Der Gehalt des Lichts an Ultraviolett. II.

(Zugleich Antwort auf die Entgegnung von Prof. Dorno in Bd. 103 dieses Archivs.)

Von

Dr. Fritz Schanz,

Dresden.

Mit 2 Textabbildungen.

Meine lichtbiologischen Arbeiten haben von zwei Seiten Bestätigung erfahren. H. Pfeiffer und G. Beyer haben in ihrer Arbeit: Zur Kenntnis lichtkatalytischer Wirkungen¹⁾ sich eingehend mit der optischen Sensibilisation beschäftigt und dabei meine darauf bezüglichen Arbeiten weitgehend bestätigt und ergänzt. Eine weitere Bestätigung finden sie in den Arbeiten von Burge²⁾, der während des Krieges in Amerika die Wirkungen des Lichtes auf die Augenlinse studierte. In Bd. 103 dieses Archivs hat meinen Untersuchungen über den Gehalt des Lichtes an Ultraviolett Prof. Dorno erneut widersprochen. In der gemeinsamen Sitzung der Berliner Ophthalmologischen Gesellschaft und der Deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft ist mir bei der Diskussion: Auge und Belichtung³⁾ ein neuer Gegner erwachsen aus dem Kreise der Beleuchtungstechniker. Dr. Lux glaubte auch an der Hand physikalischer Energiemessungen meine Anschauung widerlegen zu können. Diese Widersprüche möchte ich aufklären.

Die Arbeit von Burge beschäftigt sich auch mit der Frage, welche Lichtstrahlen wirken auf die Augenlinse, und bestätigt meine Ansicht, daß die ultravioletten Strahlen imstande sind, das Linseneiweiß zu verändern. Die Arbeiten sind bei uns im Original schwer zugänglich, und darum halte ich mich hier möglichst an den Bericht, den Lux, mit dessen Untersuchungen ich mich später noch zu beschäftigen haben werde, von diesen Arbeiten gibt³⁾).

Nach diesem Bericht fand Burge, „daß es wesentlich die sehr kurzwelligen Strahlen zwischen 0,249 und 0,302 μ mit einem Maximum bei 0,254 μ sind, die auf die Proteine koagulierend wirken.

¹⁾ Zeitschr. f. g. ges. exper. Med. **14**, Hft. 3/4.

²⁾ Trans. III. Eng. Soc. (US.) 10 S. 932. 1915. Am. Journ. Physiolog. **36**, 335. 1916; Electr. World **65**, 912. 1915.

³⁾ Dtsch. opt. Wochenschr. 1921, Nr. 34.

Die Versuche von Burge erstreckten sich zunächst auf dünne Schichten von eingetrocknetem Hühnereiweiß und zerquetschten Linsen von Froschaugen. Die Schichten blieben vollständig durchsichtig, auch wenn sie 100 Stunden hindurch von einer Quecksilberquarzlampe bestrahlt wurden; sie koagulierten an den von den Strahlen getroffenen Stellen aber sofort, wenn sie nach der Bestrahlung oder auch von vornherein mit gewissen Salzlösungen (vor allem Calcium- und Magnesiumsalzen, dann aber auch Natrium- und Kaliumsilicaten) behandelt wurden. Sehr interessant und wichtig sind hierbei die spektrographischen Feststellungen Burges. Wurde das mit dem Quarzspektrographen zerlegte Licht der Quarzlampe auf die Proteinschicht geworfen, so bildeten sich die Spektrallinien als Streifen koagulierten Eiweißes ab, und zwar zwischen $0,249$ bis $0,302 \mu$ mit einem ausgesprochenen Maximum bei $0,254 \mu$. Hierbei war es gleichgültig, ob die Proteinschicht mit den genannten Salzlösungen vorbehandelt oder in diesen Lösungen nachträglich analog einer photographischen Platte entwickelt wurde.

Die Versuche wurden dann auf lebende Organismen ausgedehnt, und zwar auf Fisch- und Froschaugen. Die Linsen dieser blieben selbst nach mehrmaliger, je sechstündiger Bestrahlung durch die Quarzlampe aus unmittelbarer Nähe völlig klar, wenn die Individuen in reinem, möglichst salzfreiem Wasser lebten. Dagegen traten Trübungen und Kataraktbildung ein, wenn dem Aufenthaltswasser der Prüfobjekte nur $0,1\%$ Magnesium- oder Calciumsalz bzw. die gleiche Menge Natrium- oder Kaliumsilicat zugefügt wurde.

Die Ansicht Burges, daß die Kataraktbildung bzw. die Koagulation der Proteine immer nur dann eintrete, wenn in dem geschädigten Auge größere Mengen der genannten Salze vorhanden sind, wird durch seine Untersuchung an Tausenden von Linsenstar befallener Indier und Nordamerikaner gestützt. In dem Aschenrückstand dieser Linsen fanden sich immer nennenswerte Mengen der genannten Salze, bei den Indiern vor allem Silicate. Burge nimmt daher an, daß die schädigende Wirkung der kurzwelligen Strahlen immer eine Stoffwechselstörung zur Voraussetzung haben müsse, bei der ein Überreichtum der genannten Salze durch die Lymphbahnen nach der Linse transportiert wird. Bei den Indern erklärte er das Vorhandensein von Silicaten in der Linse durch das gewohnheitsmäßig geübte Tonessen. Es wäre von Wichtigkeit, nach dieser Richtung auch die Linsen von staroperierten Glasbläsern zu untersuchen, bei deren enormem Wasserkonsum infolge starken Schwitzens beträchtliche Kalkaufnahme stattfindet.

Diese Untersuchungen zeigen deutlich, daß es die ultravioletten Strahlen sind, die die Linse schädigen. Daß diese an sich schon das Linseneiweiß schädigen, ist eingangs erwähnt, die Anwesenheit von

gewissen Salzen steigert deren Wirkung. Ob diese Salze in gleicher Weise wirken wie die Sensibilisatoren, mit denen ich gearbeitet, kann bei diesen Ausführungen unberücksichtigt bleiben. Die Feststellung Burges, daß es die ultravioletten, nicht die sichtbaren und ultraroten Strahlen sind, die das Linseneiweiß schädigen, stützt meine Ansicht und zeigt wieder, daß wir den Gehalt des Ultraviolett im Tageslicht studieren müssen.

Die Physik der Sonnenstrahlung ist schon seit längerer Zeit der Gegenstand eingehender Studien. Wie weit ist der Gehalt des Sonnenlichtes an Strahlen erforscht, die direkt auf die Linse und auf die lebende Substanz einzuwirken vermögen? Die ausführlichste systematische Erforschung der Sonnenstrahlung wird ausgeführt nach der Methode, die Langley erdacht, und die seine Schüler und Nachfolger, Abbot, Fowle und Aldrich mit großer Experimentierkunst und technischer Geschicklichkeit, fußend auf Millionienstiftungen amerikanischer Mäzene, ausgebaut, nunmehr schon über $1\frac{1}{2}$ Jahrzehnt an verschiedenen Orten der Erde und in verschiedenen Höhenlagen angewandt. Die Hauptbeobachtungen sind auf dem 1730 m hohen Mount Wilson in Kalifornien angestellt, viel ist auch in Washington fast in Meereshöhe gemessen, andererseits sind 4410 m Meereshöhe auf dem Mount Whitney in Kalifornien erklommen und zu Kontrollzwecken sind zwei Expeditionen ausgeführt worden nach Algier (Bassour, 1160 m Meereshöhe) in eine Entfernung von einem Drittel des Erdumfangs vom gleichzeitigen Beobachtungsort, dem Mount Wilson.

Diesen Untersuchungen liegt als Einheitsmaß für die Sonnenstrahlung das der Wärme zugrunde, in der Annahme, daß alle Strahlen, die kurzwelligen wie die langwelligen, demjenigen Körper, der sie restlos absorbiert, eine ihrer Energie entsprechende Wärmemenge zuführen. Zu diesen Messungen konstruierte Langley sein Bolometer, welches von seinem Nachfolger Abbot weiter ausgebaut wurde. Eine genauere Beschreibung findet sich in Dorno, Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung. Mit diesem Instrument mißt man spektral die Energie der Sonnenstrahlen und rühmt sich, bis zur 3. Dezimale genau den Energiewert der Sonne in Wärmeeinheiten, die sog. Solarkonstante, berechnen zu können. Durch derartige Messungen erhält man als das normale Sonnenspektrum die Kurve, wie sie in Abb. 1 wiedergegeben ist. Darnach hat im terrestrischen Sonnenspektrum bei mittlerer Sonnenhöhe das Ultrarot etwa 60%, das sichtbare Spektrum etwa 40% Anteil an der Gesamtenergie, und das Ultraviolett nur noch kaum 1%. Bei niedrig sinkender Sonne schwindet der letztere Teil immer mehr bei gleichzeitiger schnellerer Zunahme des ultraroten Teils.

In der Physik mißt man auch auf dieselbe Weise die spektrale Energieverteilung in der Strahlung des absolut schwarzen Körpers bei

verschiedenen Temperaturen. Die Abb. 2 zeigt solche Kurven, sie ist entlehnt den Ausführungen, die Lux in der gemeinsamen Sitzung der Berliner Ophthalmologischen Gesellschaft und der Deutschen Be-

Abb. 1. Normales Sonnenspektrum. (Nach A b b o t.)

leuchtungstechnischen Gesellschaft gemacht hat¹⁾. An der Kurve, welche der Temperatur des schwarzen Körpers von 4200° entspricht, sind die Verhältnisse besonders deutlich zu erkennen. Die von der Kurve und der Abszissenachse eingeschlossene Fläche ist ein direktes Maß für die gesamte gestrahlte Energiemenge. Das in der linken Ecke schwarz gezeichnete kleine Flächenstückchen entspricht der im ultravioletten Gebiet gestrahlten Energiemenge, sie ist nur ein verschwindender Bruchteil, etwa 2,4% der Gesamtenergie. Bei niedriger Temperatur ändert sich das Verhältnis noch weiter zuungunsten des ultravioletten Strahlungsteiles. Bei einer Temperatur von 2000°, die noch erheblich über der in unseren Hochöfen, Flammenöfen, Glaswanneöfen usw. liegt, ist der ultraviolette Anteil der Strahlung kaum mehr zu messen. Auf der Zeichnung fällt dieser Anteil schon fast mit

Abb. 2. Spektrale Energieverteilung des schwarzen Körpers bei verschiedenen Temperaturen. (Nach L u x.)

¹⁾ Dtsch. opt. Wochenschr. 1921.

der Abszissenachse zusammen. Er beträgt höchstens 0,05%. Da die Temperatur unserer gebräuchlichen Lichtquellen zwischen 1700 und 2745° liegt, wenn wir einerseits die Stearin- oder Paraffinkerze, andererseits die Gasfüllungslampe ins Auge fassen, so kann man nach der Ansicht von Lux wohl kaum behaupten, daß die ultraviolette Strahlung bei unseren künstlichen Lichtquellen dem Quantum nach irgendeine belangreiche Rolle spielt. Seiner Ansicht nach sind in den Strahlen einer Kohlenfadenlampe, dem Energiequantum nach, kaum mehr ultraviolette Strahlen vorhanden als in dem reflektierten Licht von einem Kornblumenstrauß an einem leuchtenden Sommersonntag.

Das sind Feststellungen von Physikern über den ultravioletten Anteil an der Strahlung des Lichtes. Allen lichtbiologischen Vorgängen liegen bekanntlich chemische Veränderungen zugrunde. Nur die kurzwelligen Strahlen vermögen — darüber besteht keine Meinungsverschiedenheit — chemische Veränderungen an der Materie und auch an der lebenden Substanz zu erzeugen. Das Eiweiß, das den wesentlichsten Bestandteil der lebenden Substanz ausmacht, fängt erst in Blau an, das Licht zu absorbieren und wird besonders empfindlich im Ultraviolett. Das haben meine, das haben die oben angeführten Untersuchungen von Burge ergeben. Die ultravioletten Strahlen des Tageslichtes, diejenigen unserer intensiven, künstlichen Lichtquellen, erzeugen unter Umständen schwere Schädigungen an unserer Haut, an unseren Augen. Darüber besteht heute kein Zweifel mehr, wenn auch die Ansichten, wo diese Schädigungen beginnen, noch weit auseinandergehen. Der kleine Bruchteil der Sonnenenergie, der nach diesen Messungen der Physiker für die Wirkungen des Sonnenlichtes bei biologischen Vorgängen in Frage kommen kann, soll das Leben auf Erden schaffen und erhalten? Sollten da nicht Zweifel an der Richtigkeit jener Messungen berechtigt sein?

Als ich die erste Arbeit von Dorno, Studie über Licht und Luft im Hochgebirge, gelesen, kamen mir sofort Zweifel an der Richtigkeit seiner Beobachtungen. Als ich mir seine Versuchsanordnung genauer ansah, konnte ich zeigen, wo die Fehler liegen. Ich habe von ihm heftige Zurückweisung erfahren. In seiner letzten Entgegnung beklagt sich Prof. Dorno, daß ich ihm wiederholt nicht geantwortet habe. Der Grund liegt in dem Ton, in dem seine Ausführungen gehalten waren, und der mir eine weitere Diskussion unmöglich machte. Hier liegt zwischen den Feststellungen des Physikers und des Biologen ein großer Widerspruch, der zur Klärung drängt. Was ich an den Untersuchungen Dornos auszustellen habe, ist aus meinen früheren Arbeiten zu ersehen¹⁾. Heute möchte ich versuchen, den Widerspruch

¹⁾ Strahlentherapie 5, Hft. 1; Münch. med. Wochenschr. 1915, Nr. 48; Dtsch. med. Wochenschr. 1916, Nr. 20; Strahlentherapie 8, Graefes Arch. f. Ophthalmol. 103.

zu klären mit den Untersuchern, die bolometrische Messungen ihren Untersuchungen zugrunde gelegt haben. Die bolometrische Messung hat zur Voraussetzung, daß dabei die auftreffenden Strahlen in dem Körper, der sie restlos absorbiert, in Wärme umgewandelt werden. Als alle Strahlen restlos absorbierende Substanz verwendet man den Ruß. Soweit das sichtbare Spektrum reicht, mag dies angängig sein, wie es im Ultraviolett damit steht, wissen wir nicht. Ruß ist chemisch rein nicht darzustellen. Er ist ein ausgezeichnetes Adsorbens — die ultravioletten Strahlen können auch im Ruß und seinen Verunreinigungen chemische Veränderungen erzeugen. Diese chemischen Veränderungen sind auch mit Wärmeentwicklung verknüpft, aber diese Wärme läßt sich nicht in Vergleich stellen mit der Wärme am roten Ende des Spektrums.

Um festzustellen, wie weit bei den bolometrischen Messungen dem Ruß die Eigenschaft zukommt, alle Strahlen restlos in Wärme umzuwandeln, habe ich bei meinen Arbeiten über die physikalischen Vorgänge bei der optischen Sensibilisation auch den Ruß auf seine lichtelektrische Zerstreuung geprüft (Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **190**, 311). Er zeigte außerordentlich lebhaft diese Reaktion und ließ dadurch erkennen, daß sehr intensive chemische Vorgänge in demselben durch Licht ausgelöst werden. Die Lichtstrahlen, die lediglich als Wärme wirken, vermögen keine lichtelektrische Zerstreuung zu erzeugen. Die Voraussetzung bei den bolometrischen Messungen, daß das Licht von Ruß restlos absorbiert und in gleiche Wärmemengen umgewandelt wird, ist im ultravioletten Spektralteil nicht mehr zutreffend. Die oben ausgesprochenen Zweifel an den bisherigen Messungen der Sonnenenergie dürften daher berechtigt sein.