

# Ultramikroskop und Botanik.

Von

**Prof. Dr. Hans Molisch.**

---

Vortrag, gehalten den 15. Dezember 1909.

Mit einer Figur im Texte.



## I.

### **Die ultramikroskopische Methode.**

Der Fortschritt der Naturwissenschaften beruht hauptsächlich auf neuen Entdeckungen, der Aufstellung glücklich ersonnener Hypothesen und Theorien und auf der Auffindung neuer und feiner Methoden. Eine einzige neue Tatsache, ein fruchtbarer hypothetischer Gedanke, ein neues Verfahren vermag die Wissenschaft oft um einen gewaltigen Schritt vorwärts zu bringen. Ich erinnere nur an die Röntgenstrahlen, an die Deszendenztheorie und an die Spektralanalyse. Welch großartige Fortschritte waren mit ihrer Einführung in die Wissenschaft verknüpft!

Von dem Bestreben geleitet, die Leistungsfähigkeit des Mikroskops in der Sichtbarmachung kleinster Teilchen zu erhöhen, haben Siedentopf und Zsigmondy<sup>1)</sup> eine Methode eingeführt, die heute allgemein als ultramikroskopische bezeichnet wird und die großes Aufsehen erregt hat. Sie ermöglicht uns heute, Teilchen von einer Kleinheit zu sehen, deren Größe früher weit jenseits der Grenze mikroskopischer Wahrnehmung lagen.

Ich habe mir nun heute die Aufgabe gestellt, hier zu erörtern, was diese Methode für die Bo-

tanik bisher geleistet hat, ob die Hoffnungen, die man an die Erfindung des Ultramikroskops geknüpft hat, sich erfüllt haben und ob wir von ihr in Zukunft Resultate zu erwarten haben, die uns einen tieferen Einblick in den Bau und das Leben der Zelle verschaffen werden.

Das Prinzip, das der ultramikroskopischen Methode zugrunde liegt, kann leicht an den jedermann bekannten Sonnenstäubchen klargemacht werden. Denken Sie, wir befänden uns in einem vollständig finstern Raume. Lassen wir dann durch den Spalt eines Fensterladens einen direkten Sonnenstrahl einfallen, so werden, wie bekannt, innerhalb dieses Strahles unzählige Sonnenstäubchen sichtbar. Diese Stäubchen finden sich in unserer Umgebung ständig vor, sie sind sozusagen allgegenwärtig, wir atmen sie mit jedem Atemzug in ungeheurer Zahl ein, aber trotz alledem sehen wir sie gewöhnlich nicht. Unter bestimmten Bedingungen, wie in dem vorhin erwähnten Versuch, treten sie wie mit einem Zauberschlag plötzlich in Erscheinung und erfreuen das Auge durch ihr ruhiges Schweben oder bei bewegter Luft durch ihren Wirbeltanz und durch ihr scheinbares Selbstleuchten. Die Sonnenstäubchen werden sichtbar, weil das höchst intensive Sonnenlicht an ihnen abgelenkt wird, sie umgeben sich mit glänzenden Beugungsringen und Beugungsbüscheln, erscheinen dem Auge größer, als sie wirklich sind, und ungemein deutlich, weil wir sie auf schwarzem Hintergrunde betrachten. Die Kontrastwirkung zwischen Hell und Dunkel spielt bei der Sichtbarmachung eine

wesentliche Rolle. Auf dieser Kontrastwirkung beruht auch der herrliche Glanz des nächtlichen Sternenhimmels. Die Sterne sind auch bei Tage am Himmel, allein wir sehen sie nicht. Bei Tage werden sie vom Sonnenlichte überstrahlt, das ganze Himmelsgewölbe ist beleuchtet, es kommt zu keiner Kontrastwirkung, daher bleiben die Sterne unsichtbar. Ganz anders in der Nacht, da erscheint das Himmelsgewölbe gewöhnlich schwarz und die Sterne heben sich mit ihrem relativ schwachen Lichte trotzdem auf dem dunklen Grunde leuchtend ab.

Auch beim Mikroskope hat man von der Dunkel-feldbeleuchtung schon lange Gebrauch gemacht. Sie wurde zuerst namentlich von England aus empfohlen, allein sie hat sich lange keiner häufigeren Anwendung erfreut. J. B. Reade<sup>2)</sup> lenkte schon 1838 (oder 1837?) die Aufmerksamkeit der Mikroskopiker auf eine Beleuchtung, die er Dunkel-feldbeleuchtung, „Blackground illumination“ nannte. Indem er das mikroskopische Objekt sehr stark und derart beleuchtet, daß von den beleuchtenden Strahlen nur diejenigen eindringen, welche von dem Objekte in geänderter Richtung ins Mikroskop eingesandt werden, erzielt er eine grelle Beleuchtung des mikroskopischen Objektes auf dunklem Untergrunde.

Auch die Spiegelkondensoren von heute haben, wie Siedentopf<sup>3)</sup> gezeigt hat, wenn auch in weniger vollkommener Form ihre Vorläufer gehabt. Trotz alledem hat aber die Dunkel-feldbeleuchtung im allgemeinen wenig Beachtung gefunden. Da trat im Jahre 1903 ein Wendepunkt ein. Siedentopf und Zsigmondy hatten durch be-

sondere Einrichtungen am Mikroskope, durch welche die Dunkelfeldbeleuchtung bei möglichst gesteigerter Lichtintensität so weit als möglich vervollkommnet wurde, es dahin gebracht, Teilchen sichtbar zu machen, die viel kleiner waren als die bis dahin gesehenen.

Die Dunkelfeldbeleuchtung kann nun in verschiedener Weise bei ultramikroskopischen Beobachtungen erreicht werden. So ist zuerst von Siedentopf und Zsigmondy eine Anordnung am Mikroskope angegeben worden, bei welcher durch Abbildung eines Spaltes in einem festen oder flüssigen Präparate gewissermaßen ein Dünnschnitt von 2—4  $\mu$ \*) Dicke auf optischem Wege hergestellt wird, der grell beleuchtet und auf dunklem Grunde betrachtet wird. Diese Art des Ultramikroskops ist besonders zur Beobachtung von Farbstofflösungen und kolloidalen Objekten geeignet und hat bereits zahlreichen Untersuchungen mit Erfolg gedient.

Eine zweite Methode der Dunkelfeldbeleuchtung versinnlicht die Abbildung des Spiegelkondensors, der von Reichert<sup>4)</sup> in Wien zuerst in den Handel gebracht wurde. (Fig. 1.)

Dieser Kondensator besteht im wesentlichen aus einer Plankonvexlinse  $L$ , von der der mittlere Teil der Krümmung abgeschliffen ist. Die dadurch entstandene Planfläche ist parallel mit der Frontfläche der Objektivlinse des Mikroskops und der übrig bleibende Teil der Krüm-

---

\*) Mit dem griechischen Buchstaben  $\mu$  bezeichnet man den tausendsten Teil eines Millimeters, mit  $\mu\mu$  den millionsten Teil.

mung der Linse ist versilbert. Reichert beschreibt den Strahlengang im Kondensator in folgender Weise:

Ein von der Lichtquelle ausgehender Strahl wird vom Spiegel  $Sp$  bei  $b$  reflektiert nach  $b'$  und  $b''$ ; dasselbe

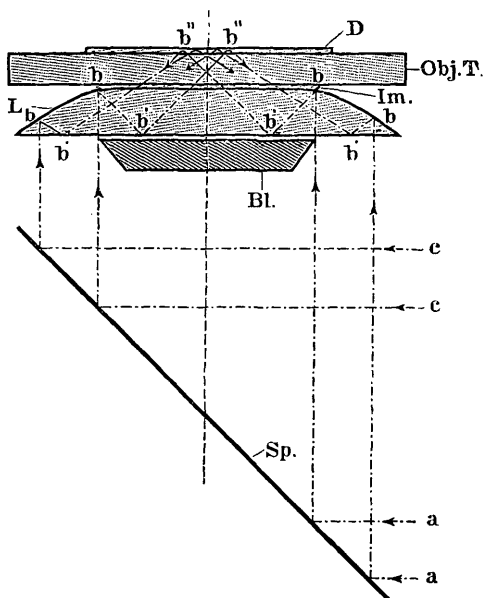


Fig. 1. Spiegelkondensator.

Nach Reichert (Wien).

geschieht auch mit einem zweiten Strahl, der von  $c$  kommt, dieser wird nach  $b''$  reflektiert. Die Blende  $Bl$  schaltet alle Strahlen aus dem Beleuchtungsbüschel aus, deren Apertur geringer als 1,05 ist. Sie ist dicht vor die erste

Planfläche der Spiegellinse gesetzt, damit keine störenden Reflexe auftreten können. Die Blende kann nach Bedarf weggeklappt und derart die gewöhnliche Spiegelbeleuchtung wieder hergestellt werden. Aus der Fig. 1 geht auch hervor, daß alle Strahlen, welche in den Kondensor eintreten und die Aperturen von 1·05 bis 1·30 haben, an der Oberfläche des Deckglases eine totale Reflexion erleiden, somit ein Eintreten der beleuchtenden Strahlen in das Beobachtungsobjektiv vollkommen ausgeschlossen ist. Das Objektiv kann nur Strahlen aufnehmen, welche innerhalb des Präparates eine Ablenkung von ihrer ursprünglichen Richtung durch Beugung erfahren haben, und diese abgebeugten Strahlen sind es auch, welche im Mikroskop wahrgenommen werden. Die Spiegellinse des Kondensors entwirft von der Lichtquelle ein stark leuchtendes Bild in der Ebene des Präparates.

Ich habe nicht die Absicht, weiters auf die Einrichtungen für Dunkelfeldbeleuchtung zum Zwecke ultramikroskopischer Beobachtung einzugehen; es genügt hervorzuheben, daß insbesondere die Mikroskopfirma Zeiß,\*) ferner Reichert und Leitz darin Vorzügliches geleistet haben, und es ist heute bereits möglich, sich um einen verhältnismäßig geringen Preis — ein Spiegelkondensor kostet etwa 40—50 Kronen — eine Einrichtung für Ultramikroskopie zu verschaffen.<sup>5)</sup>

---

\*) Für die gütige Beistellung vorzüglicher ultramikroskopischer Hilfsapparate zum Zwecke meines Vortrages erlaube ich mir, der Firma Zeiß meinen besten Dank auszusprechen.



Wie aus dem Gesagten hervorgeht, beruht das Ultramikroskop auf einer vollkommenen Ausnützung der Dunkelfeldbeleuchtung, die gestattet, die mikroskopischen Objekte hell auf dunklem Grunde abzubilden. Durch diese Kontrastwirkung werden die Sichtbarkeitsbedingungen, aber nicht das Auflösungsvermögen erhöht. Das sogenannte Ultramikroskop ist daher nicht, wie das vielfach in Laienkreisen angenommen wird, ein neues, auf einem bisher unbekanntem Prinzip beruhendes Mikroskop, sondern ein gewöhnliches Mikroskop, bei dem nur die Dunkelfeldbeleuchtung unter Zuhilfenahme möglichst starker Lichtquellen in vorzüglicher Weise zur Anwendung kommt.

Die Leistungsfähigkeit der besten Mikroskope bei durchfallendem Lichte ist eine beschränkte. Die Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung läßt sich aus Abbes Theorie direkt ableiten, sie beträgt bei Anwendung der besten aus der Zeißschen Werkstätte herrührenden Mikroskope praktisch genommen  $\frac{1}{4}\mu$ , bei schiefer Beleuchtung und unter Zuhilfenahme von einer Monobromnaphthalin-immersion und violetterem Lichte als äußerste Auflösbarkeitsgrenze  $0.12\mu$ . Was darunter liegt, bezeichnet man als ultramikroskopisch.

Mit Hilfe des Ultramikroskops wurde ein Riesenschritt in das Reich des Unsichtbaren gemacht, denn nach Siedentopf kann man mit dem Ultramikroskop noch Teilchen sehen, die nur einen Durchmesser von  $4\mu\mu$  haben, das ist aber eine Größe, die bereits in das Gebiet der molekularen Dimensionen der Eiweißmoleküle fällt.

So eröffnet sich für den Forscher bei eventueller noch weiterer Steigerung der Lichtintensität die Aussicht, im Dunkelfeld des Ultramikroskops jene theoretisch erschlossenen Teilchen, die unserem Auge für immer entrückt zu sein schienen, ich meine die Moleküle, wenigstens die großen, zu sehen und ihre Bewegungen, d. h. das Spiel ihrer anziehenden und abstoßenden Kräfte sichtbar zu verfolgen.

Bei alledem dürfen wir aber die große Schattenseite des Ultramikroskops nicht vergessen, daß es keine genaue geometrische Abbildung gibt und uns namentlich sehr kleine Teilchen nur an ihren Beugungsscheibchen und Beugungsbüscheln zu erkennen gibt, so daß sich die wahre Gestalt der Ultramikronen oft nur schwer und beiläufig beurteilen läßt.

Wir wollen nun im folgenden erörtern, welche Dienste dieses in gewisser Beziehung so ausgezeichnete Instrument der Botanik geleistet hat, und wollen zunächst zeigen, daß es bereits in einem sehr wichtigen Punkte, nämlich in der Frage nach der Existenz von unsichtbaren Lebewesen oder Ultramikroorganismen sehr wichtige Aufschlüsse gebracht hat.

Die Ergebnisse der Ultramikroskopie in anderen Wissenszweigen bis zum Jahre 1906 finden sich zusammengestellt in dem vortrefflichen Buche von Cotton und Mouton<sup>6)</sup> über die Ultramikroskope und die ultramikroskopischen Objekte.

## II.

**Gibt es unsichtbare, das heißt ultramikroskopische Lebewesen?**

Schon vor Einführung der ultramikroskopischen Methode hat man die Frage aufgeworfen, ob es nicht vielleicht Lebewesen gibt, die unsichtbar sind, d. h. die mit unseren besten optischen Hilfsmitteln bei gewöhnlicher Beleuchtung nicht gesehen werden können, weil solchen Mikroskopen in ihrer Leistungsfähigkeit eine Grenze gezogen war. Die Möglichkeit, daß es solche Organismen jenseits der Grenze der gewöhnlichen mikroskopischen Wahrnehmung gibt, ist nicht von der Hand zu weisen und erfordert eingehende Prüfung. Die Frage ist tatsächlich von großer Wichtigkeit, denn der Biologe möchte gerne wissen, bis zu welcher Kleinheit Zellen herabsinken können, ob nicht gewisse Krankheiten der Pflanzen, die man bisher noch auf kein Lebewesen hat zurückführen können, wie die Mosaikkrankheit des Tabaks, die infektiöse Panaschüre der Malvaceen und anderer Gewächse, nicht vielleicht durch mikroskopische Lebewesen hervorgerufen werden. Und auch der Mediziner hat ein großes Interesse daran zu erfahren, ob gewisse Krankheiten der Tiere und des Menschen, wie die Maul- und Klauenseuche, die Pocken, der Scharlach und andere nicht vielleicht durch Lebewesen bedingt sind, die im Bereiche des Ultramikroskopischen liegen. Auch wäre es ja von vorneherein

nicht unmöglich, daß — die Existenz von Ultramikroben vorausgesetzt — diese bisher unsichtbar gebliebenen Lebewesen von einer neuen, noch nie geschauten Organisation wären und daß sie neue Gruppen von Organismen bilden.

Ich habe diese Fragen schon früher auf Grund eigener Untersuchungen und Erwägungen behandelt und meine Ergebnisse in einem Artikel „Über Ultraorganismen“ zusammengestellt.<sup>7)</sup> Die folgenden auf ultramikroskopische Lebewesen bezugnehmenden Angaben stützen sich vornehmlich auf diese Abhandlung, ja sind ihr zum Teile wörtlich entnommen.

Bekanntlich gehören die Bakterien zu den kleinsten Lebewesen und manche unter ihnen nähern sich schon der Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung. Eine der kleinsten Bakterien ist der Influenzabazillus mit  $1.2 \mu$  Länge und  $0.4 \mu$  Dicke. Die von Esmarch vor nicht langer Zeit entdeckte Schraubenbakterie (*Spirillum parvum*) hat bloß eine Dicke von  $0.1-0.3 \mu$  und passiert Berkefeld- und Chamberlandfilter. *Micrococcus progre-diens* soll nur  $0.15 \mu$  dick und *Pseudomonas indigofera* sogar nur  $0.06 \mu$  dick und  $0.18 \mu$  lang sein; ich möchte jedoch auf die letzteren Messungen kein großes Gewicht legen, weil bei so kleinen Objekten die subjektive Schätzung schon eine zu große Rolle spielt und die Messung daher ungenau sein muß. Auch werden so kleine Bakterien gewöhnlich nicht in lebendem Zustande gemessen, sondern häufig in geschrumpftem oder in gequollenem (gebeizten), man erhält daher in dem einen Falle zu ge-

ringe und in dem andern zu große Werte. Der vorhin angegebene Wert  $0.06 \mu$  für *Pseudomonas* kann ja gar nicht richtig sein, weil dieser Organismus dann schon ultramikroskopische Dimensionen hätte. Aber alle die erwähnten winzigen Bakterien wurden mit gewöhnlichen Mikroskopen ohne Dunkelfeldbeleuchtung, ohne ultramikroskopische Methodik entdeckt und gemessen, sie müssen daher noch von mikroskopischer Dicke sein.

Ich will nun eine Reihe von Fällen betrachten, wo noch am ehesten ultramikroskopische Lebewesen gefunden werden könnten, und möchte zunächst die Aufmerksamkeit auf die Untersuchungen von Nocard und Roux über den Erreger der Lungenseuche der Rinder lenken. Die beiden Forscher züchteten den Erreger dieser Krankheit in Kollodiumsäckchen, die in der Bauchhöhle lebender Tiere (z. B. Kaninchen) untergebracht wurden. Später gelang ihnen die Kultur unter Anwendung der Peptonbouillon Martins, der noch Serum von der Kuh oder vom Kaninchen zugesetzt worden war, im Glase. Er verleiht der Kulturbouillon ein opalisierendes Aussehen und gibt sich bei sehr starken mikroskopischen Vergrößerungen in beweglichen, lichtbrechenden Pünktchen von solcher Kleinheit zu erkennen, daß es selbst nach durchgeführter Färbung schwer ist, ihre Form zu bestimmen. Nach dem Gesagten hätten wir es also hier mit einem außerordentlich kleinen Organismus zu tun, der zwar an der Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung steht, der aber als Pünktchen eben noch gesehen werden kann. Es ist daher den Tatsachen nicht entsprechend, wenn

der Erreger der Pleuropneumonie als unterm Mikroskop nicht mehr erkennbar, also gewissermaßen als ultramikroskopisch hingestellt wird. Nocard und Roux sagen ja ausdrücklich, daß der erwähnte Organismus noch als Pünktchen (ohne Ultramikroskop) zu erkennen ist, und sie schließen nur aus dem Vorkommen dieses überaus kleinen Lebewesens, daß es vielleicht andere Organismen gibt, die ihrer Kleinheit wegen für das bewaffnete menschliche Auge unsichtbar sind.

Von größtem Interesse für unsere Betrachtungen erscheint auch die Maul- und Klauenseuche, deren Ansteckungsstoff vielleicht ein ultramikroskopisches Lebewesen ist. Nach den sorgfältigen Untersuchungen von Löffler und Frosch verliert die Lymphe, die die Klauenseuche hervorzurufen imstande war, diese Fähigkeit nicht, wenn sie durch Filtration von den in ihr enthaltenen körperlichen Teilchen befreit worden war. Wenn die Lymphe 2—3 mal durch sterilisierte Kieselgurkerzen filtriert war, so konnten mit dieser Lymphe die Tiere (Kälber, Schweine) ebenso angesteckt werden wie mit nicht filtrierter. Würde es sich um ein Gift handeln, so müßte dieses von einer geradezu erstaunlichen Wirksamkeit sein, von einer derartigen, daß sie, wie Berechnungen ergaben, von vorneherein die Annahme eines Giftes unwahrscheinlich machen. „Es läßt sich deshalb die Annahme nicht von der Hand weisen, daß es sich bei den Wirkungen der Filtrate nicht um die Wirkungen eines gelösten Stoffes handelt, sondern um die Wirkung vermehrungsfähiger Erreger. Diese müssen

dann freilich so klein sein, daß sie die Poren eines auch die kleinsten Bakterien bisher zurückhaltenden Filters zu passieren vermöchten. Die kleinsten bisher bekannt gewordenen Bakterien sind die von Pfeiffer aufgefundenen Bazillen der Influenza. Sie haben eine Länge von 0·5 — 1  $\mu$ . Wären die supponierten Erreger der Maul- und Klauenseuche nur  $\frac{1}{10}$  oder selbst nur  $\frac{1}{5}$  so groß wie diese, was ja durchaus nicht unmöglich wäre, so würden sie nach der Berechnung des Professors Abbe in Jena über die Grenze der Leistungsfähigkeit unserer Mikroskope auch mit den besten Immersionsystemen nicht mehr erkennbar sein“. Der Erreger der Maul- und Klauenseuche wäre also nach der Annahme von Löffler und Frosch ein Organismus, und zwar ein ultramikroskopischer. Obwohl ich die Möglichkeit der Existenz eines solchen Lebewesens ohneweiters zugeben muß, so ist doch vorläufig zu berücksichtigen, daß noch niemand den Erreger der Maulseuche gesehen hat und daß noch andere Erklärungen für die Ansteckung und Übertragung dieser Krankheit möglich sind, analog wie bei dem Zustandekommen der infektiösen Panaschüre der Malvaceen und bei der Mosaikkrankheit des Tabaks. Dasselbe gilt von anderen ansteckenden Krankheiten, deren Erreger oder deren Ursache noch zweifelhaft ist. Ich erinnere an die afrikanische Pferdesterbe (*Horse sickness*), an das *virus myxomateux* der Kaninchen, an das Gelbfieber, die Rinderpest und an die Schafpocken.

Bekanntlich besitzt *Abutilon Thompsoni* grünscheckige Blätter, deren Fleckigkeit sich auf rein grüne

Blätter anderer *Abutilon*-Arten, ja sogar auf andere Gattungen von *Malvaceen* durch Pfropfung übertragen läßt. Wir verdanken über die Infektion dieser Buntblättrigkeit Lindemuth und in jüngster Zeit Baur sehr lehrreiche Versuche, aus welchen mit ziemlicher Sicherheit hervorgeht, daß die von Baur als infektiöse Chlorose bezeichnete Krankheit des *Abutilon* nicht durch einen Organismus hervorgerufen wird. Ich habe selbst die gelbgrün gefleckten Blätter einer genaueren mikroskopischen Untersuchung unterworfen, sie im lebenden, im fixierten und gefärbten Zustande auf das genaueste untersucht, aber von einem Organismus keine Spur gefunden. Von dem Gedanken ausgehend, es könnte doch ein Lebewesen, aber ein unsichtbares vorhanden sein, habe ich entweder sehr kleine Gewebestückchen des scheckigen *Abutilon*-blattes oder den Saft eines solchen auf verschiedene feste Nährböden, dem noch Extrakte von *Abutilon*laub zugesetzt waren, überimpft, auf diese Weise aber niemals Kolonien eines ultramikroskopischen Organismus bekommen, sondern nur Kolonien von gewöhnlichen Bakterien, die natürlich von der Blattoberfläche herrührten. Wenn in diesen Beobachtungen auch noch kein Beweis für die Abwesenheit eines ultramikroskopischen Erregers liegt, denn es wäre ja möglich, daß meine Nährmedien dem fraglichen Erreger nicht zusagten, so sprechen doch meine Ergebnisse sehr zugunsten der von Baur auf ganz anderem Wege gewonnenen Ergebnisse, die dahin lauten, daß die infektiöse Chlorose durch einen Organismus nicht veranlaßt wird.



Als Ursache dieser Ansteckung könnte nach Baur ein Stoffwechselprodukt der Pflanze selbst bezeichnet werden, das die jungen Chlorophyllkörner beeinflusst und gleichzeitig veranlaßt, das Stoffwechselprodukt wieder zu erzeugen. Dieselbe Möglichkeit nahm später auch Hunger für das Zustandekommen der Mosaikkrankheit des Tabaks an. Es ist das eine der gefährlichsten Krankheiten der Tabakpflanze. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß die erkrankenden Pflanzen zunächst am Blattrande scharf abgegrenzte saftgrüne und dunkelgrüne Flecken erhalten. Bei durchfallendem Lichte erscheinen die Farbenunterschiede noch deutlicher, auch läßt sich schon mit den Fingerspitzen feststellen, daß die dunkelgrünen Stellen etwas dicker als die bleichen sind. Diese Krankheit hat sich als sehr ansteckend erwiesen.

Die Ansteckung kann in verschiedener Weise, unter anderem auch durch die Arbeiter erfolgen, wenn sie beim Ausbrechen der Seitenzweige (Ausgeizen) Wundstellen erzeugen und den Saft kranker Pflanzen auf die Wunden gesunder mit ihren Händen übertragen.

Bakterien oder andere Lebewesen scheinen nach exakten Untersuchungen nicht die Ursache der Krankheit zu sein. Hunger glaubt, daß in den mosaikkranken Pflanzen ein Stoff entsteht, der zwar auch in der normalen Planze auftritt, sich aber bei gesteigertem Stoffwechsel anhäuft, dadurch zu einem Gift wird und in jungen Zellen die Entstehung desselben Giftes hervorruft.

Wie dem auch sei, für meine Zwecke genügt es zu wissen, daß wir allen Grund haben, anzunehmen, daß

es sich weder bei der infektiösen Chlorose, noch bei der Mosaikkrankheit um einen Organismus handelt, auch nicht um einen ultramikroskopischen, und es ist klar, daß auch die Maul- und Klauenseuche in die Kategorie der Stoffwechselkrankheiten gehören könnte. Gleich nach Erfindung des Ultramikroskops kam mir der Gedanke, daß jetzt die Frage nach der Existenz von Ultramikroben einer Lösung entgegengeführt werden könnte, denn durch die ultramikroskopische Methode wurde ein Riesenschritt in der Sichtbarmachung kleinster Teilchen nach vorwärts gemacht, sind wir doch nach Siedentopf und Zsigmondy bereits imstande, die Sichtbarmachung kleinster Teilchen bis zur Grenze von etwa  $4 \mu\mu$  möglich zu machen, also bis zu Größen, die nicht mehr weit von den molekularen Dimensionen gewisser Eiweißkörper liegen. Mit dem Ultramikroskope könnten daher Ultramikroben, falls solche existieren sollten, leicht gesehen werden.

In der Tat glaubte Raehlmann<sup>8)</sup> in faulenden Eiweißlösungen mehrere Arten bisher unbekannter ultramikroskopischer Lebewesen nachgewiesen zu haben, von denen mehrere typische Veränderungen ihrer Körperform erkennen ließen. Er glaubte, daß es sich in einzelnen Fällen nicht eigentlich um Bakterien, sondern vielleicht höher organisierte Plasmodien handelt. Auch Gaidukov<sup>9)</sup> glaubt den Nachweis erbracht zu haben, daß Mikroben von ultramikroskopischer Größe sehr häufig, ja sozusagen allgemein verbreitet seien. „Es genügt“ — sagt er — „in einen Tropfen ganz optisch leeres, destilliertes

Wasser ein lebendes Objekt (Algen, Flagellaten, Pilzzellen, Pflanzengewebeschnitte usw.) zu legen, um die ultramikroskopischen Wesen zu sehen. Die ultramikroskopischen Wesen gehen gleich ins Wasser oder sie befinden sich innerhalb der Zellen der genannten Körper. Als ultramikroskopisch kann ich gewiß nur solche Organismen bezeichnen, die ich bei Dunkelfeldbeleuchtung gesehen habe, bei der gewöhnlichen Beleuchtung mit Hilfe der stärksten Vergrößerung (Zeißsches Ölimmersionssystem 2 mm, Komp.-Ok. 18, 2250 fache Vergrößerung), die mir zur Verfügung stand, aber nicht konstatieren konnte. Meistens hatten diese ultramikroskopischen Wesen die schon oben beschriebene Form (Doppelförmigkeit der flachen Seite und typischen Beugungsbüschel). Wenn sogar diese Wesen sich nicht im Fokus befanden, so zeigten doch die schönen Beugungsbüschel das Vorhandensein der ersteren. Sie sind auch stets beweglich. Daraus schließe ich, daß die Mehrzahl der ultramikroskopischen Organismen zu den Bakterien gehört und eine ähnliche Form hat wie die mikroskopischen Bazillen und die Mikrospiren. Die anderen ultramikroskopischen Wesen sind faden- oder stabförmig, beweglich oder unbeweglich und ähneln vollständig den ebenso aussehenden langen Bakterien aus der *Myxomycetenkultur*. “

Es sei nun gleich bemerkt, daß meine Bemühungen, Ultramikroben aufzufinden, im Gegensatz zu Raehle-  
mann und Gaidukov zu einem durchwegs negativen Resultate geführt haben, obwohl ich dieselben Behelfe dazu verwendet habe wie der zuletzt genannte Forscher.

Betrachtet man einen Wassertropfen aus einem Heu- oder Algeninfus mit dem Ultramikroskop, so sieht man darin sehr verschiedene Lebewesen: Infusorien, Flagellaten, Algen und Bakterien von relativ großen bis zu sehr kleinen herab. Nie habe ich aber Organismen gesehen, die nicht auch mit den stärksten Objektiven eines gewöhnlichen Mikroskops ohne Dunkelfeldbeleuchtung sichtbar gemacht werden können. Es gehört eine gewisse Übung, speziell in der Beobachtung sehr kleiner lebender Bakterien, dazu, um so kleine Organismen nicht zu übersehen. Im Ultramikroskop treten kleine Teilchen und Organismen wegen der Kontrastwirkung zwischen dem Dunkelfeld und den grellen Beugungsscheibchen oder Beugungsbüscheln des wie selbstleuchtend erscheinenden Objektes viel deutlicher hervor. Wenn sehr kleine Lebewesen mit einem gewöhnlichen Mikroskope betrachtet werden, so können sie bei oberflächlicher Betrachtung in ungefärbtem Zustande, besonders wenn sie nur vereinzelt vorkommen und sich infolge ihrer Bewegungen auf verschiedene optische Ebenen verteilen, sehr leicht übersehen werden. Wenn ich im Tropfen außerordentlich kleine Bakterien mittels der ultramikroskopischen Methode sah, so konnte ich diese bei sorgfältiger Beobachtung auch stets wieder mit einem gewöhnlichen Objektiv im durchfallenden Licht auffinden. Gaidukov sagt: „Diese ultramikroskopischen Wesen gehen“ — wenn man ein lebendes Objekt, z. B. eine Alge oder einen Pflanzenschnitt, in einen Wassertropfen legt — „gleich ins Wasser, oder sie befinden sich inner-

halb der Zelle der genannten Körper.“ Wenn dem wirklich so wäre, so hätte der Genannte eine Entdeckung von fundamentaler Bedeutung gemacht, denn sie besagt nichts Geringeres, als daß innerhalb der Zellen Ultraorganismen allgemein verbreitet wären. Auch hier liegt zweifellos eine Täuschung vor. Bringt man einen Gewebeschnitt, z. B. einen frisch angefertigten Blattquerschnitt von *Tradescantia viridis*, in einem Tropfen optisch leeren Wassers, so sieht man bei ultramikroskopischer Beobachtung verschiedene Inhaltskörper aus den aufgeschnittenen Zellen heraustreten: Raphiden und andere Kriställchen, Chlorophyllkörner und Teile von solchen, Stärkekörnchen, kleine Körperchen und ultramikroskopische Teilchen verschiedener Art. Viele dieser Partikelchen zeigen die Brownsche Molekularbewegung. Diese ist auch im Ultramikroskop für den Geübten leicht von der aktiven Bewegung einer Bakterie oder eines anderen Lebewesens zu unterscheiden. Waren die Teilchen wirklich ultramikroskopisch, so habe ich nie eine aktive Bewegung an ihnen wahrgenommen, und zeigten die Teilchen nach Art der Bakterien oder Flagellaten eine aktive Bewegung, so konnte ich sie auch stets mit einem gewöhnlichen Mikroskop konstatieren, mit anderen Worten: Ultraorganismen waren auf diese Weise nie festzustellen. Ich habe im Laufe der letzten zwei Jahre viele Präparate verschiedener Art betrachtet: Fluß-, Sumpf- und Teichwasser, verschiedene tierische und pflanzliche Infuse, faulende Algenwässer und frische Pflanzenschnitte — immer mit demselben Resultate —

von beweglichen Ultraorganismen, auch von solchen, die nur in der Dicke von ultramikroskopischer Größe waren, war nie etwas zu bemerken. Die im Ultramikroskope als leuchtende Pünktchen oder Stäbchen erscheinenden aktiv beweglichen Mikroben waren auch mit den korrespondierenden gewöhnlichen Systemen ohne Dunkelfeldbeleuchtung zu sehen, ich bemerke jedoch, daß sie von jemanden, der in der Beobachtung so kleiner Lebewesen nicht geübt und bewandert ist, leicht mit einem gewöhnlichen Mikroskope übersehen und dann für ultramikroskopisch gehalten werden können.

Auch bei der Kontrolle der Raehlmannschen Beobachtungen konnte ich dartun, daß auch in faulenden Eiweiß- und Peptonlösungen bei Betrachtung im Ultramikroskope verschiedenartige Mikroben in lebhafter Bewegung begriffen zu sehen sind, daß aber auch die kleinsten von ihnen mit den besten Systemen eines gewöhnlichen Mikroskops ohne Dunkelfeldbeleuchtung zu sehen waren. Es fällt mir nicht ein, aus diesen meinen Beobachtungen die Möglichkeit der Existenz von ultramikroskopischen Mikroben überhaupt zu leugnen, vom theoretischen Standpunkte muß man die Möglichkeit des Vorkommens solcher Wesen zugeben, denn die heutige Leistungsfähigkeit der Mikroskope ist ja eine unter anderem durch unsere technischen Hilfsmittel und unsere derzeitigen Kenntnisse bedingte und die Größe der in der Natur eventuell vorkommenden Mikroorganismen muß ja nicht gerade mit der derzeitigen Grenze der Auflösbarkeit unserer Mikroskope zusammenfallen. Für den

Holländer Leeuwenhoek, der die mikroskopische Lebewelt in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts entdeckt hat, waren viele Kleinwesen, die wir heute mit einem gewöhnlichen Mikroskop sehen, unsichtbar, für ihn waren sie ultramikroskopisch und so wäre es ja auch denkbar, daß noch kleinere Lebewesen existieren als die, die gegenwärtig an der Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung stehen. Das Ultramikroskop aber belehrte mich im Gegensatze zu den beiden genannten Forschern, daß Ultraorganismen bis heute nicht nachzuweisen waren, und daß diese, wofern sie wirklich existieren sollten, jedenfalls sehr selten sein müssen. Dafür spricht auch folgende Tatsache. Wären Ultramikroben ungemein häufig und allgemein verbreitet, so müßte man bei bakteriologischen Plattenkulturen auch ihren Kolonien nicht selten begegnen, man hätte dann die Ultramikroorganismen noch vor der Erfindung des Ultramikroskops aller Wahrscheinlichkeit nach entdecken müssen. Während meiner vieljährigen bakteriologischen Praxis gingen Tausende Plattenkulturen durch meine Hände, allein immer, wenn ich Kolonien, die außerordentlich kleine Bakterien vermuten ließen, mikroskopisch prüfte, waren diese mit einem gewöhnlichen Mikroskope ohne Dunkel-feld zu sehen. Man könnte nun allerdings einwenden, daß vielleicht alle Ultralebewesen einer künstlichen Kultur widerstreben, oder daß wir die für sie notwendigen Kulturbedingungen noch nicht kennen, allein von vorneherein erscheint es doch sehr unwahrscheinlich, daß gerade nur die Ultramikroben trotz ihrer angeblichen

großen Verbreitung der Kultur Schwierigkeiten bereiten und niemals in Kolonien erscheinen sollten. Dieses negative Resultat, gestützt durch Millionen Kulturversuche aller Bakteriologen, harmoniert in ausgezeichneter Weise mit meinen Befunden, denen zufolge das Ultramikroskop uns bis jetzt nur Mikroben verrät, die auch schon mit einem gewöhnlichen Mikroskop gesehen werden können.

Errera<sup>10</sup> weist auf eine Anzahl von angeblichen Krankheitserregern wie den der Klauenseuche, der Peripneumonie der Rinder, der Schafblattern und anderer Krankheiten hin, die so klein sein sollen, daß sie mit unseren besten Mikroskopen unsichtbar bleiben, und wirft die Frage auf, ob es berechtigt ist, die Existenz von Organismen anzunehmen, die im Verhältnis zu den gewöhnlichen Mikroben ebenso äußerst klein sind wie diese im Verhältnis zu den großen Tieren und Pflanzen.

*Bakterium Termo* mißt  $1.5 \mu$  bis  $2 \mu$  in der Länge, es ist also linear 1,000.000 mal kleiner als ein Mensch und 100,000.000 mal kleiner als die höchsten Bäume Eucalyptus oder Sequoia. Die Frage Erreras lautet nun, ob es Lebewesen gibt, die 1,000.000 mal oder auch nur 100.000 oder 10.000 mal kleiner sind als die gewöhnlichen Bakterien. Er berechnet aus der Größe und dem Gewichte der Moleküle, daß ein hypothetischer Micrococcus von  $0.1 \mu$  Durchmesser höchstens 10.000, ein solcher von  $0.05 \mu$  nur 1000 Eiweißmoleküle und ein solcher von  $0.01 \mu$  nur 10 Eiweißmoleküle enthielte. „Man muß daraus mit einem Grade von Wahrscheinlich-



keit, welcher von der Ordnung ist wie die Wahrscheinlichkeit der Molekulartheorie der Materie, schließen, daß es keine Organismen geben kann, welche sich zu den gewöhnlichen Bakterien verhalten wie diese zu den höheren Organismen.“ Errera fügt hinzu, daß unsichtbare Mikroben, die die erwähnten Krankheiten erregen, wahrscheinlich nicht viel kleiner sind als die kleinsten sichtbaren Mikroben. Dazu möchte ich bemerken, daß Errera hierbei von der Voraussetzung ausgeht, daß es sich bei den Erregern dieser Krankheiten wirklich um Lebewesen handelt, was aber, wie ich früher auseinandergesetzt habe, mit Ausnahme der Rinderpneumonie, wo es sich zwar um einen sehr kleinen, aber noch ultramikroskopischen Organismus handelt, noch zu beweisen ist.

Nägeli <sup>11</sup> hat gelegentlich der Besprechung des Problems der Urzeugung, für welche er wärmstens eintritt, den Gedanken ausgesprochen, daß wir nicht annehmen dürfen, daß die zuerst durch Urzeugung entstandenen Lebewesen die uns heute bekannten niedersten Organismen gewesen seien. Bakterien, Chroococcaceen und auch Häckels Moneren können es nicht gewesen sein, da sie schon eine viel zu hohe Organisation besitzen. „Die Wesen, die einer spontanen Entstehung fähig sind, kennen wir also nicht. Sie müssen eine noch einfachere Beschaffenheit haben als die niedrigsten Organismen, welche uns das Mikroskop zeigt; darin liegt zugleich auch der Grund, daß sie noch nicht entdeckt sind. Je einfacher die Organismen, um so kleiner sind sie auch. Da nun die Größe der bekannten niedrigsten Pflanzen und Tiere schon an

der Grenze der Sichtbarkeit sich befindet, und da es so kleine Spaltpilze gibt, daß sie kaum gesehen und bloß durch ihre zersetzenden Wirkungen sicher erkannt werden, so können, wenn es noch einfachere Wesen gibt, dieselben unter der mikroskopisch erkennbaren Größe sich befinden.“ Das durch Urzeugung entstehende Lebewesen muß nach Nägeli vollkommen einfach gewesen sein, es konnte nur aus einem Tröpfchen homogenen, sich aus Albuminaten aufbauenden Plasmas bestehen. Er nennt diese Urwesen Probien.

Ich will Nägelis Spekulationen nicht weiter folgen, ich habe sie nur herangezogen, weil es doch von Interesse ist, alle diese vor der Erfindung des Ultramikroskops gemachten Annahmen nun mit Hilfe dieses für die Auffindung eventuell vorhandener ultramikroskopischer Lebewesen so wichtig gewordenen Instrumentes zu überprüfen. Offenbart uns nun das Ultramikroskop irgendwo Ultramikroben einfachster Art? Können wir solche ultramikroskopische Vorstufen des Lebendigen, wie es Nägelis Probien sein sollen, heute nachweisen? Bis auf den heutigen Tag ist dies nach meiner Ansicht nicht gelungen. Die lebende Substanz scheint in Form des individuellen Lebens zum mindesten in der Regel über eine untere Grenze, die mit der mikroskopischen Leistungsfähigkeit unserer besten Immersionssysteme so ziemlich zusammenfällt, nicht hinauszugehen, vielleicht weil das Lebendige eine so komplizierte chemische Zusammensetzung und Organisation aufweist, daß diese nur innerhalb eines gewissen Volumens möglich ist, das schon an die Grenz-

werte der mikroskopischen Wahrnehmung knapp heranrückt oder mit ihnen zusammenfällt. Wir können also sagen: Wenn auch die Möglichkeit, daß es ultramikroskopische Lebewesen gibt, nicht bestritten werden soll, so wird doch die künftige Forschung zeigen, daß dieselben, falls sie überhaupt existieren sollten, keineswegs häufig, sondern relativ selten und daß sie nicht viel kleiner sein dürften als die kleinsten bisher bekannten Lebewesen. Derzeit ist bisher meines Wissens kein einziger Ultraorganismus mit Sicherheit nachgewiesen und auch das Ultramikroskop hat uns keine kennen gelehrt.

### III.

## Über den Aufbau der Zelle aus Ultramikronen.

Alle Lebewesen bestehen, wofern sie nicht einzellig sind, aus Zellen. Die Zelle ist der Baustein der Pflanzen und Tiere. Es wurde auch die Frage aufgeworfen, ob denn die Zelle schon den letzten Baustein darstellt, oder ob sie nicht vielleicht selbst wieder aus kleinen unsichtbaren Bausteinen, aus physiologischen Einheiten von minimaler Größe besteht. Schon Brücke hat die Zelle als einen Organismus, als einen Elementarorganismus hingestellt und er wollte damit andeuten, daß die Zelle durchaus nicht so einfach gebaut ist, wie sie bei oberflächlicher Beobachtung erscheint. Er schrieb daher, über das direkt

Sichtbare hinausgehend, dem Plasma einen besonderen kunstvollen Bau und eine bestimmte, seinen Aufgaben entsprechende Struktur zu. Der Biologen, die im Plasma heute nur eine Flüssigkeit oder eine Emulsion sehen, gibt es nicht gerade viele, die Mehrzahl neigt zur Ansicht, daß das Plasma aus unsichtbaren lebendigen Teilchen besteht, die assimilieren, wachsen und sich durch Teilung vermehren. Ich erinnere an die Plasomen Wiesners und an die Biophoren Weismanns. Auch Nägeli denkt sich die Zelle aus unsichtbaren Teilchen zusammengesetzt. Nach ihm bestehen die Teile der Zelle (Wand, Plasma, Kern) aus unsichtbaren Molekülgruppen, die er Mizellen nennt. Diese stellen kristallinische oder polyedrische unquellbare Teilchen dar, die sich im wasserfreien Zustande berühren, im Kontakte mit Wasser aber sich mit Wasserhüllen umgeben und dadurch die Quellung hervorrufen. Wiesner<sup>12)</sup> hat darauf mit Recht hingewiesen, daß die Fortschritte auf dem Gebiete der Zellenlehre immer mehr und mehr dartun, daß in der Zelle immer kleinere Organe entdeckt werden, die die Eigenschaften des Lebens aufweisen: Wachstum, Assimilation und Vermehrung. Es sind dies der Zellkern, Chlorophyllkörner, Leukoplasten, Stärkebildner, Chromosomen und Centrosomen. Er sieht sich daher genötigt anzunehmen, daß das Plasma noch andere teilungsfähige organisierte Lebens-einheiten birgt, ja aus solchen ganz und gar zusammengesetzt ist. Diesen Anschauungen hat sich in letzter Zeit auch O. Hertwig<sup>13)</sup> und M. Heidenhain angeschlossen. Ähnliche Gedanken über elementare Lebens-einheiten

äußerten Darwin, Spencer, de Vries, Weismann und Roux, ja es ist unverkennbar, daß die moderne biologische Forschung immer mehr die Annahme physiologischer Individualitäten, die außerhalb des Sichtbaren liegen, fordert. Das Plasom Wiesners, oder wie es Hertwig nennt, der Bioblast stellt die letzte Lebenseinheit der Zelle, das letzte Teilstück, mit dessen weiterer Teilung die Eigenschaften des Lebens verloren gehen, dar. Sowie der Chemiker und Physiker bei der Analyse der Materie schließlich, die Grenze des Sichtbaren überschreitend, zur hypothetischen Annahme von Molekül, Atom und Elektron gelangt, so ist auch der Biologe einen ähnlichen Weg gegangen, er bleibt bei der Zelle nicht stehen, sondern denkt sich aus theoretischen Gründen die Zelle aus unsichtbaren Lebenseinheiten aufgebaut.

Wiesner betrachtet im Gegensatz zu Nägeli als letzte physiologische Einheit nicht ein kristallisiertes Gebilde, das wie ein Kristall spontan entsteht, sondern Teilchen, die leben, aus ihresgleichen durch Vermehrung entstehen, assimilieren und wachsen. Ob man nun Wiesner oder Nägeli beipflichtet, beide stimmen in dem Punkte überein, daß sich die Zelle aus unsichtbaren Teilchen aufbaut, die jenseits der mikroskopischen Wahrnehmung liegen.

Bei dieser Sachlage war es gewiß wünschenswert, die theoretischen Ansichten mit Hilfe des Ultramikroskops auf ihre Stichhaltigkeit zu prüfen.

Die Grenze der Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen ist etwa 4—6  $\mu\mu$ . Das sind außerordentlich kleine Größen, die sich den molekularen Dimensionen

komplizierter organischer Verbindungen schon nähern oder sie vielleicht sogar erreichen.

Ein Wasserstoffmolekel hat einen hypothetischen Durchmesser von  $0.1 \mu\mu$  (O. E. Meyer), ein Alkoholmolekel von  $0.5 \mu\mu$ , ein Chloroformmolekel von  $0.8 \mu\mu$  (Jäger) und ein Stärkemolekel von  $5.0 \mu\mu$  (Lobry de Bruyn).

Gaidukov<sup>14</sup> hat meiner Meinung nach mit vollem Rechte den Schluß gezogen, daß die Mizellen Nägelis und, wie ich hinzufügen möchte, auch die Plasomen Wiesners, falls sie existieren sollten, mit Hilfe des Ultramikroskops sichtbar gemacht werden dürften. Und in der Tat spricht das Aussehen vieler Zellmembranen, des Plasmas und anderer Zellorgane im Ultramikroskop wirklich zugunsten der Ansicht, daß die Zelle aus außerordentlich kleinen Teilchen, aus Ultramikronen besteht.

Nach Gaidukov; der die einschlägigen Verhältnisse zuerst untersucht hat, bestehen Plasma, Zellkern, Stärke- und Chlorophyllkörnchen aus ultramikroskopischen Teilchen. Das Plasma erscheint bei Anwendung der Dunkel-feldbeleuchtung, abgesehen von Mikrosomen, voll von beweglichen Teilchen, man glaubt den Sternenhimmel im kleinen zu sehen.

Auch bei der Untersuchung von Holz- und Korkmembranen, von Textilfasern, wie Baumwolle, Jute und anderen Fasern fand der genannte Forscher, daß die Wand sich aus Ultramikronen aufbaut, die entsprechend den hypothetischen Annahmen Nägelis und Wiesners

in bestimmter Weise zu Fibrillen oder Netzen angeordnet sind.

Ich betrachte diese Untersuchungen keineswegs als abgeschlossen, es sind weitere detaillierte Beobachtungen über die einzelnen Zellorgane unter ständiger Beachtung der im ultramikroskopischen Bilde so störend auftretenden Beugungserscheinungen, die die deutliche geometrische Abbildung der Teilchen verhindern, notwendig, um in die angeregte Frage nach dem ultramikroskopischen Aufbau der Zelle einen tieferen Einblick zu gewinnen.

#### IV.

### Sichtbarmachung der Geißeln lebender Bakterien im Dunkelfelde.

Ursprünglich hielt man die Bakterien für geißellos. Allein schon Ehrenberg hat 1836 bei *Monas (Chromatium) Okenii* am lebenden Objekte eine Geißel gesehen. Er entdeckte diese große Purpurbakterie unweit Ziegenhayn und später bei Berlin. „Die Bewegung geschieht mittels eines sehr feinen, die Hälfte der Körperlänge erreichenden Rüssels, welcher peitschenförmig bewegt wird und gleichzeitig einen in getrübttem Wasser sichtbaren Wirbel erregt, welcher die Nahrungsstoffe zum Munde führt.“ Auch bei *Ophidomonas jenensis* hat Ehrenberg das Bewegungsorgan gesehen und als „Rüssel“ gedeutet.

Ich habe im heurigen Herbste bei Wien im Heustadlwasser des Praters *Chromatium (Monas) Okenii* in

Gesellschaft von *Beggiatoa*, *Achromatium oxaliferum* Schew. \*) und einem großen, Schwefelkörnchen führenden *Spirillum* gefunden und an dem lebenden Objekt ebenfalls sehr deutlich die Geißel gesehen.

Später, nach Ehrenberg, wurden von Cohn an *Spirillum volutans*, an *Ophidomonas sanguinea*, bei *Monas Warmingii* und *Rhabdomonas rosea* und von Warming bei einigen Schwefelbakterien Geißeln entdeckt. Koch photographierte 1877 zum ersten Male ungefärbte Geißeln an eingetrockneten Exemplaren von *Spirillum undula* und an zwei Stäbchenbakterien.

Später gelang es, durch Beizung und Färbung bei fast allen beweglichen Bakterien Geißeln nachzuweisen, doch war es nicht möglich, an ungefärbten Stäbchenbakterien, Vibrionen, Coccaceen oder Spirochäten Geißeln zu sehen oder ihre Bewegung zumal bei den allseitig begeißelten Bazillen zu beobachten. Diese Lücke hat Karl Reichert<sup>15)</sup> mit Hilfe der ultramikroskopischen Methode, und zwar mittels des von der Mikroskopfirma Reichert (Wien) in den Handel gebrachten Spiegelkondensors auszufüllen versucht. In einer überaus gründlichen und sorgfältigen Arbeit, auf die sich die folgenden Ausführungen stützen, hat er gezeigt, daß man mit Hilfe des Spiegelkondensors bei vielen Bakterien direkt am lebenden

---

\*) Dieser Organismus enthält neben relativ großen farblosen Kügelchen, die angeblich aus Kalkoxalat bestehen sollen, nach meinen Beobachtungen sicher Schwefelkörnchen und gehört daher in die nächste Nähe der farblosen Schwefelbakterien.



Objekte die Geißeln und ihre Bewegungen sieht. So bei *Spirillum volutans*, *Bacillus typhi*, *B. prodigosus*, *Proteus vulgaris*, *Bakterium coli*, *Pseudomonas syncyanea*, *Spirillum concentricum*, *Sp. rubrum*, *Sarcina mobilis*, *S. Haeckeli*, *Vibrio*-Arten und anderen.

Es hat sich herausgestellt, daß die Geißeln am lebenden Objekt nicht in jedem Medium zu sehen sind. Betrachtet man z. B. *Spirillum volutans*, das auf Agar gezüchtet wurde, in destilliertem Wasser, so kann man trotz deutlich wahrnehmbaren Eigenbewegungen der Bakterien von Geißeln nichts erkennen. Im Leitungswasser hingegen treten an einzelnen Individuen die Geißeln als lange wellige, nach rückwärts gerichtete Fäden in Erscheinung. Noch besser sind sie in Salzlösungen und in Lösungen organischer Säuren zu sehen. Hingegen kommen in den genannten Medien die Geißeln der Gattung *Bacillus* nicht zur Anschauung, wohl aber im Agar-Kondenswasser. So verhält sich der Typhusbazillus.

Die Geißeln aller untersuchten Bazillenarten sind am besten bei lebhaft beweglichen Individuen zu sehen. Beginnt die Bewegung langsamer zu werden oder kommen die Bakterien gar zur Ruhe, so verschwinden die Geißeln.

Reichert hat auch eingehende Beobachtungen über die Zahl und die Zopfbildung der Geißeln gemacht. *Spirillum volutans* besitzt bekanntlich Geißelbüschel, die aus einer großen Anzahl von Einzelgeißeln bestehen, nach Migula aus 8, nach Reichert bis aus 20. Am lebenden Objekte sieht man scheinbar nur eine Geißel, weil

sich alle Geißeln zu einem Zopfe vereinigen. Unter bestimmten Verhältnissen entfaltet der Zopf die Einzelgeißeln.

Auch bei *Pseudomonas*-Arten, Bazillen und Sarcinen, überhaupt bei allen Bakterien, bei denen ein Geißelbüschel ausgebildet wird, tritt Zopfbildung ein und durch diese Beobachtungen wurden manche irrige Vorstellungen über Geißeln beseitigt.

Die Frage, warum die Geißeln in gewissen Medien zu sehen sind, in anderen nicht, wurde auch eingehend geprüft. Dabei hat sich merkwürdigerweise gezeigt, daß nicht, wie man von vorneherein anzunehmen geneigt war, die Lichtbrechung der verschiedenen Medien oder deren osmotische Wirkungen eine Rolle spielen, sondern die Geißeln kommen zum Vorschein, weil sie sich zu einem Zopfe vereinigen, und ferner, weil gewisse Stoffe der Lösung (Elektrolyte) auf die Geißelsubstanz in bestimmter Weise verändernd einwirken und so zur Sichtbarmachung beitragen.

Die Beobachtung der Geißeln am lebenden Objekte erscheint auch deshalb von Wert, weil sie uns zeigt, daß die Geißeln wirklich Bewegungsorgane sind. Es hat eine Zeit gegeben, wo die Ansicht über die Bedeutung der Geißeln noch geteilt war und wo manche Forscher, darunter so bedeutende wie de Bary und van Tieghem, in den Geißeln unnütze Anhängsel sahen. Bei Betrachtung lebender Geißelbakterien aber kann man sich im Dunkelfelde leicht überzeugen, daß die Bewegung der Bakterien immer erst eintritt, wenn die Geißel ihre Be-

wegung begonnen hat, und daß die Bewegung des Bakterienkörpers ganz und gar von der Bewegung der Geißel abhängig ist.

Über die Art der Bewegung, über die Abhängigkeit der Schnelligkeit der Körperbewegung von den Größen des Körpers und den Geißeln, über das Umkehren des Bakterienkörpers bei der Bewegung und einiges andere gibt uns Reicherts Arbeit eingehende Aufklärungen, ein deutlicher Beweis, daß die ultramikroskopische Methode unsere Kenntnisse über Geißeln und ihre Bewegung wesentlich gefördert hat.

## V.

### Schlußbemerkungen.

Im vorhergehenden habe ich in Kürze auseinandergesetzt, welche Resultate bisher mit dem Ultramikroskop in der Anatomie der Pflanze und Botanik überhaupt erzielt worden sind. Auffallend ist die äußerst geringe Zahl von Botanikern, die die ultramikroskopische Methode auf die Pflanze angewendet haben. Während auf dem Gebiete der Kolloidchemie und Kolloidphysik das Ultramikroskop überaus zahlreiche Freunde gefunden hat und die erzielten Ergebnisse im allgemeinen als bedeutende bezeichnet werden können, sind die Resultate, abgesehen von den beiden Fundamentalfragen nach der Existenz von Ultramikroorganismen und dem Aufbau der Zelle aus Ultramikronen, recht mager, es scheint gerade, als ob unter den Botanikern nicht bloß Gleichgültigkeit, sondern geradezu

eine Abneigung gegen das Ultramikroskop bestünde. In noch höherem Maße scheint das bei den Zoologen der Fall zu sein, wenigstens hört man von ultramikroskopischen Untersuchungen cellulärer Objekte auf zoologischem Gebiete so gut wie gar nichts. Ich glaube, daß hauptsächlich zwei Umstände daran Schuld tragen. Die Ultramikroskope waren, wie sie zuerst in den Handel kamen, recht kostspielig. Die meisten Institute mußten, mit Rücksicht auf ihre im allgemeinen kärglich zugemessenen Dotationen, von vorneherein auf die Anschaffung solcher Hilfsapparate verzichten. Jetzt steht jedoch die Sache in dieser Hinsicht bereits viel besser, da die sehr zweckmäßigen Spiegelkondensoren relativ billig zu haben sind und ausgezeichnete Dienste leisten. Zweitens dürfte die Eigenart des mikroskopischen Bildes, welches, wie bereits bemerkt, uns keine genaue Abbildung der Teilchen, sondern deren Beugungsbilder gewährt, dazu beigetragen haben, die Forscher abzuschrecken. In der Tat liegt ja für den Mikroskopiker, insbesondere für den Biologen und Anatomen darin ein höchst mißlicher Umstand, aber das ist noch kein Grund, von der Anwendung des Ultramikroskops überhaupt abzusehen, es wird eben das Ultramikroskop nur für gewisse Aufgaben herangezogen werden müssen, wie sie beispielsweise in den vorigen Kapiteln behandelt worden sind.

Ich zweifle nicht, daß das Ultramikroskop noch für manche andere Aufgaben wird dienstbar gemacht werden können. Zur Erleichterung der Sichtbarmachung sehr kleiner Organismen überhaupt. Hiebei leistet die

Dunkelfeldbeleuchtung ausgezeichnete Dienste und in der Tat hat man behufs leichteren Auffindens des Syphilis-erregers, der *Spirochaete pallida*, das Ultramikroskop mit Vorteil verwendet.

Auch über die nähere Beschaffenheit gewisser Pflanzensäfte, der Milchsäfte <sup>16)</sup> der Pflanze und gewisser Sekrete wird die ultramikroskopische Methode vielleicht noch nähere Aufschlüsse bringen, vielleicht auch über den Zellsaft selbst. Es ist nicht undenkbar, daß im Zellsaft mancher Pflanzen unter gewissen Bedingungen, z. B. bei niederen Temperaturen, nach der Nahrungsaufnahme, bei Wassermangel und eintretendem Welken und bei der Einwirkung gewisser Stoffe Fällungen entstehen, die man bei gewöhnlicher Beleuchtung nicht wahrnehmen wird, wohl aber im Dunkelfeld. Solche Fällungen in ihrer Abhängigkeit von äußeren Faktoren in der lebenden Zelle konstatieren zu können, wäre gewiß von Interesse.

Obwohl das Ultramikroskop in der Botanik bereits einige wichtige Resultate ergeben hat und vielleicht noch ergeben wird, wird man doch die Erwartungen, die man an die Einführung dieses Hilfsapparates in die Wissenschaft geknüpft hat, nicht allzu hoch spannen dürfen, und zwar hauptsächlich deshalb, weil wir leider im ultramikroskopischen Bilde auf die genaue Abbildung sehr kleiner Teilchen verzichten und uns bloß mit dem Beugungsbildern zufrieden geben müssen, die uns die wahre Gestalt der Ultramikronen mehr oder minder verschleiern. Immerhin wird man, wenn man das Ultramikroskop nicht

bloß vom Standpunkt des Botanikers, sondern von dem des Naturforschers überhaupt betrachtet, zugeben müssen, daß es der Wissenschaft, insbesondere einzelnen Zweigen, wie der Kolloidchemie vorzügliche Dienste geleistet hat. Den Bau und die Struktur der Materie immer genauer kennen zu lernen, entspricht sozusagen auch einem philosophischen Bedürfnis und hierin hat uns das Ultramikroskop einen gewaltigen Schritt vorwärts gebracht, indem es uns von der Grenze der mikroskopischen Wahrnehmung in das Land des bisher Unsichtbaren, des Ultramikroskopischen geführt hat, bis in jene geheimnisvolle Welt des Kleinsten, in der schon die Moleküle in sichtbarer Form auftauchen.

## VI.

### Literatur.

<sup>1)</sup> Siedentopf H. und Zsigmondy R., „Über die Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser“. *Annalen d. Physik*, 4. Folge, Bd. 10, 1903.

Siedentopf H., „Über die physikalischen Prinzipien der Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen“. *Vortrag. Berliner klin. Wochenschrift* 1904, Nr. 32.

Zsigmondy R., „Zur Erkenntnis der Kolloide“, *Jena* 1905.

<sup>2)</sup> Goring und Pritchard, „*Mikrographia*“ 1837. p. 227—231, ferner Queckett John, „*Handbuch über Mikroskopie*“ 1855, beide Werke zitiert nach Siedentopf H., „*Die Vorgeschichte der Spiegelkondensoren*“. *Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie etc.* 1908, p. 382—395.

3) Siedentopf H., „Die Vorgeschichte der Spiegelkondensoren“. Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie etc., 24. Bd. 1908, p. 382.

4) Reichert K., „Neuer Spiegelkondensator zur Sichtbarmachung ultramikroskopischer Teilchen“ etc., Sonderabdr. aus den „Vierteljahrsberichten des Wiener Vereins zur Förderung des physikal. und chem. Unterrichtes“ XI, 4.

5) Siehe das Preisverzeichnis der Firma C. Zeiß über Einrichtungen für Ultramikroskopie und Dunkelfeldbeleuchtung, 3. Ausgabe 1907.

6) Cotton A. et Mouton H., „Les ultramicroscopes et les objets ultramicroscopiques“. Paris 1906.

7) Molisch H., „Über Ultramikroorganismen“. Botan. Zeitg. 1908, 1. Abt., p. 131—139. Hier auch die einschlägige Literatur.

8) Raehlmann E., „Die ultramikroskopische Untersuchung nach H. Siedentopf und R. Zsigmondy und ihre Anwendung zur Beobachtung lebender Mikroorganismen“. Münchener mediz. Wochenschr., 51. Jahrg. 1904, S. 59—60.

9) Gaidukov N., „Über die ultramikroskopische Untersuchung der Bakterien und über die Ultramikroorganismen“. Zentralbl. f. Bakteriologie etc., II. Abt., Bd. 16, 1906, S. 667.

10) Errera L., „Sur la limite de petitesse des organismes“. Recueil de l'institut botanique Léo Errera (Université de Bruxelles), T. VI 1906, S. 73.

11) Nägeli C. v., „Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre“. München-Leipzig 1884, S. 86.

12) Wiesner J., „Die Elementarstruktur und das Wachstum der lebenden Substanz“. Wien 1892.

13) Hertwig O., „Allgem. Biologie“, 3. Aufl. 1909, p. 59.

14) Gaidukov N., „Über Untersuchungen mit Hilfe des Ultramikroskops nach Siedentopf“. Berichte der deutsch. botan. Gesellsch. 1906, p. 107.

Derselbe, „Über die ultramikroskopischen Eigenschaften der Protoplasten“. Ebenda p. 192.

Derselbe, „Ultramikroskopische Untersuchungen der Stärkekörner, Zellmembranen und Protoplasten“. Ebenda p. 581.

Derselbe, „Über die Anwendung des Ultramikroskops nach Siedentopf“ etc. Zeitschr. f. angew. Chemie, XXI. Jahrg. 1908, Heft 9, S. 393 ff.

<sup>15)</sup> Reichert K., „Über die Sichtbarmachung der Geißeln und die Geißelbewegung der Bakterien“. Zentralbl. f. Bakteriologie etc., 1. Abt., Bd. 51, 1909, Heft 1.

<sup>16)</sup> Wertvolle ultramikroskopische Untersuchungen über tierische und menschliche Milch liegen bereits vor. Siehe Kreidl A. und Neumann A., „Über die ultramikroskopischen Teilchen der Milch (Laktokouien)“. Sitzber. der kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, mathem.-naturw. Kl., Bd. CXVII, Abt. III, 1908.

Dieselben, „Ultramikroskopische Beobachtungen über das Verhalten der Kaseïnsuspension i. d. frischen Milch und bei der Gerinnung“. Archiv f. d. ges. Physiologie, Bd. 123.

---



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [50](#)

Autor(en)/Author(s): Molisch Hans

Artikel/Article: [Ultramikroskop und Botanik. 93-132](#)