

NEUE LICHT-THERMOSTATE FÜR PFLANZENPHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Von ZORA KLAS

Einen der wichtigsten Apparate der experimentellen Biologie (Bakteriologie, Pflanzenphysiologie, wie auch Tierphysiologie) stellen die Thermostate dar. Sie werden fast ausschliesslich als Dunkelthermostate gebaut, und die Typen, welche von verschiedenen Firmen angeboten werden, genügen wohl den meisten Ansprüchen. Allerdings muss hervorgehoben werden dass auch mit den besten von ihnen nur eine relativ gleichmässige Temperatur erzielt werden kann. Natürlich ist die Konstanz der Temperatur im Versuchsraume in erster Reihe von der Empfindlichkeit und raschem Ansprechen der Thermoregulatoren abhängig, doch wirken auch andere Faktoren mit. So sollen diesbezüglich nach Untersuchungen von *Pederson, Yale* und *Eglinton* die Typen der bakteriologischen Thermostate mit Wasserfüllung präziser funktionieren als solche ohne Wassermantel. Was jedoch die Gleichmässigkeit der Temperatur im Versuchsraume und vor allem in verschiedenen Höhenlagen anbelangt, so finden sich hier noch ziemlich beträchtliche Unterschiede, welche vielleicht durch entsprechende Lüftungsvorrichtungen behoben werden könnten, zur Zeit jedoch, bei genaueren Temperaturversuchen (Grenztemperaturen!) die Ausnützung des ganzen Versuchsraumes nicht gestatten.

Die biologischen Experimentalforscher, vor allen aber die Pflanzenphysiologen empfanden schon lange den Bedarf eines Lichtthermostaten, und zwar nicht nur eines solchen mit künstlicher Lichtquelle, sondern besonders eines mit natürlicher Tageslichtbeleuchtung. Bereits *Julius Sachs* befasste sich mit dem Gedanken einen Apparat zu konstruieren, welcher ermöglichen könnte den pflanzlichen Organismus bei natürlichem Lichte, aber unter konstanten bzw. den Versuchsinentionen entsprechenden Temperaturbedingungen zu untersuchen. In seiner Arbeit »Über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur« (1860) finden wir die erste Zeichnung eines Lichtthermostaten. Das Regeln der Temperatur löste *Sachs* mit Anbringung eines Oelgefässes und Schwimmern mit Nachtdochten. Auch *Pfeffer* interessierte sich für Lichtthermostaten. In seiner Pflanzenphysiologie (1904) finden wir tatsächlich zwei Erstlingsmodelle der

Lichtthermostaten abgebildet bzw. beschrieben, welche mit Gas gespeist werden.

Das erste Modell besteht aus einem grossen Aquarium mit auf gewünschte Temperatur reguliertem Wasser, in welches eine abgeschlossene Glocke versenkt wird. Durch diese Glocke, in welcher sich die Pflanze befindet, wird ein Strom trockener, auf gleiche Temperatur gebrachter Luft geleitet. Die zweite Vorrichtung (siehe Fig. 17 in Pfeffer) besteht aus einem doppelwandigen, mit Wasser gefüllten Zinkgefäss auf welches eine Glasglocke überstülpt wird. Ein auf dem oberen Rande des Zinkgefässes angebrachtes Gestell dient zur Aufstellung der Versuchspflanze. Der Apparat wird mit Gas geheizt und die Flamme durch einen Thermoregulator, welcher wie auch ein Thermometer in den Glockenraum, also den eigentlichen Versuchsraum eingeführt ist, reguliert.

Diese beiden Erstlingstypen eines Lichtthermostaten hatten natürlich auch ihre Mängel. Vor allem war der Versuchsraum zu klein um die Durchführung eines grösseren Versuches zu ermöglichen. Ausserdem war es ohne fast gänzlicher Demontierung der Apparatur kaum möglich die Pflanze zur etwaigen Untersuchung aus dem Versuchsraume zu entnehmen.

Es ist von mancher Seite versucht worden die Pfeffer'schen Lichtthermostate durch eine handlichere und auch präziser funktionierende Apparatur zu ersetzen. An dieser Stelle soll der Differenzial-Lichtthermostat nach G a n o n g (G a n o n g, l. c. fig. 56) erwähnt werden. Der Apparat ist, nach Abbildung und Beschreibung zu urteilen, sehr einfach und handlich. Allerdings dürfte, bei Versuchen mit höheren Pflanzen, das Begiessen der Pflanzen gewisse Schwierigkeiten bereiten. Ob sonst seine Leistung zufriedenstellend ist, kann ich nicht urteilen, da ich mit ihm nicht gearbeitet habe. Der Aufschwung der Photochemie in den letzten Jahren brachte es mit sich, dass die meisten neueren Typen der Lichtthermostate den photochemischen Bedürfnissen angepasst wurden (siehe Plotnikov). Für pflanzenphysiologische Untersuchungen können diese Typen der Lichtthermostate schon wegen der äusserst geringen Grösse des Versuchsraumes nicht in Betracht kommen.

Den Mangel eines geeigneten Lichtthermostaten hat besonders lebhaft unser Institut empfunden, dessen Vorstand, Herr Prof. Dr V. V o u k sich seit Jahren mit dem Problem der Thermen und der Biologie der Thermalalgen befasst. Prof. V o u k konstruierte selbst einen einfachen Lichtthermostat wie ihn Abb. 1 zeigt.

Der Apparat wird mit Gas geheizt und besteht aus einem mit dicken Astbestpappeplatten ausgekleideten Eisengerüst. Von dem Haupthahn der Gasleitung führt ein Gummischlauch zu dem an der Basis des Apparates befestigten Gasrohre,

welches mit einem Haupthahn und 10 in gleicher Entfernung angebrachten Abzweighähne versehen ist. Wie aus der Zeichnung ersichtlich, ist an den 10 Eisenstäben mittels schwenkbaren und in der Höhe verstellbaren Klemmen je ein Mikrobrenner befestigt und durch Gummischlauch mit dem ihm entsprechenden Abzweighahn des Gasrohres verbunden. Die Mikrobrenner sind wie üblich mit Glimmerzylindern ver-

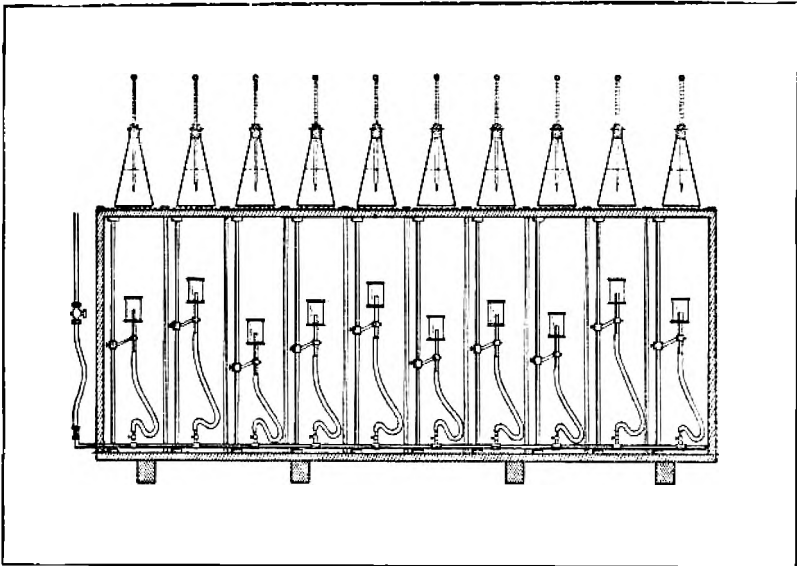


Abb. 1. Lichtthermostat nach Vouk. (Schematische Zeichnung, ausgeführt von Rolich, 1 : 20).

sehen. Dicke Asbestplatten teilen den Apparat in 10 gegen vorne offene Abteilungen. In den oberen, offenen Rahmen der Abteilungen werden passende Drahtnetze eingefügt und die mit Nährlösung beschickten, mit Algen geimpften und mit Thermometer versehene Erlenmeyerkolben werden unmittelbar auf das Drahtnetz gestellt. Der Apparat wird wo möglich in einem annähernd gleichmässig temperierten Zimmer aufgestellt so dass die Kolben gerade in Fensterhöhe kommen. Um schädliche Insolationseinflüsse zu vermeiden, ist es rätlich den Apparat an einem Nordfenster aufzustellen.

In dieser sehr einfachen Konstruktion kann dieser Apparat zu manigfachen Zwecken verwendet werden vor allem z. B. zu orientierenden Studien über die Temperaturoptima, Minima und Maxima verschiedener Algen usw. Da der Gaszufluss durch den Hauptleitungshahn, Haupt- und Abzweighähne des Gasrohres reguliert werden kann und ausserdem eine gewünschte Temperatur nicht nur durch die verschieden

regulierte Flamme, sondern auch durch Höher- oder Tieferstellen des Mikrobrenners erreicht werden kann, ist es ermöglicht einen Organismus bei gleichen Lichtverhältnissen und verschiedenen Temperaturbedingungen gleichzeitig zu studieren, was besonders z. B. bei Temperaturadaptationsversuchen von Wichtigkeit ist.

Immerhin machte sich besonders bei Temperaturen welche nahe der Grenze der Zimmertemperatur lagen, der störende

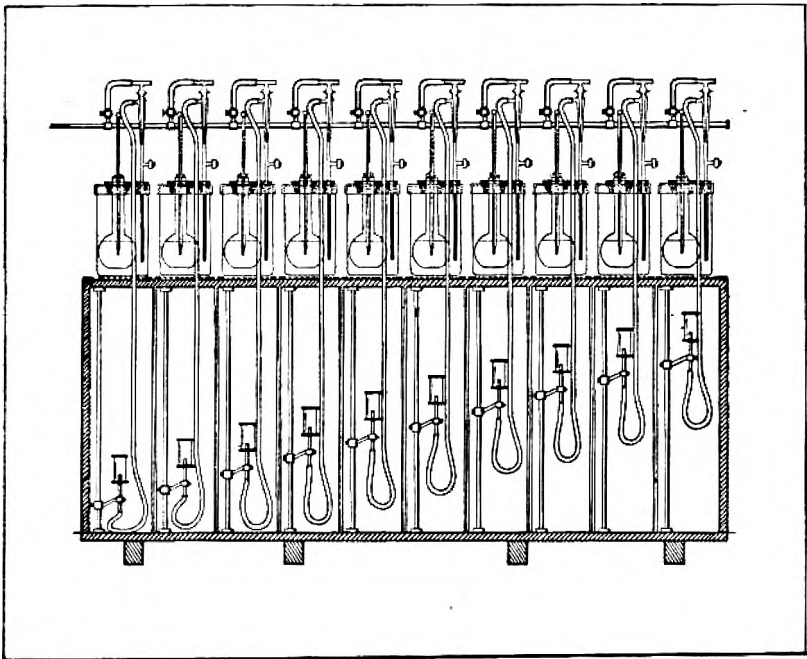


Abb. 2. Vouk-scher Lichtthermostat, modifiziert nach K l a s. Schematische Zeichnung, ausgeführt von Rolich, 1 : 20.

Einfluss der Umgebungstemperatur bemerkbar. Ausserdem entstanden auch nicht unbedeutende Temperaturvariationen infolge des wechselnden Gasdruckes. Ich versuchte deshalb eine Verbesserung des Apparates, welche hauptsächlich darin bestand (siehe Abb. 2) dass die Kölbchen nicht frei standen, sondern einzeln in je ein mit destilliertem Wasser gefülltes und mit Quecksilberthermoregulator versehenes Glasgefäß unterbracht wurden. Wie aus der Abbildung ersichtlich, ist jedes Glasgefäß mit einem Deckel aus Zinkblech versehen (genaue Anpassung und dichten Verschluss ermöglicht ein Filzstreifen). An dem Deckel ist eine Öffnung für den Thermoregulator, wie auch ein kurzer Tubus für die Befestigung des Versuchskölbchens angebracht. Die Kölbchen- ich ver-

wendete Erlenmayerrundkölbchen von 200 mm und liess bloss den Hals verlängern- werden in dem Tubus mittels durchgeschnittener und der Breite des Kölbchenhalses entsprechend durchbohrter Korke befestigt. Der Oberrand der Versuchskölbchen befindet sich oberhalb des Zinkdeckels, wodurch ein Abtropfen und Durchsickern von Kondenswasser in das Nährsubstrat vermieden ist. Die Gasröhre mit den Abzweigungen wurde an dem oberen Rand des Apparaterüstes angebracht. In der Zeichnung ist sie übersichtshalber höher eingezeichnet.

In dieser Ausstattung bewährt sich der Apparat für manche Untersuchungen. Die Anbringung der Thermoregulatoren sichert eine wenigstens annähernd gleichmässige Temperatur und der Wassermantel vermindert bedeutend wie den Einfluss der Zimmertemperatur, so auch die ungleiche Temperaturverteilung in dem Versuchskölbchen selbst. Für algologische, bakteriologische und auch mykologische Studien (Keimung, Entwicklung usw.) ist er wohl brauchbar und seine Herstellungskosten sind äusserst gering.

Für Untersuchungen dagegen, welche eine Temperatur von 40—75° C erheischen, wie dies bei den beabsichtigten Untersuchungen der Physiologie der Thermalorganismen der Fall war, erwies er sich jedoch ebenfalls als nicht geeignet. Da es unter anderem auch auf ernährungsphysiologische Untersuchungen ankam, war vor allem, um über eine je reinere Atmosphäre in dem Versuchsraum verfügen zu können, die Heizung durch Gas zu vermeiden.

Es gibt nun auch einige elektrische Photothermostate, welche teils auch für pflanzenphysiologische Untersuchungen brauchbar sind, teils eigens dafür konstruiert wurden, wie die *Lundergårdhschen* Serien-Photothermostate. Jedoch konnten letztere wegen zu hohen Herstellungskosten, und auch deshalb, weil sie, soweit aus der Beschreibung und den Abbildungen ersichtlich, kaum so hohen Temperaturen angepasst und auch in Verbindung mit künstlicher Lichtquelle konstruiert worden sind, nicht in Betracht kommen.

Da man auch nicht an Lichtkammern im Stile der Biologischen Versuchsanstalt in Wien denken konnte, versuchte man es zuerst mit einem modifizierten Thermostat nach *Weidanz*. Der Apparat bestand aus einem doppelwandigen Gehäuse aus Messingblech für Wasserfüllung, Vorder- und Rückwand einfach verglast und in Schubleisten gleitend. In der Zwischenwand des Bodens waren elektrische Heizkörper eingebaut, welche durch einen elektrischen Thermoregulator mit Tuluölfüllung, Kontaktzangen und Relais gesteuert wurden. Die Versuche wurden mit 6 auf einer Spiegelglasscheibe nebeneinanderstehenden Kolben ange stellt. Es zeigte sich dass infolge mangelnder Wärmeisolation bei einer Wassermanteltemperatur von 95° C in den

der Apparatwand am nächsten stehenden Versuchskolben nur eine Temperatur von cca. 45° C erreicht werden konnte. Trotzdem dieser Versuch zeigte, dass die Mantelheizung für einen solchen Thermostat ungeeignet ist, haben wir versuchsweise die Zwischenwände an Stelle von Wasser, mit Paraffinöl gefüllt und auch provisorisch Doppelfenster angebracht. Bei Erhitzung des Öles auf 180° C stieg die Temperatur in den Kolben auf 70° C. Bei dieser hohen Temperatur versagte aber bereits der Thermoregulator.

Auf Grund der bei diesen Versuchen gemachten Erfahrungen wurde ein neuer Apparat konstruiert. Bei den praktischen Prüfungen, welche einige Monate in Anspruch nahmen, zeigte auch dieser Apparat noch eine Reihe von Mängel, welche aber durch Umbau und Ergänzungen behoben werden konnten. Vor allem genügte die vorgesehene Isolation von Luftraum, 2×3 mm Asbestplatte und 15 mm Filz, nicht. Die Wärmeverluste waren so gross, dass bei den Höchsttemperaturen der Stromverbrauch cca 700 Watt im Dauerbetriebe betrug, daher die vorgesehenen Heizkörper von 1000 Watt Energieaufnahme fast ständig eingeschaltet waren. Dadurch ergaben sich auch Temperaturschwankungen im Thermostat sobald sich die Raumtemperatur änderte, was insbesondere in den Morgenstunden der Fall ist. Infolge der bedingten starken Heizung bildeten sich auf der Innenseite der Fenster sehr störende Kondenswasserniederschläge.

Nach Verstärkung der Isolation mit Korkplatten konnten diese Nachteile behoben und auch der Stromverbrauch ganz wesentlich herabgesetzt werden, so dass Heizkörper von 500 Watt Energieaufnahme vollständig genügten.

Weiters zeigten sich Temperaturunterschiede in den verschiedenen Höhenlagen des Thermostaten, welche bei Höchsttemperaturen 3 bis 4° C betragen und deren Beseitigung wohl die grössten Schwierigkeiten bereitet hat. Nach vielen Versuchen ist es gelungen durch Vergrösserung der Perforation im Boden und Decke des Innenraumes, Verschalung der Heizkörper und Verkleinerung des Luftraumes die Unterschiede auf ein erträgliches Mass herabzusetzen.

Von Thermoregulatoren gelangten auch verschiedene Modelle zur Prüfung und Anwendung u. zw.:

1) Regulator mit Tuluolfüllung und Kontaktzangen mit Relais;

2) Elektrische Kontaktthermometer mit Relais;

3) Metallthermoregulator in Verbindung mit einem Quecksilberunterbrecher, welcher mit Hilfe eines Nebenstromkreises gesteuert wurde.

Die besten Resultate wurden aber mit einem Siemenschen Stabregler mit Vakuumschalter erzielt, welchen wir an anderer Stelle genauer beschreiben.

Der nachstehend beschriebene Thermostat (siehe Abb. 3) entspricht nunmehr ganz den gestellten Anforderungen hinsichtlich Einstellbarkeit der Temperatur von $+ 20$ bis $+ 75^{\circ} \text{C}$, Gleichmässigkeit der Temperatur im Versuchsraum und Temperaturkonstanz.

Als Baumaterial wurde für den doppelwandigen Schrank 3 mm starkes Aluminiumblech gewählt, weil es den Vorteil wesentlich geringerer Wärmeausstrahlung als andere Metalle

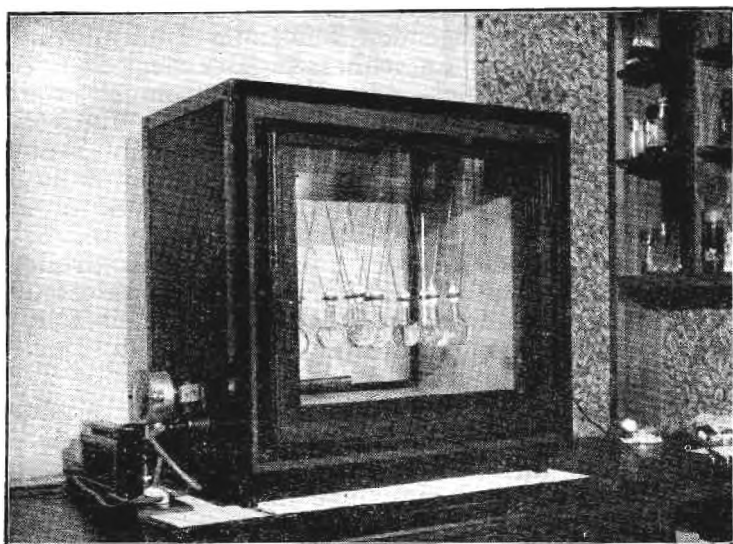


Abb. 3. Lichtthermostat nach K l a s. Gesamtansicht. Photo Rolich.

bietet. Die Innenseite der Aussenwand wurde gegen oben und beiden Seiten mit Korkplatten, Filz und Asbest abgedeckt, die Aussenseite mit Linoleum verkleidet. In der Rückwand ist in der Grösse des Arbeitsraumes ein doppelwandiges Fenster aus starken Spiegelglasscheiben eingebaut, desgleichen auch in der Vorderwand, welche als Tür ausgebildet wurde. Boden und Decke der Innenwände sind perforiert und im Zwischenraum darunter und darüber flächenförmige elektrische Heizkörper angebracht, so dass die Heizung des Arbeitsraumes unmittelbar erfolgt. Bei dieser Anordnung wurde eine so vorzügliche Luftzirkulation erzielt, dass die Temperaturschwankungen in den verschiedenen Höhenlagen nicht mehr als $\pm 0.5^{\circ} \text{C}$ betragen. Zur Belüftung des Zwischenraumes befinden sich an der Decke des Apparates zwei verstellbare Tubuse.

Da der Apparat auch für Untersuchungen bei tieferen Temperaturen dienen sollte, wurden in die Zwischenräume zu beiden Seiten Kühlschlangen aus Kupfer zum Anschluss an die Wasserleitung eingebaut. Die tiefste erreichbare konstante

Temperatur liegt cca 10°C über der Temperatur des Kühlwassers. Ausserdem ist ein regulierbarer Vorschaltwiderstand vorgesehen, welcher die Wärmeentwicklung der Heizkörper nach Bedarf herabsetzt. Zur Konstanthaltung der Temperatur wurde, wie schon erwähnt, ein *S i e m e n s c h e r* Ausdehnungsregler mit Vakuumschalter in den Arbeitsraum eingebaut. Die Wirkungsweise des Reglers beruht auf der verschiedenen Längenausdehnung zweier Körper, deren Ausdehnungskoeffizienten stark voneinander abweichen und in einem evakuierten Glasrohr einen Kontakt steuern. Schon eine Bewegung von 0.005 mm des aussenliegenden Stabendes genügt, um den Kontakt zu öffnen oder zu schliessen. Der Regler lässt sich unmittelbar an ein Gleich- oder Wechselstromnetz von 110 oder 220 Volt anschliessen. Schaltleistung 1500 Watt. Mittels einer Stellschraube und Zeiger im Anschlusskopf lässt sich der gewünschte Regelwert an Hand einer Skala einstellen. Die Ansprechempfindlichkeit beträgt etwas 0.2 bis 0.4°C .

Dem Regler ist eine kleine Glimmlampe (siehe Abb. 3) vorgeschaltet. Diese Lampe dient zur Funktionskontrolle des Reglers, sie leuchtet auf, wenn der Kontakt geschlossen und verlöscht, wenn der Kontakt geöffnet wird. Diese einfache Einrichtung erleichtert auch wesentlich die Einstellung auf den gewünschten Temperaturwert.

Um die Luftzirkulation im Innenraum nicht durch Einlagen zu behindern, wurden die Kolben mittels einer einfachen Vorrichtung, welche für alle Kolbengrössen passt, und aus einem dehnbaren, elastischen Spirallinge mit angefügten Kettchen besteht, freischwebend aufgehängt.

Die Anheizdauer des Apparates beträgt bei Höchsttemperaturen cca. $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden, bei einem Energieverbrauch von cca. 500 Watt. Im Dauerbetrieb sinkt der Stromverbrauch auf cca. 200 Watt, bei niedrigeren Temperaturen entsprechend weniger. Um die Kosten des Betriebes zu verringern, wurde der Apparat an den Industriestrom angeschlossen. Da die Lufttemperatur des Arbeitsraumes der Kolbentemperatur annähernd gleich ist, bilden sich keine Kondenswasserniederschläge, ausser bei Öffnung des Schrankes während des Betriebes. Diese Niederschläge verschwinden aber nach Schliessung in einigen Minuten. Selbstredend ist auch für Erdung des Apparates gesorgt.

Die Temperaturkonstanz im Apparate wurde durch einen Thermograph geprüft und ergab eine fast gänzlich horizontale Linie. Bei Öffnung des Thermostaten registrierte der Thermograph sofortige steile Temperaturabfälle, welche jedoch je nach der Öffnungsdauer mehr oder weniger rasch verschwanden. Die Temperatureinheitlichkeit im Versuchsraume wurde ausserdem mit geeichten Thermometern geprüft und ergab ziemlich zufriedenstellende Resultate, welche im Bedarfsfalle eine Schichtenanordnung der Versuchskölbchen und somit

eine fast gänzliche Ausnützung des Arbeitsraumes erlauben. Um eine zu starke Lichtabschwächung zu vermeiden ist es angeboten die Kölbchen in abwechselnder Reihenfolge (mit freien Zwischenräumen) aufzuhängen. Die Lichtverteilung im Versuchsraume hängt natürlich von der gebotenen Tageslichtmenge und seinem Einfall ab. Sie wurde eigens noch nicht

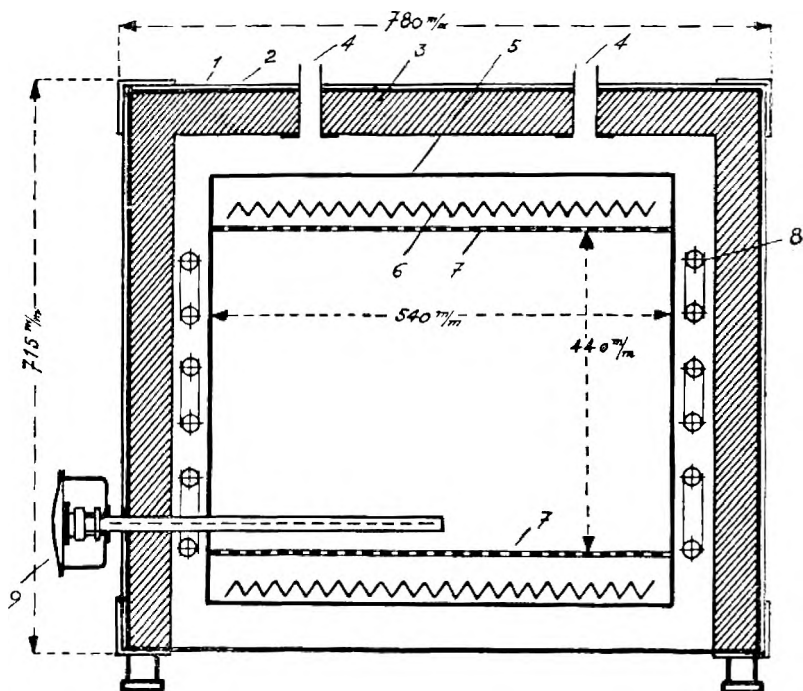


Abb. 4. Grundriss des Lichtthermostaten nach Kias, ausgeführt von Schandara. 1 Linoleum, 2 äussere Aluminiumwand, 3 Isolation, 4 Lüftungstubuse, 5 innere Aluminiumwand, 6 Heizkörper, 7 perforierte Aluminiumplatte, 8 Kühlschlangen, 9 Regler, 10 Doppelglasfenster, 11 Doppelglastür.

geprüft, da aber der Thermostat an einem Nordfenster des Laboratoriums aufgestellt ist, diffuses Licht erhält und die Versuchskölbchen sich gegenseitig nicht besonders beschatten, werden vorhandene Unterschiede nicht allzu störend sein. Im Bedarfsfalle könnten jedoch an den Seitenwänden noch lichtreflektierende Spiegel angebracht werden.

Der beschriebene Lichtthermostat wurde vorwiegend für algologische Untersuchungen gebaut. Aus der Konstruktion und Beschreibung ist es jedoch ersichtlich dass er auch zu allen anderen Untersuchungen verwendet werden kann — ausser natürlich für gleichzeitige Temperaturserienversuche. Die Vorzüge des Apparates bestehen hauptsächlich in:

1) geringen Kostenaufwand (der Apparat wurde im Lande hergestellt daher der Preis sehr niedrig gehalten werden konnte und den eines gewöhnlichen Dunkellthermostaten nicht überstieg);

2) Grösse des Versuchsraumes;

3) einfacher Handhabung;

4) Grösse des einstellbaren Temperaturbereiches.

Ich hoffe somit den pflanzenphysiologischen Instituten, besonders den minder dotierten, die Möglichkeit des Ausbaues eines für experimentelle Forschung sehr wichtigen und brauchbaren Apparates gezeigt zu haben.

Abschliessend kann ich es nicht unterlassen, Herrn Prof. dr. V. V o u k sowie für Anregung, als auch für das wohlwollende und rege Interesse mit welchem er die Konstruktion des Lichtthermostaten verfolgte, auch an dieser Stelle meinen Dank auszusprechen. Der Apparat wurde von der Firma J u g o s l a v e n s k i S i e m e n s, Zagreb, in mustergültigen Weise ausgeführt. Zu ganz besonderem Danke bin ich aber Herrn H a n s S c h a n d a r a, techn. Referenten der medizinischen Abteilung der genannten Firma, verbunden welcher die Mühe der zahlreichen und zeitraubenden Versuche nicht scheute um in tatkräftiger Mitarbeit die Konstruktion, bzw. endgültige Ausführung diesen Lichtthermostaten zu ermöglichen.

LITERATUR

- Ganong, W. F.:* A laboratory course in plant physiology. Ed. II, New-York 1908, p. 206.
- Linsbauer, K.:* Methoden der pflanz. Reizphysiologie: Tropismen und Nastien. Abderhalden, Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. XI, T. 1.
- Lundegårdh, H.:* Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. 2. Die Photothermostaten. Jena, Verlag Fischer, 1932.
- Pederson, C., S., Yale, M. W., and Eglinton, R.:* Temperature variations in bacteriological incubators. New-York State Agric. Exp. Stat. Genova. N. Y. 1933 Techn. Bull. Nr. 213, 63. Ref. in Bot. Zentralbl.
- Pfeffer, W.:* Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. Leipzig, 1904. II, pp. 94/95.
- Plotnikov, J.:* Photochemische Versuchstechnik, Leipzig 1928. Akad. Verlagsges. m. b. H.
- Przibram, H.:* Methoden zum Studium des Einflusses der Wärme usw. Abderhalden, Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. V, T. 3, H. 1.
- Sachs, J.:* Über Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur. Pringsheims Jahrbücher für wiss. Botanik, 1860, Bd. 2. pp. 340—343.