

Mittheilungen.

8. W. Pfeffer: Ueber Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen.

Eingegangen am 12. Februar 1889.

Um über Oxydationswirkungen in der Zelle und deren Organen Aufschluss zu erhalten, suchte ich nach direkt sichtbaren Reaktionen, welche als Folge von Oxydationswirkungen in der lebenden Zelle auftreten. Zu diesem Zwecke studirte ich die Einwirkung von Wasserstoffsperoxyd auf lebende Zellen und ermittelte so, dass Wasserstoffsperoxyd in genügender Verdünnung ohne Schädigung durch das Protoplasma in den Zellsaft zu gelangen vermag und in letzterem bei manchen Pflanzen bleibende Färbungen oder Entfärbungen erzielt.

Taucht man z. B. Wurzeln von *Vicia faba* in 0,1 bis 1 procentige Lösung von Wasserstoffsperoxyd, so färben sich dieselben ziemlich schnell rothbraun, indem das im Zellsaft enthaltene Chromogen oxydirt wird. Eine ähnliche Färbung erfährt der Zellsaft der Wurzelhaare von *Trianea bogotensis*, welche schon mit 0,01 procentigem Wasserstoffsperoxyd unter Deckglas schnell reagiren. In den Staubfädenhaaren von *Tradescantia* wirkt dagegen Wasserstoffdioxyd entfärbend, indem der blaue Farbstoff oxydirt wird. Während ich darauf verzichte an dieser Stelle andere ähnlich reagirende Pflanzen anzuführen, muss ich aber hervorheben, dass eindringendes Wasserstoffsperoxyd in lebenden Zellen weder alle blauen oder rothen Farbstoffe zu oxydiren, noch in jedem Falle eine Färbung in farblosem Zellsaft hervorzurufen vermag. Letzteres ist theilweise auch in Pflanzen zutreffend, welche sich mit dem Tode an der Luft dunkel färben, so z. B. bei *Monotropia*, in deren lebenden Zellen Wasserstoffsperoxyd nur geringe oder gar keine Färbung im Zellsaft erzielt. Gleiches gilt, besonders im Stengel von *Faba*, theilweise für die Zellen des Markes und Rindenparenchym, die mit dem Tode ebenfalls sich tief schwärzen, während die Epidermis und die subepidermale Zelllage im Stengel von *Faba* stark durch Wasserstoffsperoxyd gefärbt werden. Diese Differenzen rühren daher, dass er-

fahrungsgemäss die Oxydationswirkung des Wasserstoffdioxyds durch die Gegenwart von mancherlei Stoffen sehr gesteigert wird, und wie z. B. Indigo oder Methylenblau erst nach Zusatz von einer Spur Eisen durch reines Wasserstoffsperoxyd entfärbt werden, kann auch Gegenwart oder Mangel gewisser vermittelnder Stoffe bewirken, dass derselbe Farbstoff in der einen Zelle oxydirt wird, in der anderen aber intakt bleibt.

Den hemmenden Einfluss, welchen z. B. die Cuticula auf Eindringen von Wasserstoffsperoxyd hat, sowie den schädlichen und tödtlichen Einfluss dieses Stoffs mit gesteigerter Einwirkung, übergehe ich hier und hebe nur noch hervor, dass die fraglichen Färbungen oder Entfärbungen für uns zunächst nur die sichtbaren Zeichen einer Oxydationswirkung sind, und dieserhalb die chemische Qualität der reagirenden Körper vernachlässigt werden kann. Deshalb beschreibe ich auch nicht weiter den Reaktionsverlauf und die Ausscheidungen, welche theilweise die Oxydationsprodukte im Zellsaft erfahren.

Von Wichtigkeit ist, dass die Oxydationen ohne Schädigung ausführbar sind. In den genannten Pflanzen dauert nämlich während der Färbung resp. Entfärbung die Protoplasmaströmung unverändert fort, und nach dem Abwaschen des Wasserstoffdioxyds constatirte ich z. B. normales Wachsen der mit diesem Reagens behandelten jungen Wurzeln und Stengel von *Vicia faba*. Weiter erhalten sich Färbungen, resp. Entfärbungen unverändert durch Tage und Wochen. Es tritt also in den entfärbten Zellen von *Tradescantia* weder Reduktion, noch Neubildung von Farbstoff ein. Ferner wird das oxydirte Chromogen von *Faba* u. s. w. weder reducirt noch consumirt, und ist die Oxydation in ausgewachsenen Zellen durchgeführt, so wird neues Chromogen nicht wieder in diesen Zellen gebildet. Aus diesen empirischen Thatsachen ist aber zu entnehmen, dass die Chromogene (ebenso die Farbstoffe) wie Sekrete im Zellsaft verharren und nicht fortwährend, in der Athmung oder in anderen Stoffwechselforgängen, verbraucht und wieder gebildet werden.

Da aber schon minimale Mengen von Wasserstoffdioxyd eine sichtbare Reaktion in unseren Indikatorpflanzen hervorrufen, so ist das Unterbleiben einer solchen in den normal vegetirenden Pflanzen ein sicherer Beweis, dass nie Wasserstoffsperoxyd in dem Zellsaft entsteht oder in diesen gelangt. Denn selbst minimale Produktion müsste bald auffällig werden, weil ja selbst die schwächste künstlich erzielte Oxydationswirkung sich erhält. Thatsächlich aber bleibt der Zellsaft in unseren Pflanzen bis an's Lebensende ungefärbt, resp. gefärbt, und in den Epidermiszellen des Stengels von *Faba* ist bei Abschluss der sommerlichen Vegetationsperiode nichts von Färbung im Zellsaft zu bemerken.

Mit dem Wasserstoffsperoxyd sind aber auch Ozon und nascirender

Sauerstoff (überhaupt alle stärkeren Oxydationswirkungen) ausgeschlossen, denn jenen gegenüber ist Wasserstoffdioxyd ein nur schwaches Oxydationsmittel. Mit Ozon gelang es nicht sichtbare Oxydationen im Zellsaft lebender Zellen zu erzielen, da selbst bei sehr grosser Verdünnung durch Ozon schnell Tödtung herbeigeführt wurde. Die mitgetheilten Thatsachen lehren dagegen, dass Wasserstoffsperoxyd, natürlich nur in genügender Verdünnung, im Protoplasma vorhanden sein kann, ohne dessen Lebensthätigkeit zu stören.

Normal kommt aber Wasserstoffsperoxyd und ebenso noch wirksamere aktivirter Sauerstoff (oder Sauerstoffverbindungen) im Protoplasma nicht vor. Dieses folgt zwar nicht aus dem schon mitgetheilten Verhalten des Zellsaftes, das im Protoplasma entstehenden, aber hier sogleich wieder consumirten aktivirten Sauerstoff nicht anzeigen kann, wohl aber aus der Nichtoxydation des im Protoplasmakörper imbibirten Cyanins. Wie ich früher nachwies¹⁾, kann man das lebensthätige Protoplasma mancher Pflanzen, so das der Wurzelhaare von *Trianea bogotensis*, durch Cyanin (Chinolinblau) schön blaufärben. Diese Färbung blässt freilich in Wasser allmählich ab, indem Cyanin, ebenso wie das durch Wasserstoffsperoxyd nicht oxydable Methylviolett, nachweislich allmählich exosmirt. In beiden Fällen ist indess Färbung noch nach 24 stündigem Aufenthalt in Wasser (im Dunklen) zu bemerken, und dieses genügt um zu zeigen, dass Cyanin im Protoplasma keinen Oxydationswirkungen ausgesetzt ist. Denn schon sehr geringe Mengen von zugeführtem Wasserstoffsperoxyd entfärben durch Oxydation des Cyanins das mit diesem gefärbte und fortdauernd strömende Protoplasma augenblicklich und unwiderruflich, und die absolut und relativ so minimale Quantität des gespeicherten Cyanins würde in sehr kurzer Zeit verschwinden müssen, wenn sich die Athmungsoxydation gegen diesen Farbstoff richtete. Ohne dieses hier weiter zu diskutieren, will ich nur darauf hinweisen, dass gut athmende Zellen innerhalb 24 Stunden bis 6 pCt. ihres eigenen Gewichtes an Kohlensäure produciren können, und diese im Protoplasmakörper, also nur in einem Bruchtheil des Zellenlumens erzeugt wird.

Cyanin, das auch SCHÖNBEIN als Reagens für aktivirten Sauerstoff empfahl, ist ein so leicht oxydabler Körper, dass die wässrige Lösung bei Beleuchtung schon durch den passiven Sauerstoff entfärbt wird. Dennoch wird das Cyanin im Protoplasma im Dunklen nicht oxydirt, und dass nicht etwa dieser Erfolg durch einen Schutz zu Stande kommt, welchen leichter oxydable Stoffe gewähren, ist ebenfalls zu zeigen. Solche schützende Körper würden doch in jedem Falle durch Wasserstoffdioxyd oxydirt werden, aber auch nach eben vorausgegangenem Einwirkung dieses Reagens verhält sich das Protoplasma

1) Unters. a. d. Botan. Institut in Tübingen. Bd. II, p. 259.

ebenso gegen Cyanin wie zuvor. Auch noch einige andere Erfahrungen führen zu dem gleichen Schlusse, dass Cyanin im Protoplasma nicht etwa durch leichter verbrennliche Stoffe vor Oxydation geschützt wird. Ferner werde ich in der ausführlichen Abhandlung zeigen, dass Cyanin auch eine nur auf bestimmte Organe des Protoplasmas lokalisirte Oxydationswirkung anzeigen würde. Denn wenn auch, wie ich früher zeigte, Cyanin vorwiegend in den Mikrosomen und anderen bestimmten Theilen des Plasmakörpers gespeichert wird, so handelt es sich doch nur um eine relative Anhäufung, und bei künstlich herbeigeführter lokalisirter Oxydation wandert deshalb Cyanin aus den gefärbten Partien, gemäss den Diffusionsgesetzen, nachweislich zu den jeweiligen Verbrauchsstätten.

Aus den angeführten Erfahrungen ergibt sich der für das Verständniss von Oxydationsvorgängen wichtige Schluss, dass innerhalb der lebensthätigen Zelle kein aktivirter Sauerstoff entsteht, und dass ferner mit der Imbibition in dem Protoplasmakörper keine allgemeine Oxydationswirkungen geboten sind, die so, wie etwa eine durch ausreichende Erwärmung gesteigerte Molekularbewegung, zur Verbrennung aller imbibirten, genügend oxydablen Stoffe durch den passiven Sauerstoff führen. Letzterer kann aber thatsächlich innerhalb der Zelle vorhanden sein, wie schon früher von mir ¹⁾ angeführte Argumente darthun. Am augenscheinlichsten lehren das Vordringen verathlimbaren Sauerstoffs bis in den Zellsaft die gelegentlich in dem Zellsaft von Algen gefundenen Räderthierchen, welche nachweislich mit Entziehung des Sauerstoffs ihre Bewegung einstellen, diese aber bei Zutritt von Sauerstoff innerhalb des Zellsafts wieder erlangen. Zudem haben wir schon gehört, dass sogar das viel energischer oxydirende Wasserstoffdioxyd in dem normal thätigen Protoplasma bestehen kann.

Wenn trotz des Vorhandenseins von molekularem Sauerstoff im Innern der lebenden Zelle Chromogene sich intakt erhalten, die mit dem Tode sich färben, so lehrt dieses, dass diese Chromogene unter den im Zellsaft gebotenen Bedingungen den passiven Sauerstoff nicht zu spalten vermögen, und ich habe schon auf solche Chromogene (*Monotropia*, *Faba* z. Th.) hingewiesen, die in der lebenden Zelle nicht einmal durch Wasserstoffsperoxyd verändert werden. Bedingt wird solches durch die räumliche Trennung von Körpern, welche mit dem Tode der Zellen sich mischen, also im Princip durch die gleichen Ursachen, welche veranlassen, dass das Amygdalin erst mit dem Zerquetschen der bitteren Mandeln zersetzt wird. Thatsächlich hat schon SCHÖNBEIN ²⁾ gezeigt, dass aus *Boletus luridus*, dessen austretender Saft die Bruchflächen des Pilzes bläut, sich ein Chromogen isoliren

1) Unters. a. d. botan. Institut in Tübingen. Bd. I, p. 684.

2) Verhandl. d. naturf. Gesellschaft in Basel 1857, Bd. 1, p. 339.

lässt, welches nicht für sich, wohl aber nach Zusatz verschiedener Pflanzensäfte, durch den passiven Sauerstoff blau gefärbt wird, und analog liegen die Verhältnisse in *Faba*, *Monotropa* und anderen an der Luft nach dem Tode sich dunkel färbenden Pflanzen.

Die ausgepressten Säfte vieler Pflanzen haben überhaupt, wie SCHÖNBEIN¹⁾ lehrte, die Fähigkeit den neutralen Sauerstoff zu aktiviren (Reaktionen mit Guajac, Jodkali mit Stärkekleister, auch mit Cyanin) und gleiches geht aus den von WURSTER²⁾ mit anderen Reagentien in jüngerer Zeit angestellten Versuchen hervor. Diese Reaktionen aber wurden ausnahmslos durch die aus Zellen getretenen Säfte erzielt, in welchen die im Leben räumlich getrennten Stoffe sich gemischt hatten. Auf Grund solcher postmortalen Erfahrungen ist in keinem Falle ein Rückschluss auf die lebende Zelle in unseren Fragen gestattet, und die mitgetheilten Experimente zeigen in der That schlagend, dass Aktivirung von Sauerstoff in der lebenden Zelle nicht zu Stande kommt.

Gleichviel wie diese Aktivirungen in ausgepressten Säften zu Stande kommen, jedenfalls drängen sie die Frage auf, ob nicht etwa lebende Zellen durch Sekrete, oder überhaupt irgendwie, extracellulare Oxydationen von Bedeutung erzielen. Jedenfalls kann in Pflanzengewebe von *Faba* u. s. w. diffusionsfähiger aktivirter Sauerstoff nicht in merklicher Menge extracellular vorhanden sein, denn dieser würde mit dem Eindringen in die Zellen sich ebenso wie zugeführtes Wasserstoffsperoxyd bemerklich machen. Weit eher wird man solche extracellulare Oxydationen für Schimmelpilze vermuthen, doch gaben Versuche mit *Penicillium glaucum* ein negatives Resultat.

In diesen Versuchen wurde *Penicillium glaucum* auf einer Lösung von Glykose mit anorganischen Nährsalzen in Reincultur erzogen, und, nachdem eine jugendliche Pilzdecke entstanden, wurde die Nährlösung durch die Reagentien ersetzt. Als solche dienten Cyanin (theilweise mit etwas Eisenzusatz), Indigocarmin mit ganz wenig Eisensulfat und Methylenblau ebenfalls mit dem geringen Eisenzusatz³⁾, welche so verdünnt angewandt wurden, dass eben nur eine leichte Färbung der Flüssigkeitsschicht zu bemerken war, auf welche *Penicillium* zu schwimmen kam. Diese Flüssigkeitsschicht wurde zudem möglichst reducirt, so dass z. B. bei einer Pilzdecke von erheblicher Flächenausdehnung ungefähr nur 0,02 mg Cyanin oder Methylenblau sich in der ganzen Flüssigkeitsmenge befanden. Im Verlaufe von 24 und auch 48 Stunden waren im Dunklen keine merklichen Entfärbungen zu konstatiren, und ebenso kam keine Bläuung zu Stande, als stark verdünnte Jodkalilösung mit etwas Stärkekleister und einer Spur Eisen-

1) Journal f. prakt. Chemie 1868, Bd. 105, p. 198.

2) Bericht d. chem. Gesellschaft 1886, Bd. 19, p. 3195 u. s. w.

3) Indigo und Methylenblaulösung werden bei Gegenwart minimaler Mengen eines Eisensalzes durch etwas Wasserstoffsperoxyd sofort entfärbt.

salz die Reagensflüssigkeit bildete. Ebenso fiel das Resultat negativ aus, als der Reagensflüssigkeit ausserdem etwas Glykose hinzugefügt war. Demgemäss übt jugendliches und lebhaft athmendes *Penicillium* keine merklichen Oxydationswirkungen gegen die genannten, zum Theil sehr empfindlichen Reagentien aus. Von diesen dringen Indigo und Jodkali nicht in die lebende Zelle, während Cyanin in die Zelle gelangt und somit auch anzeigt, dass, ebenso wie bei *Trianea*, dieser Farbstoff im Protoplasma von *Penicillium glaucum* nicht oxydirt wird.

Bei Verwendung älterer Culturen von *Penicillium* wurde freilich ein sehr allmähliches Entfärben, namentlich der eisenhaltigen Indigolösung, erhalten. Da aber unter diesen Umständen ältere Zellen während der Versuchszeit absterben, und ausgetretene Pflanzensäfte ebenfalls solche Entfärbung erzielen können, muss es fraglich bleiben, ob dieser Umstand allein oder noch andere Faktoren den Erfolg bedingten.

Entscheidend aber ist, dass jugendliche und lebhaft athmende Kulturen unseres Pilzes, insbesondere auch gegen Cyanin, sich ebenso verhalten wie höhere Pflanzen, und demgemäss die bezüglich der Oxydationsursachen in lebenden Zellen zu ziehenden Schlussfolgerungen auch für unsere Schimmelpilze, also wohl als allgemeine Regel, gelten. Ausnahmen sind natürlich zulässig, und es ist wohl möglich, dass solche für die hier nicht in den Beobachtungskreis gezogenen gährthätigen Organismen gelten, denn so gut wie diesen theilweise als spezifische Eigenheit extracellulare Reduktionswirkung zukommt¹⁾, könnten auch wohl ausserhalb der Zelle Oxydationsvorgänge sich abspielen. Ebenso ist nicht ausgeschlossen, dass vermöge spezifischer Eigenschaften, oder unter besonderen Kulturbedingungen, manche Pflanzen, z. B. durch Sekrete, auch extracellulare Oxydationswirkungen von Bedeutung erzielen.

Beiläufig mag hier noch bemerkt werden, dass der unter Kohlen säurezersetzung producirte Sauerstoff nicht aktivirt ist. Denn einmal zeigt dieses die Nichtfärbung in den chlorophyllführenden und den diese umgebenden Zellen von *Faba* u. s. w. an, und ausserdem kam keine Reaktion zu Stande als viel *Spirogyra* in etwas verdünnte eisenhaltige Indigolösung oder in verdünnte Jodkalistärke lösung kam und bei Beleuchtung lebhaft Sauerstoff producirt.

Die mitgetheilten Erfahrungen gestatten eine engere Umrahmung der Bedingungen, unter welchen sich die Athmungsoxydation innerhalb der lebendigen Zelle vollzieht. Zunächst ist mit dem Mangel des aktiven Sauerstoffs auch nachgewiesen, dass dieser weder als primäre Ursache, noch secundär, d. h. durch Entstehung im Oxydationsprozess, eine Rolle in der physiologischen Verbrennung in der Zelle spielt.

1) Vgl. PFEFFER, Pflanzenphysiologie. Bd. I, p. 367.

Ausserdem hat sich ergeben, dass das Protoplasma imbibirte oxydable Körper, sei es durch auflockernde Bewegungszustände oder in irgend anderer Weise, nicht allgemein dem Eingriff des Sauerstoffs zugänglich macht. Denn wenn unter solchen Umständen das leicht oxydable Cyanin intakt bleibt, können unmöglich beliebige andere, ungleich schwieriger oxydable Körper einfach durch feine Vertheilung im Protoplasma der Verbrennung anheimfallen. Damit ist freilich nicht ausgeschlossen, dass spezifische Bewegungszustände einzelne Körper zu einem solchen Mittönen bringen, welches den Eingriff des Sauerstoffs in für sich bradoxydable Stoffe herbeiführt, indess kann solches unmöglich für das ganze Heer organischer Körper gelten, welche die Athmung von Schimmelpilzen zu unterhalten vermögen. Ist zu diesem Zwecke aber für die Mehrzahl solcher Körper eine zuvorige Metamorphose nöthig, so ist nur um so wahrscheinlicher, dass nur durch die Einbeziehung in den Stoffwechsel die nothwendigen Bedingungen für die physiologische Verbrennung geschaffen werden. Dann aber ist es möglich, doch nicht nothwendig, dass die letzten Akte der Oxydation bei Benutzung verschiedener Körper auch in stofflicher Hinsicht identisch verlaufen, denn so gut wie ein Pilz aus den verschiedensten organischen Nährstoffen Zellhaut, Eiweisskörper u. s. w. in gleicher Qualität erzeugt, ist auch denkbar, dass in einer bestimmten Pflanze immer derselbe Körper zu Athmungszwecken producirt wird. Bei alleiniger Kenntniss der Ausgangs- und Endprodukte wissen wir überhaupt von den manigfachen Umsetzungen in der Zelle ebenso wenig etwas, wie von den manigfachen Procedures, die in einer Fabrik vollführt werden, von der ein ausserhalb stehender nur die Einführung von Theer und die Ausfuhr von Farbstoffen und anderen Produkten beobachtet.

Kann ich auch die volle causale Aufhellung der Athmungsoxydation nicht geben, so ist doch die erzielte Präzisierung des Rahmens, innerhalb dessen sich die physiologische Verbrennung vollziehen muss, ein bemerkenswerther Fortschritt, und damit eröffnet sich auch die Möglichkeit auf empirischen Boden weiter in den Chemismus und Mechanismus der bezüglichen Fragen stufenweise einzudringen. Mit dieser Präzisierung sind auch verschiedene in einer früheren Besprechung der Athmungsursachen¹⁾ erwähnte Möglichkeiten, empirisch beseitigt. Im übrigen entspricht diese frühere Diskussion auch der heutigen Sachlage, und ich unterlasse an dieser Stelle ein weiteres Eingehen auf die Causalität der Athmung, mit Hinweis auf die citirte Abhandlung und die ausführliche Mittheilung der hier kurz behandelten Untersuchungen, welche demnächst in den Abhandlungen der Kgl. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften erscheinen wird.

1) Unters. a. d. bot. Institut in Tübingen, Bd. I, 1885, p. 673.

Betont mag hier nochmals werden, dass die Ausgiebigkeit der Athmung von den fortdauernden in der lebenden Zelle entwickelten Oxydationsbedingungen abhängt, die bei Ueberschuss von Sauerstoff fortdauernd ihre volle Befriedigung finden. Dieserhalb ruft auch vermehrte Zufuhr von freiem Sauerstoff (eventuell auch von Wasserstoff-superoxyd) keine vermehrte Kohlensäurebildung hervor. Wie freilich REINKE¹⁾ in der Forderung, dass zur Fortdauer der Athmung die Thätigkeit der lebendigen Zelle nöthig ist (ein Postulat, das in analoger Weise ebenso für die brennende Kerze gilt), einen dunklen Vitalismus erblicken kann, bleibt mir unverständlich. Die Erwägungen, welche REINKE weiterhin an postmortale Kohlensäureproduktion knüpft, haben keine Bedeutung, da die Voraussetzung, dass solche Kohlensäurebildung gleichen Ursachen, wie in der Athmung, entspringt, irrig ist, wie schon JOHANNSEN²⁾ darthat. In der ausführlichen Abhandlung werde ich auch die Belege bringen, dass verschiedene Pflanzen nach dem Tode, selbst nach längerer Zeit, gar keine Kohlensäure produciren. Uebrigens sind postmortale Oxydationen natürlich nie bezweifelt³⁾, und in diesem Aufsatz ist auch auf Oxydationen von Chromogenen hingewiesen, welche überhaupt erst mit dem Tode eintreten, ohne dass freilich damit gesagt sein soll, dass dabei Kohlensäure entsteht.

9. R. Hartig: Bemerkungen zu A. Wieler's Abhandlung: Ueber den Ort der Wasserleitung im Holzkörper etc.

Eingegangen am 12. Februar 1889.

Im Heft 6 der Berichte hatte ich auf die Ergebnisse meiner früheren Untersuchungen über die Wasserleitung im Splintholze der Bäume hingewiesen, indem ich mich auf wörtliche Wiedergabe des früher Veröffentlichten beschränkte und durch wörtliche Citation der WIELER'schen Untersuchungsergebnisse die erfreuliche Uebereinstimmung unserer auf verschiedenem Wege gefundenen Ergebnisse constatirte. Es hatte mich hierzu die WIELER'sche Bemerkung veranlasst, dass aus

1) Diese Berichte 1887, Bd. 5, p. 216.

2) Botan. Zeitung 1887, p. 763. Vgl. auch DETMER, ebenda 1888, p. 43.

3) Z. B. PFEFFER, Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 351.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: [7](#)

Autor(en)/Author(s): Pfeffer Wilhelm [Friedrich Philipp]

Artikel/Article: [Ueber Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen 82-89](#)