

Über die experimentelle Erforschung der Pflanzenzelle.

Von Prof. Dr. Ernst Küster (Gießen).

Vortrag, gehalten am 13. Oktober 1936.

Die Erforschung jedes belebten oder unbelebten Naturkörpers beginnt mit seiner Beschreibung.

Auch die Erforschung der Pflanzenzelle muß sich vor allem beschreibend ihres Objektes annehmen; alle an seinem Objekte wahrnehmbaren Eigenschaften auf das genaueste zu beschreiben, bleibt die erste Aufgabe des Zellenforschers.

Alle in der Natur vorkommenden Zellenarten der Pflanze zu beschreiben und von allen Veränderungen, die während der Entwicklung an ihnen auftreten, Kenntnis zu nehmen, ist eine Aufgabe, die ein unabsehbar weites Forschungsgebiet bedeutet; denn der Umfang dessen, was als wahrnehmbar dem beschreibenden Forscher zugänglich wird, wächst mit der Leistungsfähigkeit der optischen und aller anderen Hilfsmittel, die ihm eine sich immer mehr entwickelnde Technik zur Verfügung stellt, und die fortschreitende Einsicht in die Natur seiner Objekte lehrt ihn zugleich immer neue Gesichtspunkte für seine beschreibende Arbeit finden

und Eigenschaften der Zellen seine Aufmerksamkeit schenken, an welchen frühere Forscher und Forschergenerationen vorübergegangen waren.

Wenn auch ein Abschluß der deskriptiven Arbeit der Zellenforscher weder nahe bevorsteht, noch für weite Ferne vorstellbar ist, so wäre es gleichwohl verfehlt und hieße es, dem Erkenntnisdrang des forschenden Menschen Gewalt antun, wenn man fürs erste nur die deskriptive Forschungsrichtung gelten lassen und alle anderen zurückstellen wollte. Wirkliche Erkenntnis der Natur bringt uns erst die Einsicht in die ursächlichen Zusammenhänge des an der Natur beobachteten Geschehens. Zu einer kausalen Einsicht verhilft uns das Experiment; ein solches anzustellen und die Ergebnisse eines Experimentes richtig zu deuten, wird freilich niemals gelingen, bevor die beschreibende Forschungsweise ein reiches Maß von Einsichten in Form und Gliederung, in Bau und Struktur seiner Objekte dem Forscher gegeben hat.

Experimentelle Zellenforschung treiben alle diejenigen, die chemische oder physikalische Agentien auf die Zellen wirken lassen und aus den Veränderungen, die die Zellen oder ihre Bestandteile dabei erfahren, Schlüsse auf die Eigenschaften ihrer Forschungsobjekte ziehen. Experimentell erforschen wir die chemische Zusammensetzung der Zelle, den Aggregatzustand, die Viskosität, die Durchlässigkeit und viele andere physikalische Ei-

enschaften der Zelle nicht anders als die eines toten Systems.

Fragen, die dem Leben des Forschungsobjektes der Zytologen Rechnung tragen, ergeben sich namentlich aus der Erkenntnis, daß die lebendigen Zellen unter der Einwirkung der verschiedensten Außenweltsbedingungen ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften, ihren Wasser- und Stoffgehalt, ihre Durchlässigkeit, ihre Zähigkeit usw. gesetzmäßig verändern, sodaß es möglich wird, den Zellen dadurch, daß wir bestimmte Kombinationen von Außenweltsbedingungen auf sie wirken lassen, Eigenschaften zu geben, die sich mehr oder weniger von den früher an denselben Zellen wahrgenommenen unterscheiden.

Bedeutungsvoll vor allem wird die Feststellung, daß auch nicht umkehrbare Vorgänge wie Wachstum und Gestaltung der Organismen zu beeinflussen möglich werden kann — und dazu die Erkenntnis, daß das Reaktionsvermögen einer Zelle auf bestimmte Einwirkungen der Außenwelt große Unterschiede aufweisen kann, je nach dem Zustand der Ernährung, der Wasserversorgung usw., in dem sie sich während des Angriffs der ihr Wachstum usw. beeinflussenden Faktoren befindet, und der seinerseits eine Wirkung der Außenweltsbedingungen darstellt, unter deren Einfluß dieselbe Zelle vorher gestanden hat.

Wir sprechen von trophischen Qualitäten und

Zuständen einer Zelle, solange es sich um solche handelt, die unter dem Einfluß stoffwechselfördernder oder -hemmender, wasserentziehender oder waserbringender oder irgendwelcher anderen Außenweltsbedingungen sich entwickelt haben oder von diesen beeinflußt worden sind.

Es ist klar, welche Bedeutung auch bei Bearbeitung der hier gekennzeichneten Fragen die Methodik hat. Es kann ja nicht genügen, die Zelle als Ganzes irgendwelchen veränderten Außenweltsbedingungen auszusetzen; wir fragen vielmehr auch danach, welche Reaktionen sich an der Zelle erzielen lassen, wenn man ihre Teile verschiedenen Bedingungen aussetzt, und wenn es gelingt, die Angriffe irgendwelcher Außenweltsfaktoren auf willkürlich gewählte Stücke der Zelle, auf bestimmt geartete Organelle ihres Inhalts usw. zu lokalisieren.

Bei allen Einzellern ist die unbelebte Außenwelt zumeist das einzige Agens, das die Zellen umgibt. Für die Zellen der höheren, vielzelligen und gewebebildenden Gewächse liegen die Dinge verwickelter, indem für jede Zelle mehrere oder viele Nachbarzellen eine belebte Außenwelt zustande bringen; jede Zelle steht unter dem Einfluß der sie umgebenden Nachbarzellen, und die Faktoren der unbelebten Außenwelt, die den ganzen Komplex von Zellen umgibt, erreichen die im Inneren des letzteren liegenden Zellen nicht anders als durch den lebendigen Schirm der Nachbarzellen, der die

Wirkungsweise vieler von außen her angreifender Faktoren beeinflussen muß.

Es gelingt noch auf eine andere Weise als durch planmäßige Veränderung der Außenweltfaktoren, das Reaktionsvermögen einer Pflanzenzelle zu beeinflussen und in neue Bahnen zu lenken — dadurch, daß wir unabhängig von den Außenweltbedingungen und allen Wirkungen, welche diese auf die Lebensäußerung einer Zelle haben können, den Zellen durch experimentelle Eingriffe eine neue „Konstitution“ geben, — ich meine hiermit Eingriffe, welche die lebendige Substanz, die in dreifach verschiedenen Formen, als Protoplasma, als Zellkern- und als Plastidensubstanz in der Pflanzenzelle sich befindet, künstlich verändern, so daß der lebendige Träger aller Reaktionen, mit welchen die Pflanzenzelle auf die von außen her wirkenden Bedingungen jeder Art antwortet, Veränderungen erfährt, durch die sich das uns vorliegende und von unseren Eingriffen getroffene Objekt von allen Ahnen seines Zellenstammbaums unterscheidet.

Es mag allzu kühn scheinen, solche Eingriffe an einer Pflanzenzelle auch nur versuchen zu wollen. Gleichwohl werden wir alsbald hören, daß schon seit Jahrzehnten Eingriffe dieser Art und experimentell erreichbare Änderungen der Konstitution einer lebendigen Pflanzenzelle durchführbar und erforschbar geworden sind.

Zunächst gelingt es, Eingriffe in den Besitz

lebendiger Substanz, der eine Zelle auszeichnet, in der Weise zu erreichen, daß man ihr den einen oder anderen Teil ihres lebendigen Besitzes nimmt. Zellkerne können nur durch Teilung anderer Zellkerne entstehen und niemals aus Protoplasma und Plastidensubstanz neu gebildet werden, so daß eine Zelle, die wir durch künstliche Eingriffe um ihren Zellkern gebracht haben, niemals wieder einen solchen herzustellen vermag. Dasselbe gilt für die Plastiden, die ebenfalls nur aus ihresgleichen hervorgehen; eine Zelle, der man die Plastiden genommen hat, bleibt also für alle Zeiten plastidenlos, und wenn man sie zu Teilungen bringen kann, wird auch ihre Nachkommenschaft unter allen Umständen plastidenfrei sein und bleiben.

Kernlose Zellen herzustellen ist den Forschern schon auf mehr als eine Weise möglich geworden.

Freilich — mit Nadel und Messer eine lebendige Pflanzenzelle anzugreifen und den Kern aus ihr herauszuschneiden, ist nicht eben leicht: zunächst erschwert uns diese Aufgabe die Kleinheit der Pflanzenzellen; andererseits ist die zähe Zellulosewand, welche alle Pflanzenzellen umgibt, ein schweres, oft unüberwindliches Hindernis für alle diejenigen operativen Eingriffe, welche den lebendigen Zellenleib erreichen und ihn verändern sollen, aber ihm keinen ernststen Schaden zufügen dürfen.

Es gibt Zellen, bei welchen alle diejenigen

Schwierigkeiten, die sich aus der geringen Größe unserer Forschungsobjekte ergeben, nicht ins Gewicht fallen. In den letzten Jahren hat H ä m m e r l i n g die Aufmerksamkeit der Zytologen auf die im Mittelmeer heimische Schirmalge (*Acetabularia mediterranea*) gelenkt, deren Thallus mehrere Zentimeter groß werden kann, oben in Gestalt eines kleinen Schirmdaches sich entwickelt und unten mit einem wurzelähnlichen Haftorgan an seinem Substrat sich anklammert. Diese Pflanze ist einzellig: ihr lebendiger Zelleninhalt ist nirgends durch Querwände gefächert, sodaß wir mit ihr eine Zelle vor uns haben, an der wir bequem mit Messer und Schere und anderen groben Werkzeugen hantieren können. Dazu kommt der weitere für uns so glückliche Umstand, daß die Schirmalge im Gegensatz zu anderen großen einzelligen Gewächsen nur einen einzigen Zellkern enthält, der an dem Grund der Zelle in den bereits erwähnten Klammerorganen zu finden ist und von dort aus die Wirkungen auf den ganzen Zellenleib ausübt, die — wie wir annehmen dürfen — von jedem Zellkern einer lebendigen Zelle ausgehen. Zerschneiden wir eine *Acetabularia* in mehrere Stücke, so wird nur eines von diesen den Zellkern enthalten; die anderen Stücke werden kernlos sein müssen. Von kernlosen Zellen diesen Stücken gegenüber zu sprechen, wird zulässig sein, da an den Wundflächen der zerstückelte Zellenleib durch

Neubildung einer Membran verheilt. Wir sehen nicht ohne Staunen, daß eine solche aus der Mitte des Thallus herausgeschnittene kernlose Zelle nicht nur weiterlebt, sondern auch Wachstum betätigen kann. Wir lernen aus dem Verhalten dieser Zellen oder Zellenfragmente, daß der Zellkern für Leben und Wachstum keineswegs unerlässlich ist, und daß auch ein mit grünen Plastiden ausgestattetes Protoplasma noch alle diejenigen Stoffwechselforgänge in sich zustande kommen lassen kann, die zum Wachstum führen — wenigstens zunächst noch, d. h. eine mehr oder minder lange Zeit hindurch; setzen wir die Versuche lange genug fort, so wird sich zeigen, daß früher oder später der kernlosen Zelle die zunächst an ihr wahrgenommenen Fähigkeiten verloren gehen, und die unvollständige Ausstattung des Zelleninhaltes ihrem Leben ein Ende setzt.

Auch an vielen kleinen Zellen, deren Dimensionen die Anwendung von groben Messern und Nadeln ausschließen, lassen sich kernlose Zellen gewinnen. Schon vor einem halben Jahrhundert hat Klebs solche Versuche an einkernigen Algenzellen bescheidenen Formates durchgeführt, indem er sie mit wasserentziehenden Lösungen behandelte und dadurch den Zelleninhalt zur Kontraktion und oftmals auch zu kapillarem Zerfall brachte. Werden solche Versuche an einkernigen Zellen ausgeführt, so kann es nicht fehlen, daß bei Zerlegung

des Zelleninhaltes in zwei Teilstücke das eine mit einem Kern ausgestattet ist, das andere ohne solchen neben jenem liegt. Wir haben bei derartiger Versuchsanstellung den großen Vorteil, Stücke einer und derselben Zelle, die keinerlei mechanische Angriffe zu erleiden gehabt hat, nebeneinander in dem von ihrer eigenen Membran umspannten Lumen beobachten zu können; wir vergleichen das Verhalten des kernhaltigen und des kernlosen Stückes und stellen fest, daß beide lebensfähig sind; aber nur das kernhaltige Stück der hier verwendeten kleinen Algenzellen bildet eine Membran an seiner Oberfläche aus, nachdem es von seiner bisherigen Hülle durch Kontraktion oder „Plasmolyse“ getrennt worden ist. Die kernlose Hälfte des Zelleninhaltes bleibt unbekleidet; sie kann keine Membran entwickeln. Es verhalten sich indessen Zellen verschiedener Art in diesem Punkte recht verschieden, und spätere Autoren haben übereinstimmend feststellen können, daß in nicht wenigen Fällen auch die kernlosen Anteile des Protoplasmas zur Membranneubildung befähigt sind — selbst dann, wenn bei der Plasmolyse die Zerlegung des Zellenleibes sehr weit getrieben worden ist, und neben einem kernhaltigen Stück mehrere oder viele kleine kernlose Plasmatropfen sich selbständig gemacht haben.

Einen neuen Weg zur Gewinnung kernloser Zellen, der unseren lebendigen Forschungsobjekten

schwere mechanische Angriffe, ebenso wie gewaltsame Wasserentziehung erspart — und da die letztere ausbleibt, auch die Konzentration des Zellinhaltes unverändert läßt, hat Wisselingh vor nahezu 20 Jahren gewiesen. Bei manchen Algen gelingt es, durch eine Behandlung mit der Zentrifuge Zellkern und Plastiden lebendiger Zellen zu verlagern; führt man solche Versuche unmittelbar vor der Teilung der Zellen aus, so gelingt es, den zur Teilung sich anschickenden Zellkern aus der Mitte der Zellen, in der wir ihn bisher fanden, zu vertreiben und ihn an ein Ende der Zelle zu jagen; da die Teilungswand trotz dieser Verlagerung des Zellkerns an derselben Stelle ausgebildet wird, an der bereits vor der Schleuderung ihre Anlage in die Wege geleitet worden war, zerlegt sich die von uns behandelte Zelle in zwei höchst ungleichartig ausgestattete Tochterzellen: die eine erbt den Zellkern oder beide Tochterkerne, die bei der Teilung entstehen, und erbt zugleich den ganzen Vorrat der Zellen an grüner Substanz —, die andere erhält wohl Protoplasma, aber bleibt kernlos und zugleich farblos, da die Kerne wie die Plastiden durch die Zentrifugenbehandlung an das andere Ende der Zelle geschleudert worden sind. Nach diesen Eingriffen haben wir zwei normal umhütete, normal große Zellen zum Vergleiche nebeneinander: eine kernlose liegt hier neben einer mit doppeltem Kernvorrat ausgestatteten Schwesterzelle, und derselbe

Algenfaden, an dem wir dieses ungleiche Schwesternpaar studieren können, enthält zumeist in seinem weiteren Verlauf viele Zellen, bei welchen die Teilung durch die Schleuderbehandlung nicht in dem kritischen Augenblick gestört worden war, wie bei der von uns betrachteten Zelle, so daß aus ihnen bei der Teilung lauter normale einkernige Zellen hervorgegangen sind. Auch hier läßt sich zeigen, daß die kernlosen Zellen lebensfähig sind; zuweilen sollen sie sogar noch ein bescheidenes Maß von Wachstum zustande bringen.

Die ungleiche Ausstattung der beiden Tochterzellen der Kernsubstanz wurde hier durch Verlagerung des in Teilung begriffenen Kernes veranlaßt, und diese Verlagerung war für uns zellenmechanisch ohne weiteres verständlich. Von großem Interesse sind diejenigen Versuche, in welchen es überraschenderweise durch Eingriffe ganz anderer Art gelang, den sich teilenden Kern in ganz ähnlicher Weise und mit demselben Erfolge zu verlagern, ohne daß wir über die Mechanik des im lebendigen Zellenleib sich abspielenden Geschehens Auskunft zu geben vermöchten. Nach Gerassimow gelingt es an denselben Algen, deren Verhalten nach starker Schleuderung soeben zu schildern war, auch durch Abkühlung, ebenso auch durch Anwendung narkotischer Mittel, ungleichartige, d. h. kernhaltige und kernlose Tochterzellen durch Verlagerung der in Teilung begriffenen Zellenkerne zu gewinnen.

Wir gehen wohl nicht fehl, wenn wir annehmen, daß der Zellkern es ist, der eine Pflanzenzelle zum Wachstum und isolierte nackte Zellenstücke zur Membranbildung befähigt; die an kernlosen Zellen und Plasmastücken durchgeführten Beobachtungen führen uns zu der Annahme, daß der Zellkern an das Protoplasma irgendwelche im angeführten Sinne wirkende Stoffe abgibt, und daß diese auch dann noch wirksam bleiben, wenn der Zellkern auf irgendwelche Weise beseitigt worden ist; bei manchen Objekten hält die Wirksamkeit dieser vom Kern stammenden Stoffe recht lange vor; bei andern scheint sie unmittelbar nach dem Eingriff verlorenzugehen. Wir können zurzeit über die Natur dieser hypothetischen Stoffe nichts aussagen; soviel aber scheint gewiß, daß sie bei vielen Objekten nicht einmal von einem kernhaltigen Stück des Zellenleibes auf das in demselben Zellenlumen neben ihm liegende kernlose Nachbarfragment — ich erinnere an die von Klebs an Algenzellen ausgeführten Plasmolyse-Versuche — abgegeben und diesem mitgeteilt werden können —, es sei denn, daß die Trennung unvollkommen und die beiden Stücke durch einen Protoplasmafaden miteinander verbunden geblieben sind. Noch viel weniger werden offenbar die fraglichen Stoffe in einem zentrifugierten Algenfaden durch die Querwände hindurch von der kernhaltigen Zelle an eine kernlose Nachbarzelle abgegeben. —

Fragen wir nach den Wirkungen aller in der Konstitution der Zellen herbeigeführten Veränderungen, so haben die bei diesen Versuchen entstehenden Zellenpaare ein doppeltes Interesse für uns: je eine der beiden Zellen läßt ihr Protoplasma ohne Zellkern, die anderen haben an Zellkernsubstanz zu viel. Wie wirkt sich dieser Überschuß an Kernsubstanz aus? Wie verhalten sich die mit doppelter Kernsubstanz ausgestatteten Zellen gegenüber den normalen, die ihr Leben mit einfachem Kernkapital abwickeln?

An den Algen, von deren experimenteller Behandlung soeben die Rede war, hat sich zeigen lassen, daß eine Vermehrung des Kernkapitals auf das Wachstum und den Teilungsrhythmus der Zellen deutlich erkennbaren Einfluß hat, und daß Zellen mit allzu reichlicher Kernausrüstung abnorme Größe erreichen.

Von besonderem Interesse für den Zellenmorphologen war die Entdeckung, daß man Zellen, welche doppeltes Kernmaterial enthalten, also in diploider Ausstattung ihrer Kerne anstatt in haploider sich entwickeln, ohne gewaltsame Eingriffe irgendwelcher Art in großem Maßstab gewinnen kann. Das gelingt nach Marchal bei Laubmoosen, deren Vegetationskörper bekanntlich aus einem haploiden blättertragenden Stämmchen, dem Gametophyten, und einer aus diploiden Zellen aufgebauten gestielten Sporenkapsel, dem Sporophyten, besteht. Der

letztere entsteht dadurch, daß die vom Gametophyten gelieferte Eizelle durch Befruchtung zu einem diploiden Gebilde wird, und viele diploide Zellen durch Teilung aus ihm hervorgehen; die Sporen, die in der Sporenkapsel des Sporophyten entstehen, sind ihrerseits wieder haploid, da ihrer Bildung eine Reduktionsteilung, d. h. eine Zurückführung der Zahl der Kernschleifen oder Chromosomen auf die Hälfte vorausgeht; wenn die haploiden Sporen keimen, so kommen wieder die haploiden beblätterten Moospflänzchen zustande, die wir wieder als Gametophyten zu bezeichnen haben, da sie schließlich zur Produktion von Geschlechtszellen befähigt werden. Behandelt man isolierte Stücke der gestielten Sporenkapseln nach Art von Stecklingen, so wachsen aus ihren diploiden Zellen neue beblätterte Moospflänzchen hervor, die aus diploiden Zellen bestehen und dadurch sich ganz und gar von denjenigen unterscheiden, die beim normalen Gang der Entwicklung aus den haploiden Sporen hervorgehen. Diese Mehrbelastung der Zellen mit Kernsubstanzen stört aber die Entwicklung dieser durch Stecklingskultur entstandenen Individuen keineswegs: sie wachsen heran, tragen Geschlechtsorgane, lassen nach Vereinigung der Geschlechtszellen eine neue Sporenkapsel entstehen, die indessen eine doppelt so reiche Chromosomenausstattung in ihren Zellen aufweisen, wie normale Sporenkapseln. Sind diese diploid, so sind die jetzt entstandenen auf ihre

überreiche Chromosomenbelastung hin als tetraploid zu bezeichnen. Wie die diploiden Gametophyten, stellen auch die tetraploiden Sporophyten ein durch das Experiment gewonnenes Novum dar.

Wie verhalten sich die Zellen dieser mit Kernsubstanz überreich ausgestatteten Gewächse? Wiederum hat sich zeigen lassen, daß die Zellen um so größer werden, je reicher ihre Kerne mit Chromosomen ausgestattet sind; ist der Chromosomengehalt doppelt so hoch wie unter normalen Umständen, so sind auch die Zellen ungefähr doppelt so groß wie unter normalen Verhältnissen. Wiederholt man aber den Versuch mit der Zerstückelung tetraploider Sporenkapseln und erneuter Stecklingsbildung, so daß nun vollends tetraploide Gametophyten zustande kommen usw., so werden die Beziehungen, welche die Größenentwicklung der Zellen regeln, und die Einwirkung der Kernausrüstung zum Ausdruck bringen, verwickelter. —

Wir sprachen bisher von einem Minus und einem Plus in der Ausstattung der Zellen mit lebendiger Substanz, bei der es sich aber stets um das Fehlen des ganzen Kernes und um die Mehrbelastung der Zellen mit einem kompletten Kern oder dem Substanzvorrat eines solchen handelte.

Wir ließen uns oben schon daran erinnern, daß der Zellkern kein homogenes Gebilde ist, sondern aus Teilen besteht, die bei seiner Teilung besonders leicht erkennbar sind, und deren Zahl für

die Zellen einer Spezies konstant ist. Wir haben von diesen Kernschleifen oder Chromosomen schon oben wiederholt gesprochen, aber stets nur den kompletten Satz, wie wir ihn bei jeder Kernteilung erscheinen und sich gesetzmäßig bewegen und auf zwei Tochterkerne verteilen sehen, im Sinne gehabt: in bestimmten Phasen der Kernteilung sehen wir die Kernschleifen oder Chromosomen sich der Länge nach halbieren und die Spalthälften auseinander-rücken, so daß sich an den Polen der spindelähnlichen Teilungsfigur je eine Chromosomengruppe zusammenfindet, aus welcher später je ein Tochterkern wird. Da alle Chromosomen sich spalten, und die Hälften jedes einzelnen von ihnen auseinander-rücken, haben beide Tochterkerne dieselbe Chromosomenzahl, — vorausgesetzt, daß der komplizierte Mechanismus dieser Teilungs- und Verteilungsvorgänge ungestört funktioniert. Das scheint nicht immer der Fall zu sein. In seltenen Fällen kann offenbar an einem Chromosom einmal zwar eine Spaltung eintreten, die regelmäßige Verteilung aber, die der Bildung der Tochterkerne vorausgeht, behindert sein, so daß nach dem einen der beiden Kernpole eine Kernschleife weniger abgeschoben wird, als unter normalen Umständen, und zu dem anderen Pole ein Chromosom zuviel gelangt; spielt sich eine solche abnorme Kernteilung ab, so stehen schließlich zwei Schwesterzellen einander gegenüber, welche — diploides Zellenmaterial vorausge-

setzt — $2n-1$ und $2n+1$ Chromosomen (anstatt in beiden Kernen $2n$) aufzuweisen haben.

Eine bedeutungsvolle Aufgabe steht dem Zytologen mit der experimentellen Behandlung der Fragen bevor, wie man künstlich Zellen gewinnen und zur Entwicklung bringen kann, welche abnorme Chromosomenausstattung der hier beschriebenen Art aufweisen, und Kerne zu erzielen vermag, die in ihrer Chromosomenausstattung einem Schachfigurensatz entsprechen, der nicht zwei Türme und zwei Springer usf., sondern nur je einen enthält, während das Gegenüber mit $2n+1$ — in unserem Vergleich mit drei Türmen und drei Springern — zu wirtschaften hat.

Seit Schouten sind dem Zytologen wunderbare Hilfsmittel gegeben, in das Leben tierischer und pflanzlicher Zellen mit feinsten Instrumenten einzugreifen, die Teile einer Zelle zu verlagern, ihre Bestandteile nach Belieben zu verschieben. Wir dürfen auf Instrumente dieser Art, die man als Mikromanipulatoren bezeichnet hat, große Hoffnung setzen, und zweifeln nicht, daß es früher oder später gelingen wird, in den wunderbar geregelten Ablauf einer Kernteilung und in die verwickelten Bewegungserscheinungen der Chromosomen trotz allen Behinderungen, welche die zähe Zellulosewand einer Pflanzenzelle bei solchen Eingriffen bedeutet, mit den Mikromanipulatorwerkzeugen einzugreifen, jedes Chromosom einzeln zu behandeln,

ihm seinen Platz nach Belieben anzuweisen — ohne das Leben der Zelle zu gefährden und ohne die Bildung von Tochterkernen auszuschließen, ja vielleicht sogar ohne eine weitere Entwicklung der mit abnorm gelagerten und abnorm sortierten Chromosomen ausgestatteten Zellen zu hindern. Vielversprechende Anfänge zu solchen kühnen Experimenten liegen bereits vor; mit großer Spannung dürfen wir dem entgegensehen, was in der nächsten Zukunft die Fortsetzung dieser Versuche bringen wird.

Unzweifelhaft werden wir aber auch lernen, auf andere Weise als durch mechanisch-örtliche Behandlung der Kernteilungsfiguren das Schicksal der Chromosomen zu beeinflussen und durch Wirkungsweisen, die uns physikalisch zunächst noch unerklärlich bleiben, wie früher die Wanderung und Verlagerung ganzer Kerne durch Gerassimoffs bereits erwähnte Methoden der Temperaturerniedrigung und der Narkose, so auch die Wanderung und Verlagerung einzelner Kernschleifen zu beeinflussen.

Vorläufig bleiben wir noch für die Behandlung der Frage, was für ein Schicksal denjenigen Zellen bevorsteht, die in ihren Kernen ein überzähliges Chromosom enthalten oder ein Stück ihres Chromosomensatzes vermissen lassen, auf den Zufall angewiesen, der gelegentlich Zellteilungen der hier beschriebenen anomalen Art zustande kom-

men läßt. Unterschätzen wir nicht die große Bedeutung dessen, was die Natur gelegentlich als Zufall in unsere Netze gehen läßt! Wir werden zwar aus solchen Gelegenheitsfunden nichts über die kausalen Zusammenhänge des zytogenetischen Geschehens lernen können und nichts darüber erfahren, was für Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die Chromosomen bei ihrer Wanderung auf diese oder jene Abwege geraten; aber wir lernen aus solchen Zufallsgeschenken der Natur zunächst doch wenigstens, daß solches Geschehen möglich ist, und daß solche abnorm ausgestattete Kerne lebensfähig und entwicklungsfähig bleiben, und daß umfangreiche Organe und ganze Organismen aus Zellen sich entwickeln können, deren Chromosomensortiment abnorm geworden ist. Es sind bereits eine ganze Reihe von Fällen beobachtet und beschrieben worden, in welchen die Zellenkerne überall $2n + 1$ Chromosomen enthalten; Individuen der entsprechend verminderten Chromosomenzahl ($2n - 1$) sind dagegen bisher nur selten beobachtet worden: wir dürfen annehmen, daß die abnorme Erhöhung der Chromosomenzahl für den Fortgang des Lebens und der Entwicklung der Zellen geringeren Schaden bringt, als der Ausfall eines Chromosoms.

Wir versuchen, das soeben Behandelte mit dem in Beziehung zu bringen, was wir vorhin über die Wirkung der Doppelkernigkeit oder doppelten Chromosomenbelastung eines Kerns auf das Grö-

ßenwachstum der Zellen gelernt haben, und fragen, ob vielleicht auch schon ein Mehrbesitz von einem Chromosom ausreicht, um das Wachstum einer Zelle in abnorme Bahnen zu lenken, wie es für die Verdoppelung des ganzen Chromosomensatzes vorhin festzustellen war. An *Crepis*, deren Zellen und Zellenkerne in den letzten Jahren erfolgreich nach den verschiedensten Richtungen hin untersucht worden sind und unsere zytologischen Einsichten in hohem Maße gemehrt haben, hat sich zeigen lassen, daß bei $2n + 1$ -Kombinationen (bei *Crepis tectorum* ist $2n = 8$) nur eine der vier Sorten von Chromosomen imstande ist, eine Vergrößerung der Zelle hervorzurufen; die anderen drei Sorten von Chromosomen der genannten Pflanze rufen nach Schkwarnikow keine Vergrößerung der Zellen hervor; die Chromosomen sind also nicht nur morphologisch unter sich deutlich ungleich, sondern unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Zellenganze und seine Entwicklung. —

Ganz ähnliche Betrachtungen, wie wir sie bisher dem Zellkern gewidmet haben, könnte man gegenüber der anderen Form der in Pflanzenzellen auftretenden lebendigen Substanz, den Plastiden, durchführen. Mit Hilfe ganz ähnlicher Methoden, wie sie uns gestattet haben, einer Pflanzenzelle den Kern zu nehmen oder in einer anderen Zelle Kernsubstanz besonders reichlich anzuhäufen, gelingt es auch, Zellen zu erzeugen, welche abnormerweise

keine Plastiden aufweisen, und neben ihnen solche, welche überreich mit Plastiden ausgestattet sind. —

Anstatt den Fragen nachzugehen, die sich aus solchen Eingriffen in die Konstitution der Zelle ergeben, will ich lieber noch einen anderen Komplex höchst bedeutungsvoller Fragen hier in aller Kürze behandeln.

Alle Eingriffe, die wir bisher an unseren Objekten vorgenommen haben, führten zu einer quantitativen Änderung ihres Besitzes an dieser oder jener Form lebendiger Substanz: Entweder die von uns erzeugten abnormen Zellen hatten ein Zuviel oder ein Zuwenig an Kern oder an Plastidensubstanz. Gelingt es vielleicht auch durch künstliche Eingriffe, qualitative Änderungen an der Zusammensetzung unserer lebendigen Objekte zu erzielen? Wir sprechen hier von den erblich festgelegten Eigentümlichkeiten der Zelle, die durch Millionen von Zellengenerationen unverändert bleiben — unabhängig von allen trophischen Veränderungen, welche unter dem Einfluß wechselnder Außenweltbedingungen die Zellen erfahren können. Welche Mittel stehen uns zur Verfügung, um auch in diesem neuen Sinne Veränderungen des Zellenleibes durchzusetzen?

Der einfachste Weg, der zu solchen Zielen zu führen verspricht, wird der sein, etwas qualitativ Neuartiges durch Mischung verschiedenartiger, verschieden begabter Plasmaanteile zu erzielen. Wenn

es uns gelänge, ein Plasma A und ein Plasma B miteinander zu mischen, so läge mit dem Mischungsprodukt $A + B$ tatsächlich ein Novum vor, und man müßte mit Spannung den Ergebnissen der Versuche entgegensehen, welche das Verhalten eines solchen Fusionsproduktes gegenüber denjenigen Außenweltsbedingungen festzustellen trachten, deren Wirkung auf Protoplasma A wie auf Protoplasma B uns bereits bekannt sind.

Es läßt sich erwarten, daß für den Botaniker auf dem Weg, der zu solchen Forschungszielen führen soll, ernste Schwierigkeiten sich fühlbar machen — vor allem wiederum wegen der Membran, welche allen Pflanzenzellen eigen ist, und die erst beseitigt werden muß, wenn von einer Mischung verschiedenartiger Protoplasten die Rede sein soll.

Gleichwohl sind auch auf diesem Wege bereits vielversprechende Ergebnisse gewonnen worden. An Zellen, die durch besondere Größe, durch besonderen Reichtum an Protoplasma und durch besondere Widerstandsfähigkeit sich auszeichnen, lassen sich Erfolge für unsere Bemühungen wohl erwarten.

Die „Mixochimären“, die Burg eff (1915) an *Phycomyces* erzielte, wurden in der Weise gewonnen, daß Protoplasten entgegengesetzter geschlechtlicher Veranlagung nach Öffnung der derbwandigen Zellen zur Fusion gebracht wurden. In neuester Zeit

hat sich zeigen lassen, daß nicht nur bei plasmareichen Organen zählebiger Pilze, wie sie Burgeff vorlagen, sondern auch bei den empfindlichen Protoplasten höherer Pflanzen überraschende Pfröpfungen heterogener Protoplasten sich erzielen lassen (Michel, 1937). Selbst Pflanzen, die im System weit voneinander entfernte Plätze einnehmen, und deren Protoplasmen keinerlei „Affinität“ durch natürliche Verwandtschaft für sich in Anspruch nehmen dürfen, gelingt eine Verschmelzung. Künftige Forschungen werden zu zeigen haben, was für eine Lebensdauer solche Mischgebilde haben, wie sich die beiden fremden Plasmaarten zueinander verhalten, und welches das Schicksal der Kerne ist, die nach der Ausführung der Pfröpfung zu zweien in dem neuartigen Plasmagebilde liegen. Daß artfremde Zellenkerne miteinander verschmelzen können, lehrt jede Bastardbefruchtung; die Ergebnisse der Bastardforschung lassen uns freilich erwarten, daß haltbare Fusionsprodukte nur bei solchen Plasmapfröpfungen vegetativen Zellenmaterials zu gewinnen sein werden, bei welchem nahe verwandte Plasmaarten miteinander verbunden worden sind.

Ein großes Feld der experimentellen Forschung tut sich vor uns auf, wenn wir die Ergebnisse der Mutationsforschung auf unsere zytologischen Betrachtungen anzuwenden versuchen. Protoplasmen von neuartiger Begabung lassen sich vielleicht nicht

nur durch Mischung verschiedenartiger von der Natur bereits gegebener Plasmaarten gewinnen, sondern auch durch experimentelle Beeinflussung selbständig gebliebener Plasmaeinheiten erreichen. Wir wissen, daß durch Erhöhung der Temperatur, durch Behandlung mit kurzwelligen Strahlen und durch Eingriffe anderer Art an sehr zahlreichen Pflanzen erbliche Neubildungen erzielt werden können, die nicht auf eine Änderung der Chromosomenzahl zurückzuführen sind, sondern eine Änderung der Erbfaktoren anzunehmen uns nötigen. Die Ursachen, welche in großen Aussaaten irgendwelcher Gewächse einen bescheidenen oder einen hohen Promillesatz „mutierter“ Individuen entstehen lassen, sind uns nicht bekannt; wir wissen nur, daß sich durch die genannten Agentien die Bedingungen herstellen lassen, unter welchen am Gefüge des Zellkerns und wohl auch an dem des Protoplasmas und der Plastiden irgendwelche uns noch unbekannte Änderungen eintreten, welche in der Gewebe- und Organbildung der betroffenen Individuen neuartige Charaktere manifest werden lassen; noch viel weniger ist es uns gelungen, die Richtung der Mutation willkürlich zu bestimmen, d. h. bestimmte neuartige Erscheinungen nach unserem Belieben experimentell hervorzurufen; vielmehr müssen wir bei der Anwendung der genannten und anderer Mittel stets auf das gleichzeitige Erscheinen verschiedenartiger Mutationen gefaßt bleiben. Es gehört zu den Aufgaben der Zukunft, zu prüfen, ob

irgendwelche mikroskopisch wahrnehmbare Abweichungen am Zellenleib die Vorgänge der Mutation begleiten oder einleiten.

Vielleicht ist die Annahme erlaubt, daß es am ehesten bei den niederen Pflanzen, z. B. bei leicht kultivierbaren Pilzen, gelingen wird, durch Behandlung mit physikalischen Agentien irgendwelcher Art neue Formen und erbliche Mutationen zu erzielen, an welchen das Neuartige auch durch zellenmorphologisch relativ leicht nachweisbare Veränderungen sich kenntlich macht und vielleicht durch diese verständlich wird. Vielversprechende Untersuchungen liegen auch für diese Teilfragen bereits vor.

Ich habe mit den hier niedergelegten Mitteilungen nur andeutungsweise das Forschungsgebiet einer Arbeitsweise kennzeichnen können, die, von den Forschern der vorigen Generation begründet, gerade den Zytologen von heute mit einer Fülle von Problemen freigebig, ja verschwenderisch überschüttet; durch diese Arbeitsrichtung wird die Zellenmorphologie und die Zellenlehre überhaupt mit einer Fülle von neuartigen Beziehungen zur allgemeinen Physiologie und Pathologie, wie zur experimentellen Vererbungslehre ausgestattet. Mit Spannung müssen wir der weiteren Entwicklung dieser Arbeitsrichtung, dem Ausbau ihrer Probleme und den Ergebnissen entgegensehen, die eine fortschreitend sich immer höher entwickelnde Arbeitstechnik uns in Aussicht stellt.

ZOBODAT - 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: 1937

Band/Volume: [77](#)

Autor(en)/Author(s): Küster Ernst

Artikel/Article: [Über die experimentelle Erforschung der Pflanzenzelle. 1-25](#)