54. Arthur Meyer: Notiz über eine die supramaximalen Tötungszeiten betreffende Gesetzmässigkeit.

Eingegangen am 14. Juli 1906.¹⁾

Die Anschauung, dass die Zelle einer Maschine vergleichbar sei, ist schon von DESCARTES vorbereitet worden. Die weitere Bestimmung, dass die Zelle als eine Flüssigkeitsmaschine, als ein maschinenähnliches, flüssiges materielles System zu betrachten sei, ist vorzüglich durch BERTHOLD (1886²⁾ vertreten worden, welcher den ganzen Protoplasten als eine Emulsion von mehr oder weniger flüssiger Konsistenz auffasst. Die Flüssigkeitsnatur der Bestandteile der Maschine erklärt die Wachstumsfähigkeit und Teilungsfähigkeit des ganzen Systems. Einen weiteren Fortschritt in der Betrachtungsweise der Zelle finde ich in der Betonung der kolloidalen Natur der Flüssigkeiten, welche die wesentlichen Teile dieser Maschine aufbauen. Ich habe diese Anschauung schon 1895³⁾ in folgender Weise gelegentlich einer allgemeinen Erörterung über die Natur der Protoplasten ausgesprochen: „Die Fähigkeit dieser Flüssigkeiten, welche wohl häufig Eiweisskörper enthalten mögen, bei Wasserentziehung ihre Form beizubehalten und dichter zu werden, macht es mir wahrscheinlich, dass sie wesentlich so aufzufassen sind wie die amylosige Wasserlösung, also als mehr oder weniger zähe Lösungen von relativ wenig Wasser in einem Körper, dessen verflüssigter Zustand sich nicht mit Wasser mischt.“

Ich betrachte also diese Art der kolloidalen Lösungen organischer Verbindungen als die wichtigsten Bausteine des Flüssigkeitssystems, welches wir Protoplast nennen und will sie zum Unterschiede von anderen kolloidalen Gebilden als Hydrohyle bezeichnen. Es wird vielleicht jetzt,⁴⁾ wo die Kolloide vorzüglich infolge der Einführung der ultramikroskopischen Untersuchungsmethode vielfach untersucht werden, nicht ohne Interesse sein, wenn ich meine schon

1) Vorgetragen in der Generalversammlung der Deutschen Botanischen Gesellschaft in Marburg am 6. Juni 1906.

2) BERTHOLD, Studien über Protoplasma-mechanik, Leipzig 1886.

3) ARTHUR MEYER, Untersuchungen über die Stärkekörner 1895, S. 308. Übrigens hat schon GRAHAM 1862 von den Kolloiden gesagt: „Aber andernteils scheint ihr eigentümlicher physikalischer Aggregatzustand wie auch ihre chemische Indifferenz gerade für Substanzen erforderlich zu sein, welche an den organischen Vorgängen lebender Wesen Anteil nehmen.“

4) Man siehe ARTHUR MÜLLER, Die Theorie der Kolloide, Leipzig 1903, und ZSIGMONDY, Zur Erkenntnis der Kolloide, FISCHER, Jena 1905.

1895 ausgesprochene Ansicht über die kolloidalen Lösungen der Amylose referiere und zugleich in diesem Referate den Begriff des Hydrohyls klarlege. Meiner Meinung nach ist die Substanz der gewöhnlichen Stärkekörner, die Amylose, wie das Amylodextrin, krystallisierbar. Bei 138° bildet die Amylose mit Wasser eine „homogene“ kolloidale Lösung, in der die Moleküle sicher grösser sind als die Moleküle des keine Siedepunktserhöhung bewirkenden Amylodextrins (ARTHUR MEYER 1895, S. 35). Aus dieser Lösung scheiden sich nun beim Erkalten kleine zähflüssige Tröpfchen einer Lösung von Wasser in Amylose ab, die ebenso beim Behandeln von Stärkekörnern mit kochendem Wasser aus den Trichiten der Stärkekörner direkt entstehen. Die Lösung von Wasser in der krystallisierbaren Amylose nenne ich das Hydrohyl der Amylose. Sowohl die Lösung der Amylose bei 138° als dieses Hydrohyl sind einphasige Gebilde. Ich mache also besonders darauf aufmerksam, dass die Hydrohyletröpfchen homogen sind. ZSIGMONDY sagt (S. 92): „Derartige Strukturen (feinwabige Mikrostruktur, Schaumzellenstruktur), aber noch viel feiner und vielleicht anders gestaltet, müssen wir wohl in jedem Hydrogeleiteilchen annehmen, selbst wenn es kleiner als die Wellenlänge des Lichtes ist.“ Verdünnt man die bei 138° entstehende Lösung mit viel heissem Wasser oder schüttelt man Kleister mit heissem Wasser, so erhält man eine Aufschwemmung feinsten Hydrohyletröpfchen verschiedener Grösse, die teilweise durch feinporige Filter hindurchgehen und mikroskopisch nicht mehr wahrnehmbar sind, wohl aber Opalisieren dieser „Stärkelösung“ veranlassen. Es ist diese kolloidale Lösung ein zweiphasiges Gebilde. Nach der gebräuchlichen Nomenklatur könnte man sowohl die Stärkelösung bei 138° als auch diese Hydrohyleaufschwemmung als Hydrosol bezeichnen.

Wenn man eine bei 138° hergestellte Amyloselösung erkalten lässt, so scheiden sich Hydrohyletröpfchen aus und verkleben miteinander, fliessen wohl auch teilweise zusammen, so dass eine poröse, eventuell netzförmige Masse aus Hydrohyletröpfchen und Fädchen entsteht. Die gleiche Struktur besitzt der Kleister. Nach der gebräuchlichen Nomenklatur würde man den Kleister, der ein zweiphasiges Gebilde ist, als Hydrogel bezeichnen; aber es ist wohl auch das Hydrohyl ein Hydrogel genannt worden.

Beim Trocknen verliert das Hydrohyl sein Wasser und geht in einen hornartigen Zustand über.

Nach meiner Meinung bestehen nun die protoplasmatischen und alloplasmatischen Organe des Protoplasten¹⁾ durchaus aus solchen zäh-

1) Siehe ARTHUR MEYER, Die Plasmaverbindungen und die Membranen von *Volvox globator*, *aureus* und *tertius*, mit Rücksicht auf die thierische Zelle. Botanische Zeitung 1896, S. 212.

flüssigen Hydrohylen, also mikroskopisch nicht strukturierten Lösungen von Wasser in krystallisierbaren Kolloiden (z. B. Eiweissstoffen), die in einem Organe zu mehreren, stofflich verschiedenen, nebeneinander liegen können, ihrer Natur nach zu einer Mischung unfähig, eventuell in morphologisch verschiedener Weise den Organen des Protoplasten die wesentliche, teilweise mikroskopisch sichtbare Struktur gebend.

In dieser aus einphasigen, homogenen Hydrohylen aufgebauten Grundmasse, dem eigentlichen organisierten Teile der Organe, liegen dann in Vakuolen verschiedenster Grösse ergastische Gebilde verschiedenster Art in fester, zähflüssiger oder leichtflüssiger Form.

Ich habe diese meine Anschauung über die physikalische Natur der Zelle deshalb hier erwähnt, weil ich vermute, dass die von mir aufgefundene, nachher zu beschreibende Gesetzmässigkeit mit der kolloidalen Natur der Organgrundmasse zusammenhängt. Ich glaube, dass eine genauere Untersuchung der Hydrohyle noch mancherlei Wichtiges für das Verständnis der Zelle zutage fördern wird.

Die Zellmaschine hat eine unbegrenzte Arbeitsdauer, wenn sie unter günstigen Einflüssen von Stoff- und Kraftzufuhr steht und den durch ihren Bau gegebenen Bewegungsrhythmus fortgesetzt durchführen kann. Der Protoplast ist dann unsterblich. Kann ein Teil dieses Rhythmus nicht durchlaufen werden, so verfällt die Maschine nach einer gewissen Zeit. Kann z. B. die Kernteilung nicht eintreten, so lebt der Protoplast nicht ewig. Bei dem Zellteilungsprozess und Kernteilungsprozess spielen sich Verjüngungsvorgänge ab, mit denen vielleicht eine Anpassung der sich energisch umlagernden Maschinenteile an die neuen Verhältnisse ihrer Umgebung verbunden sind. Wir sehen vermutlich in dem komplizierten Vorgange der indirekten Kernteilung den Verjüngungsvorgang am deutlichsten in Erscheinung treten, nicht einen Vorgang, der dazu führen soll, eine besonders gleichmässige Teilung des Kernes durchzuführen.¹⁾

Wie gesagt, wird der sich nicht teilende Protoplast nicht alt; er stirbt wahrscheinlich aus inneren Ursachen. Die Zellen der Pflanzen werden wohl kaum älter als 100 Jahre. Allerdings sollen Samen 140 Jahre lebend geblieben sein. DE CANDOLLE²⁾ sagt darüber: „On a vu en Virginie des graines de *Nelumbium jaune* lever après avoir été enfouies pendant un siècle (LYELL, *Second visit to the United States* II, S. 328), et M. R. BROWN m'a dit avoir

1) Ähnlich wie mit dem Befruchtungsprozess sehr häufig der Vermehrungsprozess der Individuen verkoppelt ist, so ist anscheinend mit dem Verjüngungsprozess immer die Kernteilung oder Protoplastenteilung (oft auch die Zellteilung) verkoppelt.

2) DE CANDOLLE, *Géographie botanique* 1855, S. 542.

fait germer des graines de *Nelumbium speciosum*, extraites par lui de l'herbier de SLOANE; c'est à-dire ayant moins 150 ans“.

Man sollte meinen, dass man in den Stämmen der Bäume, die ja sehr alt werden können, sehr alte Zellen finden könnte, aber SCHORLER¹⁾ konnte doch nur 80 Jahre alte (diese bei *Sorbus torminalis*) beobachten. Die Ganglienzellen des Menschen, welche sich nicht teilen, werden auch niemals älter als 100 und einige Jahre.²⁾

Diese maximale Lebensdauer einer Zelle kann bekanntermassen durch viele Momente verkürzt werden; die Zelle kann vorzeitig sterben. Man kann die Ursachen, welche zum frühzeitigen Tode führen, zum Zwecke ihres Studiums in einige Kategorien teilen. Der Tod kann eintreten: 1. durch Mangel eines für die betreffende Zelle nötigen Nährstoffes oder einer nötigen Nährenergie (z. B. Licht bestimmter Wellenlänge) oder inframinimaler Zufuhr dieser Dinge (z. B. einer zur Erzeugung einer bestimmten Temperatur nicht genügenden Energiemenge); 2. durch Zufuhr von Nährstoffen und Nährenergie in supramaximaler Konzentration oder Intensität; (z. B. zu starke Zufuhr von Energie, die eine zu hohe Temperatur des Protoplasten erzeugt); 3. durch Zufuhr von Nichtnährenergien oder Nichtnährstoffen, welche in bestimmter Konzentration oder Intensität Störungen im Betriebe der Zelle bewirken. Für letztere Stoffe könnte man vielleicht den Namen Zellgifte reservieren. Es ist mir selbstverständlich bewusst, dass die Feststellung, was Nährstoff, was Nährenergie einer bestimmten Zellspezies genannt werden muss, nicht leicht ist; aber es wird dem Physiologen doch nicht erspart werden können, sich über diese Frage Klarheit zu verschaffen, wenn er die Mechanik des Lebensprozesses erforschen will. Das Studium der Wirkung der Tötungsmittel auf die Zelle ist geeignet, um Einblick in die Arbeitsweise der reizbaren Zellmaschine zu gewähren, wie uns in besonders instruktiver Weise die schönen Untersuchungen von HANS MEYER und von E. OVERTON über die Prinzipien der narkotischen Wirkung der Stoffe zeigen. In der folgenden Mitteilung glaube ich einen kleinen Beitrag zur Beantwortung der Frage, wie ist die tödliche Wirkung supramaximaler Temperaturen auf die Zelle zu verstehen, zu geben.

Als Objekte für die Untersuchung dienten Bakteriensporen. Diese Zellen bieten für die Untersuchung der Wirkung supra-

1) SCHORLER, Untersuchungen über die Zellkerne in den stärkeführenden Zellen der Hölzer, Jena 1883, Dissertation.

2) Die Lebensdauer des Menschenindividuums hängt vielleicht von der Lebensdauer der sich nicht teilenden Zellen ab, die in seinem Körper vorkommen. Das Individuum einer *Sagusia gigantea* hat dagegen eigentlich eine unbegrenzte Lebensdauer. Es würde noch älter als 4000 Jahre werden können, wenn nicht Zufälligkeiten seinem Leben ein Ende machen würden.

maximaler Temperaturen ein relativ gleichmässiges, präzise reagierendes Material. Sie sind stets von Wasser durchtränkt und befinden sich doch, auch wenn sie in Wasser liegen, in einem gleichmässigen Ruhezustande, aus dem sie allerdings bald erwachen, wenn man dem Wasser Spuren von geeigneten Nährstoffen zusetzt. In dem Ruhezustand können die von mir benutzten Sporen mehr als zehn Jahre lebend bleiben, auch wenn sie feucht gehalten werden. Die benutzten Bakteriensporen besitzen dabei die für unsere Versuche unerlässlich nötige Eigenschaft auch im durchfeuchteten Zustande äusserst widerstandsfähig gegen höhere Temperaturen zu sein. Trockene Sporen würden sich schon deshalb weniger gut für derartige Versuche eignen, weil der Wassergehalt der einzelnen getrockneten Sporen nicht sicher gleichartig zu machen sein würde.

Ich will übrigens nebenbei bemerken, dass es mir unwahrscheinlich dünkt, dass die oft sehr grosse Steigerung der Widerstandsfähigkeit der Sporen und Samen gegen supramaximale Temperaturen durch das Austrocknen eine Folge der geringeren Reaktionsfähigkeit der den Protoplasten zusammensetzenden Stoffe in konzentrierteren Lösungen ist; ich glaube vielmehr, dass es sich dabei auch um eine komplizierte Reizwirkung handelt, deren Mechanismus wir nicht durchschauen.

Ich¹⁾ habe nun eine Reihe von Sporen verschiedener Spezies der Gattung *Bacillus* zuerst auf die Zeit hin untersuchen lassen, die zur Abtötung der in Wasser liegenden Sporen bei zwei bestimmten supramaximalen Temperaturen, bei 100 und 80°, nötig ist. Ferner sind auch die Wachstumsmaxima der Temperatur für die gleichen Spezies untersucht worden. Die Resultate dieser Untersuchungen teile ich in den beiden Tabellen auf Seite 345 mit. Aus den Resultaten der Untersuchung liess sich folgendes schliessen:

1. Die Zeit, welche zur Abtötung der Sporen einer Spezies bei einer bestimmten supramaximalen Temperatur nötig ist, ist für diese Spezies innerhalb der Grenzen der individuellen Variation konstant, für verschiedene Spezies aber sehr verschieden. Sie variiert, wie die Tabelle zeigt, bei den untersuchten Spezies zwischen 2 Minuten und 20 Stunden.

2. Die Tötungsgeschwindigkeit wächst stets mit der Temperatur.

3. Das Verhältnis der Tötungszeiten bei 100 und 80° ist bei verschiedenen Spezies sehr verschieden. Es schwankt in der Tabelle zwischen 1:25 und 1:200.

1) Man siehe: OSKAR BLAU, Über die Temperaturmaxima der Sporenkeimung und der Sporenbildung, sowie die supramaximalen Tötungszeiten der Sporen der Bakterien, auch derjenigen mit hohen Temperaturminima. Dissertation (Marburg) 1905; ferner die dort zitierten Arbeiten von ELLIS und NEIDE.

	I. Maximale Sporentötungszeiten			II. Temperaturmaxima für das Oidienwachstum
	100° C. Minuten	80° C. Stunden	Verhältnis	
<i>Bacillus Ellenbachensis</i> . . .	2—2,5	7—7,5	1 : 200	35—40
„ <i>simplex</i>	3,5—4	2,75—3	1 : 46	40—45
„ <i>fusiformis</i>	4—4,5	10—10,5	1 : 147	40—45
„ <i>ruminatus</i>	4—5	9—10	1 : 127	45—50
„ <i>tumescens</i>	4—4,5	5—6	1 : 78	45—50
„ <i>cohaerens</i>	5—5 ¹ / ₂	8—8,5	1 : 94	35—40
„ <i>carotarum</i>	5,5—6	9,5—10	1 : 102	40—45
„ <i>Petasites</i>	6—7	7—8	1 : 63	45—50
„ <i>pumilus</i>	6,5—7,5	7—7,5	1 : 62	45—50
„ <i>asterosporus</i>	7—7,5	4,5—5	1 : 39	35—40
„ <i>sphaericus</i>	8—9	9—10	1 : 67	40—45
„ <i>mycoides</i>	9—10	7,5—8	1 : 49	30—35
„ <i>graveolens</i>	10—10,5	10—11	1 : 61	45—50
„ <i>alvei</i>	11—12	10—11	1 : 55	45—50
„ <i>parvus</i>	14—15	19—20	1 : 79	50—55
„ <i>teres</i>	14—15	15—16	1 : 64	35—40
„ <i>Megatherium</i>	15—16	16—17	1 : 64	45—50
„ <i>silvaticus</i>	17—18	15—16	1 : 53	45—50
„ <i>lacticola</i>	19—20	15—16	1 : 48	40—45
„ <i>lactis</i>	34—35	29—30	1 : 50	40—45
„ <i>robur</i>	34—35	25—27	1 : 45	35—40
„ <i>subtilis</i>	175—180	74—75	1 : 25	55—60
„ <i>robustus</i>	450—480	—	—	65—67
„ <i>calidus</i>	450—480	—	—	70—73
„ <i>cylindricus</i>	1140—1200	—	—	73—74
„ <i>tostus</i>	1140—1200	—	—	74—75

4. Sporen von Spezies mit relativ gleichem Wachstumsmaximum haben oft sehr verschiedene Sporentötungszeiten. So z. B.

Ellenbachensis bei 100° 2—2,5', *teres* 14—15', *robur* 34—35'.

Aus diesen Erfahrungen ergibt sich für die Frage nach der Ursache des Absterbens der Sporen bei höherer Temperatur und den Grad der Widerstandsfähigkeit der Sporen gegen die Temperaturen folgendes:

A. Mit der Membranbeschaffenheit der Sporen hat die Widerstandsfähigkeit und deren Verschiedenartigkeit nichts zu tun; denn

Spezies mit gleicher morphologischer Membranbeschaffenheit besitzen sehr ungleichartige Tötungszeiten.

B. Die Protoplasten der verschiedenen Spezies haben danach eine konstante, durch die Tötungszeit zu messende, verschiedenartige und oft sehr grosse Widerstandsfähigkeit gegen höhere Temperaturen, deren innere Ursache eine andere zu sein scheint als die, welche der Beschleunigung des Wachstums durch die Temperatursteigerung zu Grunde liegt.

C. Die innere Ursache für die tötende Wirkung einer bestimmten höheren Temperatur, an welcher die Wärme angreift, kann nicht ganz gleich bei allen Spezies sein, das zeigt sich eben einmal aus der verschiedenen Tötungszeit bei 100° und aus der Verschiedenartigkeit des Quotienten $\frac{\text{Tötungszeit } 80^{\circ}}{\text{Tötungszeit } 100^{\circ}}$. Man kann sich vorstellen, es sei die innere Ursache für das Sterben durch höhere Temperatur eine ganz verschiedene, es würden in den verschiedenen Kolloidmaschinen ganz verschiedene morphologische Elemente oder ganz verschiedene chemische oder physikalische Vorgänge direkt betroffen, deren Zerstörung oder Störung den Tod herbeiführten, oder man könnte sich auch denken, dass überall ein gleiches nur graduell verschiedenes Moment direkt beeinflusst und die direkte Ursache des Todes würde.

Für letztere Meinung spricht nun die Tatsache, dass bei allen Spezies die Tötungszeit stets um so kürzer wird, je höher die Temperatur liegt.

E. Man könnte daran denken, dass das in Betracht kommende gleiche Moment die Beschleunigung der Reaktionsgeschwindigkeit irgend eines der chemischen Prozesse sei, die sich fortgesetzt in der lebenden Zelle abspielen; aber dagegen spricht die Tatsache, dass das kleinste der beobachteten Zahlenverhältnisse zwischen der Tötungszeit bei 80° $1:25$ ist und dass selbst das Verhältnis $1:147$ gefunden wurde. Denn da eine Erhöhung der Temperatur um 10° bei chemischen Reaktionen ungefähr eine Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit bewirkt, genauer gesagt nach den vorliegenden physikalisch-chemischen Erfahrungen das Verhältnis zwischen den Tötungszeiten bei 100° und bei 80° nur $1:4$ bis $1:9$ betragen könnte, wenn es sich um die Beschleunigung eines chemischen Prozesses handelte; so kann die Ursache der Tötung nicht in der Beschleunigung der chemischen Prozesse durch Wärme gesucht werden.

F. Für die Gleichheit der inneren Todesursache würde es nun weiter sprechen, wenn die Verkürzung der Tötungszeit beim Anwachsen der Temperatur um eine bestimmte Höhe bei allen Spezies ein und demselben Gesetze folgen würde. Dieser Gedanke bestimmte

mich der Frage nach einer derartigen Gesetzmässigkeit nachzugehen.

Die einzige etwas genauere und brauchbare Anzahl über die Tötungszeiten bei verschiedenen supramaximalen Temperaturen, welche die Literatur uns bietet, ist folgende, welche von GLOBIG herrührt.

GLOBIG (Zeitschrift für Hygiene 1881, Bd. III, S. 322) fand für seinen roten Kartoffelbazillus folgende Tötungszeiten. Die Erhitzung fand im übersättigten Wasserdampfe statt:

100°	330' bis 360'
109—113	mehr als 45'
113—116	25'
112—123	10'
126	3'
127	2'
130	sofort.

Diese Zahlen lassen erkennen, dass die Tötungszeit vielleicht annähernd in einer geometrischen Progression mit der Temperatur wächst. Wenn wir aus dem ersten Gliede (a) der Progression, welches wir für 100° auf 350' ansetzen wollen, und aus dem zweiten, welches wir für 110° zu 50' annehmen wollen, q der Progression $= \frac{1}{7}$ berechnen, so können wir die übrigen Glieder nach der Formel $t = aq^{n-1}$ finden. Wir erhalten dann folgende Zahlen

100	= 350'
110	= 50'
120	= 7,1'
130	= 1'
140	= $\frac{1}{7}$ '

Um diese Frage weiter zu prüfen wurden nun eine Reihe von Versuchen mit 2 Spezies, die sich besonders gut dazu eigneten, unter meiner Leitung von meinem Assistenten Herrn BREDEMANN sorgfältigst angestellt, mit *Bacillus subtilis* und *Bacillus robur*.

Es handelte sich also darum Sporen der beiden Spezies bei den Temperaturen 110, 120, 130, 140° zu halten und zu bestimmen, nach welcher Zeit Abtötung der Sporen eingetreten sei.

Als Wärmeapparat benutzte ich einen mit Paraffin gefüllten Aluminiumtopf, der aussen durch Asbest isoliert war und in welchem durch einen Rührer des PEFER'schen Thermostaten das geschmolzene Paraffin fortgesetzt gemischt wurde. Das Paraffin wurde auf die gewünschte Temperatur erhitzt und mit eingestellter Flamme dann

eine Zeitlang genau auf der gewünschten Temperatur erhalten. Ein kurzes ganz in das Paraffin eingetauchtes, von der Reichsanstalt geprüftes Thermometer diente zur Bestimmung der Temperatur des Paraffins.

Die Sporen wurden mit Wasser aufgeschwemmt und in Kapillaren eingefüllt, welche beiderseits zugeschmolzen wurden.

Um zu sehen, nach wieviel Zeit die Durchwärmung der Wand und des Inhaltes dieser Kapillaren beendet sei, wurden verschiedene Kapillaren mit Harnstoff angefüllt und in das auf 140° erwärmte Paraffinbad eingetaucht. Es ergaben 12 Versuche, dass es im Mittel 5,13'' dauerte, bis der ganze Harnstoff einer Kapillare geschmolzen war. Die 12 Versuche ergaben folgende Einzelresultate:

4,5''; 4,5''; 5''; 4''; 5''; 5''; 7''; 5''; 6,5''; 5,5''; 5''; 5''.

Es schwankten also die Resultate zwischen 4 und 7 Sekunden, betrug meist 5'', im Mittel wie gesagt 5,13''.

Die Verschiedenheit der Zahlen ist wohl hauptsächlich durch die etwas verschiedene Wandstärke der Kapillaren verursacht worden.

Die Sporen, welche zu den Versuchen benutzt wurden, wurden verschiedenen, mindestens 3 Monate alten Kulturen entnommen. Es war also das Sporenmaterial sehr annähernd, aber nicht völlig gleich für die verschiedenen Versuche.

Je eine mit aufgeschwemmtem Sporenmaterial gefüllte, zugeschmolzene Kapillare wurde, an einem sehr feinen Messingdraht befestigt, in das auf die gewünschte Temperatur erwärmte Paraffinbad eingetaucht. Die Zeit, welche die Kapillare im Paraffinbade verblieb, wurde mittels eines Chronoskopes genau bestimmt. Sofort nach dem Herausnehmen aus dem Bade wurde die Kapillare in ein 25—40 ccm einer passenden sterilen Nährlösung (Nährlösung I)¹⁾ enthaltendes Kölbchen geworfen und mittels einer sterilen Pinzette zerbrochen. Das Kölbchen wurde dann gelinde erwärmt, um den flüssigen Inhalt der Röhrenbruchstücke durch die in den zugeschmolzenen Enden der Kapillaren sitzende Luft auszutreiben, und dann 14 Tage lang bei 28° in den Brutschrank gestellt. Nach 14 Tagen wurden die Kulturen daraufhin, ob Wachstum eingetreten sei, genau untersucht.

Auch wurden mit den Kulturen, welche aufgegangen waren, Agarröhrchen geimpft und die entstandenen Kulturen dann genau auf ihre Reinheit untersucht, um zu vermeiden, dass Verunreinigungen der Kulturen mit anderen Bakterien zu Täuschungen führten.

Als Fingerzeig für die Ausführung der Versuche wurden aus

1) Siehe ARTHUR MEYER Praktikum der botanischen Bakterienkunde GUSTAV FISCHER, Jena, 1903, S. 24.

den Tötungszeiten bei 80° und 100°, die bekannt waren, die Tötungszeiten bei höheren Temperaturen berechnet.

Für *Bacillus subtilis* hatte BLAU eine zwischen 175' und 180' liegende Tötungszeit für 100°, für 80° eine zwischen 74 und 75 Stunden liegende gefunden. Ich nahm danach die Zahlen

$$\begin{aligned} 100^\circ &= 180' \\ 80^\circ &= 4500' \end{aligned}$$

an, die eigentlich etwas zu hoch sind, denn sie könnten vielleicht auch in Wirklichkeit in der Mitte liegen, also vielleicht sein

$$\begin{aligned} 100^\circ &= 177',5 \\ 80^\circ &= 4470' \end{aligned}$$

oder z. B. für 100' noch mehr nach 175' zu.

Für *Bacillus robur* fand BLAU 100° zwischen 34 und 35'; 80° zwischen 25 und 27 Stunden. Ich habe der Berechnung die Zahl

$$\begin{aligned} 100^\circ &= 34',5 \\ 80^\circ &= 1560' \end{aligned}$$

zu Grunde gelegt.

Für *Bacillus subtilis* berechnen sich danach folgende Zahlen, da $q = 0,2$ aus folgender Berechnung hervorgeht:

$$\begin{aligned} a &= 4500' (80^\circ) \\ t &= 180' (100^\circ) \end{aligned}$$

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{t}{a}} = \sqrt[2]{\frac{180}{4500}} = 0,2$$

Berechnete Tötungszeiten bei

$$\begin{aligned} 80^\circ &= 4500' \\ 90^\circ &= 900' \\ 100^\circ &= 180' \\ 110^\circ &= 36' \\ 120^\circ &= 7,2' = 432'' \\ 130^\circ &= 1,4' = 84'' \\ 140^\circ &= 0,28' = 17'' \\ 150^\circ &= 0,056' = 3,4'' \end{aligned}$$

Zieht man die Durchwärmungsdauer von 5'' hinzu, so stellen sich die kleineren Zeiten, nach welchen in der Kapillare die Tötung eintritt, folgendermassen:

$$\begin{aligned} 120^\circ &= 437'' \\ 130^\circ &= 89'' \\ 140^\circ &= 22'' \\ 150^\circ &= 8,4'' \end{aligned}$$

Die Schwankungen, welche zu erwarten sind, da die Tötungszeiten bei 80° und 100° nicht absolut genau festgelegt sind, lassen sich schätzen, wenn man die Berechnung der Zahlen in das Auge fasst, die bei extremen Abweichungen von den angenommenen Zahlen sich ergeben:

$$\begin{aligned} u &= 80^{\circ} = 4300' \\ t &= 100^{\circ} = 170' \\ &110^{\circ} = 33,8' \\ &120^{\circ} = 6,7' = 402'' \\ &130^{\circ} = 1,33' = 78'' \\ &140^{\circ} = 0,27' = 16'' \end{aligned}$$

Die Versuche ergaben nun folgende Resultate:

Versuch I. ¹⁾	110°	$30' + 35' - 40' -$
	120°	$5' + 8' -$
	130°	$1' + 3' -$
	140°	$15'' + 30'' -$
Versuch II.	110°	$32' + 34' + 37' + 39' -$
	120°	$6' - 7' -$
	130°	$2' - 2,5' -$
	140°	$25'' +$
Versuch III.	110°	$33' + 35' + 38' -$
	120°	$6' + 8' -$
	130°	$1,5' + 2' +$
	140°	$20'' + 25'' +$
Versuch IV.	110°	$36' + 37' + 38' -$
	120°	$6' + 7' +$
	130°	$1,5' + 2' + 2,5' -$
	140°	$25'' + 30'' - 35'' -$
Versuch V.	110°	$37' + 38' + 39' -$
	120°	$6' + 8' +$
Versuch VI.	120°	$7,0' + 7,5' + 8,0' - 8,5' - 9,0' - 10,0' -$

Danach liegen die Tötungszeiten folgendermassen:

		Berechnet
Bei 110°	zwischen 38 und 39'	36'
„ 120°	„ 7,5 „ 8,0'	7,2'
„ 130°	„ 2 „ 2,5'; 120 und 150''	89''
„ 140°	„ 25'' „ 30''	22''

1) Das heisst also, 30' auf 110° erhitztes Sporenmaterial entwickelte sich noch (+), 35' auf 110° erhitztes war tot, ebenso 40' auf 110° erhitztes.

Für *Bacillus robur* wären die berechneten Tötungszeiten:

$$q = 0,1487$$

a—	80°	=	1560'
	90°	=	232'
	100°	=	34,5'
	110°	=	5,13'
	120°	=	0,76' = 45,8''
	130°	=	0,113' = 6,80''
	140°	=	0,169' = 1,01''
	150°	=	0,0025' = 0,15''

Die Versuche ergaben:

Versuch I.	110°	4' + 9' -
	120°	40'' + 50'' -
	130°	5'' + 8'' +
Versuch II.	110°	5' + 6' - 7' +
	120°	44'' + 50'' -
	130°	6'' + 8'' +
Versuch III.	110°	5' - 7' -
	120°	46'' + 48'' +
Versuch IV.	110°	5' + 7' -
	120°	46'' + 50'' -
	130°	6'' + 8'' + 10'' +
Versuch V.	110°	6' + 7' + 5' +
	120°	46'' + 48'' + 50'' -
	130°	7'' + 12'' +
Versuch VI.	110°	6' - 7' - 8' -
	130°	12'' + 14'' - 16'' -

Danach liegen die Tötungszeiten folgendermassen:

	Berechnet
Bei 110° zwischen 7' und 8'	5,2'
„ 120° „ 48'' „ 50''	50,8''
„ 130° „ 12'' „ 14''	11,8''

Danach sind in beiden Versuchen die Zahlen annähernd den berechneten ähnlich, meist wenig höher.

Wenn sich das Verhalten, welches wir für *B. robur* und *B. subtilis* feststellen konnten, annähernd auch bei anderen Spezies zeigen würde, so würde diese Gesetzmässigkeit dafür sprechen, dass dem Sterben durch die höhere Temperatur bei allen Sporenspezies der Bakterien eine gleiche innere Ursache zu Grunde liege. Die Frage nach der Natur dieser Ursache würde dann weiter zu verfolgen sein.

Die bakteriologische Praxis kann aus dem, was wir festgestellt haben, den praktischen Vorteil ziehen, dass sie nur die Tötungszeiten für zwei supramaximale Temperaturen nach meiner Methode festzulegen braucht, die Tötungszeiten für die übrigen Temperaturen dann danach annähernd berechnen kann.

Selbstverständlich kann man in dieser Weise auch das Ultramaximum für jede Spezies berechnen. ENGELMANN hat Ultramaximum den Temperaturgrad genannt, bei welchem der Protoplast „momentan“ stirbt, was in der Tat aber nur bedeuten kann, „in einem für uns praktisch nicht mehr messbaren kleinen Zeitraume“; diesen würden wir vielleicht zweckmässiger Weise zu 1" annehmen. Für die Sporen von *Bacillus robur* könnte man danach z. B. 140° als Ultramaximum bezeichnen, da bei dieser Temperatur die Sporen in einer Sekunde getötet werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Meyer Arthur

Artikel/Article: [Notiz über eine die supramaximalen Tötungszeiten betreffende Gesetzmäßigkeit. 340-352](#)