

Ernst Küster als Zell- und Protoplasmaforscher

Von Karl Höfler.

Der ehrenden Einladung des Senats der Justus-Liebig-Hochschule Gießen, im Rahmen der heutigen Feier über Ernst Küster als Zellforscher zu sprechen, habe ich mit Freude Folge geleistet. Ich bin mit der Vertretung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften betraut, welcher Küster seit 1937 als hochgeschätztes Mitglied angehört hat, und überbringe die Grüße der Akademie.

Wir verehren in Küster einen der größten Botaniker unserer Zeit.

Als ich vor fast 40 Jahren in die botanische Wissenschaft eintrat, kritisch veranlagt und von meinem Lehrer Hans Molisch erzogen, echt und unecht zu unterscheiden, da standen in Deutschland glänzende Vertreter auf der Höhe ihres Schaffens, — der Reiz- und Zellphysiologe Hans Fitting, der Entwicklungsphysiologe Hans Winkler, die Genetiker Erwin Baur und der jüngere Otto Renner, der Pflanzengeograph Ludwig Diels, und der vielseitig schaffende Ernst Küster. Ich stand diesen Männern nicht mit Pietät gegenüber wie meinem fernen Vorbild Hugo de Vries und meinem um fast 40 Jahre älteren väterlichen Lehrer Hans Molisch, sondern in kritischer und wertender Haltung. Was ich damals in Küster sah, das hat die Folgezeit bestätigt. — Wertung wirkt leicht überheblich. Doch soll uns dies nicht hindern, uns in die Reihe derer zu stellen, die in Ernst Küster den größten Botaniker Deutschlands seiner Generation erblicken.

Küster war ein gottbegnadeter Entdecker; er war zugleich ein Wissenschaftssystematiker, der große Gebiete zusammengefaßt, neue botanische Disziplinen erstellt, Wissenschaftsgebäude auf-

Rede bei der akademischen Gedenkfeier am 10. Februar 1954.

geführt und wohnlich eingerichtet hat, — Gaben, die sich selten in einer Forscherpersönlichkeit vereinigt finden.

Unübersehbar reich liegt sein Lebenswerk vor uns. Von der beschreibenden Anatomie herkommend, dann zumal durch Klebs und Noll zur experimentellen Forschung angeregt, hat ihn sein Weg zur pathologischen und zur kausalen Anatomie herübergeführt. Schon 1903 ist seine „Pathologische Pflanzenanatomie“ in erster Auflage erschienen, 1911 sein allbekanntes Werk über Gallen. — In jenen Jahrzehnten nahm die Zellforschung einen gewaltigen Aufschwung. Auch die sehr erweiterten Neuauflagen der Pathologischen Anatomie aus den Jahren 1916 und 1925, welche Küster zum führenden Histologen machten, lassen überall den Rekurs auf die Zelle und die Vertiefung anatomischer Forschung auf solchem Wege erkennen. Nur ein Einzelzug sei herausgegriffen: Küster hat auf die Bedeutung der „inäqualen Zellteilungen“ in der Entwicklungsanatomie mit Nachdruck hingewiesen. Man spricht von solchen, wenn aus einer Mutterzelle Tochterzellen ungleicher Qualität entstehen. Diese müssen sich nicht immer schon bei mikroskopischer Beobachtung unterscheiden. Die Differenzen können unsichtbar sein und erst im Verlauf der weiteren Ontogenese aufscheinen. Schon eine inäquale Zellteilung im Vegetationspunkt reicht aus, große Unterschiede im Gewebeaufbau zu veranlassen, wenn beide Schwesterzellen nachher zahlreiche äquale Zellteilungen erfahren und wenn aus ihnen Gruppen und Schichten von Zellen hervorgehen, die sich nach Bau, Chemismus und Funktion unterscheiden. So verstehen sich z. B. die Farbenverteilungen auf marmorierten Coleus-Blättern und viele andere normale und abnormale Differenzierungsvorgänge. — In Amerika erlebt heute die entwicklungsgeschichtliche Pflanzenanatomie neuen Aufschwung, dort stehen die Probleme der inäqualen Zellteilung im Vordergrund. **Erinnern wir uns daran, daß die Problemstellung auf Küster zurückgeht, erinnern wir uns der geistsprühenden Ausführungen zur Entwicklungsmechanik des pathologischen Gewebes in seinem ersten Hauptwerk, der Pathologischen Pflanzenanatomie.**

In diesem Buche hat er auch schon unter vielem Anderen die **Symptome der Zelldegeneration und Zellnekrose auf 16 Seiten**

behandelt. In nuce findet sich dort schon angedeutet, was später in zwei Büchern der Reifezeit, die in Webers Protoplasma-Monographien erschienen sind, der Pathologie der Zelle und des Protoplasmas und der Pathologie der Plastiden, durchgeführt wird.

Zu den pflanzlichen Einzellern war Küster auch durch seine langjährige Beschäftigung mit der Kultur der Mikroorganismen geführt worden, worauf sich ein geschätztes, in drei Auflagen erschienenenes Lehrbuch bezieht.

In seinem Sammelbericht „Experimentelle Physiologie der Pflanzenzelle“ in Abderhaldens Handbuch (1924) grenzt er die Zellphysiologie gegen die Makrophysiologie methodisch so ab, wie wir das noch heute tun: Da sich alle Lebensvorgänge der Pflanze in Zellen abspielen, versteht sich von selbst, daß jede Physiologie die Eigenschaften von Zellen und Zellinhalt zu erforschen hat. Gleichwohl dürfen wir von zellphysiologischer Forschung im engeren Sinn überall dort sprechen, wo es gelingt, die Vorgänge in der Einzelzelle der Beobachtung und dem Experiment zugänglich zu machen.

Aber wie sehr hatte Küster auch die Zellphysiologie damals, als er sie programmatisch umschrieb, schon durch eigene Arbeiten bereichert!

Seit 1909 etwa hatten ihn die Probleme der Plasmolyse gefesselt. Hier waren die physikochemischen Grundlagen von Hugo de Vries geklärt worden. Die cytomorphologische Behandlung aber war Küster vorbehalten. Wahrhaft richtunggebend waren seine zwei Arbeiten (1910) über Inhaltsverlagerungen in plasmolysierten Zellen und über Veränderungen der Plasmaoberfläche bei Plasmolyse. Seit de Vries' „Plasmolytischen Studien über die Wand der Vakuole“ (1885) war kein Beitrag von gleicher Bedeutung erschienen. Doch stand Küster nicht mehr wie de Vries auf verheißungsvollem Neuland, sondern sah sich vor der Aufgabe, sich mit der Kolloidchemie seiner Zeit auseinanderzusetzen. Er bezeichnet die an plasmolysierten Protoplasten entstehenden verfestigten Oberflächenhäutchen als Haptogenmembranen. Während nackte Protoplasten verschmelzen können, verlieren solche mit Oberflächenhäutchen ausgestattete Protoplasten ihre Fusions-

fähigkeit. — Die Freilegung plasmolysierter Protoplasten war Küster durch einen Kunstgriff gelungen. Er eröffnet die Zellkammern in plasmolysiertem Gewebe durch Rasiermesserschnitte derart, daß in manchen Zellen die Protoplasten, die vom Messer nicht getroffen worden sind, am Leben bleiben. Durch leichten Druck lassen sich dann die lebenden Zellkörper aus ihren Zellgehäusen hervorpresen und zu Riesenprotoplasten verschmelzen. Das Thema Plasmappropfung und -fusionierung wurde weiter verfolgt und 1939 ein reicher Erfahrungsschatz in einem zusammenfassenden Büchlein niedergelegt. In jenen ältesten Versuchen Küsters lag aber auch der Ausgangspunkt der modernen botanischen Mikrochirurgie. Mikronadeln und -pipetten können die steifen Zellulosewände der turgeszenten Pflanzenzelle nur sehr schwer durchdringen; sie lassen sich in die nach Küsters Methode eröffneten Zellen ohne Hindernis einführen, wodurch die lebenden Protoplasten der chirurgischen Behandlung zugänglich gemacht werden.

Besonders wichtig und fruchtbar wurden in der neueren Zellphysiologie Küsters Arbeiten über Inhaltsverlagerungen in plasmolysierten Zellen und über die daraus resultierenden Veränderungen der Plasmakonfiguration. „Systrophe“ ist die Ballung des lebenden Plasmas um den Zellkern zu Klumpen, die halbkugelig oder linsenförmig in den Zellsaftraum vorragen. Die allgemeine Verbreitung und das Zustandekommen des Phänomens hat später Germ in Wien studiert, er hat gezeigt, daß die Ballung sowie die bisweilen folgende Septierung der Vakuole durch Plasmalamellen und die Bildung von Plasmanetzen und -gittern im Zellsaftraum als zelluläre Reizvorgänge zu werten sind. Die wichtigste Erweiterung unserer Kenntnisse aus jüngerer Zeit hat dann eine Studie von Irmgard Lanz aus dem Gießener Laboratorium gebracht. An Blütenperigonzellen von *Phyllocactus* sah sie das Plasma oft in einer Zelle zu mehreren systrophischen Ballungen zusammentreten und manche Zellen enthielten neben einem großen, plasmareichen, stark granulierten Ballen auch kleine aus glasklarem Plasma, die als Hyalosystrophen bezeichnet wurden. Solche Entmengungserscheinungen am lebenden Plasma harren weiteren Studiums. — Der Großteil unserer Kenntnis von der

Plasmakonfiguration und ihrem Wechsel unter äußeren und inneren Bedingungen geht auf Küsters Erstbeobachtungen zurück.

Im Jahre 1926 begründete Friedl Weber die Zeitschrift *Protoplasma*, von der seither 43 stattliche Bände erschienen sind. Küster war einer der hervorragendsten Mitarbeiter vom ersten Heft an. Dieses bringt eine klassische Arbeit „Beiträge zur Kenntnis der Plasmolyse“. Hier wird an Zwiebelzellen die Bildung von Plasmaraketen geschildert, die während des ersten Plasmolyseintritts in Alkalisalzlösungen in den Zellsaft vorschießen und die Vakuole zerklüften. Vor allem aber wird ein ganz neues Phänomen beschrieben, welches seither mehr und mehr in den Vordergrund des zellphysiologischen Interesses getreten ist, die Spontankontraktion der Vakuole. „Spontan“ heißt „nicht osmotisch bedingt“. Wohl werden viele Forscher die mikroskopischen Bilder schon früher gesehen haben. Aber erst das Unterfahren der Beobachtung mit Begriffen macht die wissenschaftliche Entdeckung aus. Gegenüber dem Tonoplastenphänomen wird in der Zelle mit spontankontrahierten Vakuolen ein plasmolysierbarer, semipermeabler, lebender Plasmabelag durchaus erhalten. Über Spontankontraktion ist eine Reihe weiterer Beiträge gefolgt, die bis in die jüngsten Jahre reicht. Inhaltsreiche Dissertationen aus dem Gießener Institut schlossen sich hier wie anderwärts an Küsters eigene Erstentdeckungen. —

Physiologie und Pathologie sind in Küsters Zellforschung in glücklichster Weise zur Einheit verbunden. Dies zeigt sich besonders schön in den zahlreichen Arbeiten über die **Plastiden** der Pflanzenzelle. Bevorzugte Objekte waren bei diesen Studien die **Meeresalgen**, die zu Küsters Lieblingen zählten. Die zarten, bandförmigen Chromatophoren der Rotalge *Ceramium* erfahren bei Laboratoriumskultur Deformationen, welche schließen lassen, daß diese Plastiden flüssig sind. Immer wieder haben ihn die mannigfachen Formanomalien der grünen Farbbänder unserer heimischen Schraubenalge, *Spirogyra*, beschäftigt. — In dem schon erwähnten Buch „Pathologie der Plastiden“ behandelt Küster zusammenfassend den **Formwechsel** der Chromatophoren, d. i. die **abnormale Gestaltung durch Wachstum**, die **Zwangformen**, die

den Plastiden durch experimentelle Eingriffe wie Zentrifugierung und Plasmolyse auferlegt werden, kapillare Kontraktion und Expansion und Teilungsformen, — weiter, als Strukturwechsel zusammengefaßt, Quellung und Vakuolisierung, Agglutination, Entquellung und Lipophaneroze. Es ist zu bewundern, wie hier ein weit verstreuter Stoff zusammengefaßt und gedanklich gegliedert wird. Das 1937 erschienene Buch hat auf die junge Botanikergeneration, so auf Schindler und Eibl in Wien, besonders anregend gewirkt. Durch Kultur in Medien, denen er geringe Mengen Diastase zusetzte, erhielt Küster bei der Alge *Mougeotia* Plastiden, die um so viel breiter als der Zelldurchmesser wurden, daß sie sich zu geschlossenen Röhren formten, bei einer sonst schmalbändrigen *Spirogyra* mehr als zellenbreite Schraubenbänder mit mächtigen Randzähnen. Solche experimentelle Beeinflussung der Plastidenform durch chemische Agentien hat dann zumal in der Schule Struggers, der während seiner Gießener Assistentenzeit wertvolle Anregungen empfangen hatte, schöne Früchte getragen.

Mit der Bestätigung des Schimperschen Satzes „daß Plastiden stets nur aus Plastiden, niemals aus Gebilden anderer Art sich entwickeln, so daß das durch die Chondriosomenforschung gebrachte Intermezzo keine Revision der alten Lehre von der Kontinuität der Plastiden nötig macht“ hat Küster, wenigstens für die Fachleute, unter eine lange unfruchtbare Diskussion den Schlußstrich gezogen.

Im Jahre 1933 beobachtete Küster die Anisotropie der Plastiden. Ihre Substanz ist vielfach doppelbrechend. F. Weber und Menke haben gleichzeitig und unabhängig Gleiches gefunden. Bei seinen polarisationsoptischen Studien wurde Küster von W. J. Schmidt beraten und es war wohl die Zusammenarbeit mit diesem befreundeten Forscher, die ihm die Beschäftigung mit einschlägigen Fragen so lieb werden ließ. Mancher wertvolle Befund ist noch wenig beachtet worden. Bryopsis-Membranen erscheinen bei geeigneter Stellung gelb zwischen gekreuzten Nicols; werden sie unter dem Mikroskop stark elastisch gedehnt, so werden sie blau; wenn der Faden reißt und zurückschnellt, so erscheinen sie plötzlich wieder gelb.

„Zytomorphologische Beobachtungen an Chaetomorpha“, 1952 im neuen Gießener Institut an Helgoländer Material angestellt, sind so reich an Neubefunden wie die besten Arbeiten aus der Jugendzeit: Systrophischen Plasmahäufungen folgen inäquale Zellteilungen, in den Rhizoiden vollzieht sich, von der Spitze her fortschreitend, eine eigenartige Metamorphose der grünen Plastiden zu gelben Chromoplasten. —

Ein bevorzugtes Arbeitsfeld Küsters innerhalb der Zellforschung ist die **Vitalfärbung**. Hier bildete eine grundlegende makrophysiologische Studie (1911) den Ausgangspunkt. Küster stellte abgeschnittene Sprosse, vornehmlich solche mit weißen Blüten, in Farblösungen und ließ diese mit dem Transpirationsstrom aufsteigen. Da zeigte sich, daß zahlreiche Farbstoffe die lebenden Zellen tingierten, welche vorher als unfähig, durch das lebende Plasma zu permeieren, gegolten hatten. Die Ergebnisse, die dann von vielen wiederholt und bestätigt wurden, standen weder mit Overtons Lipoidtheorie noch mit Ruhlands vorangegangenen Versuchen in Einklang. Zahlreiche Farbstoffe, die vorher als nicht aufnehmbar oder schwer aufnehmbar gegolten hatten, erwiesen sich mit Küsters Methode als permeierfähig. Zumal für viele saure Farbstoffe wurde die Permeabilität nach der Transpirationsmethode erstmalig nachweisbar. Daß aber „die Bedingungen, welche die vitale Beladung der Zellen mit sauren Farbstoffen ermöglichen, keineswegs erst durch die Transpiration geschaffen werden“, hat Küster nachher u. a. durch Färbung untergetauchter Pflanzenteile in 1‰ Säurefuchsin bewiesen. Die vielseitigen Beobachtungen sind in sechs inhaltsreichen Aufsätzen über Vitalfärbung der Pflanzenzellen in der Zeitschrift für wiss. Mikroskopie (1918—1927) niedergelegt. Die wichtigsten Arbeiten (von Collander, Drawert) über die Aufnahme saurer Farben — ein schwieriges Kapitel der Vitalfärbelehre — knüpfen direkt oder indirekt an Küster an.

In der 5. Arbeit der genannten Reihe (1926) zeigt Küster, daß Oxyfluoronfarbstoffe eine vitale Plasmafärbung bewirken, und begründet damit einen außerordentlich interessanten Zweig der Forschung. Gicklhorn, Albach, Strugger haben hier weitergear-

beitet. Bald wurden auch die chemisch verwandten Fluoreszeine verwendet (Schumacher 1933, Döring 1935, Strugger 1938), die in der aufblühenden Fluoreszenzmikroskopie große Bedeutung erlangt haben. Übrigens hatte Küster schon 1911 in seiner erwähnten Arbeit mit Eosin und Erythrosin an Sprossen und Zwiebeln eine intravitale Färbung erreicht und 1926 hat er bewiesen, daß keine Veranlassung vorliegt, „in der Aufnahme der genannten Farben einen Vorboten des Todes zu sehen.“

Wenig bekannt sind Küsters in den Berichten der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Gießen mitgeteilte Versuche über die Vitalfärbung von Pflanzenzellen mit Phthaleinen (1926/27), worin die pH-Bestimmung von Zellsäften auf färberischem Weg erfolgreich unternommen wird. Da die geprüften Zwiebelzellen Phenolrot in rein gelber Farbe aufnehmen, muß der pH-Wert unter 6,8 liegen; die gelbe Färbung mit Chlorphenolrot zieht die Grenzen enger und läßt den fraglichen pH-Wert bei 5 oder unter 5 suchen.

Hervorzuheben sind sodann Versuche mit Farbstoffgemischen. Weitere Beiträge zur Vitalfärbung reichen bis in die späten Jahre. Ist es doch bezeichnend für Küsters Forschertätigkeit, daß ihn das Interesse für Probleme, die er erfaßt, und für Arbeitsgebiete, auf denen er eine führende Rolle erlangt hat, durch sein ganzes Leben fruchtbar weiter begleitet. —

Küsters zellforscherische Tätigkeit wurde gekrönt durch sein Buch „Die Pflanzenzelle“, welches 1935 in erster, 1951 in zweiter erweiterter Auflage erschienen ist, ein Meisterwerk, das seinesgleichen in der Weltliteratur nicht hat. Morphologie und Anatomie der Zelle, Entwicklungsphysiologie und -pathologie erscheinen jetzt in genialer Weise zur harmonischen Einheit verschmolzen. Dies Werk ist das umfassendste Lehrbuch der Zellenanatomie. Aus Vorlesungen hervorgegangen, vermeidet es die ermüdende Ausführlichkeit eines Hand- und Nachschlagebuches. Dafür erfährt der Stoff eine gedankliche Durchdringung, die in ihrer Reife und Eigenart Bekanntes und Neues gleich reizvoll gestaltet. Alte, neue und neueste Literatur sind dem Autor gleich nahe und gleich vertraut. Er referiert mit vornehmer Kritik, die

oft richtigstellt oder bezweifelt, aber niemals verletzt. Der Abschnitt über Entwicklung der Zelle faßt seine Erfahrung auf dem Feld der Entwicklungsmechanik zusammen und bringt die Weiterführung und Vollendung dessen, was 1925 in der vorwiegend noch histologisch orientierten Pflanzenanatomie gesagt war. Küsters Vertrautheit mit der systematischen Botanik und Kryptogamienkunde im besonderen kommt voll zur Geltung. Er bringt zahllose zellenmorphologische Tatsachen, die vorher, nur dem Spezialisten geläufig, bloß in der algologischen oder mykologischen Literatur behandelt worden waren, und stellt sie an ihren Platz im Lehrgebäude der allgemeinen Botanik, den sie fortan behalten werden. In der zweiten Auflage seines Werkes (1951) hat Küster, alle zeitbedingten Schwierigkeiten überwindend, selbst vielen weiteren Stoff aus der neuesten und der alten Literatur harmonisch in das Ganze eingebaut.

Noch in den letzten Wochen seines Lebens bereitete er die dritte Auflage seiner „Pflanzenzelle“ vor, die, wie wir hoffen, von seiner Gattin und sinnvollen Mitarbeiterin Frau Dr. Gertrude Küster herausgegeben, für alle Zeiten als Denkmal seiner Lebensarbeit auf dem Felde der Zellforschung weiterdauern wird.