Die

Lokalisation der Atmung in der Zelle.

Von

Max Verworn.

Die operativen Experimente an einzelligen Organismen, welche namentlich in den beiden letzten Dezennien des verflossenen Jahrhunderts in großer Zahl ausgeführt worden sind, haben uns die grundlegenden Anschauungen geliefert über die physiologische Bedeutung und die gegenseitigen Beziehungen der beiden wesentlichen und allgemeinen Bestandteile der Zelle, d. i. des Protoplasmas und des Zellkernes. Die frühere Vorstellung, daß der Zellkern ein "Zentrum" für gewisse Funktionen der Zelle sei, wie etwa das Atemzentrum für die Entstehung der Atembewegungen im Körper der Wirbeltiere, ist allmählich beseitigt worden und auch der ganz unphysiologische Gedanke, daß der Kern allein Träger der "Vererbungsstoffe" sei, beginnt selbst bei seinen hartnäckigsten Vertretern endlich seine ursprüngliche schroffe Form zu verlieren. An die Stelle dieser Vorstellungen ist als Grundlage für alle unsere Ideenbildung über die Bedeutung der beiden Zellbestandteile die Erkenntnis getreten, daß der Zellkern und daß Protoplasma in einem engen Stoffaustausch miteinander stehen und daß beide gleich unentbehrliche Glieder im Stoffwechselgetriebe der Zelle bilden.

Das ist das, was wir experimentell nachweisen können. Der Zellkern kann nicht ohne Protoplasma und das Protoplasma nicht ohne Zellkern auf die Dauer existieren. Beide voneinander isoliert gehen allmählich zu Grunde. Es fragt sich aber nunmehr weiter: welche Prozesse der Stoffwechselkette spielen sich im Protoplasma, welche im Zellkern ab, oder anders ausgedrückt: mit welchen Prozessen ist das Protoplasma, mit welchen der Zellkern an dem Gesamtstoffwechsel und damit an den Lebenserscheinungen der Zelle beteiligt? Die Beantwortung dieser Fragen wird nur sehr langsam erfolgen, da unsere Einblicke in die chemische Konstitution der lebendigen Zelle bisher noch immer äußerst gering sind. Wir können hier nur mühsam und schrittweise vorwärts gelangen.

Der Ausgangspunkt von dem aus man sich von vornherein vielleicht am meisten Aussicht auf Erfolg bei der Inangriffnahme einer tiefergehenden Analyse des Zellstoffwechsels und der Beteiligung der beiden wesentlichen Zellbestandteile aus diesem versprechen kann, dürfte wohl die Atmung sein, denn in ihr haben wir ein verhältnismäßig einfaches und doch allgemeines und daher prinzipiell wichtiges Glied der Stoffwechselkette vor uns. Freilich wäre es falsch, die Atmung, d. h. den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäurebildung als ein isolierbares Glied des Stoffwechsels zu betrachten. Sie ist selbstverständlich untrennbar verknüpft mit den übrigen Gliedern des funktionellen Stoffwechsels. Allein die Atmung erscheint uns vorläufig wegen der Einfachheit der chemischen Ausgangs- und Endprodukte als

der geeignetste Punkt das Problem anzufassen. Spielt sich der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäurebildung im Protoplasma ab oder im Zellkern, oder sind beide daran beteiligt?

Im Jahre 1891 habe ich in meinen Studien über die physiologische Bedeutung des Zellkernes¹) eine kleine Versuchsreihe mitgeteilt, die sich mit der Frage der Lokalisation des Atmungsprozesses in der Zelle beschäftigte. Die Versuche waren folgende. Der Zellkörper des häufig mehr als 1 mm großen heterotrichen Infusoriums Bursaria truncatella wurde unter dem Mikroskop in kernhaltige und kernlose Teilstücke zerschnitten. Beide Arten von Teilstücken wurden dann im hängenden Tropfen der Engelmannschen Gaskammer einem Wasserstoffstrom ausgesetzt und unter dem Mikroskop beobachtet. Bei dieser Anordnung mußte sehr bald Sauerstoffmangel eintreten. Unter gewöhnlichen Verhältnissen, d. h. an der atmosphärischen Luft, bleiben kernlose Teilstücke von Bursaria stundenlang am Leben, kernhaltige können sich wieder vollständig regenerieren. Findet nun im kernlosen Protoplasma noch ebenso Atmung statt wie im kernhaltigen, so mußten beide Arten von Teilstücken nach Verdrängung des Sauerstoffes in kurzer Zeit ersticken. Das war in der Tat der Fall. Nach 5-10 Minuten waren beide Arten von Teilstücken gelähmt und begannen körnig zu zerfallen. In einzelnen Fällen gelang es, wenn der Zerfall noch nicht eingetreten war, durch schnelle Zufuhr von atmosphärischer Luft die Lähmung der Wimperbewegung wieder zu beseitigen und die Teilstücke länger am Leben zu erhalten. Ich zog aus diesen Versuchen den Schluß, "daß kernlose Teilstücke ebenso Sauerstoff verbrauchen wie kernhaltige."

Im Jahre 1899 hat Jacques Loeb2) eine Mitteilung veröffentlicht, in der er offenbar ohne Kenntnis der obigen Versuche eine Ansicht entwickelt und zu begründen sucht, die eine ganz andere Auffassung von den Oxydationsvorgängen in der Zelle zum Ausdruck bringt. Er glaubt die Antwort auf die Frage, warum kernlose Protoplasmamassen einer Zelle stets unrettbar zu Grunde gehen ohne sich zu regenerieren, allein darin zu finden, "daß der Kern für das Zustandekommen der Oxydationsvorgänge nötig sei". Zu dieser Hypothese gelangt er durch folgende Spekulation. Er nimmt an, "daß der Sauerstoff in den Geweben aktiviert wird und daß hierbei bestimmte Stoffe katalytisch tätig sind", die er mit Traube als "Sauerstoffüberträger" bezeichnet. Diese Sauerstoffüberträger sucht Loeb im Zellkern. Es veranlaßt ihn dazu die Tatsache, daß Spitzer 3) aus Gewebeextrakten Stoffe gewinnen konnte, die als Sauerstoffüberträger wirken und zur Gruppe der Nucleoproteïde gehören. Loeb zieht aus dem letzteren Umstande den Schluß, daß sie im Zellkern enthalten sind und daß demnach "der Kern das Oxydationsorgan der lebenden Substanz ist". Als Stütze für diese Hypothese sucht Loeb die Beobachtung zu verwerten, daß bei Sauerstoffentziehung eine Verflüssigung von Zellwänden an gewissen Zellformen zu finden ist. Da auch kernlose Protoplasmamassen vielfach zerfließen, so glaubt er hierfür als Ursache ebenfalls Sauerstoffmangel annehmen zu dürfen. Ueber den Wert derartiger Argumentationen brauche ich mich nicht zu äußern. Es ist aber charakteristisch für eine solche Behandlungsweise physiologischer Probleme, daß Loeb das Absterben kernloser Protoplasma-

¹⁾ MAX VERWORN, "Die physiologische Bedeutung des Zellkerns". In PFLÜGERS Arch. f. d. ges. Physiol., Bd. LI, 1891.

²⁾ JACQUES LOEB, "Warum ist die Regeneration kernloser Protoplasmastücke unmöglich oder erschwert?" In Arch. f. Entwickelungsmechanik, Bd. VIII, 1899.

³⁾ SPITZER, "Die Bedeutung gewisser Nukleoproteïde für die oxydative Leistung der Zelle". In PFLÜGERS Arch., Bd. LXVII, 1897, S. 615.

massen selbst als einen Verflüssigungsvorgang einer vorher festen Substanz auffaßt und daher die Behauptung vertritt, daß der flüssige Aggregatzustand der lebendigen Substanz eine "physikalische Unmöglichkeit" sei. Hier sei nur konstatiert, daß nach den ganz übereinstimmenden Untersuchungen von Berthold, Bütschl, Quncke, Jensen und vielen anderen diese "physikalische Unmöglichkeit" in der lebendigen Substanz dennoch ihre Realisierung gefunden hat und wenn Loeb die sehr eingehende neueste Arbeit über dieses Thema von Rhumbler") in die Hand bekommt, so wird er dort auch den Weg genauer geschildert finden, auf dem die lebendige Substanz das, was seinem Ermessen "physikalisch unmöglich" erschien, doch physikalisch möglich zu machen gewußt hat. Es ist eine sehr bedenkliche Kombination von Argumenten, die Loeb zu dem Ergebnis führt, "daß der Kern das Oxydations-organ der lebenden Substanz sei und daß kernlose Zellstücke nur deshalb nicht im Stande sind zu regenerieren, weil in ihnen die Oxydationstätigkeit auf ein zu geringes Maß heruntergesunken ist."

Schließlich hat Prowazek²) im Jahre 1902 Versuche an Infusorien und Eizellen veröffentlicht, in denen er durch Färbungen mit Neutralrot zu dem Ergebnis gelangte, daß auch im kernlosen Protoplasma noch ein Verbrauch von Sauerstoff stattfindet. Die farblose Form des Neutralrot geht bei Anwesenheit von freiem Sauerstoff leicht in die rot gefärbte Oxyform über. Im Körper von Paramaecium und Colpidium färben sich gewisse Einschlüsse des Protoplasmas (Entoplasmakörnchen) rot, während der Kern unter gewöhnlichen Verhältnissen ungefärbt bleibt. Es wurden nun diese Infusorien zunächst mit Neutralrot gefärbt und dann in ausgekochtes Wasser gebracht, wo sie allmählich erstickten. Dabei trat eine Entfärbung der Entoplasmakörnchen ein. Wurde dann, ehe das Protoplasma abgestorben war, wieder Sauerstoff zugelassen, so färbten sich die Entoplasmakörnchen von neuem. Ebenso verhielten sich kernlose Teilstücke von Colpidium. An Seeigeleiern ergaben sich entsprechende Resultate. Prowazek kommt daher zu dem Schluß, "daß sowohl an apoplasmatischen (Granula) wie auch an autoplasmatischen (Colpidium) Protoplasmastrukturen in einer charakteristischen Färbung sich kennzeichnende Oxydationen nach vorhergegangenen Reduktionen (Paramaecium) eintreten können, obschon der Kern schon entfernt oder abgestorben war".

In den letzten Jahren ist von mir und meinen Schülern eine Reihe von Untersuchungen ausgeführt worden, die sich vielfach mit der Frage nach der Rolle des Sauerstoffes bei der Tätigkeit des Nervensystemes beschäftigen. Bei dieser Gelegenheit wurde eine Methode von uns benutzt, die es gegestattet, ein lebendiges Objekt in einer völlig sauerstofffreien Atmosphäre von reinem Luftstickstoff zu untersuchen. Diese Methode, die von H. von Baeyer 3) genauer beschrieben ist, erfüllt mit peinlichster Genauigkeit alle Bedingungen, die man beim Arbeiten mit einem an sich vollkommen indifferenten und nur durch Abwesenheit von Sauerstoff wirkenden Medium stellen muß. Es erschien mir daher wünschenswert, Versuche, wie ich sie im Jahre 1891 an Bursaria im Wasserstoffstrom ausgeführt hatte, mit der neuen Methode zu wiederholen, besonders da ich mich gewisser Bedenken gegen die Verwendung von

I) Rhumbler, "Der Aggregatzustand und die physikalischen Besonderheiten des lebenden Zellinhaltes". In Zeitschrift f. allgem. Physiologie, Bd. I, 1902 und Bd. II, 1903.

²⁾ Prowazek, "Studien zur Biologie der Zelle". In Zeitschr. f. allgem. Physiologie, Bd. II, 1903.

³⁾ H. von Baeyer, "Das Sauerstoffbedürfnis des Nerven". In Zeitschr. f. allgem. Physiologie, Bd. II, 1903.

566

Leben erhalten werden können.

Wasserstoff für alle Versuche, in denen es auf absolute Reinheit und Indifferenz der Gase ankommt, namentlich so empfindlichen Objekten gegenüber, nie recht habe erwehren können. Ich benutzte daher die Gelegenheit, als uns von meinem verehrten Kollegen Prof. Rhumbler ein größeres Kulturgefäß mit Spirostomum ambiguum zur Verfügung gestellt wurde, neue Versuche in der genannten Richtung

an diesem für physiologische Zwecke durch seine Größe so besonders geeigneten Infusorium anzustellen.

An dem bis 2 mm langen fadenförmigen Spirostomum mit seinem deutlich sichtbaren rosenkranzförmigen Zellkern lassen sich leicht vivisektorische Operationen ausführen. Für die Gewinnung kernloser Teilstücke eignet sich besonders der hintere Körperpol mit dem blasenförmigen Teil der Vakuole. Bis in diesen Teil des Zellkörpers reichen die Glieder des Zellkernes nicht hinab. Schneidet man ihn unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung mit einem scharfen Instrument, wie ich es für mikrovivisektorische Operationen aus einer geeigneten Nadel geschliffen seit langen Jahren benutze, ab, so kann man sicher sein, kernlose Zellstücke zu erhalten. Die Kernlosigkeit läßt sich in den meisten Fällen sofort direkt erkennen. Besteht noch ein Zweifel, so erledigt sich derselbe später beim körnigen Zerfall des Zellstückes, bei dem die Kernglieder stets dem Zerfall widerstehen und sich in dem losen Körnerhaufen, den das Protoplasma bildet, durch ihr starkes Lichtbrechungsvermögen auf den ersten Blick erkennen lassen. Die Operation gelingt bei einiger Uebung und Geduld trotz des rastlosen Umherschwimmens und trotz des bei jeder Berührung erfolgenden Zusammenzuckens des Zellkörpers doch leicht in jeder beabsichtigten Schnittführung. Es ist aber besonders darauf zu achten, daß der Schnitt scharf senkrecht von oben nach unten ausgeführt wird, was wesentlich von der Güte des Instrumentes abhängt. Sind die Schnittflächen des Teilstückes nicht scharf und runden sie sich nicht sogleich vollständig ab, sondern hängen schleimige Fäden und Fetzen von zerfallenem Protoplasma daran, so ist die Prognose für die Lebensdauer des Stückes schlecht. Gewöhnlich unterliegen solche Zellstücke sehr bald dem körnigen Zerfall, während gut abgeschnittene kernlose Teilstücke leicht mehrere Stunden am

Es wurden nun für die Versuche immer eine Anzahl kernloser und kernhaltiger Teilstücke von verschiedener Größe mit intakten Individuen zusammen in einem möglichst kleinen hängenden Tropfen an einem Deckglas in eine einfache aus Glas geblasene Gaskammer gebracht. Das Deckglas wurde auf der oben mit einem geschliffenen Rande versehenen runden Oeffnung der Gaskammer mit Paraffin aufgeklebt und die Schlußfläche ringsherum sorgfältig mit dem gleichen Material abgedichtet. Die Gaskammer besaß zwei einander gegenüberliegende Ansatztuben für die Glasröhren bezw. Schläuche, durch die das Gas (Luft oder Stickstoff) zu und abgeleitet werden konnte. Die Gase wurden aus Gasometern genommen, die derartig mit der Gaskammer in Verbindung standen, daß stets ein momentaner Wechsel in der Durchströmung mit beiden Gasen erfolgen konnte. Der Stickstoff, obwohl vorher bereits im Gasometer vollkommen von den letzten Spuren von Sauerstoff befreit, wurde vor dem Eintritt in die Gaskammer nochmals durch zwei Waschflaschen mit dem zur Sauerstoffabsorption benutzten Gemisch von 1 Liter Kaliumnatriumtartrat (30 proz. Lösung) auf 200 ccm Ferrosulfat (40 proz. Lösung) und 200 ccm Kalilauge (60 proz. Lösung) hindurchgeleitet. Die Verbindungen waren überall durch Glasröhren und nur an den Uebergangsstellen durch kurze Schlauchstückchen gebildet. Um ein Einströmen von Luft aus der Ausflußöffnung der Gaskammer zu verhindern, war diese ebenfalls mit einer Waschflasche verbunden, durch welche die ausströmenden Gasblasen entwichen. Bei jedem Versuch mit Stickstoff wurde nach Beschickung der Gaskammer mit den Objekten erst einige Minuten lang ein

starker Stickstoffstrom durch die Kammer getrieben, der so schnell wie möglich allen Sauerstoff aus dem System verdrängte.

Da die Experimente eine gleichzeitige ununterbrochene mikroskopische Beobachtung einerseits und eine stets momentane Bedienung der Gasometer, sowie Beobachtung der Zeiten andererseits erforderten, so hat mir Herr Dr. Pütter, der in jener Zeit ebenfalls mit Gasen an Spirostomum arbeitete, freundlichst bei den Versuchen assistiert, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen besten Dank sagen möchte.

Auf diese Weise wurde eine Reihe von Versuchen angestellt, von denen ich nur einige Beispiele in Form des Versuchsprotokolls hier mitteilen möchte.

Versuch I. Im Tropfen befinden sich ein größeres kernloses Teilstück, ein größeres und ein kleineres kernhaltiges und ein intaktes Individuum. Es wird Stickstoff durch die Kammer geleitet.

Nach 3 Minuten zerfließt das kleinere kernhaltige Teilstück. Die Wimperbewegung in den anderen ist verlangsamt.

Nach 4 Minuten stirbt das intakte Individuum.

Nach 6 Minuten zerfließt das größere kernhaltige Teilstück. Die Wimperbewegung in dem kernlosen Teilstück steht still.

Nach 7 Minuten zerfällt das kernlose Teilstück.

Versuch II. Im Tropfen befinden sich ein etwas größeres kernloses und ein etwas kleineres kernhaltiges Teilstück des Hinterendes. Es wird Stickstoff durch die Kammer gelassen.

Nach 3 Minuten beginnt das kernlose Stück langsam zu zerfallen, das kernhaltige zeigt verlangsamte Wimperbewegung. Sofort Zufuhr von atmosphärischer Luft.

Nach 3¹/₂ Minuten schon völlige Abrundung des im Zerfall begriffenen Stückes und vollkommene Erholung. Wimpertätigkeit in beiden Stücken wieder lebhaft. Luft strömt andauernd durch die Kammer.

Nach 10 Minuten Luft wieder durch Stickstoff verdrängt.

Nach 11¹/₂ Minuten zerfällt das kernlose Stück.

Nach 12¹/₂ Minuten zerfällt das kernhaltige Stück.

Versuch III. Im Tropfen befinden sich ein kernloses Teilstück, drei kernhaltige Stücke und ein ganzes Individuum. Das ganze System ist bei Beginn des Versuches noch mit Luft gefüllt. Die Luft wird durch Stickstoff verdrängt.

Nach 12 Minuten zerfällt ein kernhaltiges Stück.

Nach 17 Minuten zerfällt das ganze Spirostomum. Die anderen Stücke zeigen verlangsamte Wimperbewegung.

Nach 22 Minuten ist das kernlose Teilstück vollständig gelähmt. Es wird jetzt Luft durchgelassen.

Nach 22¹/₂ Minuten völlige Erholung des kernlosen und der kernhaltigen Teilstücke. Sie schwimmen wieder lebhaft umher.

Nach 25 Minuten die Luft schnell wieder durch Stickstoff verdrängt.

Nach 28¹/₂ Minuten Wimperbewegung des kernlosen Teilstückes wieder vollkommen gelähmt. Es wird wieder Luft zugelassen.

Nach 29 Minuten vollständige Erholung des kernlosen Teilstückes sowie der kernhaltigen Stücke. Nach 31½ Minuten Luft wieder durch Stickstoff verdrängt.

Nach 34¹/₂ Minuten fast völliger Stillstand der Wimperbewegung bei allen Teilstücken. Es wird wieder Luft zugelassen.

Nach 35 Minuten wieder Erholung der Wimperbewegung in allen Stücken.

Nach 46 Minuten Luft wieder durch Stickstoff verdrängt.

Nach 54 Minuten fast völliger Stillstand der Wimperbewegung in allen Teilstücken. Es wird wieder Luft zugelassen.'

Nach 55 Minuten wieder vollständige Erholung. Die Teilstücke schwimmen wieder frei umher. Nach 58 Minuten Luft durch Stickstoff verdrängt.

Nach 70 Minuten nur noch schwache Bewegung der Wimpern in den Teilstücken. Es wird wieder Luft durchgespült. Sofort erfolgt Erholung.

Die Teilstücke bleiben jetzt in dem kleinen hängenden Tropfen der Kammer in Luft stehen.

Nach 145 Minuten zerfällt das kernlose Teilstück. Die beiden kernhaltigen zeigen nur noch schwache Wimperbewegung. Der Versuch wird abgebrochen.

Alle übrigen Versuche ergaben einen völlig übereinstimmenden Erfolg. Es variierten nur die Zeiten, innerhalb deren Lähmung bezw. der Tod eintrat, je nach der Größe des Tropfens und der Schnelligkeit, mit der alle atmosphärische Luft aus dem System entfernt wurde. Auch starben gelegentlich schon bald nach Beginn des Versuches einzelne Teilstücke ab, bald kernhaltige, bald kernlose, indem sie (vermutlich infolge unscharfer Schnittführung bei der Operation) von der Operationsstelle her zerfielen. Das passierte in Stickstoff sowohl wie in Luft. Im übrigen war kein Unterschied in dem Verhalten der kernlosen und kernhaltigen Teilstücke im Stickstoff bei dem gleichen Versuch zu bemerken. Beide Arten von Teilstücken verhielten sich gegen die Erstickung und die Luftzufuhr durchaus übereinstimmend. Die Wimperbewegung wurde bei beiden im Stickstoff nach kurzer Zeit gelähmt und durch Zusatz von Luft sofort wieder hergestellt. Stets verlief die Erstickung bei beiden Arten von Teilstücken so, daß dieselben zuerst sich ein wenig kontrahierten, die Kontraktilität ihrer Myoïdfäden verloren und ein bräunlich trübes Aussehen annahmen, etwas später dann ihre Wimperbewegung nach und nach verlangsamten bis zum völligen Stillstand, und schließlich, wenn nicht Luft zugeführt wurde, körnig zerfielen. Kurz das Verhalten der kernhaltigen und kernlosen Teilstücke bei Sauerstoffmangel war in jeder Beziehung übereinstimmend und ebenso auch übereinstimmend mit dem Verhalten intakter Individuen.

Aus diesen Tatsachen ergeben sich einige wichtige Schlüsse für die Frage nach der Lokalisation der Atmung in der Zelle.

Die Tatsache der Erstickung kernloser Zellstücke in einem sauerstofffreien Medium und vor allem die Tatsache der Erholung derselben bei erneuter Zufuhr von atmosphärischer Luft zeigt unzweideutig, daß im Protoplasma ein Sauerstoffverbrauch stattfindet.

Da wir uns ferner die Wimperbewegung wie alle Kontraktionsbewegungen (Protoplasmabewegung, Muskelbewegung) nicht ohne eine Zersetzung der lebendigen Substanz (Dissimilation) d. h. also auch nicht ohne Kohlensäurebildung sich abspielend denken dürfen, so ergibt sich aus der Tatsache

des Verschwindens der Wimpertätigkeit bei der Erstickung und der Wiederkehr derselben bei erneuter Sauerstoffzufuhr der unvermeidliche Schluß, daß auch eine Kohlensäurebildung im Protoplasma der Zelle erfolgt.

Aus der Tatsache, daß sowohl bei der Erstickung wie bei der erneuten Zufuhr von Sauerstoff die kernhaltigen Teilstücke der Zelle sich genau so verhalten wie die kernlosen, daß sie vor allem keine längere Lebensdauer bei Sauerstoffentziehung zeigen wie die letzteren, geht schließlich einwandsfrei hervor, daß der Zellkern weder ein Oxydationsorgan noch ein Sauerstoffdepot der Zelle sein kann, sondern daß die Atmung des Protoplasmas vom Zellkern unabhängig erfolgt.

Soweit die Ergebnisse der Versuche. Damit ist zunächst die Lokalisation des Atmungsprozesses im Protoplasma unabhängig vom Zellkern erwiesen. Was die Versuche nicht direkt entscheiden, ist die Frage, ob etwa im Zellkern ebenso wie im Protoplasma eine Atmung stattfindet. Indessen hätte die Annahme, daß letzteres der Fall sei, doch wenig Wahrscheinlichkeit für sich. Eine positive Stütze läßt sich überhaupt nicht für eine solche Annahme finden. Vielmehr spricht schon die zentrale Lage des Kernes in der Zelle von vornherein sehr gegen die Lokalisation intensiverer Oxydationsvorgänge in diesem Zellbestandteil. Bei den Erstickungsversuchen an Spirostomum sind auch Veränderungen im Aussehen des Zellkernes nie zu beobachten, während die Beschaffenheit des Protoplasmas sich schon äußerlich tiefgehend verändert. Nach dem Zerfall des Protoplasmas bleibt der Zellkern in der Stickstoffatmosphäre ebenfalls noch stundenlang ohne sichtbare Veränderung in dem Körnerhaufen erhalten. Schließlich hat Demoor') an Tradescantiazellen sowohl wie bei Leukocyten gefunden, daß die Lebenserscheinungen des Zellkernes (Teilung, Bewegung) in einer reinen Wasserstoffatmosphäre ungehindert weiter verlaufen, nachdem schon längst alle Tätigkeit des Protoplasmas gelähmt ist, so daß z.B. Kernteilungen ohne entsprechende Protoplasmateilungen zu stande kommen. Wenn diese Tatsachen auch nicht einen direkten Beweis gegen die Annahme einer Atmung im Zellkern enthalten, so machen sie dieselbe doch sehr unwahrscheinlich. Sicher ist, daß im Protoplasma der Zelle Atmungsprozesse stattfinden. Der Zellkern hat höchst wahrscheinlich überhaupt keine Atmung.

¹⁾ Demoor, "Contribution à l'étude de la physiologie de la cellule (Indépendance fonctionelle du protoplasma et du noyau"). In Archives de Biologie, T. XIII, 1894, Liège 1894.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: <u>Denkschriften der medicinisch-naturwissenschaftlichen Gesellschaft</u> zu Jena

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: 11

Autor(en)/Author(s): Verworn Max

Artikel/Article: Die Lokalisation der Atmung in der Zelle. 561-569