

Die Reaktion der Kapillaren und des Gewebes der Froschschwimmhaut (*Rana temporaria* L.) auf UV-Strahlung

Von HORST BÜCKER und WILFRIED HANKE

Aus dem Max-Planck-Institut für Biophysik (Direktor: Prof. Dr. Dr. Dr. B. RAJEWSKY) und dem Zoologischen Institut der Universität Frankfurt (Direktor: Prof. Dr. H. GIERSBERG)

(Z. Naturforschg. 12 b, 629–641 [1957]; eingegangen am 27. Juni 1957)

Nach Bestrahlung eines kleinen Bezirkes der Froschschwimmhaut mit verschiedenen ultravioletten Wellenlängen ($\lambda=254\text{ m}\mu$, $280\text{ m}\mu$, $297\text{ m}\mu$, $313\text{ m}\mu$, $366\text{ m}\mu$) wurde Stase in den Kapillaren beobachtet. Die Wirksamkeit der verschiedenen Wellenlängen ist dabei unterschiedlich. Messungen der Durchlässigkeit der Schwimmhaut wurden durchgeführt und erlaubten Schlüsse auf die in das Kapillargebiet hingelagende Strahlung. Während der Bestrahlungen konnten Durchlässigkeits-Veränderungen der Schwimmhaut beobachtet und gemessen werden. Die Ergebnisse werden diskutiert. Histologische Untersuchungen erweiterten das Bild über die Veränderungen im Gewebe durch Strahleneinwirkung.

Über den Angriffspunkt der ultravioletten Strahlen an lebenden Zellen liegen eine Reihe von Untersuchungen vor. Die Übereinstimmung der Wellenlängen-Abhängigkeit der Bakterientötung mit der Absorptionskurve der Thymonucleinsäure zeigt, daß kurzwelliges UV (Maximum bei $\lambda=260\text{ m}\mu$) an den Zellkernen angreift (GATES^{1,2}, EHRLSMANN und NOETHLING³, CASPERSSON⁴ und andere). Daneben ist jedoch eine Einwirkung auf das Plasmaeiweiß nicht ausgeschlossen, welches ein Maximum der Absorption etwa bei $\lambda=280\text{ m}\mu$ hat (RAJEWSKY⁵⁻⁹ und andere). Das Wirkungsspektrum der Erythembildung (Max. bei $\lambda=297\text{ m}\mu$ und $\lambda=254\text{ m}\mu$) wird durch den Eiweißerfall und damit also von der Absorption des Eiweißes beeinflusst. Außerdem hängt diese Reaktion von der Durchlässigkeit der Hautschichten (BACHEM^{10,11}) ab.

Der Ansatzpunkt der Wirkung des langwelligeren UV dagegen wird von einigen Autoren an der Zellgrenzschicht gesehen (GRAUL¹², SCHREIBER^{13,14}). Dieser Angriff soll sich unmittelbar in Permeabilitäts-Änderungen äußern.

Zur Untersuchung dieses gesamten Fragenkomplexes an inhomogenem Gewebematerial hielten wir die Froschschwimmhaut für geeignet. Beiderseits liegt außen das Stratum corneum. Darunter liegt eine Schicht teils abgestorbener Zellen, die von DORN¹⁵ als „Ersatzschicht“ bezeichnet wurde. Pyknotische

Kerne kennzeichnen sie als Übergangs-Zelllage von dem lebenden Str. germinativum zur Hornhaut. Nach innen folgen jeweils ein Str. germinativum und Corium mit einer dünnen Tela subcutanea in der Mitte der ganzen Schwimmhaut. Die Durchsichtigkeit dieser Schichten erlaubte GIERSBERG und HANKE¹⁶ an den Kapillaren der Froschschwimmhaut bei Bestrahlung mit UV eine Stase des Blutstromes festzustellen. Bei dieser Stase veränderte sich die Weite der Gefäße nicht. Es wird angenommen, daß Permeabilitäts-Änderungen der Gefäßwand für diese Stase verantwortlich sind. Weder durch Histamin noch durch Adrenalin konnten gleichartige Reaktionen herbeigeführt werden.

Bei den folgenden Untersuchungen sollte festgestellt werden, welche Wellenlängen Stase in den Kapillaren verursachen. Außerdem sollten histologische Untersuchungen klären, ob bei Einstrahlung dieser Wellenlängen Kern- und Zellzerstörungen auftreten. Um festzustellen, welche Energie die Kapillaren bei den verschiedenen Bestrahlungen erreicht, mußte die Durchlässigkeit der Schichten bestimmt werden.

Methodik

Die Bestrahlungen erfolgten nur an Individuen der Art *Rana temporaria* L. Die Lebensbedingungen der Tiere vor dem Versuch waren unterschiedlich; daher

¹ F. L. GATES, J. gen. Physiol. 13, 231 [1929].

² F. L. GATES, J. gen. Physiol. 13, 249 [1929].

³ O. EHRLSMANN u. W. NOETHLING, Z. Hyg. Infektionskrankh. 113, 597 [1932].

⁴ T. CASPERSSON, Skand. Arch. Physiol. Suppl. Nr. 8 zu Bd. 73, 1 [1936].

⁵ B. RAJEWSKY, Strahlentherapie 29, 759 [1928].

⁶ B. RAJEWSKY, Strahlentherapie 33, 362 [1929].

⁷ B. RAJEWSKY, Strahlentherapie 34, 582 [1929].

⁸ B. RAJEWSKY, Biochem. Z. 227, 272 [1930].

⁹ B. RAJEWSKY, 10 Jahre Forschung (DESSAUER), S. 202, 1931.

¹⁰ A. BACHEM, Strahlentherapie 39, 30 [1931].

¹¹ A. BACHEM, 10 Jahre Forschung (DESSAUER), S. 358, 1931.

¹² H. GRAUL, Strahlentherapie 76, 472 [1947].

¹³ H. SCHREIBER, Strahlentherapie 76, 183 [1947].

¹⁴ H. SCHREIBER, Strahlentherapie 77, 243 [1948].

¹⁵ E. DORN, Z. vgl. Physiol. 37, 459 [1955].

¹⁶ H. GIERSBERG u. W. HANKE, Z. vgl. Physiol. 37, 128 [1955].

rührt eine Einteilung in verschiedene Versuchsgruppen. Stets wurden die Tiere zur Eingewöhnung nach dem Fang etwa 4 Wochen in einem kühlen Keller gehalten. Die individuelle Variabilität war jedoch sehr groß. Neben der Hautdicke und der hierdurch bedingten Strahlenabsorption spielen sicher noch andere Faktoren, die z. T. jahreszeitlich bedingt sind, eine Rolle. Hierüber können wir noch nichts aussagen.

Die Bestrahlungen wurden mit einem besonders leistungsfähigen Monochromator (BÜCKER¹⁷) durchgeführt. Eine kreisförmige Blende von 2,4 mm ϕ war dabei direkt vor dem Austrittsspalt angebracht. Auf dieser konnte die Schwimmhaut aufgespannt werden (Abb. 1).

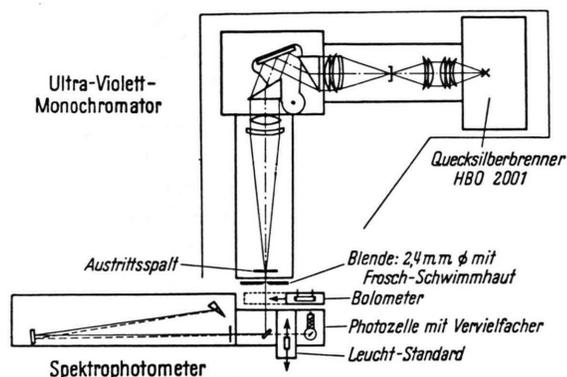


Abb. 1. Bestrahlungs- und Meßanordnung.

Als Lichtquelle für den Monochromator dienten Quecksilber-Höchstdrucklampen vom Typ Osram HBO 2001. Diese Brenner haben eine Leistung von 2000 W und ein Leuchtfeld von ca. 3 · 4 mm. Sie haben eine sehr hohe Strahldichte in den Linien des Quecksilberspektrums bis zur Wellenlänge $\lambda = 280 \text{ m}\mu$. Unterhalb dieser Linie ist wegen der durch die hohen Drucke bedingten starken Selbstumkehr der Linie 254 $\text{m}\mu$ keine nennenswerte Strahlstärke mehr vorhanden.

Mit dieser Bestrahlungsanordnung wurden die Froschschwimmhäute mit den Wellenlängen 280, 297, 313 und 366 $\text{m}\mu$ bestrahlt. Die Messung der Bestrahlungsstärke erfolgte mit einem absolut geeichten Bolometer, das direkt vor die Blende gebracht, den gesamten Strahlungsfluß erhielt.

Die spektrale Energieverteilung der austretenden Strahlung wurde mit einem „Beckman“-Spektralphotometer ausgemessen. Das Spektralphotometer mußte hierzu bei abgenommenem Lampenhaus so vor den Monochromator gebracht werden, daß die aus dem Monochromator austretende Strahlung auf den Eintrittsspalt des Photometers fiel. Da die Empfindlichkeit des Photometers selektiv von der gemessenen Wellenlänge abhängt, war es mit einem UV-Normal und einer bekannten Wolframbandlampe zu eichen. Weil die Empfindlichkeit des in dem Photometer befindlichen

Multiplier noch stark von den Batteriespannungen und der Verstärkung des Anzeigesystems abhängt, wurde mit Hilfe von radioaktiv angeregten konstant strahlenden Leuchtfarben, die direkt vor dem Multiplier eingeschaltet werden, die Empfindlichkeit des Gerätes kontrolliert (BÜCKER¹⁸). Mit dieser Anordnung konnte das Streulicht des Monochromators, d. h. die aus dem Monochromator austretende Strahlung anderer Wellenlängen als der eingestellten, gemessen werden. Sie ist relativ gering und beträgt in ungünstigen Fällen bis zu 1 Prozent. Die mit dem Multiplier des Spektrophotometers erreichte hohe Empfindlichkeit gestattete aber, das geringe Streulicht des Monochromators zur Messung der Durchlässigkeitsänderung der Froschschwimmhaut während der Bestrahlung zu benutzen (Abb. 2).

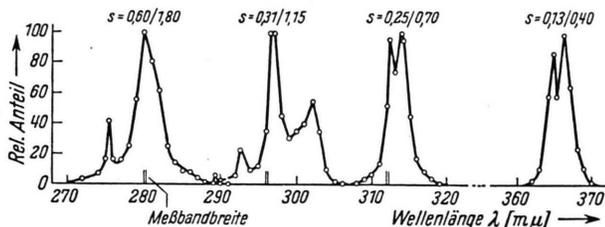


Abb. 2. Spektrale Energieverteilung der angewandten Strahlung mit den Wellenlängen 280, 297, 313 und 366 $\text{m}\mu$.

Die spektrale Abhängigkeit der Bestrahlungsstase

Das Streu- und Fluoreszenzlicht, das bei Bestrahlung die Schwimmhautfläche erhellte, ermöglichte die Beobachtung der Blutbewegung mit einem Bino-kular-Mikroskop. Dadurch konnte der Eintritt der Stase festgestellt werden. Veränderungen der Gefäßweite und Austrocknungs- oder Verbrennungs-Erscheinungen des Gewebes sind so ebenfalls zu erkennen. Im Laufe der Untersuchungen stellte sich nämlich heraus, daß die verschiedenen Wellenlängen die Austrocknung der Schwimmhaut trotz dauernden Anfeuchtens fördern. Dieses Austrocknen äußert sich darin, daß das Gewebe hyalin und faltig aussieht. Es ist ebenfalls als Ursache von Stase des Blutstromes zu betrachten. Diese Austrocknungsstase ist unabhängig von der Wellenlänge und interessiert hier nicht. Mit + wird in den Tabellen der Beginn der Bestrahlungsstase bezeichnet. Bei ++ steht das Blut in allen kleinen Gefäßen, während +++ völlige Stase bedeutet. Wenn durch gleichzeitig einsetzende Austrocknung die Ursache der Stase unklar ist, so lautet die Bewertung +-. Nach einer Anzahl von Vorversuchen wurde ein Bestrahlungsfeld mit

¹⁷ H. BÜCKER, *Strahlentherapie* 94, 292 [1954].

¹⁸ H. BÜCKER, unveröffentlicht.

einem Durchmesser von 2,4 mm gewählt. Die Tabellen geben einerseits die Wertung der Stasenreaktion in Abhängigkeit von Bestrahlungsdauer und Intensität wieder, gehen aber auch auf die Beobachtung von Austrocknungs-Effekten ein. Diese konnten optisch erkannt werden, wurden aber auch objektiv als Helligkeitszunahme mit einem Multiplier am Okular gemessen. Als Verdichtung wird eine Reaktion des Gewebes bezeichnet, bei der die Helligkeit abnimmt (Abnahme in %). Dies ist ein Effekt, der ebenfalls bei allen angewandten Wellenlängen erzielt werden kann. Auf die objektive Erfassung wird noch eingegangen.

Es zeigte sich, daß bei Bestrahlung mit $\lambda = 254 \text{ m}\mu$, $280 \text{ m}\mu$ und $297 \text{ m}\mu$ Stase des Blutstromes bei relativ niedrigen Dosen eintrat, ein Vorgang, bei dem sich die Weite der Gefäße (Arteriolen, Kapillaren und Venulen) nicht merkbar änderte. Nach der Klärlegung der Begriffe von ILLIG¹⁹, WEBER²⁰ und anderen, handelt es sich bei dieser Blutstockung um eine Stase, die von Stillstand und Thrombose zu unterscheiden ist. Die Ursachen solcher Stasen, die bei Kreislaufkrankheiten eine besondere Rolle spielen können, sind noch weitgehend ungeklärt.

Bei den Bestrahlungen mit den Wellenlängen $313 \text{ m}\mu$ und $366 \text{ m}\mu$ traten zunächst nur Stasen in Verbindung mit Austrocknung ein. Stasen, deren Ursache eindeutig nur die Bestrahlung war, konnten nicht beobachtet werden. Nur ein Fall bei Bestrahlung mit $\lambda = 313 \text{ m}\mu$ ist unklar und zeigt Bestrahlungsstase, die aber immer wieder aufgehoben wird. Hiernach ist also anzunehmen, daß selbst bei dauerndem Anfeuchten der Schwimmhaut der Schwellenwert für die Austrocknung bei diesen beiden Wellenlängen tiefer liegt als der der Bestrahlungsstase.

Durch Bestrahlung der Schwimmhaut mit der Linie $313 \text{ m}\mu$ in einer Wasserküvette, in der die Schwimmhaut also dauernd von kühlendem Wasser umgeben war, erfolgt nach hohen Dosen Bestrahlungsstase, ohne daß Austrocknungseffekte zu beobachten waren. Stellt man zum Vergleich der Wellenlängen 280, 297 und $313 \text{ m}\mu$ bei den verschiedenen Dosen die Tiere zusammen, die noch keine Reaktion zeigen, und die, die mindestens eine + Reaktion erkennen lassen und faßt sie in Dosisgruppen zusammen (1–3 Wsec. cm^{-2} , 3–6, 6–9 usw.), so läßt sich der Prozentsatz der reagierenden Tiere in einer Dosisgruppe in Abhängigkeit von der

Dosis am zweckmäßigsten im Wahrscheinlichkeitsnetz (Abszisse: logarithmischer Maßstab der Dosis, Ordinate: Gaussche Verteilung der Summenhäufigkeitsprozente) auftragen. Es ergibt sich für jede der drei Wellenlängen eine lineare Abhängigkeit (Abb. 3). Die Geraden für $\lambda = 280 \text{ m}\mu$ und $\lambda = 297 \text{ m}\mu$ fallen zusammen. Die Tiere sind also gleichmäßig empfindlich für diese Wellenlängen in bezug auf die Bestrahlungsstase. Die Gerade für die Wellenlänge $313 \text{ m}\mu$ ist nach bedeutend höheren Bestrahlungsdosen verschoben. Ein Vergleich des Punktes, bei dem 50% der Tiere reagiert haben, ergibt, daß er für $280 \text{ m}\mu$ und $297 \text{ m}\mu$ bei 10 Wsec.

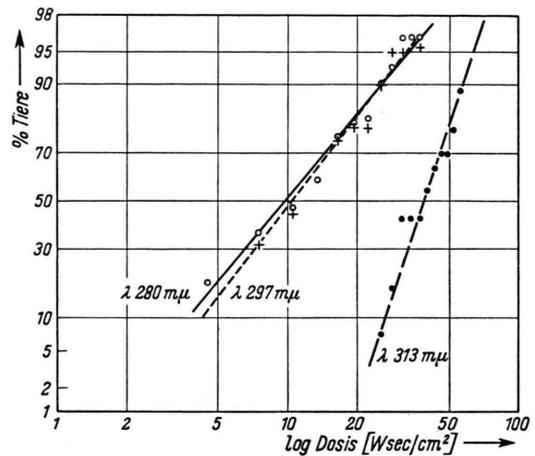


Abb. 3. Dosis-effekt-Kurven nach Bestrahlung mit 280, 297 und $313 \text{ m}\mu$.

cm^{-2} liegt, während bei $313 \text{ m}\mu$ erst bei etwa 40 Wsec. cm^{-2} 50% der Tiere reagiert haben. Die verschiedene Steilheit der $313 \text{ m}\mu$ -Geraden gegenüber den anderen Geraden tritt nur im logarithmischen Abszissenmaßstab auf und entfällt im linearen Maßstab. Die Dosisvergrößerung zur Erreichung desselben Effektes bei $\lambda = 313 \text{ m}\mu$ wie bei $\lambda = 297 \text{ m}\mu$ und $280 \text{ m}\mu$ ist also eine additive Größe.

Die Bestrahlungen mit $\lambda = 254 \text{ m}\mu$ lassen sich hiermit nicht ohne weiteres vergleichen, weil bei den Bestrahlungen mit dem Niederdruckbrenner andere Verhältnisse (niedrigere Bestrahlungsstärke) vorlagen.

Eine Übersicht über die bei den verschiedenen Bestrahlungen auch bei $\lambda = 254 \text{ m}\mu$ und $\lambda = 366 \text{ m}\mu$ erzielten Wirkungen geben die Tab. 1–5.

¹⁹ L. ILLIG, Klin. Wschr. 31, 366 [1953].

²⁰ H. W. WEBER, Klin. Wschr. 33, 387 [1955].

Datum	Tier-Nr.	Dosis [Wsec/cm ²]	Dauer [min]	Reaktion	Bemerkungen
26. 6. 56	VI, 39	0,72	150	++	keine Austrocknung
23. 8. 56	VI, 77	0,72	120	—	„ „
13. 8. 56	VI, 64	1,08	180	+	„ „
2. 8. 56	VI, 57	1,14	240	—	nur Verlangsamung des Blutstromes
14. 8. 56	VI, 66	1,20	195	++	keine Austrocknung
6. 8. 56	VI, 59	1,44	240	+	„ „
10. 8. 56	VI, 62	1,44	240	+	„ „
15. 8. 56	VI, 68	1,44	240	+	„ „
20. 8. 56	VI, 72	1,44	240	++	„ „
21. 8. 56	VI, 74	1,44	240	—	„ „
27. 8. 56	VI, 79	1,44	240	++	„ „
17. 9. 56	VI, 89	1,44	240	—	„ „
14. 9. 56	VI, 88	1,56	255	—	„ „

Tab. 1. Kapillarreaktion (Bestrahlungsstase) nach Bestrahlung mit $\lambda=254\text{ m}\mu$.

Datum	Tier-Nr.	Dosis [Wsec/cm ²]	Dauer [min]	Reaktion	Bemerkungen
9. 11. 54	I, 10	4,07	15	++	keine Austrocknung nach 15 min
5. 9. 55	IV, 1	5,02	40	+	leichte Verdichtung
19. 11. 54	I, 12	5,84	43	+	„ „
3. 12. 54	I, 16	6,24	30	+	keine Austrocknung
16. 11. 54	I, 11	6,78	50	—	„ „
5. 9. 55	IV, 1	7,50	60	++	leichte Verdichtung (— 27%)
26. 11. 54	I, 15	8,16	60	+	bis 180 min keine Veränderung
9. 11. 54	I, 10	8,16	30	+++	Austrocknungsbeg. am Ende
16. 11. 54	I, 11	9,24	34	++	leichte Verdichtung
23. 11. 54	I, 13	9,54	70	+	„ „
23. 11. 54	I, 13	12,24	90	++	„ „
28. 1. 55	II, 19	12,52	60	—	„ „
2. 11. 54	I, 9	13,02	25	+	keine Austrocknung
26. 11. 54	I, 14	13,20	97	—	leichte Verdichtung
3. 12. 54	I, 16	14,64	70	++	keine Austrocknung
11. 2. 55	II, 21	14,64	20	++	leichte Verdichtung (— 12%)
8. 9. 55	IV, 2	15,08	40	++	„ „
19. 10. 55	IV, 15	15,08	60	+	keine Austrocknung
9. 1. 57	VII, 11	15,67	120	++	in Wasserküvette bestrahlt
16. 1. 57	VII, 14	15,67	120	++	„ „
19. 11. 54	I, 12	16,82	120	++	leichte Verdichtung
13. 9. 54	IV, 4	16,92	45	++	„ „ (— 24%)
3. 3. 55	II, 27	18,31	25	++	„ „ (— 14%)
3. 3. 55	II, 27	18,31	25	+	„ „ (— 19%)
2. 3. 55	II, 25	21,9	30	++	keine Austrocknung
29. 1. 57	VII, 18	22,4	120	++	in Wasserküvette bestrahlt
28. 1. 55	II, 19	24,0	115	—	leichte Verdichtung (— 23%)
4. 2. 55	II, 20	25,1	60	+	„ „ (— 17%)
14. 12. 54	II, 17	25,1	120	—	keine Austrocknung
1. 3. 55	II, 22	25,6	35	++	Verbrennungsbeginn nach 45 min
2. 11. 54	I, 9	26,1	50	++	keine Austrocknung
1. 3. 55	II, 22	32,9	45	+	Verbrennungsbeginn nach 45 min
29. 11. 55	IV, 18	37,6	60	—	keine Austrocknung
17. 1. 56	V, 20	150,0	90	++	„ „

Tab. 2. Kapillarreaktion (Bestrahlungsstase) nach Bestrahlung mit $\lambda=280\text{ m}\mu$.*Verlauf der Gewebeeränderungen*

Die Austrocknungseffekte, die bei allen Wellenlängen bemerkt werden konnten, hängen bei der

Schwimmhaut davon ab, wie oft eine Anfeuchtung erfolgt. Selbst bei schnell wiederholter Anfeuchtung tritt bei der Bestrahlung jedoch nach einiger Zeit diese Austrocknung ein. Deshalb wurden später die

Datum	Tier-Nr.	Dosis [Wsec/cm ²]	Dauer [min]	Reaktion	Bemerkungen
1. 3. 55	II, 24	7,32	10	+	keine Austrocknung
19. 11. 54	I, 12	7,62	56	++	leichte Verdichtung
16. 11. 54	I, 11	8,16	60	+	keine Austrocknung
3. 12. 54	I, 16	8,34	40	++	" "
19. 12. 56	VII, 2	8,46	20	+	in Wasserküvette bestrahlt
8. 9. 55	IV, 2	11,29	30	++	nach 45 min Austrocknung (+ 15%)
13. 9. 55	IV, 4	11,29	30	++	" 60 min " (+ 40%)
14. 12. 54	II, 17	11,47	55	+	keine Austrocknung
9. 11. 54	I, 10	12,23	45	++	gegen Ende Austrocknung
9. 11. 54	I, 10	12,23	45	+	gegen Ende Austrocknung
19. 12. 56	VII, 2	13,08	20	+	in Wasserküvette bestrahlt
28. 3. 55	III, 28	13,14	15	+	nach 20 min Austrocknung (+ 20%)
11. 2. 55	II, 21	14,64	20	++	keine Austrocknung
19. 10. 55	IV, 15	15,05	60	+	" "
19. 10. 55	IV, 16	15,05	60	-	" "
28. 1. 55	II, 19	15,65	75	+	" "
4. 2. 55	II, 20	25,1	60	+	leichte Verdichtung (- 13%)
19. 12. 56	VII, 2	25,4	60	++	in Wasserküvette bestrahlt
19. 12. 56	VII, 3	25,4	60	+	" " "
16. 1. 57	VII, 12	29,1	120	++	" " "
16. 1. 57	VII, 13	29,1	120	+	" " "
9. 1. 57	VII, 9	33,6	120	++	" " "
29. 11. 55	IV, 18	37,6	60	-	keine Austrocknung
19. 12. 56	VII, 2	39,2	60	++	in Wasserküvette bestrahlt
29. 1. 57	VII, 17	40,4	120	++	" " "

Tab. 3. Kapillarreaktion (Bestrahlungsstase) nach Bestrahlung mit $\lambda=297\text{ m}\mu$.

Datum	Tier-Nr.	Dosis [Wsec/cm ²]	Dauer [min]	Reaktion	Bemerkungen
19. 11. 54	I, 12	8,16	60	-	Austrocknungsbeginn
22. 1. 57	VII, 5	15,68	120	-	in Wasserküvette bestrahlt
8. 3. 57	VII, 19	21,7	60	-	" "
13. 9. 55	IV, 4	22,6	60	-	keine Austrocknung (" 12%)
15. 3. 57	VII, 22	24,3	60	+	in Wasserküvette bestrahlt
14. 12. 54	II, 17	25,1	120	-	keine Austrocknung
4. 2. 55	II, 20	25,1	60	-	keine Austrocknung (- 21%), geringe Verdichtung
12. 3. 57	VII, 20	26,9	70	+	in Wasserküvette bestrahlt
1. 3. 55	II, 24	29,2	40	-	keine Austrocknung (- 15%), geringe Verdichtung
15. 3. 57	VII, 24	30,3	75	+	in Wasserküvette bestrahlt
15. 3. 57	VII, 24	30,3	75	+	" " "
12. 3. 57	VII, 20	32,7	85	+	" " "
8. 3. 57	VII, 19	41,7	130	+	" " "
11. 2. 55	II, 21	43,8	60	-	keine Austrocknung (- 17%), geringe Verdichtung
2. 3. 55	II, 25	43,8	60	+	dauerndes Pulsieren, dadurch unklar (- 13%)
4. 1. 57	VII, 6	49,0	75	-	in Wasserküvette bestrahlt
15. 3. 57	VII, 23	54,5	135	+	" " "
12. 3. 57	VII, 21	57,5	150	+	" " "

Tab. 4. Kapillarreaktion (Bestrahlungsstase) nach Bestrahlung mit $\lambda=313\text{ m}\mu$.

Bestrahlungen in einer Wasserquarz-Küvette ausgeführt, wobei Wasser die Schwimmhaut immer kühlend umgibt. Wenn auch die Austrocknung der an der Luft bestrahlten Schwimmhaut bei allen Wel-

lenlängen auftritt, so zeigte sich doch deutlich, daß die Wellenlänge 297 m μ diesen Effekt mit geringerer Dosis hervorruft als $\lambda = 280\text{ m}\mu$ und $\lambda = 313\text{ m}\mu$. Allerdings lassen sich keine quantitativen Angaben

Datum	Tier-Nr.	Dosis [Wsec/cm ²]	Dauer [min]	Reaktion	Bemerkungen
4. 1. 57	VII, 8	21,2	120	—	in Wasserküvette bestrahlt
13. 9. 55	IV, 4	22,6	60	—	keine Austrocknung (0%)
4. 2. 55	II, 20	25,1	60	—	keine Austrocknung, geringe Verdichtung (-12%)
11. 2. 55	II, 21	43,9	60	—	keine Austrocknung (0%)
28. 3. 55	III, 29	52,6	60	—	geringe Verdichtung (-12%)
26. 3. 57	VII, 25	261,6	175	—	in Wasserküvette bestrahlt

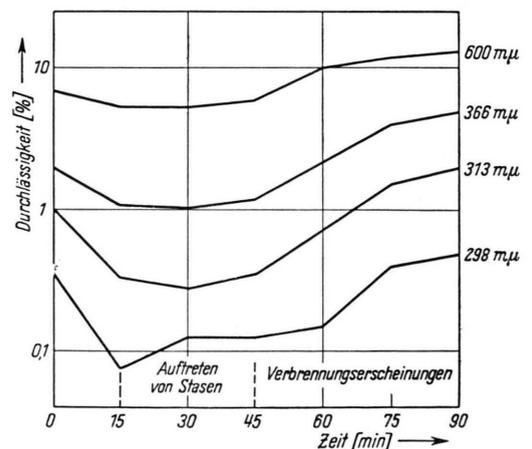
Tab. 5. Kapillarreaktion (Bestrahlungsstase) nach Bestrahlung mit $\lambda=366\text{ m}\mu$.

infolge der Variabilität der Bedingungen (Anfeuchten, Luftfeuchtigkeit usw.) machen. Die hohe Wirksamkeit der Wellenlänge $\lambda=297\text{ m}\mu$ beruht wahrscheinlich auf der hohen Eindringfähigkeit bei gleichzeitiger günstiger Absorption am Eiweiß der tieferen Schichten, denn es handelt sich hierbei sicherlich um einen Vorgang, der sich in allen lebenden Zellen, also auch in den an Menge überwiegenden Coriumzellen, abspielt. Die Energie der Wellenlänge $\lambda=280\text{ m}\mu$ wird weitgehend bereits in der Epidermis absorbiert, so daß die meisten Zellen zunächst nicht direkt von dieser Denaturierung betroffen werden. Von den längeren Wellen ($\lambda=313\text{ m}\mu$ und $366\text{ m}\mu$) wird dagegen weniger absorbiert, so daß die Wärmeentwicklung nicht so stark sein kann.

Die objektive Darstellung dieser Verbrennungs- und Austrocknungsprozesse erfolgte als Durchlässigkeitsmessung. Es wurde ein Multiplier vor das Binokular-Objektiv gesetzt und die Veränderung der Helligkeit des Gesichtsfeldes bestimmt. Weiterhin erfolgte die Bestimmung der Durchlässigkeit mit dem Beckman-Photometer, um gleichzeitig Aussagen über die spektralen Durchlässigkeits-Änderungen der Haut machen zu können.

Bei beiden Meßanordnungen ergab sich derselbe zeitliche Verlauf. Bei Bestrahlung der Schwimnhaut an Luft bei kurzfristiger Anfeuchtung erfolgt zunächst ein Abfall der Durchlässigkeit. Bei der Okularmessung sinkt die Gesamthelligkeit des Gesichtsfeldes, bei der spektralen Messung erniedrigt sich die Durchlässigkeit für jede einzelne Wellenlänge (s. Abb. 4). Nach Erreichung eines Tiefstwertes bleibt die Durchlässigkeit im Meßfehlerbereich konstant und steigt nach längerer Zeit dann sehr steil an. Der Abfall am Anfang rührt z. T. von einer geringen Expansion der Melanophoren her, z. T. beruht er aber darauf, daß die Haut an der bestrahlten Stelle deutlich undurchsichtig wird. Im allgemeinen liegt der Zeitpunkt des Eintritts von Bestrahlungs-

stasen in der Periode konstanter Durchlässigkeit. Der Anstieg der Durchlässigkeit ist eine Folge von innerer und äußerer Austrocknung. Makroskopisch zeigt sich am nativen Gewebe deutlich die durch Austrocknung hyalin gewordene Stelle. Sowohl die histologischen Ursachen des Durchlässigkeits-Abfalles als auch die der Vergrößerung der Durchlässigkeit nach Austrocknung lassen sich mit normaler Methode nicht darstellen. Diese Veränderungen verlieren sich nach Fixierung und Entwässerung. Wahrscheinlich handelt es sich nur um Wassereinlagerung oder -entzug.

Abb. 4. Verdichtungs- und Austrocknungseffekt, dargestellt an Hand der Durchlässigkeits-Änderung für vier Wellenlängen nach Bestrahlung mit $280\text{ m}\mu$ ohne Wasserküvette. Bestrahlungsstärke: 38 mW/cm^2 .

Die applizierten Wellenlängen unterscheiden sich in Hinsicht auf diesen Effekt dadurch, daß die beschriebene Kurve bei Bestrahlung mit $\lambda=297\text{ m}\mu$ im allgemeinen schneller abläuft. Es kann sogar vorkommen, daß der dritte Teil der Kurve, der Anstieg der Durchlässigkeit, sofort einsetzt, die ersten beiden Teile also reduziert sind. Darin äußert sich die

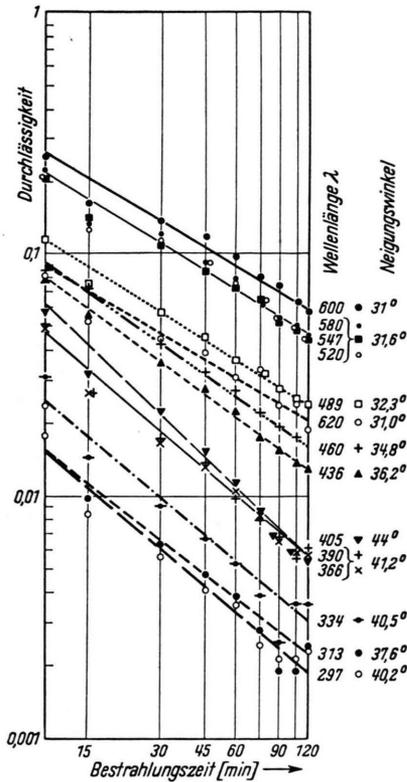


Abb. 5. Durchlässigkeits-Abnahme der Schwimmhaut bei Bestrahlung mit 280 mμ mit Angabe der Neigungswinkel zur Abschätzung der Absorptionsveränderung für die verschiedenen Wellenlängen. $E_e = 3,11 \text{ mW/cm}^2$.

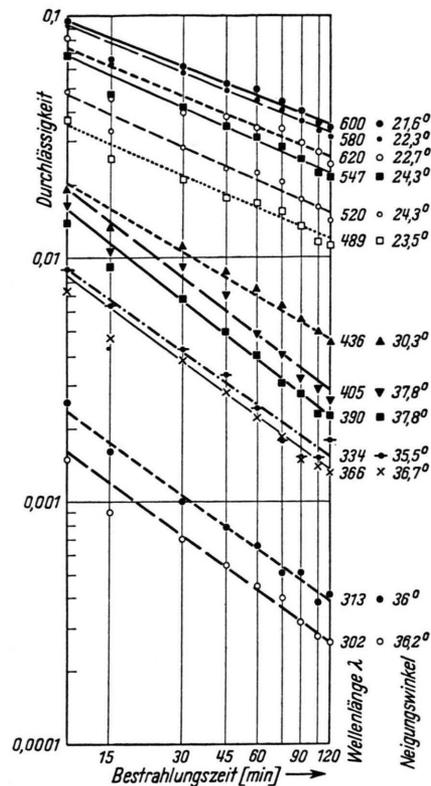


Abb. 6. Wie Abb. 5 bei Bestrahlung mit 297 mμ. $E_e = 7,05 \text{ mW/cm}^2$.

intensivere Wirkung der Wellenlänge 297 mμ auf den Verbrennungseffekt.

Der dritte Teil der Kurve konnte mit den anwendbaren Dosen nicht mehr erreicht werden, wenn die Schwimmhaut in einer Wasserküvette bestrahlt wurde, die Temperatur an der bestrahlten Stelle also nicht merkbar anstieg und immer genügend Wasser zur Verfügung stand. Die Verdichtung wird dann noch deutlicher. Es zeigte sich dabei auch, daß die Durchlässigkeits-Verringerung nicht allein auf Melanophoren-Expansion zurückzuführen war.

Interessant ist ein Vergleich der Bestrahlungswirkung auf die Durchlässigkeits-Veränderung für verschiedene Spektralbereiche. Deutlich wird dies bei einer Abtragung der Durchlässigkeits-Änderung auf Potenzpapier (doppel-log. Papier). Die Kurven der Durchlässigkeits-Verringerung bei Bestrahlung in einer Wasserküvette werden dann zu Geraden, deren Steilheit eine Angabe über das Ausmaß der Veränderung gibt. In den Abb. 5–8 ist deshalb für

jede Wellenlänge der Abfallswinkel angegeben. Dieser ist für die Wellenlängen unter 405 mμ am größten, d. h. die Verdichtung ist für diese Wellenlängen am stärksten. Bei Bestrahlung mit $\lambda = 280 \text{ m}\mu$ ist der Winkel für Wellenlängen bis 405 mμ z. B. etwa 40° , während er ab 489 mμ nur noch ca. 31° beträgt. Bei einer Bestrahlung mit $\lambda = 297 \text{ m}\mu$ ist das Verhältnis z. B. 36° zu 23° . Die Winkelgröße selbst kann bei den einzelnen Bestrahlungen verschieden sein. Prinzipielle Unterschiede ergeben sich zwischen den Bestrahlungen nur insofern, daß vor allem die Wellenlängen 280 und 297 sowie 313 mμ bei hoher Bestrahlungsstärke histologische Veränderungen ergeben.

Bei den Durchlässigkeits-Vergrößerungen durch Verbrennung verstärkt sich dann die Transparenz für Wellenlängen unter 300 mμ im allgemeinen nicht stark, weil die durch Bestrahlung zerstörten Kerne eine dichte Lage in der Epidermis bilden können. Die DNS-Absorption wirkt so der Durchlässigkeits-Vergrößerung entgegen.

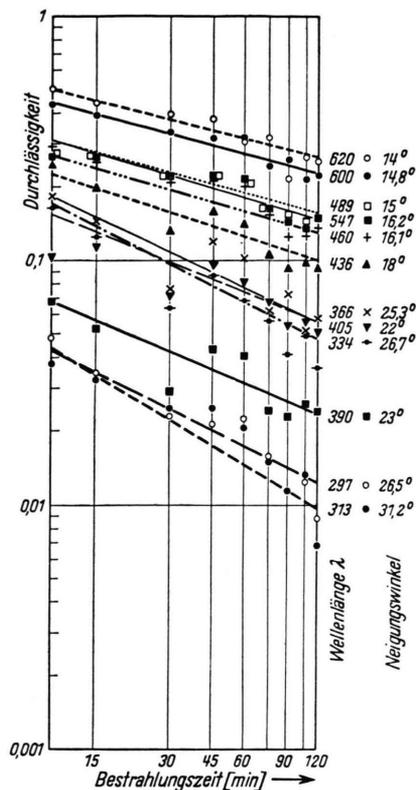


Abb. 7. Wie Abb. 5 bei Bestrahlung mit 313 m μ .
 $E_e = 2,18 \text{ mW/cm}^2$.

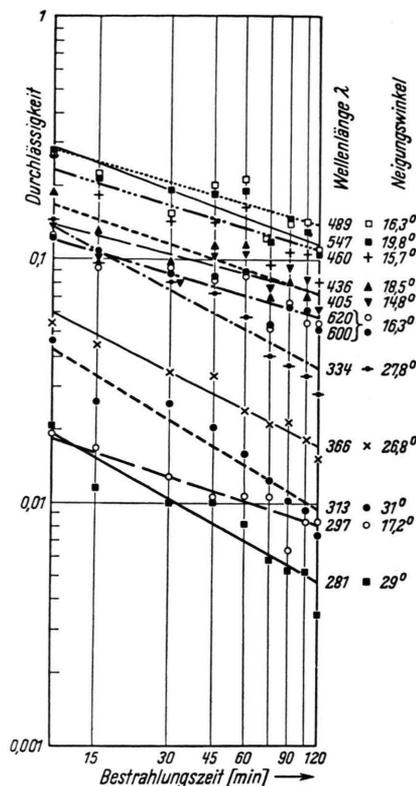


Abb. 8. Wie Abb. 5 bei Bestrahlung mit 366 m μ .
 $E_e = 21,8 \text{ mW/cm}^2$.

Bestrahlung mit den Wellenlängen 313 m μ und vor allem 366 m μ hat wesentlich geringere Wirkung auf diese Durchlässigkeits-Veränderung als die Bestrahlung mit den Wellenlängen 280 und 297 m μ .

Absorption in der Schwimnhaut

Der Ausgangswert der Durchlässigkeit weist bei verschiedenen Schwimnhäuten beträchtliche Unterschiede auf. Dies führte zu der Überlegung, daß mit Hilfe der Durchlässigkeit und der Ausmessung der verschiedenen Schichtdicken am histologischen Präparat Absorptions-Koeffizienten für die einzelnen Schichten zu finden sein müßten.

Hierzu wurde ein besonderer Zusatz zum Beckman-Spektralphotometer konstruiert, der es erlaubte, den Frosch in relativ ruhiger Lage zu halten. Die Durchlässigkeit bestimmten wir ohne gleichzeitige Einstrahlung einer starken UV-Wellenlänge mit der Quecksilberlampe des Photometers. Die Ausmessung der Schichten erfolgte am histologischen Präparat.

Die Veränderungen durch Fixierung und Dehy-

dratisierung sind geringfügig und erstrecken sich annähernd gleichmäßig auf die verschiedenen Schichten.

Die Berechnung der Absorptions-Koeffizienten der Schichten (Str. corneum, Str. germinativum und Corium mit Tela subcutanea) ergab zunächst, daß für die verschiedenen Schichten keine wesentlich unterschiedliche Absorption angenommen werden durfte. Die Absorptions-Koeffizienten unterscheiden sich nur innerhalb der Versuchsgenauigkeit. Dies ist leicht erklärbar. Das Stratum corneum unterscheidet sich im wesentlichen in der Absorption unterhalb 280 m μ von den übrigen Schichten. Da die Hornhaut im Verhältnis zu den anderen Schichten sehr dünn ist, lassen sich die geringen Absorptions-Unterschiede oberhalb 280 m μ nicht mehr nachweisen. Das Stratum germinativum enthält viele dicht liegende Kerne. Die Absorption der DNS wirkt sich vor allem unterhalb 280 m μ aus. So kommen Unterschiede in der Absorption des Stratum germinativum und auch des Stratum corneum dem Corium gegen-

über bei Wellenlängen über 280 m μ nicht zum Ausdruck.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte ergibt sich nach der Berechnung eine Verteilung der Energie in der Froschschwimmhaut wie sie die Abb. 9 darstellt. Auf der Ordinate ist die Eindringtiefe in μ , auf der Abszisse die entsprechende Wellenlänge aufgetragen. Die Kurven verbinden für die verschiedenen Wellenlängen die Eindringtiefen, bei denen gleiche Energieprozentanteile der einfallenden Strahlung festzustellen sind. Parallel zur Abszisse sind die mittleren Dicken der verschiedenen Schichten aufgetragen. Danach erreichen das der Strahlungsquelle zugekehrte Kapillargebiet im Durchschnitt etwa 3% der einfallenden Energie der Wellenlänge 280 m μ , etwa 10% der Wellenlänge 297 m μ und fast 30% von $\lambda=313$ m μ . Um eine Zehnerpotenz tiefer liegt der Prozentsatz der auf die Kapillaren der abgewandten Seite auftreffenden Strahlung. Bei einem ++ Effekt steht der Blutstrom auch in den Kapillaren der abgewandten Seite, d. h. dieser Strahlungsanteil reicht noch zur Wirkung aus.

Eindringtiefe wurde auf natürliche Bedingungen Wert gelegt und dies durch schnelle und reproduzierbare Messung erreicht.

Histologische Veränderungen der Haut

Histologische Untersuchungen der Haut nach Bestrahlung mit ungefiltertem UV wurden von MIESCHER^{21, 22} an der Menschenhaut durchgeführt. Die Feststellungen erstrecken sich auf die Veränderungen, die an der Epidermis und im Corium etwa 2 Tage nach der Bestrahlung beobachtbar werden und dann in den folgenden Tagen ablaufen. Die dicke Hornhaut filtert bei der Menschenhaut die kurzwelligen UV-Strahlen weitgehend ab. Genauere Angaben über die Wellenlängen, die die Kernzerstörung und die Plasma-Vakuolisierung, die MIESCHER bemerken konnte, hervorrufen, lassen sich nicht machen. Die relativ dünne Hornhaut der Frösche reizte DORN¹⁵ zur Feststellung der histologischen UV-Schäden an der Rückenhaut des Frosches. Sie fand, daß vor allem die Wellenlängen $\lambda=250$ bis 260 m μ einen schrittweisen Abbau der Epidermis

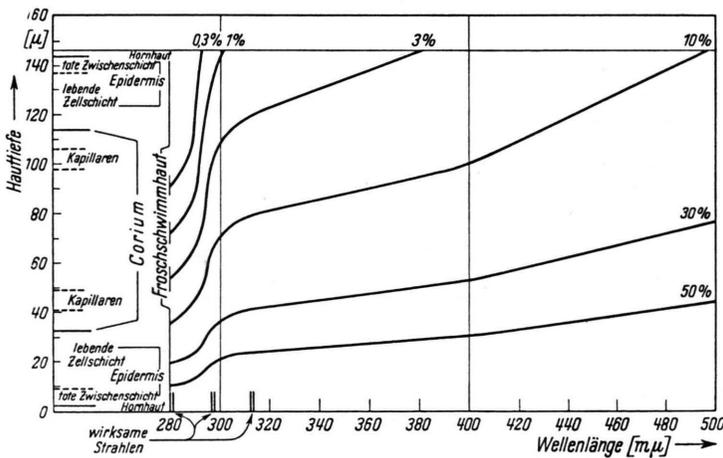


Abb. 9. Eindringtiefe der UV-Strahlung in die Froschschwimmhaut, dargestellt in % der auftreffenden Strahlung.

Die Feststellung und Angabe dieser Werte ist in einer Hinsicht problematisch. Der Verlauf der Gewebeeränderungen bei Bestrahlung zeigt, daß die Durchlässigkeit und damit auch die Eindringtiefe weitgehend vom Wassergehalt abhängig ist. Die Verdichtung dürfte auf Einlagerung von Wasser beruhen, weil die Veränderungen nach Fixierung und Entwässerung der Gewebestücke nicht mehr eindeutig nachweisbar sind. Die Austrocknung, die die Schwimmhaut hyalin und durchsichtig macht, beruht natürlich auf Wasserentzug. Bei der Messung der

zur Folge haben, der sich in Blasenbildung äußert. Als erste Wirkung werden große Vakuolen unter der „Ersatzschicht“ festgestellt. Unterhalb des hieraus entstehenden Spaltes bleiben die Kerne zunächst unzerstört. Es zeigen sich im wesentlichen erst nach Abstoßung der oberen Lagen Kernpyknoten.

Die Schwimmhaut bietet infolge ihres gleichmäßigen Aufbaues die Möglichkeit, weitere Klärung in diesen Fragenkreis zu bringen.

Die histologischen Beobachtungen an der Schwimmhaut erfolgten nach Fixierung mit Bouin-

²¹ G. MIESCHER, Strahlentherapie 35, 403 [1930].

²² G. MIESCHER, Strahlentherapie 45, 201 [1932].

Gemisch, Färbung mit der Massonschen Trichromfärbung, Kernfärbung mit Eisenhämatoxylin nach Weigert, Gegenfärbung des Bindegewebes mit Lichtgrün. Die Kerne zeigen ein aufgelöstes Chromatingrün, tote Hornhaut ist hellrot. Die natürlicherweise abgestorbenen Kerne der Zellschicht unter der Hornhaut, die die Hornhaut ersetzt, sind tiefblau mit verklumptem Chromatin. Das Plasma der lebenden Epidermiszellen färbt sich rotblau, das der Bindegewebszellen hellgrün. Da nur Bestrahlung einer kleinen Zone erfolgt, liegen bestrahlte und unbestrahlte Bereiche direkt nebeneinander. So erlaubt diese Anordnung die direkte einwandfreie Feststellung von Strahlen-Veränderungen (Hanke²³, Verf. gibt dort auch eine Abbildung des histologischen Bildes der ungeschädigten Schwimmhautepidermis).

mas zurückzuführen ist. Die Epidermis ist dabei etwas abgeflacht.

Die Kerne lassen direkt nach der Bestrahlung nur wenige Veränderungen erkennen. Das Chromatingerüst ist noch aufgelockert, ausgesprochene Kernpyknosen sind nicht zu erkennen. Teilweise flachen sich die hinteren Kerne sehr stark ab, sie bekommen Zigarrenform und schieben sich in der Epidermis nach außen (Abb. 10).

Bei Bestrahlung mit kleineren Dosen als oben angegeben von 280 und 297 $m\mu$ bleibt dieses Bild auch nach etwa 20 Stdn. erhalten: die Strahlenschäden sind dann nicht so durchgreifend. Bei höheren Dosen sind nach etwa 20 Stdn. die Kernveränderungen deutlicher. Die länglichen Kerne werden quer gestellt. Das Plasma der Epidermis rückt sehr dicht

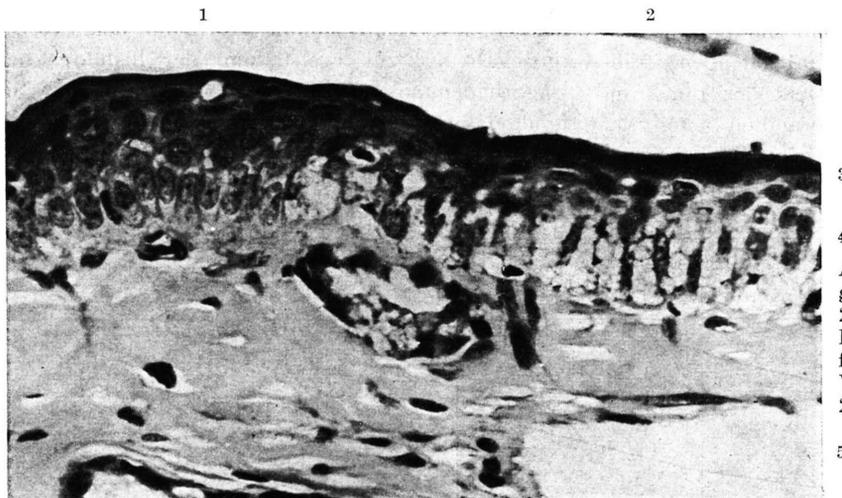


Abb. 10. Histologische Veränderungen sofort nach der Bestrahlung mit 297 $m\mu$ (Dosis 78,5 Wsec/cm²); Plasma-Vakuolisierung, „Zigarrenform“ der hinteren Epidermiskerne. Vergr. 460-fach. 1 unbestr. Stelle, 2 bestr. Stelle, 3 Hornhaut, 4 Stratum germinativum, 5 Corium.

Histologische Feststellungen direkt nach den Bestrahlungen mit den Wellenlängen 280 $m\mu$, 297 $m\mu$, 313 $m\mu$ und 366 $m\mu$, die zur Vermeidung von Austrocknung in Wasser durchgeführt wurden, ergaben die ersten Veränderungen. Sofort nach Bestrahlung mit $\lambda = 280 m\mu$ (Dosis 29,4 Wsec. cm⁻²), $\lambda = 297 m\mu$ (Dosis bis 78,6 Wsec. cm⁻²) und $\lambda = 313 m\mu$ (Dosis bis 126 Wsec. cm⁻²) zeigte die bestrahlte Epidermis vor allem deutliche Vakuolisierungen im Plasma. Besonders die langgestreckten Zellen der an das Corium grenzenden Zellreihe des Stratum germinativum enthalten Vakuolen. Bei der Bestrahlung mit der Wellenlänge 280 $m\mu$ erkennt man zusätzlich bereits eine stärkere Färbbarkeit in der Zone der „Ersatzschicht“, die auf eine Verdichtung des Plas-

zusammen, so daß eine wesentlich dünnere aus quer gelegten Kernen geschichtete Epidermis entsteht. Das Chromatin der Kerne ballt sich zusammen. Die Kerne werden pyknotisch und verlieren ihre länglich ovale Form. Dieser Prozeß läuft am deutlichsten bei der Bestrahlung mit $\lambda = 297 m\mu$ ab (Abb. 12). Bei Bestrahlung mit der Wellenlänge 280 $m\mu$ treten meist auch nach 20 Stdn. in den hinteren Epidermisabschnitten noch unzerstörte Kerne auf, weil der Energieabfall der Strahlung in der Epidermis sehr steil ist (Abb. 11). Die Abflachung der Epidermis wird daher nach Bestrahlung mit $\lambda = 297 m\mu$ deutlicher, weil alle Epidermisschichten gleichmäßig geschädigt werden. Klar ersichtlich wird der Unterschied in der Eindringtiefe von 280 und 297 $m\mu$ dadurch, daß die gegenüberliegende Epidermis selbst bei langer und intensiver Bestrahlung mit 280 $m\mu$ nur in

²³ W. HANKE, Z. Naturforschg. 12b, 299 [1957].

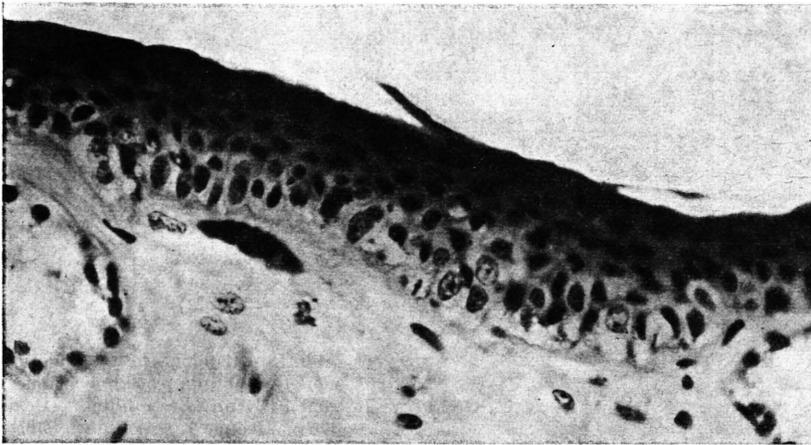
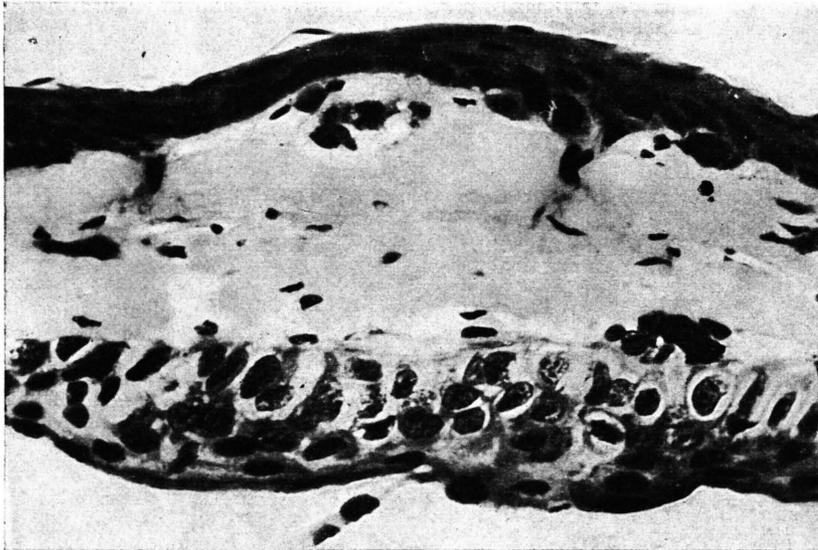


Abb. 11. Histologische Veränderungen etwa 20 Stdn. nach Bestrahlung mit $280\text{ m}\mu$ (Dosis $40,1\text{ Wsec/cm}^2$); Verdichtung des Plasmas, Auftreten wenig geschädigter Kerne in den hinteren Epidermisschichten, Schräglegen der pyknotischen Kerne. Vergr. 460-fach. 1 Epidermis, 2 hintere Kernreihe der Epidermis, 3 Corium.

wenigen Fällen Spuren einer Schädigung aufweist (vgl. Abb. 12 nach Bestrahlung mit $297\text{ m}\mu$). Besonders nach $280\text{ m}\mu$ -Bestrahlung, aber auch nach Bestrahlung mit den beiden anderen wirksamen Wellenlängen 297 und $313\text{ m}\mu$, zeigt sich, daß sich die „Ersatzschicht“ sowie auch die gesamte Epidermis intensiv hellrot färben. Sie gleichen sich also in der Zeit nach der Bestrahlung weitgehend der äußersten kernlosen, toten Hornhaut in der Färbbarkeit an.

mas ist bei den angewandten Dosen nicht zu bemerken.

Von der Wellenlänge $313\text{ m}\mu$ müssen höhere Dosen einwirken, um Plasma-Vakuolisierung, Kernzerstörungen und Verdichtungen des Plasmas zu erreichen. Prinzipiell läßt aber auch diese Wellenlänge die geschilderten Effekte in Erscheinung treten. Auch bei dieser Bestrahlung wird die abgewandte Seite erst bei hohen Dosen geschädigt (Abb. 13).



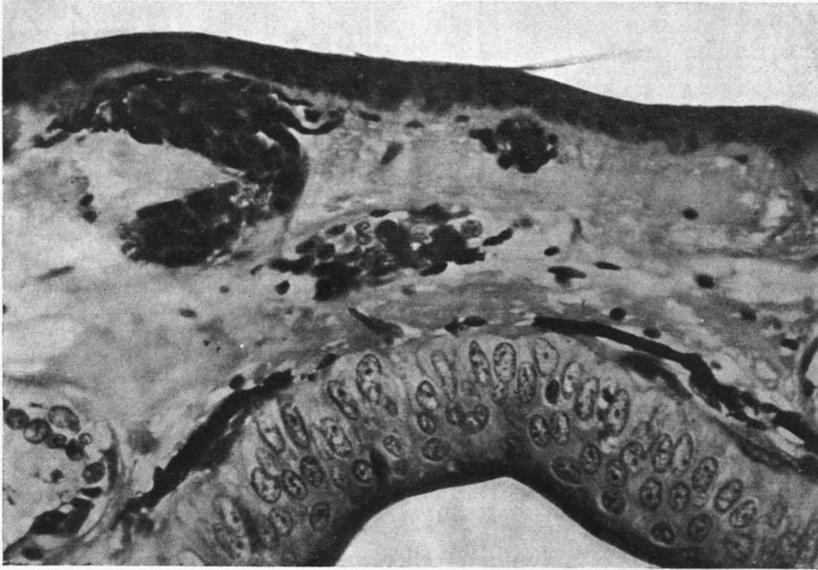
1

Abb. 12. Histologische Veränderungen etwa 20 Stdn. nach Bestrahlung mit $297\text{ m}\mu$ (Dosis $18,8\text{ Wsec/cm}^2$). Klare Schichtung der toten Kerne in der abgeflachten Epidermis. Auf der unbestrahlten Seite Vakuolisierung. Vergr. 500-fach. 1 bestr. Seite, 2 unbestr. Seite.

2

Bei Bestrahlung mit $297\text{ m}\mu$ folgt auch in der abgewandten Epidermis Kernzerstörung bereits bei mittleren Dosen (Abb. 12). Nach kleineren Dosen läßt sich zunächst Vakuolisierung, nach größeren auch Kernzerstörung beobachten. Die Epidermis flacht sich allerdings nicht ab. Verdichtung des Plas-

Bei Bestrahlung mit $\lambda = 366\text{ m}\mu$ zeigten sich nach Einwirkung der genannten Dosen noch keine histologischen Veränderungen. Die histologischen Erscheinungen nach Austrocknung der Epidermis sind im Gegensatz hierzu völlig anders. Die Kerne werden zwar pyknotisch, aber es lassen sich keine Plasma-



1

Abb. 13. Histologische Veränderungen etwa 20 Stdn. nach hohen Dosen von $313 \text{ m}\mu$ Bestrahlung (Dosis 117 Wsec/cm^2). Völlig zerstörte Kerne auf der Bestrahlungsseite (1), auf der abgewandten Seite unzerstörte Kerne (2). Vergr. 460-fach.

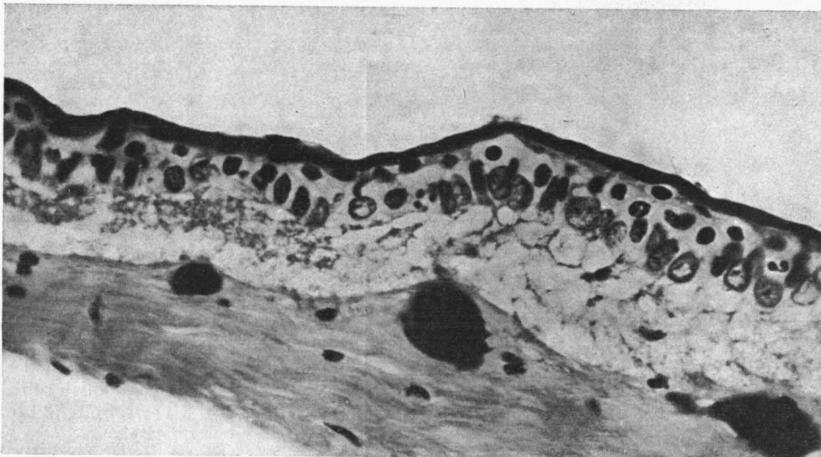
2

Vakuolisierungen, Plasmaverdichtung und kein Querlegen der Kerne beobachten.

Vergleicht man die Strahlenschäden mit den äußerlich an der Schwimmhaut ablaufenden Reaktionen, so muß man feststellen, daß keine histologische Erscheinung für die Durchlässigkeits-Vergrößerung nach Austrocknung und keine für die Erhöhung der

dieser Schutz nicht zu hoch eingeschätzt werden, weil die starke Kernverschiebung erst bei sehr hohen Dosen oder erst Stdn. nach der Bestrahlung einsetzt. Bestrahlung mit $\lambda = 254 \text{ m}\mu$ zeigt etwa dieselben Ergebnisse wie Bestrahlung mit $\lambda = 280 \text{ m}\mu$.

Mehrere Tage nach der Bestrahlung treten oft Blasen auf. Diese entstehen dadurch, daß zwischen



1

2

3

Abb. 14. Blasenbildung durch Bestrahlung von z. B. $313 \text{ m}\mu$ durch Ablösung der Epidermis (Dosis $15,7 \text{ Wsec/cm}^2$). Vergr. 460-fach.
1 abgelöste Epidermis, 2 mit Flüssigkeit gefüllter Hohlraum, 3 Corium.

Absorption verantwortlich ist. In beiden Fällen handelt es sich wohl um den Wassergehalt und die Wasserverteilung in den Zellen, die die Veränderung in der Absorption bedingen.

Die Verschiebung der Kerne bewirkt bis zu einem gewissen Grade einen Schutz der inneren Zellen gegenüber sehr kurzwelligen Strahlen. Allerdings darf

Epidermis und Corium sich Flüssigkeit ansammelt und es dadurch zur Ablösung der Epidermis kommt. Dies tritt vor allem bei den mittleren Schäden besonders nach $313 \text{ m}\mu$ -Bestrahlung auf, die zur Vakuolisierung aber nicht zur Verdichtung des Plasmas führt (Abb. 14).

Diskussion der Ergebnisse

Eine Übersicht über die Ergebnisse erweist, daß die Wellenlängen 280 $m\mu$ und 297 $m\mu$ wesentlich wirksamer sind als die Wellenlängen 313 $m\mu$ und 366 $m\mu$. Dies zeigt sich zunächst bei der Bestrahlungsstase, einer Reaktion, bei der Permeabilitäts-Änderungen und damit Schädigung von Grenzflächen eine Rolle spielen. Es muß nach wie vor angenommen werden, daß keine Veränderungen im strömenden Blut, sondern Einwirkung auf die Kapillarwand diesen Effekt auslösen. Dies wird durch Untersuchung von Röntgeneffekten noch deutlicher (HANKE und BÜCKER²⁴).

Im Verlaufe der Untersuchungen wurde der Dosenzuwachs herausgestellt, der bei $\lambda = 313 m\mu$ dieselben Wirkungen hervorruft wie bei den kürzeren Wellenlängen. Die Wellenlänge 366 $m\mu$ erwies sich mit den erzeugbaren Dosen als unwirksam in bezug auf diese Permeabilitäts-Effekte.

²⁴ W. HANKE u. H. BÜCKER, Vortrag gehalten auf dem 2. Int. Kongr. f. Photobiol., Turin 1957.

Im Hinblick auf Veränderung der Melanophoren wie auch des Plasmas, die sich in Absorptions-Vergrößerung äußern, sind alle Wellenlängen wirksam. Allerdings ist das Ausmaß der Wirkung bei den kürzeren Wellen bedeutender. Es handelt sich hierbei um Effekte, die wohl durch Vergrößerung des Wassergehaltes der Zellen zu erklären sind.

Die Plasma-Veränderungen, die histologisch erkennbar sind (Plasma-Vakuolisierung) gehen zeitlich deutlichen Kernveränderung voraus. Sowohl die Vakuolisierung als auch die bei fortschreitender Schädigung erkennbare Verdichtung des Plasmas werden wie die Kernpyknosen von den Wellenlängen 280, 297 und auch 313 $m\mu$ hervorgerufen. Allerdings muß die Dosis bei 313 $m\mu$ sehr viel höher sein. 280 und 297 $m\mu$ ergeben durch die unterschiedliche Eindringtiefe verschiedene Ergebnisse.

Die Feststellung der Strahlenabsorption im Gewebe läßt erkennen, daß bei Erzeugung scheinbar gleicher Effekte die Wellenlänge 280 $m\mu$ wesentlich wirksamer sein muß als 297 $m\mu$, weil die Absorption sehr viel größer ist.

Das elektronenoptische Bild der sogenannten Grundsubstanz der Hirnrinde*

Von K. NIESSING** und W. VOGEL***

Aus dem Anatomischen Institut der Universität Marburg (Direktor: Prof. Dr. K. NIESSING)

(Z. Naturforschg. 12 b, 641—646 [1957]; eingegangen am 7. Juni 1957)

Nach einer historisch entwickelten Definition des Begriffes „Grundsubstanz der Hirnrinde“ wird durch elektronenoptische Befunde festgestellt, daß bei einwandfreier Fixierung in der Hirnrinde des Menschen und des Affen die feinsten nachweisbaren zellulären Ausläufer und Formeinheiten *lückenlos* aneinanderliegen. Eine dazwischen liegende Grundsubstanz konnte nicht nachgewiesen werden. Die sich hieraus ergebenden Fragen werden diskutiert.

Der aus der Histologie der Stützgewebe geläufige Begriff „Grundsubstanz“ wurde in Verbindung mit der Entdeckung der Neuroglia durch VIRCHOW¹ (1846) auch für das Zentralnervensystem in Anwendung gebracht. Nachdem die Gliazellen, die man ursprünglich für Nervenzellen gehalten hatte, in ihrer Eigenart erkannt worden waren, wurde schon von VIRCHOW eine „feinkörnige Substanz“ beschrieben, in welche die Zellen der Neuroglia eingelagert sein sol-

len. Diese zwischenzellige Masse wurde von BOLL² (1873) als „Grundsubstanz“ bezeichnet. Nach seiner Darstellung ist sie „ein eiweißhaltiges Gewebe“, das aus der Modifikation des Protoplasmas der embryonalen Gliazellen hervorgegangen ist. Sie wird von BOLL als „granuliert“ beschrieben. Aus der formativen Tätigkeit des Protoplasmas sollen Fibrillen entstehen, der Rest ist die granuliert Grundsubstanz. Durch ihre Vermehrung soll der Abstand der

* Durchgeführt mit dankenswerter Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

** Anschrift: Prof. Dr. K. NIESSING, Direktor des Anatomischen Instituts der Universität Marburg, Marburg, Robert-Koch-Str. 6.

*** Anschrift: Dr. W. VOGEL, Elektronenmikroskopisches Laboratorium der Universität Marburg (Anatomisches Institut), Marburg, Robert-Koch-Str. 6.

¹ R. VIRCHOW, Wandung der Gehirnvtrikeln, Allg. Z. Psychiatrie, 3, 242 [1846].

² F. BOLL, Arch. Psychiatrie Nervenkrankh. IV [1873].