

Aus dem Botanischen Institut der Universität Tübingen

EINE MIT XENONBÖGEN AUSGERÜSTETE
INTERFERENZFILTER-MONOCROMATORANLAGE
FÜR KURZWELLIGE SICHTBARE
UND LANGWELLIGE ULTRAVIOLETTE STRAHLUNG

Von

H. MOHR und G. SCHOSER

Mit 6 Textabbildungen

(Eingegangen am 20. April 1960)

1. Einleitung

Kürzlich haben wir eine Interferenzfilter-Monochromatoranlage beschrieben (MOHR und SCHOSER 1959), bei der Schmalfilmlampen (Wolframglühfaden, 500 bzw. 750 W, 110 V) als Strahlungsquellen dienen. Auf Grund der spektralen Energieverteilung der von diesem Temperaturstrahler ausgesandten Strahlung ist diese Anlage besonders für den längerwelligen Anteil (etwa 500—800 $m\mu$) des uns interessierenden Spektralbereichs (etwa 340—800 $m\mu$) geeignet; im kurzwelligen Bereich des sichtbaren Spektrums und im langwelligen UV sind die maximal erzielbaren Intensitäten für unsere biologischen Fragestellungen zu gering. Da die gegenwärtigen Probleme der pflanzlichen Photobiologie (z. B. die Beurteilung der photochemischen Funktion von Carotinoiden oder Flavoproteiden *in vivo* auf Grund der Wirkungsspektren) monochromatische Strahlung relativ hoher Intensität (in Verbindung mit relativ großen, homogen ausgeleuchteten Flächen) im Bereich des nahen UV erfordern, haben wir versucht, eine weitere Anlage zu konstruieren, die uns auch den kurzwelligen sichtbaren und den langwelligen ultravioletten Spektralbereich mit den erforderlichen Intensitäten bei ausreichender Größe der monochromatisch ausgeleuchteten Fläche erschließt.

Hierbei konnten wir einmal von den neuerdings entwickelten, auf Grund ihrer Emission für den kurzwelligen Spektralbereich besonders geeigneten Xenon-Hochdrucklampen (Xenon-Bögen) Gebrauch machen, andererseits stehen jetzt auch von seiten der Firma Schott und Gen., Mainz, Interferenzlinienfilter (sowohl einfache wie auch Doppellinienfilter) im Bereich des langwelligen UV zur Verfügung. Es lag deshalb nahe, auch für den fraglichen Spektralbereich eine Interferenzfilter-Monochromatoranlage zu bauen.

Die Gründe, weshalb wir für unsere photobiologischen Arbeiten eine Interferenzfilteranlage dem Hochleistungsspektrographen (vgl. etwa MONK und EHRET

1956) vorziehen, haben wir bereits in der vorangegangenen Arbeit (MOHR und SCHOSER 1959) angegeben. Die vorliegende Arbeit muß als eine Ergänzung zu der ausführlicheren Arbeit von MOHR und SCHOSER (1959) angesehen werden.

2. Die Xenon-Hochdrucklampe

Bei den für uns in Frage kommenden, von der Firma Osram hergestellten Xenon-Bögen (erste Beschreibungen des Xenon-Hochdruck-Bogens bei SCHULZ 1947, a, b)

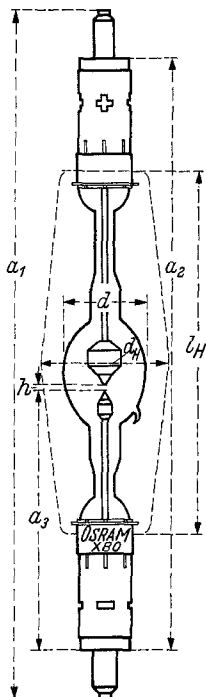


Abb. 1. Die Abmessungen des von uns verwendeten Xenon-Hochdruck-Kurzboogens (Osram, XBO 501). $a_1 = 259$, $a_2 = 210$, $a_3 = 97$, $h = 2,4$ (im kalten Zustand), $d = 29$, $d_H = 51$, $l_H = 129$. (Alle Angaben in mm)

handelt es sich um elektrische Entladungen in dem Edelgas Xenon, das unter hohem Druck (mehrere Atmosphären) in einem Quarzkolben eingeschlossen ist. Wir verwenden die luftgekühlten, in ihrem elektrischen Verhalten den Kohlenbögen ähnlichen Kurzbogenlampen von Osram (Typenbezeichnung XBO, vgl. Abb. 1), bei denen zwischen den beiden im Quarzkolben befindlichen Elektroden ein kurzer Bogen von nur wenigen Millimeter Länge, aber sehr hoher Leuchtdichte erzeugt wird, der paraboloider Gestalt hat. Dieser Kurzbogen ist im wesentlichen unsere Strahlungsquelle (auch die glühenden Elektroden liefern einen bestimmten Beitrag zur Totalemission). Für die optische Anordnung ist es sehr günstig, daß es sich in erster Näherung um eine punktförmige Quelle handelt. Der Bogen liefert im Bereich zwischen 300 und $800 \text{ m}\mu$ ein weitgehend kontinuierliches Spektrum (Abb. 2), das im sichtbaren Bereich dem Emissionsspektrum eines schwarzen Körpers von etwa 5500°C außerordentlich ähnlich ist („weißes“ Licht). Im Blaubereich und im UV dürfte der Xenon-Bogen jeder anderen Strahlungsquelle mit kontinuierlichem Spektrum überlegen sein. Da wir für unser Interferenzfilter-Monochromatorsystem auf ein weitgehend kontinuierliches Spektrum angewiesen sind, ist der Xenon-Bogen für uns außerordentlich günstig. Die starken Linien im nahen Infrarot ($0,8\text{--}1 \mu$) kann man durch zusätzliche Filter (KG 1 von Schott z. B., vgl. unten) leicht weitgehend unterdrücken.

Wir fassen die für uns besonders wichtigen Vorzüge des Xenon-Kurzboogens zusammen: Kleine Abmessungen bei sehr hoher Leuchtdichte, relativ starke, kontinuierliche Emission im Bereich des kurzwelligen Sichtbaren und im UV, hohe Stabilität (etwa verglichen mit dem Kohlenbogen), praktisch

keine Änderung der relativen spektralen Energieverteilung der Emission bei Änderungen des Brennstroms (die Bogenentladung ist jedoch um so stabiler, je höher der Brennstrom). Die Lampen zeigen sofort nach der Zündung annähernd die endgültigen Betriebswerte; sie können auch im heißen Zustand wieder gezündet werden. Die notwendige Luftkühlung (für die XBO-Lampen ist eine höchstzulässige Lufttemperatur in der Umgebung der Lampe vorgeschrieben) läßt sich durch einen Ventilator relativ leicht erreichen.

Wir verwenden die XBO-501-Lampen, deren Leistungsaufnahme 500 W beträgt. Der maximale Betriebsstrom beträgt 25 A . Die Stromversorgung geschieht über

einen Gleichrichter (Siemens, Typ VX 501), der 2 Brennstromstärken liefert (25 A bzw. 17 A). Wir nützen also gegenwärtig die Möglichkeit, den Betriebsstrom innerhalb gewisser Grenzen kontinuierlich zu regeln, noch nicht aus, sondern brennen den Bogen entweder bei 17 A (etwa untere Stromgrenze für stabiles Brennen) oder bei 25 A (maximaler Betriebsstrom, höchste Stabilität). Beachten muß man hierbei, daß der Lampen-Betriebsstrom möglichst wenig pulsiert. Die den Gleichrichtern zugeführte Wechselspannung wird mit Hilfe eines Netzreglers konstant gehalten. Die Lebensdauer der Lampe XBO 501 beträgt — nach den Angaben von Osram — etwa 1000 Std, die Abnahme des Lichtstroms, bezogen auf gleichen

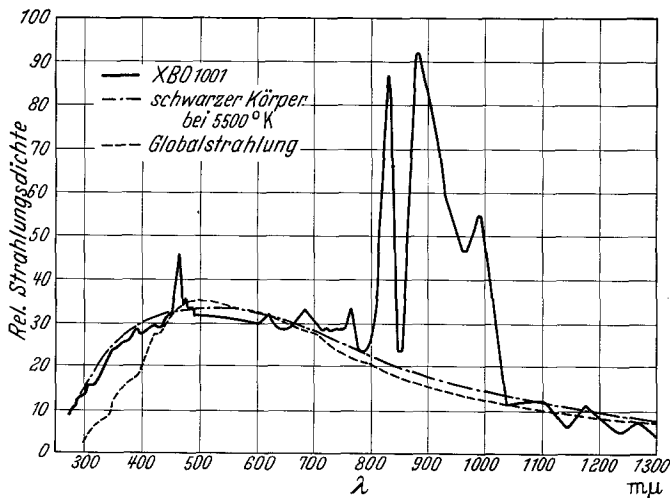


Abb. 2. Die relative spektrale Verteilung der Strahlungsdichte einer Kurzbogen-Xenon-Hochdrucklampe (XBO 1001) im Vergleich mit dem schwarzen Körper und der Globalstrahlung. Es stand uns nur die Kurve für die Lampe XBO 1001 zur Verfügung. Die Lampe XBO 501 würde praktisch dieselbe relative Verteilungskurve liefern. (Nach einer Kurve der Firma Osram)

Betriebsstrom, soll — ebenfalls nach den Angaben der Firma Osram — am Ende der Lebensdauer etwa 25% betragen. Der hohe Gasdruck bedingt bei der XBO 501-Lampe eine Durchschlagspannung von 16—22 kV.

Weitere Einzelheiten der Strahlungsquelle brauchen hier nicht mitgeteilt zu werden. Es sei auf die einschlägigen Druckschriften der Osram-GmbH und auf ausführliche Darstellungen (z. B. ANDERSON 1951, 1954, IRTIG u. Mitarb. 1953, RAMERT 1956) hingewiesen.

3. Die optische Anordnung

Da eine gewisse Gefahr besteht, daß der stark beanspruchte Quarzkolben der XBO-Lampen platzt, muß die Lampe in ein entsprechend sicheres Gehäuse eingebaut werden. Damit ist gleichzeitig auch ein Schutz gegen die starke UV-Strahlung erzielt. Ein stabiles Gehäuse aus Stahlblech mit eingebautem Ventilator hat die Firma Leitz, Wetzlar, für uns entwickelt. Auch die optische Anordnung ist von dieser Firma nach unserem Entwurf gebaut worden. Es wurden 2 identische Apparate hergestellt.

Der Bogen ist beweglich aufgehängt. Mit Hilfe mehrerer Justierschrauben kann seine Lage genau festgelegt werden. Hinter dem Bogen ist ein Hohlspiegel angebracht, der am Ort des Bogens ein umgekehrtes Bild des Bogens entwirft. Weil der Xenon-Bogen seine Emissionsstrahlung nur zu einem geringen Teil absorbiert, wird dadurch die Leuchtdichte des Bogens erheblich erhöht.

Die wesentlichen Teile der aus Quarz hergestellten Optik sind in Abb. 3 dargestellt. Mit Hilfe eines dreilinsigen, justierbaren Kondensors

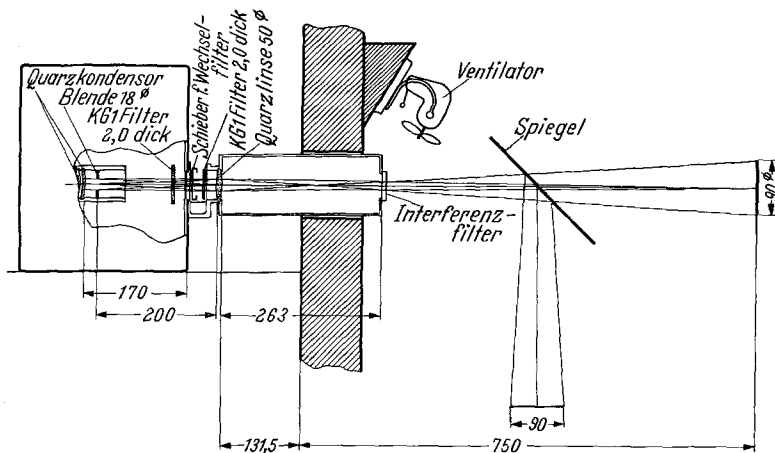


Abb. 3. Übersicht über das optische System einer Monochromatoreinheit (Längsschnitt). Alle Angaben erfolgen in mm. Es wird die vom Kondensator homogen ausgeleuchtete, runde Blende von 18 mm Durchmesser als Kreis von 90 mm Durchmesser abgebildet (vgl. Text)

wird die runde Blende (Durchmesser 18 mm) praktisch homogen ausgeleuchtet. Diese Blende wird von der Objektivlinse als ein Kreis von 9 cm Durchmesser abgebildet. Die entsprechenden Weiten gehen aus der Abb. 3 hervor.

Zwischen dem Kondensator und der am Eingang des innen matt schwarzen Objektiv-Rohrs angebrachten Objektivlinse befinden sich weiterhin 1. ein gehärtetes KG1-Filter (2 mm dick, Schott und Gen.), 2 ein Halter mit einem Diawechsler zum Einsetzen von Neutralfiltern (vgl. unten) und 3. ein Halter für ein zweites KG1-Filter (rund, 50 mm Durchmesser, ebenfalls 2 mm dick), das im Bedarfsfall eingesetzt werden kann.

Das Objektiv-Rohr ist an dem Gehäuse befestigt. Es ist bildseitig mit einem Deckel versehen, der zentral eine Öffnung besitzt. Auf diesen Deckel ist ein Interferenzfilterhalter montiert, in den die Filter senkrecht zur optischen Achse eingesetzt werden. Die runden Interferenzfilter (von Schott und Gen., Mainz) haben einen Durchmesser von 50 mm. Wir verwenden optisch meist einen 45 mm-Durchmesser (bei den

UV-Filtern nur 40 mm). Auf Grund des gewählten Strahlengangs gehen die allermeisten Strahlen, die die Objektivlinse durchqueren, durch diese 45 bzw. 40 mm-Öffnung der Interferenzfilter. Deckel und Interferenzfilterhalter sind so beschaffen, daß kein Streulicht das Objektivrohr verlassen kann. Alles Licht, das aus dem Objektivrohr gelangt, muß das Interferenzfilter durchdringen, und zwar unter einem so geringen Winkel zur optischen Achse, daß das Licht als „sehr gut parallel“ bezeichnet werden kann. Eine Betrachtung der Geometrie zeigt schon, daß keine Strahlen, die mehr als etwa 10° gegen die optische Achse geneigt sind, durch das Interferenzfilter gelangen können. Damit ist den Anforderungen der Interferenzfilter an die Parallelität der auf sie fallenden Strahlung Genüge getan (vgl. die Angaben von Schott und Gen. 1957). Die monochromatische Qualität der durch die Interferenzfilter gehenden Strahlung wird also praktisch lediglich durch die Güte der Filter bestimmt.

Die monochromatische Strahlung wird nun, wie in Abb. 3 angedeutet und bei MOHR und SCHOSER (1959) genauer beschrieben, mittels eines Präzisions-Oberflächenspiegels (Aluminium mit Quarzschutzschicht) senkrecht nach unten in einen Bestrahlungskasten reflektiert, in dem dann ein Kreis von 9 cm Durchmesser ausgeleuchtet ist. Für die Experimente wird nur ein Kreis von 8 cm Durchmesser verwendet. Dieser Kreis ist, bei richtiger Justierung, auf mindestens $\pm 10\%$ homogen ausgeleuchtet.

An technischen Details sei nur noch erwähnt, daß oberhalb des Interferenzfilterhalters ein Ventilator (Philips) angebracht ist, der das Interferenzfilter so wirksam kühlt, daß eine erhebliche Erwärmung des Filters über die Temperatur der Umgebung vermieden wird. Besonders bei den UV-Filtern muß sehr sorgfältig gekühlt werden.

Zur Gesamtanordnung ist zu sagen, daß die 2 Objektivrohre durch die Wand einer Klimakammer geführt sind (vgl. Abb. 3). Es gelangt also nur monochromatische Strahlung in die Klimakammer, in der sich die zwei gegeneinander sorgfältig abgeschirmten Bestrahlungskästen befinden. Die Wärme- und Ozonentwicklung der Xenon-Bögen wird also von der Klimakammer ferngehalten. Ein starker Abzug in dem Vorraum, in dem sich die Xenon-Bögen befinden, beseitigt Wärme und Gase.

4. Interferenzfilter

Die von uns verwendeten Interferenzfilter stammen vom Glaswerk Schott und Gen., Mainz. Eine Beschreibung der von uns bisher benützten einfachen Interferenzfilter erfolgte bei MOHR und SCHOSER (1959). Neuerdings nun bietet das Glaswerk Schott neue Typen von Interferenzlinienfiltern an. Diese ähneln in ihrem Schichtenaufbau den Bandfiltern (Vielschichtfilter, multilayer interference filter) und sind durch große Flankensteilheit und sehr geringen spektralen Filteruntergrund ausgezeichnet. Wir verfügen zur Zeit, zusätzlich zu den einfachen Linienfiltern, über einen Satz von 30 neuen Doppellinienfiltern (Abb. 4). Diese Filter

lösen uns mit einer Filterhalbwertsbreite von 7—12 $m\mu$ den Bereich zwischen 355 und 750 $m\mu$ in weitestgehend monochromatische Linien auf. Die λ_{\max} -Werte der einzelnen Filter liegen etwa 15 $m\mu$ auseinander. Die Filter sind mit zusätzlichen Farbläsern versehen, die den Untergrund und die Nebenmaxima praktisch vollständig ausschalten. Nach den

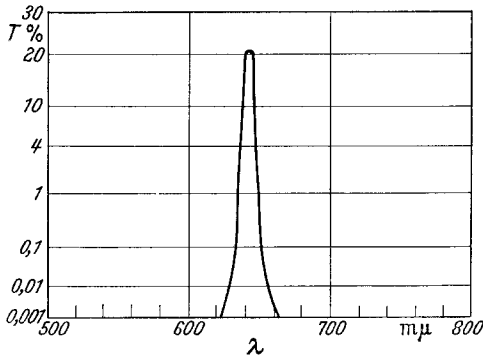


Abb. 4. Typische Durchlaßkurve eines neuartigen, mit geeigneten Farbläsern versehenen Interferenz-Doppellinienfilters der Firma Schott und Gen., Mainz, für senkrecht auffallende, parallele Strahlung. Der Ordinatenmaßstab (Durchlässigkeit T in %) ist doppellogarithmisch gedehnt. (Nach einer Kurve der Firma Schott und Gen.)

für uns durchgeführten Messungen der Firma Schott und Gen. liegt die Durchlässigkeit der Doppellinienfilter im Spektralgebiet außerhalb eines Bereichs von etwa 30 $m\mu$ nach beiden Seiten von λ_{\max} im allgemeinen unter 1/1000%. Damit ist eine befriedigende Monochromasie erreicht.

5. Die Leistungsfähigkeit der Anlage

Die Messung der erzielbaren Strahlungsintensitäten wurde mit dem bei MOHR und SCHOSER (1959) beschriebenen Thermosäulen-Multiflexgalvanometer-Sy-

stem durchgeführt. Es standen 2 praktisch identische Thermosäulen (Kipp, E 1) zur Verfügung, die eine mit einem Glasfenster, die andere mit einem Fenster aus dem Schottischen WG5-Glas versehen. Das von uns zur Abdeckung der Versuchsgefäße verwendete 3 mm dicke Stan-

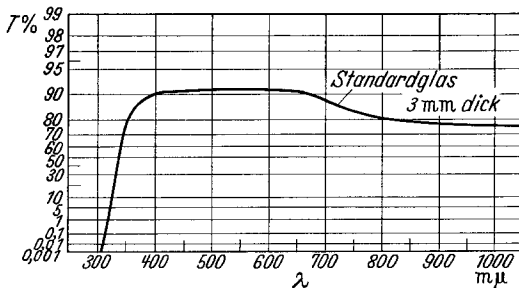


Abb. 5. Die spektrale Durchlässigkeitskurve des von uns zum Abdecken der Reaktionsgefäße verwendeten Standard-Glases (3 mm dick). Die Reflexionsverluste sind eingeschlossen

dardglas läßt sich auch im langwelligen UV bis 350 $m\mu$ ohne beträchtliche Verluste verwenden (Abb. 5). Der im Bereich unterhalb 400 $m\mu$ feststellbare Verlust an Intensität gegenüber WG5 beträgt nicht mehr als 10%. Wenn es auf diese 10% ankommt, verwenden wir statt der Glasplatten WG5-Platten.

Im allgemeinen jedoch kommen wir mit den Glasplatten aus. Besonders günstig ist, daß das Glas alle mögliche Streustrahlung unterhalb 315 $m\mu$ quantitativ absorbiert.

Wenn wir — wie es im allgemeinen der Fall ist — die Xenonbogen-Anlage nur im kurzwelligen Bereich des sichtbaren Spektrums und im

UV verwenden, haben wir zwischen Kondensator und Objektivlinse 4 mm KG 1 eingeschaltet, die die starke Emission des Bogens im nahen Infrarot weitgehend abfangen (Abb. 6). Die von uns verwendeten KG 1-Filter sind zwar gehärtet, man muß jedoch beachten, daß sich ihre UV-Transmission unter dem Einfluß intensiver Bestrahlung mit kurzwelligem UV im Laufe der Zeit etwas vermindern kann.

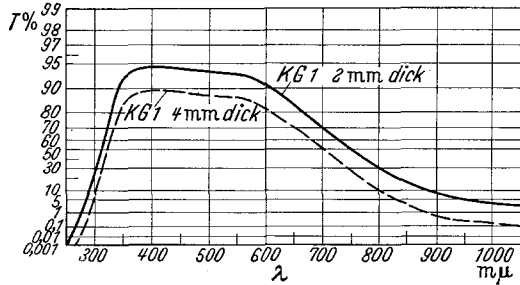


Abb. 6. Die spektrale Reintransmissionskurve des von uns verwendeten Schottischen Infrarotabsorptionsfilters KG 1, 2 bzw. 4 mm stark. (Nach Schott und Gen. 1959)

Für unsere physiologischen Experimente steht uns also in den Bestrahlungskästen ein Kreis von 8 cm Durchmesser zur Verfügung, der weitgehend homogen ausgeleuchtet ist. Die Abweichungen vom Mittelwert der Intensität betragen bei richtiger Justierung nicht mehr als $\pm 10\%$. Da wir in der Prado-Anlage (MOHR und SCHOSER 1959) meist nur den praktisch homogen ausgeleuchteten Kreis von 5 cm Durchmesser verwenden, haben wir damit die Nutzfläche auf das 2 $\frac{1}{2}$ -fache gesteigert.

Die Prado-Anlage (Glasoptik, Glühlampen) liefert unterhalb 410 m μ keine beträchtlichen Intensitäten mehr. Die nebenstehende Tabelle gibt einen Vergleich der maximalen Intensitäten, die mit den uns zur Verfügung stehenden Filtern in den beiden Anlagen erzielt werden können. Man sieht, daß die Xenonbogen-Anlage im kurzwelligen Spektralbereich der Prado-Anlage weit überlegen ist, während im längerwelligen Bereich des sichtbaren Spektrums die Prado-Anlage höhere Intensitäten liefert. Dies sind die auf Grund der spektralen

Tabelle. Ein Vergleich maximal erzielbarer Intensitäten in der Xenonbogen-Anlage (4 mm KG 1 im Strahlengang) und in der Prado-Anlage (5,5 mm KG 1 im Strahlengang)

Filter ¹	Anlage ²	Intensität (erg/cm ² × sec) ³
IL 613 m μ	P 750 W, 110 V	14000
IL 613 m μ	X 25 A	6300
IL 412 m μ	P 750 W, 110 V	1500
IL 412 m μ	X 25 A	4700
IL 454 m μ	X 25 A	9000
IL 371 m μ	X 25 A	3100
IL 355 m μ	X 25 A	1900
DIL 355 m μ	X 25 A	630
DIL 370 m μ	X 25 A	1000
DIL 408 m μ	X 25 A	1100
DIL 451 m μ	X 25 A	1700
DIL 451 m μ	P 750 W, 110 V	600
DIL 612 m μ	X 25 A	900
DIL 612 m μ	P 750 W, 110 V	1800

¹ IL = Einfache Interferenzlinienfilter, DIL = Doppel-Interferenzlinienfilter; ² X = Xenonbogen-Anlage, P = Prado-Anlage; ³ Die gemessenen Werte sind meist auf volle Hunderter auf- bzw. abgerundet.

Energieverteilung der verwendeten Strahlungsquellen erwarteten Verhältnisse. Die Xenonbogen-Anlage ergänzt also die Prado-Anlage in der gewünschten Weise.

Die von uns mit Interferenz-Doppellinienfiltern erzielten Intensitäten im kurzwelligen Bereich liegen mindestens eine Zehnerpotenz über denen, die WITHROW (1957) in seiner Interferenzfilter-Monochromatoranlage erzielt hat. Nach seinen Angaben erhielt er bei $365\text{ m}\mu$ mit Doppellinienfiltern eine Intensität von etwa $50\text{ erg/cm}^2 \cdot \text{sec}$, mit einfachen Linienfiltern eine Intensität von etwa $200\text{ erg/cm}^2 \cdot \text{sec}$.

Die Regulierung der Strahlungsintensität erfolgt durch Neutralfilter (NG-Gläser von Schott und Gen.), die in den Diahalter eingesetzt werden. Zu jedem Gerät gehört ein Satz von Neutralfiltern mit verschiedenen Durchlässigkeiten, die so miteinander kombiniert werden können, daß die Einstellung der gewünschten Intensität gegenwärtig mit einer maximalen Abweichung von 8% vom Sollwert möglich ist.

6. Diskussion

Die Totalemission der Xenon-Bögen wurde neuerdings gelegentlich in der Pflanzenphysiologie verwendet, so von KANDLER und SCHÖTZ (1956) bei Untersuchungen zur photooxydativen Pigmentzerstörung *in vivo* und von RÜSCH und MÜLLER (1958) bei Assimilationsexperimenten in ihrem sog. „Heliotron“. In diesen Fällen gelangten wassergekühlte Xenon-Hochdruck-Langbogenlampen (Osram, Typenbezeichnung XBF) von hoher Leistungsaufnahme zur Verwendung. Die Langbogenlampen, die sich schalttechnisch ähnlich verhalten wie die Leuchtstoffröhren, eignen sich nicht für die Verwendung in Projektionssystemen.

Den Xenon-Hochdruck-Kurzbögen vom XBO-Typ begegnet man neuerdings als Strahlungsquellen in leistungsstarken UV-Gittermonochromatoren (vgl. z. B. die Konstruktion bei OLSON und AMESZ 1960). Eine Interferenzfilter-Monochromatoranlage auf der Basis von lichtstarken Xenon-Kurzbögen ist bisher nicht beschrieben worden. Wir glauben, daß die in dieser Arbeit mitgeteilten Daten den Bau einer solchen Anlage rechtfertigen. Die Anlage erschließt uns mit relativ hoher Intensität und hoher Auflösungskraft das Blau-Violett und das nahe UV, einen Spektralbereich also, der photobiologisch von großer Bedeutung ist. Bisher konnte in diesem Bereich, wenn man von dem Spektrographen von MONK und EHRET (1956) absieht, nicht mit relativ hohen Intensitäten und mit relativ großen ausgeleuchteten Flächen gearbeitet werden.

Der Bereich unterhalb $350\text{ m}\mu$ interessiert nicht so sehr, da mit fallender Wellenlänge die Interpretation von Wirkungsspektren wegen der großen Zahl der *in vivo* absorbierenden Verbindungen immer mehr erschwert wird. Auch sind für Wellenlängen unter $350\text{ m}\mu$ bisher noch keine Doppellinienfilter verfügbar.

Im Verlauf der photobiologischen Untersuchungen, die wir gegenwärtig in der Xenonbogen-Anlage durchführen, wird sich zeigen, ob die Anlage die Erwartungen, besonders auch hinsichtlich relativ einfacher Bedienung und Betriebssicherheit, erfüllt.

Summary

An interference filter monochromator system for biological purposes has been described. The system contains two monochromator units. It operates with xenon arcs (Osram XBO 501) as sources of radiation and is therefore especially adapted for experimental work in the blue-violet range of the visible spectrum and in the near ultraviolet (until about 350 $m\mu$). All lenses are made of quartz. A circle of 8 cm diameter is homogeneously irradiated. The irradiances which can be presently obtained within this circle with our single or double interference filters are rather high (1900 and 630 $\text{ergs/cm}^2 \cdot \text{sec}$ respectively at 355 $m\mu$, 9000 and 1700 $\text{ergs/cm}^2 \cdot \text{sec}$ respectively around 450 $m\mu$). Together with the monochromator system which we described recently (MOHR und SCHOSER 1959) and which operates with incandescent projection lamps this xenon arc system enables biological investigations with highly purified monochromatic radiation in the spectral range from 350 to 800 $m\mu$.

Herrn Prof. Dr. BÜNNING möchten wir auch an dieser Stelle für die beständige Unterstützung unserer Arbeit danken. Auch der Firma Leitz, Wetzlar, sind wir zu großem Dank verpflichtet.

Literatur

- ANDERSON, W. T.: Xenon compact arc lamps. *J. opt. Soc. Amer.* **41**, 385—388 (1951).
- ANDERSON, W. T.: High brightness xenon compact arc lamp. *J. S.M. p. T. E.* **62**, 96—97 (1954).
- ITTIG, K., K. LARCHÉ u. F. MICHALK: Die neuen Xenon-Hochdrucklampen. *Techn.-wiss. Abh. Osram-Ges.* **6** (1953).
- Jenaer Glaswerk Schott und Gen.*: Schott-Interferenzfilter. Mainz 1957.
- Jenaer Glaswerk Schott und Gen.*: Farb- und Filterglas für Wissenschaft und Technik. Mainz 1959.
- KANDLER, O., u. F. SCHÖTZ: Untersuchungen über die photooxydative Farbstoffzerstörung und Stoffwechselhemmung bei *Chlorella*-Mutanten und panaschierten Oenotheren. *Z. Naturforsch.* **11b**, 708—718 (1956).
- MOHR, H., u. G. SCHOSER: Eine Interferenzfilter-Monochromatoranlage für photobiologische Zwecke. *Planta (Berl.)* **53**, 1—17 (1959).
- MONK, G. S., and C. F. EHRET: Design and performance of a biological spectrograph. *Radiat. Res.* **5**, 88—106 (1956).
- OLSON, J. M., and J. AMESZ: Action spectra for fluorescence excitation of pyridine nucleotide in photosynthetic bacteria and algae. *Biochim. biophys. Acta* **37**, 14—24 (1960).

- RAMERT, H.: Die Stromversorgung und Steuerung der Xenon-Hochdrucklampen. *Elektrotechn. Z. B* **8**, 16—21 (1956).
- RÜSCH, J., u. J. MÜLLER: Die Verwendung der Xenon-Hochdrucklampe zu Assimilationsversuchen. *Ber. dtsh. bot. Ges.* **70**, 489—500 (1958).
- SCHULZ, P.: Elektrische Entladungen in Edelgasen bei hohen Drucken. *Ann. Phys.* (6) **1**, 95—118 (1947 a).
- SCHULZ, P.: Eine Strahlungsquelle für kontinuierliche Strahlung hoher Strahldichte. *Z. Naturforsch.* **2a**, 583—584 (1947 b).
- WITHROW, R. B.: An interference-filter monochromator system for the irradiation of biological material. *Plant Physiol.* **32**, 355—360 (1957).

Prof. Dr. H. MOHR,
Freiburg i. Br., Botanisches Institut der Universität, Schänzlestr. 9—11