

Strahlung und Stoffwechsel, II. Mitteilung: Die Wirksamkeit der Ultraviolett- und Ultrarotstrahlung einschließlich des sichtbaren Lichtes

Von HERMANN GIERSBERG und ROBERT G. A. LOTZ

Aus dem Zoologischen Institut der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a. M.

(Z. Naturforschg. **3b**, 349—356 [1948]; eingegangen am 10. Juli 1948)

Bestrahlung mit UV und UR einschließlich sichtbaren Lichts bedingt bei weißen Mäusen und Hühnern eine Senkung im Gasstoffwechsel von durchschnittlich 25% und im Dauerversuch eine deutliche Herabsetzung des Grundstoffwechsels, während Lichtmangel bei weißen Mäusen den Stoffwechsel erhöht.

Sichtbares Licht, UV oder UR allein bewirken keinen Stoffwechselabfall.

Für die Stoffwechselerniedrigung nach Bestrahlung ist eine bestimmte Kombination von UV und UR notwendig.

Die Wirkung der Bestrahlung beruht mit großer Wahrscheinlichkeit auf einer Senkung des Tonus des Sympathicus und einer Verschiebung der vegetativen Regulationslage zur Vagotonie.

Eigenbestrahlungsversuche (G.) zeigten eine gleiche Senkung des durch Hyperthyreose erhöhten Grundstoffwechsels.

Unter den Umwelteinflüssen, denen Mensch und Tier ausgesetzt sind, steht die Strahlung — Wärme, Licht — an erster Stelle, ganz davon abgesehen, daß sie die primäre Grundlage für den gesamten Nahrungshaushalt der organischen Welt darstellt.

Von den gesamten Strahlungsarten, angefangen bei der kosmischen Ultrastrahlung mit einer Photonenenergie von $> 10^{10}$ eV bis zu der Hochfrequenzstrahlung von 1 eV und weniger, sind für das normale biologische Geschehen nur die UV-Strahlung, das sichtbare Licht, die UR-Strahlung und die kurzwellige Hochfrequenzstrahlung von Bedeutung. Bedingt ist dies einmal durch die genügend große Bestrahlungsstärke, in der sie auftreten, und besonders auch dadurch, daß in diesem Spektralgebiet das energetische Resonanzgebiet der molekularen Bindungen liegt¹.

Die Untersuchungen dieser Arbeit beschränken sich daher auf diese Strahlungsarten, und wenn der Kürze wegen von „Strahlung“ gesprochen wird, so bezieht sich dies immer auf UV-, UR-Strahlung und sichtbares Licht.

Über die Wirksamkeit der Strahlung auf den Gasstoffwechsel von Mensch und Tier gehen die Meinungen auseinander. Pincussen² sowie Laurens³ fan-

den nach UV-Bestrahlung eine Erhöhung des Grundumsatzes, während Bergfeldt⁴ keinen Einfluß feststellen konnte und Lehmann⁵ eine Senkung des Grundumsatzes mit Erhöhung des respiratorischen Quotienten nach UV-Bestrahlung erreichte. Im allgemeinen gilt die UV-Bestrahlung als Stimulator des Stoffwechsels⁶. Nach Fill⁷ hat sichtbares Licht bei Tagtieren (Vögeln) einen steigenden, bei Nachttieren (Meerschweinchen) einen hemmenden Einfluß auf den Stoffwechsel.

Auch was den wirksamen Strahlenbereich betrifft, so sind bisher noch keine übereinstimmenden Resultate gefunden worden, wie auch die Frage nach dem Wirkungsmechanismus noch offen ist.

Im Rahmen der folgenden Untersuchungen soll versucht werden, einer Klärung dieser Fragen näher zu kommen.

I. Methodik

a) Tiermaterial

Als Versuchstiere wurden weiße Mäuse und Hühner benutzt. Die Mäuse wurden im Institut in einem

⁴ W. Bergfeldt, *Strahlentherapie* **39**, 245 [1931].

⁵ G. Lehmann, *Strahlentherapie* **48**, 364 [1933].

⁶ F. H. Krusen, *Arch. phys. Ther.* **22**, 199 [1941] (zit. n. *Ber. wiss. Biol.* **58**, 125 [1942]); H. A. E. Meyer u. O. E. Seitz, *Ultraviolette Strahlen, ihre Erzeugung, Messung und Anwendung in Medizin, Biologie und Technik*, Berlin 1942.

⁷ W. Fill, *Z. wiss. Zool.* **155**, 343 [1942]. Diese Arbeit ist die erste einer geplanten Untersuchungsreihe über Strahlung und Stoffwechsel aus dem Frankfurter Zoologischen Institut.

¹ Vgl. z. B. R. Schulze, *Naturwiss.* **34**, 238 [1947].

² L. Pincussen, *Strahlentherapie* **45**, 401 [1932].

³ H. Laurens, *The physiological effects of radiant energy*. New York 1933; H. Laurens, *J. Amer. Med. Assoc.* **111**, 2385 [1938].

Tierhaltungsraum mit Glasfenstern gezüchtet und während der Aufzucht mit Hafer, Lein- und Raps-
saat gefüttert; als Getränk diente Magermilch. Die Versuchstiere selber bekamen an Stelle von Milch jedoch nur Leitungswasser. Soweit nicht anders angegeben, wurden die Tiere letztmalig 12 Stdn. vor Versuchsbeginn gefüttert.

Die Hühner („Weiße Leghorn“) wurden ebenfalls im Institut mit Hafer und Gerste aufgezogen. Während der Aufzucht wurden sie Tag und Nacht mit 100-Watt-Lampen beleuchtet. Außerdem fiel durch ein Glasfenster gedämpftes Tageslicht in den Tierhaltungsraum. Die Hühner wurden 6 Stdn. vor Versuchsbeginn letztmalig gefüttert. Ultraviolette Strahlung bekamen die Tiere während der Anzucht nicht.

b) Stoffwechselbestimmung

Zur Stoffwechselbestimmung wurde eine am hiesigen Institut entwickelte Methode benutzt. Sie beruht auf der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und ist im Prinzip bereits beschrieben⁸. Soweit Veränderungen der beschriebenen Apparatur zur Messung kleinerer Tiere vorgenommen wurden, wird auf diese im Rahmen einer späteren Arbeit eingegangen werden.

Im allgemeinen sind nur CO₂-Messungen vorgenommen worden. Die Werte wurden laufend durch einen Zweifarben-Fallbügelschreiber aufgezeichnet. Die dargestellten Kurven sind, wenn nicht besonders angegeben, Originalkurven des Schreibers. Die Angaben in den Kurven und Tabellen sind Relativwerte (in Teilstrichen des Schreibers). Die Strömungsgeschwindigkeit der Atmungsluft betrug bei Mäusen im allgemeinen 100 cm³/min, bei Hühnern 200—250 cm³/min. Der Apparat selbst zeigte keine Streuung in den Meßwerten, soweit die Meßgenauigkeit reichte. Meßreihen von unbehandelten Kontrolltieren ergaben keine Abweichungen des Stoffwechsels beim gleichen Tier. Die Tiere können untereinander in ihren Stoffwechselwerten bis zu 10% auseinander liegen. Solange sich die Tiere während der Stoffwechselmessung bewegten, was zu Anfang meist der Fall war, lag der Stoffwechsel natürlich wesentlich höher (Arbeitsstoffwechsel). Meist nach 15—20 min lagen die Versuchstiere ruhig und der normale Ruhestoffwechsel konnte festgestellt werden. Nur diese Werte sind in den Versuchen angegeben.

c) Bestrahlung

Soweit nicht während der Stoffwechselmessung bestrahlt werden sollte, war die Atmungsküvette aus Jenaer Glas. In diesem Fall, der die Regel darstellt, wurde die Bestrahlung außerhalb der Atmungsküvette vorgenommen. Sollte während der CO₂-Bestimmung selbst bestrahlt werden, dann wurde ein Metallkästchen benutzt, welches durch entsprechende Schott-Filter (12 × 12 cm) luftdicht abgeschlossen werden konnte. In späteren Versuchen wurde eine Atmungsküvette aus Quarz genommen.

Bestrahlt wurde mit der Osram-Ultravitalux-Lampe (UVL), mit dem Hanauer Quarzbrenner SN 300 und

der Hanauer Sollux-Lampe (SL). Letztere ist eine Neukonstruktion, bei der an Stelle der Wärme-Glühbirne ein Metalltauchsieder benutzt wird (langwelliges UR).

Die Verteilung der Gesamtstrahlung auf die einzelnen Spektralgebiete in Prozenten bei den beiden UV-Strahlern ist (nach Meyer u. Seitz⁶):

	Ultra-Vitalux (UVL)	Quarzbrenner (SN 300)
Langwelliges UR (> 1,15 μ)	78,0	59,0
Kurzwelliges UR (0,7—1,15 μ)	15,5	2,5
Sichtbares Licht (0,4—0,7 μ)	4,7	15,0
UV-A (0,32—0,4 μ)	1,1	7,0
UV-B (0,28—0,32 μ)	0,7	8,5
UV-C (< 0,28 μ)	0,0	8,0

Wenn der ultrarote Anteil ausgeschaltet werden sollte, wurde während der Bestrahlung die Küvette aus Quarz mit Wasser überschichtet. Zur Abgrenzung der Spektralbereiche wurden Schott-Filter benutzt. Die Durchlässigkeit dieser Filter wird bei dem jeweiligen Versuch angeführt.

Bei den Angaben UR oder UV handelt es sich immer um diesen Spektralbereich einschließlich des sichtbaren Anteils. Die angegebenen Versuchsbezeichnungen sind Kombinationen von Zahlen und Buchstaben und geben außer der Versuchsnummer das Jahr, die Art und das Alter des Tieres an. Versuch 79/19. 8., M 7. 6, bedeutet z. B.: laufende Versuchsnummer 79, Datum 19. 8., Maus, geb. am 7. 6.

II. Versuche

A. Der Einfluß zusätzlicher Bestrahlung auf den Stoffwechsel

Bei der Stoffwechseländerung durch Bestrahlung ist zu unterscheiden zwischen einer Wirkung, die nur für die Dauer der Bestrahlung anhält, und einer solchen, die als Nachwirkung auftritt. Fill⁷ hat bei seinen Untersuchungen nur einen Einfluß während der Bestrahlung feststellen können. Alle Befunde in den bisherigen Arbeiten, die Wirkungen während der Bestrahlungen erkennen lassen, sind unter bestimmten Einschränkungen zu werten, da durch die Bestrahlung meist eine wesentliche Temperaturerhöhung der Haut usw. eintritt. Nun ist bekannt, daß gerade durch Temperaturunterschiede der Stoffwechsel stark geändert wird. Der Stoffwechsel fällt bis zu einem bestimmten, individuell verschiedenen Temperaturoptimum ab, um dann wieder anzusteigen. Bei Mäusen z. B. ändert sich der Stoffwechsel je 1° Temperaturerhöhung um etwa 12%.

Um diesen Temperaturfaktor auszuschalten und die Nachwirkung der Bestrahlung festzu-

⁸ R. G. A. Lotz, S. die folgende Arbeit, S. 357.

stellen, wurde der Stoffwechsel in unseren Versuchen in der Regel nicht während der Bestrahlung gemessen, sondern vor dieser oder eine bestimmte Zeit nachher.

Während bisher in den angeführten Arbeiten Quecksilber-Quarzlampen angewandt wurden, be-

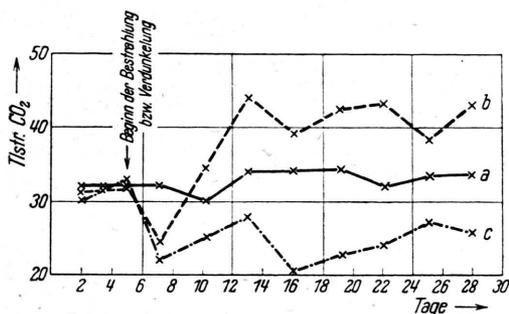


Abb. 1. CO₂-Produktion bei weißen Mäusen: a bei gedämpftem Tageslicht, b im Dunkeln, c wie bei a + täglich 2 Stdn. UVL (Versuche 71—79/19. 8., M 7. 6.).

nutzten wir die Osram-Ultra-Vitalux-Lampe. Dies sei besonders betont, da sich später zeigen wird, daß dies für die Reaktion von ausschlaggebender Bedeutung war.

Versuche 71—79/19. 8., M 7. 6. (Versuchsdauer vier Wochen):

- Je 3 weiße Mäuse (2 ♂ und 1 ♀) wurden gehalten:
- a) im Zimmer (Tierhaltungsraum hinter Glasfenstern),
- b) in vollständiger Dunkelheit [im gleichen Zimmer wie a)],
- c) im Zimmer wie a) + täglich 2 Stdn. Bestrahlung mit der UVL in 1 m Abstand.

Die entstehende Temperaturerhöhung während der Bestrahlung bei der Serie c) wurde bei den Serien a) und b) durch Zusatzheizung mit Osram-Glühlampen gleich gehalten. Die Versuchstiere bekamen täglich 5 g Hafer und hatten ständig Wasser zur Verfügung. Der Stoffwechsel wurde täglich bestimmt. Letzte Fütterung mindestens 12 Stdn. vor der Messung. Die Strömungsgeschwindigkeit der Atmungsluft bei der Messung betrug 100 cm³/min.

Das Ergebnis als CO₂-Kurven zeigt Abb. 1. Die CO₂-Werte sind in Teilstrichen (des Schreibers) angegeben. Jede Kurve gibt den Mittelwert von je 3 Tieren wieder, ist also keine Originalkurve des Fallbügelschreibers. Vor Versuchsbeginn hatten alle Tiere die gleiche CO₂-Produktion von 30—32 Teilstrichen. Die Stoffwechselmessung wurde täglich nach der Bestrahlung vorgenommen.

Die Kurve der bestrahlten Tiere (c) fiel schon nach der ersten Bestrahlung stark ab und blieb während der gesamten Versuchsdauer unter der Kurve der Kontrolltiere (a).

Ganz anders verlief die Kurve bei den in vollständiger Dunkelheit gehaltenen Tieren (b). Der Stoffwechsel senkte sich nach der Verdunkelung zunächst, um dann aber wieder über die Kurve der Kontrolltiere anzusteigen und ständig höher zu bleiben.

Diese Versuche zeigen, daß auf Bestrahlung mit der UVL der Stoffwechsel bei weißen Mäusen abfällt.

Wie verhalten sich Vögel? Hierzu sei folgender Versuch angeführt:

Versuch 84/18. 10., H 28. 8.:

Bei einem Huhn (51 Tage alt, ♀) wurde täglich der Stoffwechsel gemessen und gleichzeitig das Gewicht festgestellt. Es befand sich im Tierhaltungsraum. Nach 12 Tagen wurde es dann täglich mit der UVL 30 min bei 1 m Abstand in einem weitmaschigen Drahtkäfig bestrahlt.* Die CO₂-Produktion wurde täglich sowohl vor wie nach der Bestrahlung bestimmt. Die Strömungsgeschwindigkeit der Atmungsluft betrug hierbei 200 cm³/min. Abb. 2 zeigt das Ergebnis dieses Versuches.

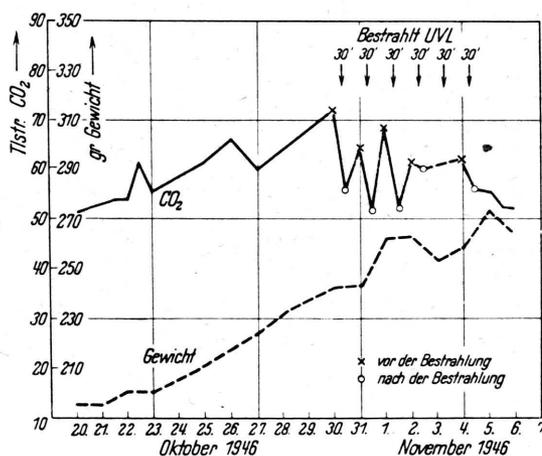


Abb. 2. Einfluß von UVL auf Gewicht und CO₂-Produktion beim Huhn (Versuch 84/18. 10., H 28. 8., Ia).

Entsprechend der Gewichtszunahme stieg der Stoffwechsel bis zum Beginn der Bestrahlung von 50 auf 70 Teilstriche an. Sofort nach der ersten Bestrahlung fiel er wieder auf 53 Teilstriche ab, um bis zur Bestrahlung am nächsten Tag wieder

* Die Frage des Aufnahmeortes der Strahlen bei diesen gefiederten Tieren wird in einer späteren Arbeit diskutiert werden.

Lfd. Nr.	Datum	Tier Nr.	Bestr.-Zeit in min	Lampen-Abst. cm	CO ₂ (Tlstr.)		Änderung %
					vorher	nachher	
1	7.1.47	84	5	35	30	26	-13,3
2	9.1.47	84	5	35	46	28	-39,1
3	10.1.47	84	5	35	26	16	-38,5
4	11.1.47	84	5	35	43	34	-20,9
5	15.1.47	85	5	35	34	31	-8,9
6	16.1.47	85	6	35	30	22	-26,7
7	17.1.47	85	7	35	26	20	-23,1
8	20.1.47	85	9	35	31	20	-35,5
9	21.1.47	85	11	35	29	20	-31,0
10	22.1.47	85	13	35	30	20	-33,3
11	23.1.47	85	15	35	24	18	-25,0
12	24.1.47	85	15	35	32	24	-25,0
13	31.1.47	85	10	35	29	19	-34,5
14	6.2.47	87	5	30	22	14	-36,4
15	8.2.47	91	5	30	23	17	-26,1
16	10.2.47	92	10	30	28	20	-28,5
17	13.2.47	97	10	30	29	20	-31,0
18	25.2.47	103	10	30	23	20	-31,1
19	25.2.47	104	10	30	17	17	0*
20	26.2.47	105	10	30	25	17	-32,0
21	25.3.47	126	10	30	28	22	-21,4
22	25.3.47	127	10	30	24	19	-20,8
23	28.3.47	128	10	25	25	19	-24,0
24	2.6.47	155	10	30	22	18	-18,2
25	3.6.47	156	10	30	16	14	-12,5
26	6.6.47	157	10	30	26	22	-15,4
27	9.6.47	158	20	30	26	21	-19,2

* Tier 48 Stdn. vor der Messung letztmalig gefüttert.

Tab. 1. Bestrahlung von weißen Mäusen mit der Ultra-Vitalux-Lampe. Durchschnittliche Stoffwechselsenkung = -24,2% ± 1,8%.

etwas anzusteigen, ohne jedoch den alten Wert 70 zu erreichen. Erneute Bestrahlung senkte den Stoffwechsel wiederum. Nach Einstellung der insgesamt 6 Bestrahlungen fiel die Kurve noch zwei Tage weiter ab, um dann wieder langsam anzusteigen.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang noch, daß das Huhn, welches insgesamt an sechs Tagen je 30 min bestrahlt wurde, im weiteren Wachstum den nicht bestrahlten weit voraus war. Über den Einfluß der Bestrahlung auf das Wachstum wird zur Zeit am hiesigen Institut noch gearbeitet.

Zur Sicherstellung dieser Befunde über die Stoffwechselsenkung wurden von Januar bis Juni 1947 weiße Mäuse verschieden lang mit der UVL einmalig bestrahlt und der Stoffwechselabfall bestimmt (Tab. 1). Es ergibt sich bei einer Bestrahlungsdauer zwischen 5 und 20 min eine durchschnittliche Stoffwechselerniedrigung von 24,2%.

B. Der wirksame Spektralbereich

Bei den Versuchen in Abschn. A wurde die Gesamtstrahlung einer Ultra-Vitalux-Lampe benutzt und dadurch eine Herabsetzung des Stoffwechsels erzielt. Durch einige Versuche war bereits festgestellt worden, daß der ultraviolette Anteil maßgeblich an dieser Reaktion beteiligt sein mußte.

So wurde im Versuch 85/15. 1., M 25. 4., eine weiße Maus unter Zwischenschaltung einer Glasscheibe 5 min mit der UVL bestrahlt. Sie zeigte danach keinen Abfall im Stoffwechsel. Die gleiche Maus wurde am nächsten Tag dann bestrahlt ohne Zwischenschaltung der Glasscheibe, worauf der Stoffwechsel um 36% abfiel. Auch Bestrahlungen mit einer gewöhnlichen Osram-Glühlampe ergaben keinen anschließenden Abfall des Stoffwechsels.

Auf Grund dieser Versuche scheint also, wie zu erwarten, der UV-Anteil für die Reaktion notwendig zu sein.

Wie verhält es sich mit dem ultraroten Anteil?

Bekannt ist, daß durch Wärmeeinwirkung (im wesentlichen also Ultrarot-Strahlung) eine Herabsetzung des Stoffwechsels stattfindet. Allerdings ist diese Stoffwechselerniedrigung nicht von nachhaltiger Wirkung, sondern auf die Dauer der Einstrahlung beschränkt. Bei unseren Versuchen jedoch blieb die Strahlenwirkung noch Stunden, ja sogar mehrere Tage erhalten. Inwieweit der Ultrarot-Anteil dabei beteiligt war, wurde durch Versuche entschieden, bei denen der Ultrarot-Anteil während der Bestrahlung mit der UVL durch Bedecken der Küvette mit einer 20—30 mm dicken Wasserschicht absorbiert wurde. Tab. 2 zeigt solche Versuche mit weißen Mäusen.

Überraschenderweise zeigte sich, daß auch bei Ausschaltung des Ultrarot-Anteils im allgemeinen eine eindeutige Erniedrigung des Stoffwechsels nicht mehr stattfand, wenn auch einzelne Tiere noch reagierten (Nr. 6, 8, 17, 20, 21). Vielleicht ist dies durch eine besondere Ausgangslage des Tonus des vegetativen Nervensystems dieser Versuchstiere begründet (s. später).

Auch die Bestrahlung mit Ultrarot allein hat keinen nachhaltigen Einfluß auf den Stoffwechsel, wie Versuche an weißen Mäusen ergaben, die mit der Sollux-Lampe bestrahlt wurden. Zum Teil wurden sie während der Bestrahlung mit dem Schott-Filter WG 7 (0,28—2,8 μ) abgedeckt (s. Tab. 3).

Auch Versuche mit Hühnern ergaben keine Stoffwechselsenkung nach Bestrahlung mit der Sollux-Lampe.

Lfd. Nr.	Datum	Tier Nr.	Bestr.-Zeit in min	Lampen-Abst. cm	CO ₂ (Tlstr.)		Änderung %	Bemerkungen
					vorher	nachher		
1	18. 3. 47	124	10	25	26	26	0	+ 20 mm
2	18. 3. 47	124	10	25	26	26	0	Wasser-
3	18. 3. 47	124	10	25	26	26	0	schicht
4	20. 3. 47	125	10	25	32	32	0	"
5	6. 4. 47	133	10	25	29	27	- 6,9	"
6	24. 4. 47	139	15	25	18	13	-27,7	"
7	28. 4. 47	140	10	25	14	14	0	"
8	29. 4. 47	141	10	25	23	18	-21,7	"
9	30. 4. 47	142	10	25	20	20	0	"
10	3. 5. 47	143	10	25	22	22	0	"
11	5. 5. 47	144	10	25	14	14	0	"
12	6. 5. 47	145	10	25	20	20	0	"
13	20. 5. 47	147	10	25	18	18	0	"
14	21. 5. 47	148	10	25	20	20	0	"
15	22. 5. 47	149	10	25	24	22	- 8,3	"
16	24. 5. 47	150	10	25	19	19	0	"
17	27. 5. 47	151	10	25	22	19	-13,6	"
18	28. 5. 47	152	10	25	22	22	0	"
19	30. 5. 47	153	10	25	20	20	0	"
20	31. 5. 47	154	10	25	22	18	-18,2	"
21	10. 6. 47	159	20	25	28	22	-21,4	"
22	13. 6. 47	160	20	25	26	26	0	"
23	18. 6. 47	161	20	25	16	16	0	"
24	21. 6. 47	162	20	25	14	14	0	"
25	24. 1. 48	225	10	25	18	18	0	+ 45 mm
26	28. 5. 48	236	15	30	18	18	0	+ 30 mm
27	28. 5. 48	237	20	30	24	24	0	+ 30 mm

Tab. 2. Bestrahlung weißer Mäuse mit der Ultra-Vitalux-Lampe unter Zwischenschaltung einer Wasser-schicht = Ausschaltung von UR. Durchschnittliche Stoffwechselsenkung = - 4,4 %.

Lfd. Nr.	Datum	Tier Nr.	Bestr.-Zeit in min	Lampen-Abst. cm	CO ₂ (Tlstr.)		Änderung %	Bemerkungen
					vorher	nachher		
1	7. 5. 48	226	15	45	26	26	0	+ WG 7
2	11. 5. 48	227	20	45	28	26	- 7,1	+ WG 7
3	14. 5. 48	228	20	45	25	23	- 8,0	+ WG 7
4	24. 5. 48	232	15	30	18	18	0	in Quarzküvette

Tab. 3. Bestrahlung von weißen Mäusen mit der Sollux-Lampe. Durchschnittl. Stoffwechselsenkung = - 3,8%.

Lfd. Nr.	Datum	Tier Nr.	Bestr.-Zeit in min	Lampen-Abst. cm	CO ₂ (Tlstr.)		Änderung %
					vorher	nachher	
1	9. 10. 47	200	10	85	20	20	0
2	15. 10. 47	202	10	36	22	20	- 9,1
3	17. 10. 47	204	10	36	22	22	0
4	18. 10. 47	205	10	36	19	19	0
5	20. 10. 47	206	10	36	20	20	0
6	22. 10. 47	207	15	36	27	27	0
7	24. 10. 47	208	20	36	12	12	0
8	30. 10. 47	210	10	36	20	20	0

Tab. 4. Bestrahlung von weißen Mäusen mit dem Hanauer Quarzbrenner SN 300. Durchschnittliche Stoffwechselsenkung = - 1%.

Licht ohne UV einen deutlichen Erfolg zeigte. dürfte die Wirksamkeit der Bestrahlung auf den Stoffwechsel in einer günstigen Kombination von UV und UR liegen.

Dafür sprechen folgende Versuche an weißen Mäusen, die mit dem Hanauer Quarzbrenner SN 300 bestrahlt wurden (Tab. 4). Es zeigte sich nämlich hierbei, daß durch Bestrahlung mit dem Quarzbrenner SN 300 praktisch kein Stoffwechsel-abfall eintritt. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, daß der UR-Anteil des Quarzbrenners (61 %) im Gegensatz zu dem der UVL (93 %) relativ geringer ist. Zum Beweis hierfür wurden Bestrahlungsversuche an weißen Mäusen mit dem Quarzbrenner SN 300 durchgeführt, dessen Ultra-rot-Anteil durch gleichzeitige Bestrahlung mit

Da also weder Bestrahlung mit UV + sichtbarem Licht ohne UR, noch UR + sichtbarem

Lfd. Nr.	Datum	Tier Nr.	Bestr.-Zeit min	Lampen-Abst. cm	CO ₂ (Tlstr.)		Änderung %
					vorher	nachher	
1	1. 6. 48	238	15	30/35	20	15	-25,0
2	1. 6. 48	239	5	30/35	20	16	-20,0
3	3. 6. 48	240	15	30/35	20	15	-25,0
4	3. 6. 48	241	15	30/35	19	17	-10,5
5	4. 6. 48	242	10	30/35	16	12	-25,0
6	5. 6. 48	243	10	30/35	21	16	-23,8
7	7. 6. 48	244	10	30/35	23	13	-43,5
8	8. 6. 48	245	10	30/35	26	13	-50,0

Tab. 5. Gleichzeitige Bestrahlung von weißen Mäusen mit der Sollux-Lampe in 30 cm Abstand und dem Quarzbrenner SN 300 in 35 cm Abstand. Durchschnittliche Stoffwechselsenkung = -28%.

der Sollux-Lampe erhöht wurde. Diese Versuche ergaben dann auch wieder eine Erniedrigung des Stoffwechsels nach der Bestrahlung (Tab. 5). Es bleibt nun noch die Frage zu klären, wie UV- und UR-Strahlung bei aufeinanderfolgender Dargebung wirken. Versuche an weißen Mäusen, die erst 15 min mit UR (Sollux) und dann sofort anschließend 15 min mit UV (SN 300) bestrahlt wurden, ergaben keinen eindeutigen Abfall des Stoffwechsels. Auch bei umgekehrter Bestrahlungsfolge, also 15 min UV, dann 15 min UR, war keine deutliche Stoffwechselerniedrigung festzustellen. Ob quantitative Unterschiede in der Reaktionsgröße bei den oben angeführten Bestrahlungsanordnungen bestehen, wird noch geprüft. Dazu sind größere Versuchsreihen nötig, um die Befunde statistisch zu sichern.

C. Der Wirkungsmechanismus Strahlung — Stoffwechsel

Die Versuche in Abschnitt A und B haben eindeutig ergeben, daß durch Bestrahlung mit UV (einschließlich eines starken Anteils UR) eine Herabsetzung des Gasstoffwechsels eintritt. Man könnte diese Stoffwechselsenkung auf die biologisch wirksamen Stoffe, die in der Haut bei der Bestrahlung entstehen, zurückführen. Gedacht wird hierbei besonders an Histamin, Vitamin D sowie an entstehende SH-Verbindungen, wie Glutathion usw. Histamin erzeugt, subcutan verabreicht, eine Senkung des Grundumsatzes, wie

⁹ A. Dzsinich u. M. Pély, *Klin. Wschr.* **13**, 699 [1934].

¹⁰ Benutzt wurde Histamindihydrochlorid (Hoffmann-La Roche).

¹¹ P. Schenk, *Naunyn-Schmiedebergs Arch. exp. Pathol. Pharmacol.* **92**, 34 [1924].

dies bereits u. a. von Dzsinich und Pély⁹ festgestellt wurde.

Versuche an weißen Mäusen, denen 0,5 mg Histamin¹⁰ subcutan gespritzt wurde, ergaben diesen Abfall des Stoffwechsels. Nach 1 Stde. jedoch bereits stieg der Stoffwechsel wieder langsam an und erreichte nach 4—8 Stdn. wieder den normalen Wert (Abb. 3).

Nach Schenk¹¹ könnte die Wirkung des Histamins so erklärt werden, daß der Sympathicus weniger erregbar wird. Dies geht auch daraus hervor, daß das Histamin in fast allen Organen eine dem Adrenalin entgegengesetzte Wirkung ausübt.

Histamin entsteht, wie bekannt, bei Bestrahlung mit der künstlichen „Höhensonne“, also der Strahlungsquelle, die in unseren Versuchen keine Reaktion ergab. Man könnte einwenden, daß in diesem Fall vielleicht nicht genügend Histamin in der angewandten Bestrahlungszeit gebildet worden ist, um die Stoffwechselsenkung herbeizuführen.

Folgender Versuch dürfte jedoch dagegen sprechen:

Eine weiße Maus erhielt 0,6 mg Histamin subcutan. Nach Abfall des Stoffwechsels, kurz vor dem Wiederanstieg, wurde dann 5 min mit Ultraviolett bestrahlt. Benutzt wurde dazu die UVL unter Zwischenschaltung des Schott-Filters WG 8 (>0,27 bis <2,8 μ) und einer 20 mm starken Wasserschicht in einer Quarzküvette. Während der Bestrahlung wurde der CO₂-Gehalt weiter gemessen. Nach der Bestrahlung trat keine erneute Senkung des Stoffwechsels ein, sondern die Kurve stieg langsam bis zur normalen Höhe an (s. Abb. 4).

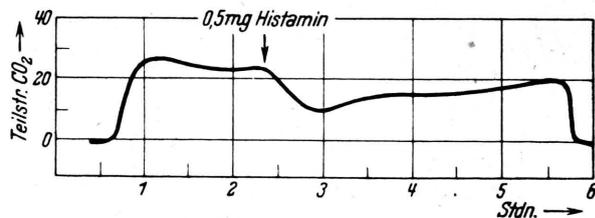


Abb. 3. Stoffwechsel nach subcutaner Injektion von Histamin bei der weißen Maus (Versuch 193/27. 9., M ♀).

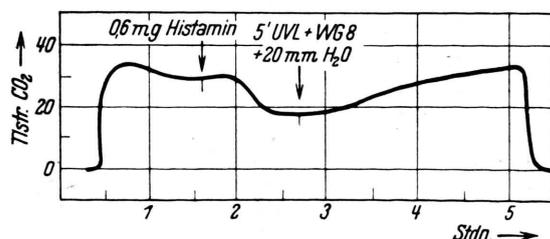


Abb. 4. Stoffwechsel nach Histamin-Injektion und anschließender UV-Bestrahlung bei der weißen Maus (Versuch 122/15. 3., M 28. 11., ♀).

Das Histamin scheint also nach diesem Versuch für unsere Bestrahlungsreaktion nicht, oder mindestens nicht allein verantwortlich zu sein. Auch eine Bestrahlung mit UR, gleichzeitig oder nach Injektion von 0,6 mg Histamin, zeigte keine Wirkung auf den Stoffwechsel.

Von Vitamin D weiß man, daß es vielfach den Grundumsatz erhöht. Unsere Versuche an weißen Mäusen ergaben keine Senkung des Stoffwechsels bei Verabreichung von Vitamin D.

Auch Glutathion ergab keine Erniedrigung des Stoffwechsels, ebenso nicht in Kombination mit UR-Bestrahlung.

Bei der Betrachtung der bisher sicher nachgewiesenen Wirkungen der UV-Bestrahlung, wie Zellzerstörung, photochemische Entstehung biologisch wirksamer Stoffe (Vitamin D, SH-Verbindungen, Histamin), Vasodilatation, Alkalose, Stoffwechselstimulation, Steigerung der Leistungsfähigkeit, Erhöhung der Darmperistaltik bei direkter Bestrahlung (Sehrt¹², Krusen⁶ u. a.), treten sowohl sympathicoton-ergotrope wie parasymphatisch-assimilatorische Wesenszüge deutlich hervor. Es wird zudem mehrfach in der Literatur erwähnt, daß UV-Bestrahlung auf die Nervenenden des vegetativen Systems erregende und lähmende Wirkungen auszuüben imstande ist, wobei u. E. mehr Angaben für eine Herabsetzung des Sympathicotonus und Erregungssteigerung des Parasympathicus sprechen als umgekehrt¹³.

Es liegt daher nahe, die beobachtete Senkung des Grundstoffwechsels auf eine Beeinflussung des vegetativen Nervensystems zurückzuführen, und zwar, da Erregung des Sympathicus Steigerung des Stoffwechsels zur Folge hat, eine Beeinflussung im Sinne einer Vagotonie, wobei durch die Bestrahlung entweder der Sympathicus gehemmt oder der Parasympathicus mehr erregt wird.

Hypnotica wirken im Sinne einer Herabsetzung der Erregbarkeit des Zentralnervensystems sowie des vegetativen Systems.

Eine Maus erhielt 0,25 cm³ 10-proz. Urethan subcutan; nach 30 min wurde der Stoffwechsel gemessen.

¹² E. Sehrt, *Elektive UV-Bestrahlung in Therapie und Prophylaxe*. Stuttgart 1942.

¹³ S. T. Rothman, *Z. ges. exp. Med.* **36**, 398 [1923]; A. Marchionini u. C. Hövelborn, *Klin. Wschr.* **14**, 1387 [1935]; D. Paulian, M. Tudor u. Ch. Constantinesco, *C.R. Inst. Sci. Roum.* **4**, 69 [1940] (zit. n. *Ber. wiss. Biol.* **56**, 184 [1941]); Reding, *Strahlentherapie* **67**, 136 [1940].

Das Tier war schläfrig und blieb es auch während des ganzen Versuchs. Dann wurde 10 min gleichzeitig mit der Sollux-Lampe und dem Quarzbrenner SN 300 bestrahlt. Die anschließende Messung ergab keinen Abfall des Stoffwechsels. Am nächsten und übernächsten Tag wurde der Stoffwechsel der gleichen Maus wieder gemessen, es wurde erneut bestrahlt und nachgemessen. Ergebnis:

	CO ₂ -Teilstriche		Wirkung
	vorher	nachher	
1. Tag	16	16	kein Abfall
2. Tag	10	10	kein Abfall
3. Tag	12	8	33% Abfall

Dieser Versuch zeigt, daß durch eine Herabsetzung des Tonus des Nervensystems, d. h. in diesem Fall sowohl des zentralen wie vegetativen Systems, die Bestrahlungsreaktion nicht eintritt. Nach 2 Tagen kehrt das normale Bewußtsein zurück und die Reaktion findet wieder statt.

In den folgenden Versuchen wurde im Gegensatz hierzu nur ein Teil des vegetativen Nervensystems ausgeschaltet.

An weißen Mäusen (9 Versuche) wurde der Stoffwechsel bestimmt, dann 0,25 mg Atropin subcutan gespritzt, wieder gemessen und schließlich 10 min mit der UVL bestrahlt (während der Bestrahlung wurde nicht gemessen, sondern sofort danach).

Abb. 5 zeigt, daß nach Atropin-Darreichung kein Abfall des Stoffwechsels stattfindet und auch praktisch keine Senkung nach der Bestrahlung eintritt. Atropin lähmt bekannterweise den Parasympathicus bzw. hebt den Acetylcholineffekt auf. Durch die Bestrahlung konnte also keine Erregung des Parasympathicus mehr eintreten und also auch keine Stoffwechselsenkung.

Zur Lähmung des Sympathicus wurden im Gegensatz hierzu an weißen Mäusen folgende Versuche gemacht:

Die Mäuse (3 Versuche) erhielten 0,2 cm³ Ergotin (Merck) subcutan, worauf der Stoffwechsel abfiel.

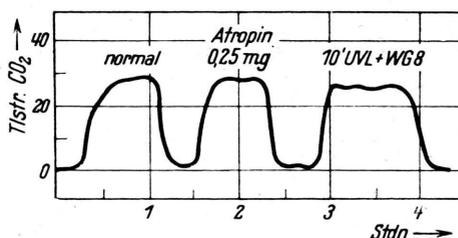


Abb. 5. Stoffwechsel der weißen Maus nach Injektion von Atropin und UV-Bestrahlung (Versuch 99/14. 2., M 28. 11., ♀).

Dann wurde 10 min mit der UVL in der Quarzküvette bestrahlt. Die Messung wurde während der Bestrahlung weitergeführt. Nach der Bestrahlung ergab sich keine Senkung des Stoffwechsels mehr (Abb. 6).

Ergotin lähmt den Sympathicus, führt also zu einer Stoffwechselsenkung. Andererseits kann durch die Lähmung des Sympathicus die Bestrahlung keine Wirkung mehr ausüben.

Diese Versuche sprechen dafür, daß bei unserer Bestrahlungsart sowohl der Sympathicus gelähmt wie der Parasympathicus erregt wird und so die Stoffwechselsenkung zustande kommt.

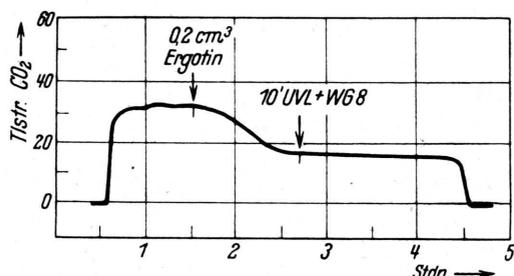


Abb. 6. Stoffwechsel der weißen Maus nach Injektion von Ergotin und UV-Bestrahlung (Versuch 121/14. 3., M 30. 11., ♂).

Die Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit manchen Angaben in der Literatur. Neu ist allerdings die langandauernde Wirkung sowie die Senkung des Stoffwechsellniveaus im Dauerversuch.

D. Wirkung am Menschen

Die Versuche wurden durch die Tatsache veranlaßt, daß der eine von uns (G.) seit langen Jahren an Hyperthyreose erkrankt war mit einer Stoffwechselerhöhung bis über 40%. Sonnenbestrahlung im Frühjahr und Herbst führte zu einer Linderung der Symptome (Grundumsatz-, Puls-Erniedrigung usw.), Sonnenbestrahlung im Hochgebirge zu einer Senkung des Pulses von etwa 100 auf 60. Bestrahlung mit der Hanauer Quarzlampe hatte keinen Erfolg, wohl aber Be-

strahlung mit der UVL, die eine starke Senkung des Grundumsatzes bis etwas unter die Norm zur Folge hatte. Die Wirkung hielt zunächst nur etwa 4 Wochen an, konnte dann aber durch erneute Bestrahlungsperioden stabilisiert werden, so daß der Grundumsatz normal wurde (November 1946 11-malige Bestrahlung in 11 Tagen: Stoffwechselsenkung — 20%, Januar 1947: 11-malige Bestrahlung in 28 Tagen: Stoffwechselsenkung etwa — 25%). Eine Stoffwechselwirkung zeigte sich nur, wenn der Grundumsatz über die Norm erhöht war, dann aber fast regelmäßig. Subjektiv trat nach Quarzlampenbestrahlung die bekannte anregende Wirkung, nach UVL dagegen eine starke Schläfrigkeit, verbunden mit Pulsabfall und Kältegefühl, auf. Interessant ist auch hier der Unterschied zwischen dem Quarzbrenner SN300 und der Ultravitalux-Lampe. Zu erwähnen ist hier, daß Guinzbourg¹⁴ bei Quarzlampenbestrahlung + Diathermie Erfolge bei Basedow erzielte.

Da durch unsere Tierversuche nachgewiesen werden konnte, daß durch eine geeignete Kombination von ziemlich viel UR mit UV, wie sie in der UVL-Lampe vorliegt oder bei dem Quarzbrenner durch Zusatz einer Sollux-Lampe sich erreichen läßt, eine stoffwechselsenkende Wirkung durchweg eintritt und im Dauerversuch eine Senkung des Stoffwechsellniveaus sich erzielen läßt (weiße, im Zimmer gehaltene Mäuse, Hühner), wobei der Mechanismus der Strahlenwirkung mit einer sehr großen Wahrscheinlichkeit durch eine Senkung des Sympathicotonus und Verschiebung der vegetativen Regulationslage zur Vagotonie hin vor sich geht, möchten wir glauben, daß bei einem optimalen Verhältnis von UV zu UR, das wir festzustellen uns bemühen, eine Dämpfung und Steuerung der Tonuslage des vegetativen Systems auch beim Menschen möglich ist.

¹⁴ E. Guinzbourg, Rev. franç. d'endocrin. 16, 410 [1938] (zit. n. Endocrinologie 22, 289 [1939]).