstanden nach minutenlangen zitternden Bewegungen. Die Dauer der Verbindungen war verschieden, von 15 Minuten bis zu einigen Stunden. Während dieser Zeit bewegten sich die Stäbchen fortwährend lebhaft, doch veränderten sie trotz der heftigen Bewegungen ihre Lage zueinander nicht mehr. Obwohl die Knospen im Verhältnis zur Größe der Bacterien sehr klein waren, genügten sie doch, die beiden Bacterien starr miteinander zu verbinden.

Dauerpräparate stellte ich her nach dem Verfahren von Schaudinn (Fixierung mit heißem Sublimatalkohol) und durch Trockenfixierung. Die Resultate waren annähernd gleich. Fig. 12 stellt ein Verbindungsstadium dar (Trockenfixierung und Färbung mit Eisenhämatoxylin). Die Brücke erscheint deutlich stärker gefärbt als die Bacterien.

Bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse weitgehende Schlüsse aus den referierten Beobachtungen zu ziehen, wäre verfrüht. Doch steht wohl jetzt schon außer allem Zweifel, daß wir in den geschilderten Erscheinungen sexuelle Vorgänge irgendwelcher Art vor uns haben. Betonen möchte ich, daß nur Lebendbeobachtungen, nicht etwa die beigegebenen Zeichnungen¹³⁾ und Mikrophotogramme ein richtiges Bild von diesen eigenartigen Verbindungsstadien geben können. Wer einmal die merkwürdigen Suchbewegungen von *Spirillum photometricum*, *Pseudomonas* und *Spirillum volutans*, Arten, bei denen ich mehrfach das Entstehen von Verbindungen feststellte, sah, wird nie an ein rein mechanisches Festhaften von vielleicht parasitären Kokken zwischen zwei Bacterien, zu welcher Vermutung die Bilder Anlaß geben könnten, denken. Auch die Erscheinungen bei der Trennung, die meist unter gewaltsamen Bewegungen der Bacterien heftig ruckartig erfolgt, sprechen gegen eine solche Annahme.

Fig. 12. Verbindungsstadium von *Pseudomonas* sp., trocken fixiert, Färbung mit Eisenhämatoxylin. Vergr. 1000:1. Mikrophotogramm.

Was aber in der Brücke während der Verbindung vorgeht, welche Reaktionen dabei das Zellinnere zeigt, welches die Vorgänge nach der Trennung sind, das alles entzieht sich noch meiner Kenntnis. Erst die Lösung dieser Fragen wird uns Aufschluß darüber geben, welcher Kategorie von Sexualreaktionen wir unsere Verbindungen einzureihen haben. Um eine Kopulation im botanischen Sinne, wie z. B. bei den Schwärmen der Grünalge *Ulothrix*, d. h. eine Verschmelzung des Plasmas und der Kerne der beiden Gameten zu einer Zygote, handelt es sich keinesfalls. Ebenso liegt sicher keine Konjugation im botanischen Sinne, wie etwa bei *Spirogyra*, vor. Ob wir es mit einer Konjugation wie bei *Paramae-*

¹³⁾ Die Figuren sind nach Zeichnungen mit dem Zeichenapparat oder freien Handzeichnungen bei einer Vergrößerung 1000:1 (Zeiß homogene Immersion, Achromat $\frac{1}{12}$, Okular 4) entworfen. Die Mikrophotogramme sind mit Ausnahme von Fig. 5, welches mit Okular 2 photographiert wurde, ebenfalls mit dem genannten Objektiv und Okular aufgenommen.

cium oder anderen Infusorien, einem Austausch von Kernsubstanz von Zelle zu Zelle zu tun haben, wird sich vielleicht feststellen lassen bei der zytologischen Untersuchung möglichst großer Bakterien mit ihren Brücken. Ich habe als Untersuchungsobjekt *Chromatium Okenii* gewählt, das wegen seiner Größe den meisten Erfolg verspricht. Ich selbst vermute nach meinen bisherigen Forschungsergebnissen, besonders den eingangs erwähnten Beobachtungen an Chromatien, daß von beiden Zellen aus Protoplasma oder vielleicht Kernsubstanz abgegeben und dann die Brücke als Zygote abgeschnürt wird, um sich später weiter zu entwickeln. Es würde sich dann um ähnliche Vorgänge wie bei den *Mucorineen* handeln.

Ob meine Vermutung zu Recht besteht, werden weitere Untersuchungen, die augenblicklich im Gange sind (kontinuierliche Beobachtung von Verbindungsstadien in der feuchten Kammer), zeigen.

Der mathematische Kern der Außenweltshypothese.

Von Karl Gerhards, Aachen.

(Schluß.)

III.

Mathematische Konstruktion des Gesamtmodells der Oberfläche aus dem Erscheinungsmodell; Diskussion ihrer Eindeutigkeit. Ergebnis: Im normalen Falle ist allein auf Grund des Verlaufes der Gesichterscheinungen der gleichzeitige Gesamtverlauf der Oberfläche, also mit Einschluß seiner nicht direkt wahrgenommenen Teile, eindeutig definierbar.

Wir haben im vorigen Kapitel Folgendes festgestellt: In dem Modell des Oberflächenverlaufes, dem „Ontogramm“ O , gibt es einen bestimmten Ausschnitt¹⁾ A_0 , welcher denjenigen Teil des Oberflächenverlaufes darstellt, der im gegebenen Erscheinungsverlauf unmittelbar zur Wahrnehmung gelangt (bzw. bei der kinematographischen Aufnahme direkt Licht auf den Film entsendet). Zu diesem Ausschnitt A_0 ist nun das kinematographische Modell des Erscheinungsverlaufes, das „Phänogramm“ P , farbig homotop, d. h. es ist mit samt seinen Grenzflächen durch eine bloße Deformation in A_0 überführbar. Vorausgesetzt ist dabei, daß man in P nur die „nächsten“ gegenseitigen Nachbarschaftsbeziehungen der farbigen Fäden berücksichtigt, also alle jene Verbindungen zwischen ihnen außer Betracht läßt, die infolge der Überschneidung der Erscheinungen zustande gekommen sind. Wir haben dies im vorigen Kapitel in anschaulicher Weise dahin ausgedrückt, daß man P vor der Ausführung der Deformation „zergliedern“, d. h. jene Überschneidungsverbindungen durchschneiden muß.

¹⁾ Der Index 0 soll hier und im folgenden überall den Buchstaben O bedeuten.

Mit der Feststellung dieser farbigen Homotopie zwischen A_0 und P ist der erste Teil unserer Aufgabe gelöst. Wir wissen jetzt — um hier die Formulierung unseres ersten Kapitels zu wiederholen —, inwiefern A_0 durch P „gedeckt“ wird. Im Sinne unserer Problemstellung ist diese Deckung völlige Äquivalenz: denn wir haben ja (im vorigen Kapitel) unsere Aufgabe ausdrücklich dahin präzisiert, daß nur der farbig-topologische Zusammenhang der Fäden von O , nicht aber sein „Momentanquerschnitt“ (in gewöhnlicher Ausdrucksweise: die stereometrische Form der Oberfläche) aus dem Phänogramm P abgeleitet werden soll. Für den Ausschnitt A_0 von O erhalten wir eben jenen Fadenzusammenhang in vollkommen getreuer Nachbildung, wenn wir unser gegebenes P zergliedern: wir können in dieser Hinsicht A_0 einfach durch das zergliederte P ersetzen, und umgekehrt. Was jetzt also noch übrig bleibt, ist die Untersuchung der Frage, inwiefern P bzw. A_0 allein aus sich selbst heraus eindeutig ergänzt werden kann, derart, daß das so entstehende Gesamtgebilde zum ganzen Ontogramm O farbig homotop wird. Wir wollen eine derartige farbig-topologische Ergänzung kurz als „Totalisation“ bezeichnen; sie ist für unsere Modelle offenbar gleichbedeutend mit dem, was wir zu Anfang unserer Untersuchung die „Interpolation“ der bei der Wahrnehmung verdeckt gebliebenen Teile der Körperwelt genannt haben.

Um uns nun das anschauliche Material zu verschaffen, mit dem wir zunächst operieren müssen, verfahren wir folgendermaßen. Wir können uns den Ausschnitt A_0 (oder auch das zergliederte P) in eine Anzahl zeitlich aufeinanderfolgender Schichten zerlegt und in jeder solchen Schicht einen Momentanquerschnitt ausgewählt denken, derart, daß dieser Querschnitt nahezu alle Fäden seiner Schicht trifft. Diese Operation denken wir uns ausgeführt, die ausgewählten Momentanquerschnitte ihrer Zeitfolge gemäß numeriert, und sie dann in Form sehr dünner Blätter aus A_0 bzw. P herausgenommen. Jedes solche Blatt aus A_0 (P) ist offenbar farbig kongruent (homotop) zu einem bestimmten Teil unserer Oberfläche selbst. Besteht dieser Teil aus einem einzigen Stück, so auch unser Blatt; ist dies (infolge von Überschneidungen, die bei der Aufnahme von P stattgefunden haben) nicht der Fall, so besteht auch das Blatt aus entsprechend vielen voneinander getrennten Stücken. Unter Umständen kann ein Blatt auch (man denke z. B. an die Fensteröffnungen unseres Zimmers) in seinem Innern siebartig durchlöchert sein. Wir nennen den Inbegriff dieser numerierten Blätter die zu A_0 bzw. P gehörige „Blattfolge“. Im Sinne unserer Problemstellung sind diese beiden Blattfolgen offenbar einander äquivalent, da es uns ja nur auf die Homotopie, nicht auf die Kongruenz ankommt; der Anschaulichkeit halber wählen wir für unsere weiteren Überlegungen die aus A_0 entnommene Folge, weil wir ihre Blätter ohne weiteres mit