

ihrer physiologischen Umgebung eine primäre Inaktivierung nicht beobachtet werden. Bei dem kurzen Zeitraum zwischen Bestrahlung und Aktivitätstest von wenigen Min. kann auch eine eventuelle Reaktivierung praktisch ausgeschlossen werden, zumal die Gewebsextrakte vor dem Test bei 0° C gehalten wurden. Auch wenn eine solche stattgefunden haben sollte, wäre eine so kurzzeitige Enzymhemmung kaum für eine strahleninduzierte Stoffwechselstörung verantwortlich zu machen.

Es ist zu betonen, daß die Ergebnisse ausschließlich an der Leber gewonnen wurden. Im Fall der Bernsteinsäure-Dehydrase hatten wir früher auch die Strahleneinwirkung auf Knochenmarkspräparate untersucht¹⁶. Ein Unterschied in der Strahlenempfindlichkeit ließ sich dabei allerdings nicht feststellen. Trotzdem erscheint es auf Grund der bekanntlich recht unterschiedlichen Strahlensensibilität einzelner Organe oder Gewebe durchaus denkbar, daß auch die Enzymempfindlichkeit in den verschiedenen Organen nicht die gleiche zu sein braucht. Eine Reihe von Beispielen sprechen für ein derartig unterschiedliches Verhalten eines biochemischen Systems. So tritt beispielsweise die Citratanhäufung im fluoracetat-gemehrten System nach Röntgenbestrahlung in der Le-

²⁶ K. P. du Bois, K. W. Cochran u. J. Doull, Proc. Soc. exp. Biol. Med. **76**, 422 [1951].

ber in ausgeprägter Weise in Erscheinung, was auf ein ungestörtes Funktionieren des Citronensäurezyklus hinweist, während sie in anderen Organen fehlt^{26, 27}. In dem gleichen Sinne sprechen auch eigene Versuche an Tumorgeweben, bei denen nach Bestrahlung mit 10 oder 20 kr eine deutliche Hemmung der Glykolyse auftritt^{11, 12}, obwohl an mehreren Fermenten der Glykolysekette bei der Rattenleber kein Strahleneffekt nachweisbar war. Möglicherweise sind die glykolytischen Fermente des Tumorscites empfindlicher. Beispielsweise ist die Phosphoglyceraldehyd-Dehydrase des Ehrlichschen Ascites-Carcinoms gegenüber der Jodessigsäure um einen Faktor 10 empfindlicher als die der Muskulatur²⁸. Es könnte daher auch bezüglich der Strahlenwirkung eine unterschiedliche Empfindlichkeit der Enzyme angenommen werden.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt. Herrn Doz. Dr. H. Holzer vom Physiologisch-chemischen Institut der Universität Hamburg sind wir für wertvolle Ratschläge und Diskussionen zu großem Dank verpflichtet. Frau A. Lehnert, Fräulein H. Karus und Herrn cand. med. T. Belen danken wir für ihre Mitarbeit bei den Versuchen.

²⁷ M. G. Ord u. L. A. Stocken, Proc. Soc. exp. Biol. Med. **83**, 695 [1953].

²⁸ H. Holzer, pers. Mitteilung.

Die Wirkung von Strahlen auf *Acetabularia*

II. Die Wirkung von Röntgenstrahlen auf kernlose Teile von *Acetabularia mediterranea*

Von ERICH SIX *

Aus dem Max-Planck-Institut für Meeresbiologie Wilhelmshaven, Abt. Hämmerling

(Z. Naturforschg. **11 b**, 598—603 [1956]; eingegangen am 23. Mai 1956)

Es wurde der Einfluß von Röntgenbestrahlungen auf die Lebensfähigkeit und das Formbildungs-Vermögen kernloser Zellteile von *Acetabularia mediterranea* in Abhängigkeit von der Strahlendosis untersucht. Dabei erwies sich die Hutbildung stets als der am strahlenempfindlichste Prozeß. Die gefundenen Ergebnisse werden diskutiert und mit den entsprechenden Befunden nach UV-Bestrahlung verglichen.

In einer ersten Mitteilung¹ wurde über die Wirkung ultravioletter Strahlen verschiedener Wellenlänge auf kernlose Zellteile von *Acetabularia mediterranea* berichtet. Dabei ergab sich für Bestrahlungen bei 254 m μ und weniger stark auch für Bestrahlung bei

* Mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

281 m μ eine dosisabhängige Verminderung der mittleren Lebensdauer und des Formbildungs-Vermögens der kernlosen Teile, während die 297-m μ -Strahlung keine deutliche Wirkung erkennen ließ. Diese Versuche wurden durch Untersuchungen über die Wirkungen einer Röntgenbestrahlung erweitert.

¹ E. Six, Z. Naturforschg. **11 b**, 463 [1956].

Material und Methoden

Die Vorbehandlung und Auswertung des Materials erfolgte in gleicher Weise, wie schon bei den Versuchen mit UV-Bestrahlungen beschrieben wurde¹. Die meisten Versuche wurden an ca. 10 mm langen Vorderstücken (V) durchgeführt, z. T. auch an daran anschließenden, ebenfalls 10 mm langen Mittelstücken (M). Die Bestrahlungen fanden in Frankfurt statt. Als Strahlenquelle diente eine Hochleistungs-Röntgenröhre mit 60-kV-Spitzenspannung und 1 A Röhrenstrom². Die Dosisleistung betrug 20 bzw. 40 kr/min.

Insgesamt wurden innerhalb von 1 $\frac{1}{4}$ Jahren 3 Bestrahlungsserien (R1—R3) mit 3 verschiedenen Nachzuchten der am Institut gehaltenen Kulturen durchge-

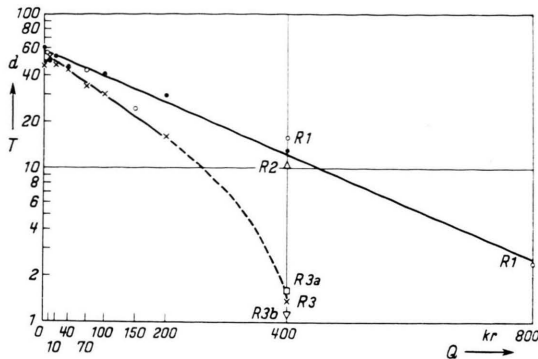


Abb. 1. Die mittlere Lebensdauer T kernloser Vorderstücke in Abhängigkeit von der Strahlendosis Q . ●: Mittelwerte der Serien R1 und 2, ○: Werte von R1 allein, ×: Mittelwerte von R3 a und b. Bei 400 kr sind außer den Mittelwerten auch die einzelnen Werte von R1, 2, 3 a und b eingezeichnet. N wie in Tab. 1 angegeben.

führt. Die Versuchsserie R3 erfolgte gleichzeitig und am gleichen Pflanzenmaterial wie die UV-Serie U4. Sie ist zu unterteilen in die Serien R3 a und R3 b. Die zu R3 b gehörenden kernlosen Vorderstücke wurden 1 Tag später amputiert und auch 1 Tag später bestrahlt als die der Serie R3 a.

Ergebnisse

1. Die Überlebensfähigkeit

Der Einfluß der Röntgenstrahlung auf die Überlebensfähigkeit kernloser Teile von *Acetabularia* läßt sich wie bei den entsprechenden UV-Versuchen näherungsweise durch eine Verschiebung der Überlebenskurven längs der Zeitachse beschreiben. Ebenso stimmt auch bei den nachgehend beschriebenen Versuchen die durch graphische Integration der Überlebenskurven gefundene mittlere Lebensdauer T ziemlich gut mit der Zeit $T_{1/2}$ überein, zu der gerade noch die Hälfte der Teile einer Bestrahlungsgruppe am Leben geblieben ist.

Die Serien R1 und R2 zeigten hinsichtlich der mittleren Lebensdauer T als Funktion der Strahlendosis Q vor allem im Bereich hoher Dosen ($Q > 100$ kr) erhebliche Unterschiede zur Serie R3 (a und b). Demgegenüber waren die Abweichungen der Serien R1 und R2 untereinander wesentlich geringer, so daß es gerechtfertigt erschien, die beiden Serien zusammenzufassen. Wie aus Abb. 1 zu erkennen ist, läßt sich für die Serien R1 und R2 im gesamten untersuchten Dosisbereich der Verlauf von $\log T$ in Abhängigkeit von Q durch eine Gerade annähern, entsprechend einem exponentiellen Abfall von T als

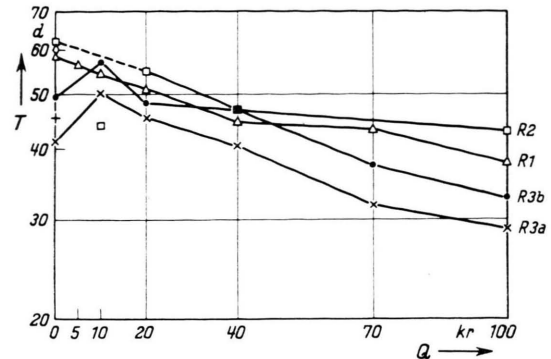


Abb. 2. Die mittlere Lebensdauer T in Abhängigkeit von der Dosis Q im Bereich von 0—100 kr. ◇: Mittelwert R1 + R2, +: Mittelwert R3 a + R3 b. N wie in Tab. 1 angegeben.

Funktion von Q . Für Serie R3 (a und b) gilt dies nur im Bereich von 10—200 kr. Anscheinend unterscheidet sich Serie R3 von den Serien R1 und R2 auch im Anfangsverlauf der Funktion $T(Q)$. (Vgl. auch Abb. 2.) Die Werte für $T(0)$ (unbestrahlte Kontrollgruppen) lagen bei den Serien R3 a und R3 b nicht nur erheblich niedriger als die entsprechenden Werte der Serien R1 und R2 (46 d für R3, 60 d für R1 + R2), sondern auch niedriger als die Werte, die sich durch Extrapolation des gefundenen Verlaufes von $T(Q)$ im Bereich von 10—100 kr für $T(0)$ ergeben. Dem entspricht für diese Serien ein im Bereich von 0—10 kr angedeutetes Maximum für $T(Q)$.

Mittelstücke wurden nur bei den Serien R1 und R2 bestrahlt. Da die für sie gefundene Dosisabhängigkeit der mittleren Lebensdauer keine bemerkenswerten Unterschiede zu der für V-Stücke ermittelten Funktion $T(Q)$ ergaben, kann auf eine Darstellung verzichtet werden.

² O. H e u s e, Z. angew. Physik 5, 361 [1953].

2. Das Längenwachstum des Stieles

Abb. 3 zeigt für die V-Stücke der Serie R 3 (a und b) in logarithmischem Maßstab den Längenzuwachs δ des Stieles, gemessen 7 und 21 Tage nach der Bestrahlung, in Abhängigkeit von der Dosis Q im Bereich von 0—200 kr. Abgesehen von einer bei 10 kr angedeuteten leichten Erhöhung des Längenwachses δ nach 21 Tagen läßt sich die Abnahme von $\log \delta$ als Funktion von Q durch eine Gerade annähern. Somit zeigt auch das Längenwachstum δ der kernlosen

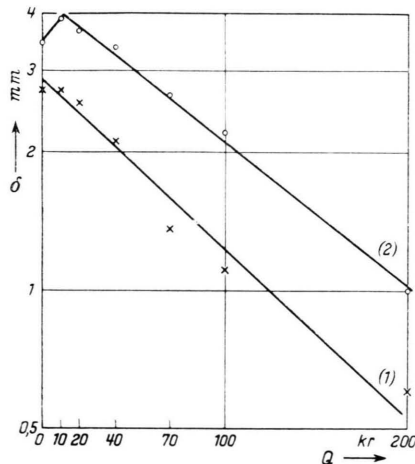


Abb. 3. Der Längenzuwachs δ kernloser 10 mm langer Serie R 3 in Abhängigkeit von der Strahlendosis Q : 7 Tage (Kurve 1) und 21 Tage (Kurve 2) nach Bestrahlung. N wie bei Tab. 1 angegeben.

V-Stücke entsprechend ihrer mittleren Lebensdauer T einen exponentiellen Abfall als Funktion der Strahlendosis Q .

7 Tage nach der Bestrahlung betrug für die mit 200 kr bestrahlten Teile der Prozentsatz der Überlebenden noch 60%, bei den mit nur 100 kr bestrahlten Teilen noch 92% und lag bei den mit 0—70 kr bestrahlten Teilen noch höher. Die bereits 7 Tage nach der Bestrahlung, d. h. zu einer Zeit, zu der praktisch noch alle Teile lebten (abgesehen von der 200-kr-Gruppe) beobachtete Verminderung des Stielzuwachses δ zeigt demnach, daß die durch die Bestrahlung bewirkte Abnahme des Längenwachstums keine direkte Folge der Verminderung der mittleren Lebensdauer der bestrahlten V-Stücke sein kann.

21 Tage nach der Bestrahlung war, wie weitere Messungen zu späteren Zeiten ergaben, bereits fast die endgültige Stiellänge erreicht. Der für den Stielzuwachs ermittelte Verlauf von $\log \delta(Q)$ entspricht gut dem Verlauf von $\log T(Q)$ bei dieser Serie (vgl.

hierzu auch den folgenden Abschnitt). Serie R 3b unterschied sich insofern von R 3a, als bei ihr der Stielzuwachs nach 20 kr noch größer war als nach 10 kr. Dies kommt infolge der Zusammenfassung von R 3a und R 3b in Abb. 3 (Kurve 2) nicht mehr zum Ausdruck.

Die angegebenen Werte für den mittleren Längenzuwachs beziehen sich — wie auch bei der Mitteilung über die UV-Versuche¹ — auf alle Ausgangsteile, einschließlich derjenigen, die vor der Längenmessung schon abgestorben waren. Eine nur die lebenden Teile erfassende Mittelwertbildung ließ jedoch keine wesentlich anderen Verhältnisse für die Dosisabhängigkeit des Längenwachstums bestrahlter

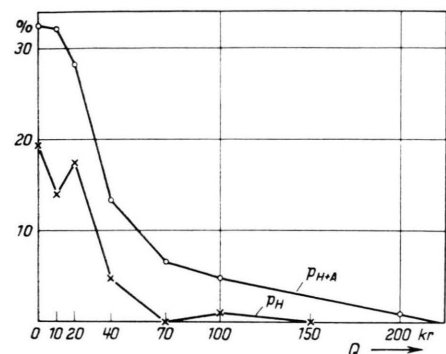


Abb. 4. Das Hutbildungs-Vermögen kernloser Vorderstücke in Abhängigkeit von der Strahlendosis Q . Zusammenfassung der Serien R 1—3. P_H und P_{H+A} wie bei Tab. 1.

Teile erkennen. Nach Bestrahlung mit 400 kr ergab sich kein Längenzuwachs, da diese Teile alle innerhalb der ersten Tage nach der Bestrahlung abstarben.

Bei den Serien R 1 und R 2 schwankten die nach Bestrahlung mit 0—200 kr erhaltenen Werte für den Stielzuwachs der V- und M-Stücke sehr stark und ohne erkennbaren Zusammenhang, ohne daß sich in diesem Dosisbereich eine deutliche Abnahme des Stielwachstums erkennen ließ. Erst nach Bestrahlung mit 400 kr fand sich ein stärkerer Abfall für δ . Dabei ist zu bedenken, daß bei diesen Serien die mittlere Lebensdauer T noch ca. 10 bis 16 Tage betrug, also keineswegs alle Teile der 400-kr-Gruppen unmittelbar nach der Bestrahlung abstarben.

3. Das Hutbildungs-Vermögen

Die größten Hüte, die bei den hier beschriebenen Versuchen beobachtet wurden, erreichten einen Durchmesser von ca. 4 mm. Nach Bestrahlung mit Dosen $Q > 40$ kr wurden bei den V-Stücken der Serien R 1—R 3 weder typische noch atypische Hüte mit einem Durchmesser $> 1,2$ mm gebildet (mit 1 Ausnahme) (Tab. 1). Durch Bestrahlung mit 200 kr wurde

Serie	R 1			R 2			R 3 a+b		
	Q [kr]	N	P _H	P _{H+A}	N	P _H	P _{H+A}	N	P _H
0	19	42	47	24	17	21	80	15	32,5
5	20	30	35						
10	22	32	50	24	0	8	60	13	35
20	20	20	20	24	12,5	17	60	18	35
40	21	0	5	24	0	8	60	8	18
70	16	0	6				60	0	3,3
100	21	5*	14	24	0	4	60	0	1,7
150	21	0	0						
200	23	0	4**	24	0	0	60	0	0
400	21	0	0	24	0	0	60	0	0

* 1 atypischer Hut, 1,3 mm Durchmesser.

** 1 sehr unvollkommene und verkümmerte Hutanlage, 0,9 mm Durchmesser.

Tab. 1. Das Hutbildungs-Vermögen kernloser Vorderstücke nach Bestrahlung (Endleistung). Q: Strahlendosis, N: Anzahl der Teile. P_H: Prozentsatz der entstandenen typischen und atypischen Hüte mit einem Mindestdurchmesser von 1,2 mm. P_{H+A}: Prozentsatz der insgesamt entstandenen Hüte, Kümmerhüte und verkümmelter Hutanlagen. N bei Serie R 3: je 40 Tle. bei R 3a; ebensoviel für die unbestrahlte Gruppe von R 3b, sonst je 20 Tle. bei R 3b.

das Hutbildungs-Vermögen der V-Stücke praktisch vollkommen unterdrückt. Abb. 4 zeigt die Dosisabhängigkeit des Hutbildungs-Vermögens, wie sie sich durch Zusammenfassung der Ergebnisse der Serien R 1—R 3 ergibt.

Auch bei den M-Stücken der Serien R 1 und R 2 (Tab. 2) traten nach Dosen Q > 40 kr nur noch ganz vereinzelt Hüte mit einem Durchmesser von mindestens 1,2 mm auf, während nach 200 kr unter 67 M-Stücken nur noch eine verkümmerte Hutanlage beobachtet wurde.

Wenn auch das Versuchsmaterial zu einer genaueren Analyse der Dosisabhängigkeit des Hutbildungs-Vermögens nach Röntgenbestrahlung noch nicht ausreicht, so läßt sich doch jedenfalls feststellen, daß

durch die Bestrahlung das Hutbildungs-Vermögen der kernlosen Teile relativ stärker geschädigt wird als das Stielwachstum (δ) und die Lebensfähigkeit (T).

Diskussion

Wie nach Einwirkung ultravioletter Strahlen der Wellenlängen 254 m μ und 281 m μ , so zeigten die kernlosen Zellteile von *Acetabularia* auch nach Röntgenbestrahlung eine Verminderung ihrer Leistungsfähigkeit. Dies gilt für ihre Lebensfähigkeit (gemessen an der mittleren Lebensdauer) wie für ihr Stielwachstum und besonders für ihr Hutbildungs-Vermögen.

Die Ursache für die im einzelnen gefundenen Un-

Serie	R 1			R 2			R 1 + R 2		
	Q [kr]	N	P _H	P _{H+A}	N	P _H	P _{H+A}	N	P _H
0	27	4	15	39	10	18	66	8	17
5	29	10	21						
10	28	21	25	40	10	10	68	15	16
20	28	14	18	40	10	12,5	68	12	15
40	28	7	14	38	0	8	66	3	11
70				20	0	0			
100	26	4	11	41	0	0	67	1,5	4,5
150	28	4	7						
200	28	0	4	39	0	0	67	0	1,5
400	27	0	0	42	0	0	69	0	0

Tab. 2. Das Hutbildungs-Vermögen kernloser Mittelstücke nach Bestrahlung. Bedeutung von N, P_H und P_{H+A} wie bei Tab. 1.

terschiede zwischen den bei den Serien R 1 und R 2 und den bei den Serien R 3 a und R 3 b ermittelten Ergebnissen blieben ungeklärt. Vielleicht handelt es sich um Unterschiede bzw. Veränderungen der als Ausgangsmaterial dienenden Kulturen, denn die Versuchsserie R 3 wurde etwa 10 Monate später bestrahlt als die Serie R 2 bzw. etwa 14 Monate später als die Serie R 1.

Weitere Untersuchungen wären auch erforderlich, um zu klären, ob die in einigen Fällen angedeutete „fördernde“ Wirkung schwacher Röntgenstrahlen-Dosen sich bestätigen läßt (Erhöhung von T und δ bei den V-Stücken der Serie R 3, Erhöhung des Hutbildungs-Vermögens bei den M-Stücken der Serie R 1). H ä m m e r l i n g³ konnte im Bereich von 0—18 kr keine wesentlichen Strahlenwirkungen feststellen, doch ist das Material zu klein, um geringere Differenzen auszuschließen.

Für die Serien R 1 und R 2 läßt sich die Abhängigkeit der mittleren Lebensdauer T von der Strahlendosis Q durch die Gleichung:

$$T = T_0 e^{-v \cdot Q} \quad (1)$$

beschreiben. Für das formale Treffvolumen v ist dabei etwa

$$v = 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ cm}^3$$

einzusetzen (bezogen auf eine mittlere Energieabsorption von 32,5 eV pro Treffer). Bei Serie R 3 ergibt sich für den linearen Kurventeil von $\log T(Q)$

$$v = 4,0 \cdot 10^{-18} \text{ cm}^3.$$

Ein nicht erheblich verschiedener Wert gilt bei Serie R 3 auch für die Abhängigkeit des Stielzuwachses δ von der Strahlendosis. Um das — allerdings nur angedeutete — Maximum von $T(Q)$ bei Serie R 3 zu erfassen, könnte Gl. (1) ergänzt werden zu

$$T = [T_0 + T' (1 - e^{-v' \cdot Q})] e^{-v \cdot Q} \quad (2)$$

(mit $T_0 = 46$ d; $T' = 10$ d; $v' > 1 \cdot 10^{-17} \text{ cm}^3$). Entsprechend wäre auch bei δ zu verfahren.

Die Einführung eines formalen Treffvolumens v zur Beschreibung der Strahlenwirkung kann hier nicht so verstanden werden, daß eine einzige „strahlenempfindliche Einheit“ die Leistungsfähigkeit des kernlosen Zellteiles bestimmt, sondern nur so, daß diese von der Menge der im Cytoplasma vorhandenen ungeschädigten Substanzen und Strukturen ab-

³ J. H ä m m e r l i n g, Z. Naturforschg. **11 b**, 217 [1956].

hängt. Da die Größe des Treffvolumens durch die „direkte“ wie die „indirekte“ (chemische) Strahlenwirkung bestimmt wird⁴, ist ein Rückschluß aus dem Wert für v auf die tatsächliche Größe der „strahlenempfindlichen Einheiten“ kaum möglich. Es läßt sich auch noch nicht entscheiden, ob das ermittelte Treffvolumen v auf eine einzige besonders strahlenempfindliche Komponente des Cytoplasmas zu beziehen ist, welche die exponentielle Dosisabhängigkeit der Strahlenreaktion bestimmt, oder auf verschiedene für die Strahlenwirkung verantwortliche Komponenten, die sich in ihrer Strahlenempfindlichkeit nicht erheblich unterscheiden.

Es liegt nahe, anzunehmen, daß in einem kernlosen Zellteil auch ohne Bestrahlung „lebenswichtige“ Komponenten des Cytoplasmas im Laufe der Zeit verbraucht werden, die sich nicht ersetzen lassen. Erfolgt durch die Bestrahlung eine weitere Verminderung dieser Komponenten, so erscheint es verständlich, daß sich für nicht zu hohe Dosen Q der Einfluß der Bestrahlung auf die Überlebensfähigkeit der Teile als eine Verschiebung der Überlebenskurven um eine dosisabhängige Zeitspanne $\tau(Q)$, demnach als eine Art „künstliche Alterung“ beschreiben läßt.

Die beobachtete Abhängigkeit der Zahl n der lebenden Teile einer Bestrahlungsgruppe von insgesamt N Teilen von der Zeit t nach der Bestrahlung läßt sich am einfachsten durch folgenden Ansatz für die Überlebensfunktion

$$y(t) = \frac{1}{N} n(t) \quad (3)$$

schematisieren:

$$y(t) = \begin{cases} 1 & \text{für } 0 \leq t < T - \varepsilon \\ \frac{1}{2\varepsilon} (T - \varepsilon - t) & \text{für } T - \varepsilon \leq t < T + \varepsilon \\ 0 & \text{für } T + \varepsilon \leq t \end{cases} \quad (4)$$

$$[T = T(Q)]$$

(Vgl. hierzu Abb. 5.) Daraus folgt für die zeitliche Verschiebung $\tau(Q)$ der Überlebenskurven infolge der Bestrahlung

$$\tau(Q) = T(0) - T(Q) \quad (5)$$

und daraus im einfachsten Fall mit Gl. (1) [$T(0) = T_0$]:

$$\tau(Q) = T_0 (1 - e^{-v \cdot Q}). \quad (6)$$

Dieses mathematische Modell läßt sich allerdings nur anwenden, solange $T(Q) > \varepsilon$.

Nach der beobachteten relativ einfachen Dosisabhängigkeit der mittleren Lebensdauer T erscheint es möglich, daß T der Menge bestimmter strahlenempfindlicher Komponenten des Cytoplasmas proportional ist. Entsprechendes ist auch, wenigstens nach

⁴ E. S i x, Z. Naturforschg. **9 b**, 265 [1954].

den Ergebnissen der Serie R 3, für das Längenwachstum des Stieles zu vermuten.

Für die Schädigung der Hutbildung liegt anscheinend ein besonderer Schädigungsmechanismus vor, da das Treffvolumen hierfür bedeutend größer ist als die sich für T und δ ergebenden Treffvolumina. Die experimentellen Befunde entsprechen am ehesten einem

$$v \approx 2 \cdot 10^{-17} \text{ cm}^3$$

(bei Approximation des Kurvenverlaufes von Abb. 4 durch eine Exponentialfunktion). Da die Größe des Treffvolumens als ein Maß für die Strahlenempfindlichkeit anzusehen ist, kommt in dem für v gefundenen Wert die besonders hohe Strahlenempfindlichkeit des Hutbildungs-Vermögens zum Ausdruck. Dem entspricht, daß sich allgemein die Hutbildung als ein Prozeß erweist, der gegenüber äußeren Einflüssen besonders empfindlich ist.

Bei einem Vergleich der beobachteten Wirkungen der Röntgenstrahlen auf kernlose Teile von *Acetabularia* mit der Wirkung ultravioletter Strahlen ergeben sich folgende Gemeinsamkeiten:

1. In beiden Fällen läßt sich stets der Einfluß einer Bestrahlung auf die Lebensfähigkeit der kernlosen Teile in erster Näherung als eine Verschiebung der Überlebenskurven längs der Zeitachse beschreiben.

2. Bei den Vorderstücken der Serie R 3 (Röntgenbestrahlungen) und der gleichzeitig durchgeführten Serie U 4 (UV-Bestrahlungen)¹ zeigte sich eine stärkere Abnahme des Stielwachstums nur dann, wenn auch die mittlere Lebensdauer der Teile erheblich vermindert war. (Die Serien R 1 und R 2 können wegen der unklaren Ergebnisse der Längenmessungen hier nicht zum Vergleich herangezogen werden.)

3. Das Hutbildungs-Vermögen der bestrahlten Teile erwies sich stets als strahlenempfindlicher als ihr Stielwachstum und ihre mittlere Lebensdauer.

Bei Vernachlässigung aller vorhandener Unterschiede im genaueren Verlauf der gefundenen Dosis-Effekt-Kurven entspricht die Wirkung einer Röntgenbestrahlung mit $a \cdot 10$ kr etwa der Wirkung einer 254-m μ -UV-Bestrahlung mit a BE ($a \cdot 8,55 \cdot 10^4$ erg/cm²). Mehr als einen ungefähren Anhalt kann die angegebene Dosisäquivalenz jedoch keinesfalls darstellen.

Diese allgemeinen Übereinstimmungen in der Wirkung der Röntgenstrahlen und der ultravioletten

Strahlen erscheinen naheliegend, denn als unmittelbare Folge einer Röntgenbestrahlung wie einer UV-Bestrahlung ($\lambda = 254 \text{ m}\mu$ und $281 \text{ m}\mu$) ist mit eingreifenden chemischen, bzw. auch strukturellen Veränderungen bei zahlreichen Komponenten des Cytoplasmas zu rechnen, insbesondere auch bei den Eiweißstoffen und Nucleinsäuren. Die beobachteten biologischen Wirkungen sind wahrscheinlich auf eine Veränderung vieler Faktoren im Cytoplasma zurückzuführen. Jedoch ließen die UV-Versuche auf eine besondere Bedeutung der Purine und Pyrimidine enthaltenden Substanzen (wie z. B. Nucleinsäuren) für das Zustandekommen der beobachteten Wirkungen der ultravioletten Strahlen schließen. Nach dem oben

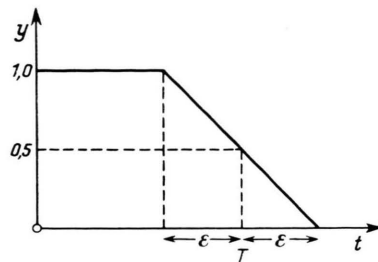


Abb. 5. Schematisierte Darstellung der Überlebensfunktion $y(t)$. Erläuterungen im Text.

Erörterten liegt es nahe, eine entsprechende Bedeutung dieser Substanzen auch für die hier beschriebenen Wirkungen der Röntgenstrahlen zu vermuten. Dafür spricht auch die beobachtete Strahlenempfindlichkeit der Nucleinsäuren, bestimmt an der Veränderung ihres UV-Absorptionsspektrums, bei Röntgen- und UV-Bestrahlung *in vitro*⁵.

Weiterhin ist jedoch auch mit einer Schädigung der verschiedenen Enzymsysteme in den kernlosen Teilen und daher auch mit einer entsprechenden Beeinflussung ihres Stoffwechsels zu rechnen. Hier sind Untersuchungen über die Hemmung der Atmung tierischer Gewebe unmittelbar nach Röntgenbestrahlung anzuführen⁶. Die dafür gefundenen mittleren Schädigungsdosen sind etwa ebenso groß wie diejenigen Dosen, die zu einer stärkeren Schädigung der kernlosen Zellteile von *Acetabularia* erforderlich sind.

Inwieweit die bisher beobachteten Strahlenwirkungen auf *Acetabularia* einen Rückschluß auf eine bleibende oder nur zeitweilige Strahlenschädigung der Eiweiß-Synthese der kernlosen Teile (und ihrer Substanzvermehrung überhaupt) erlauben, wurde bereits in der ersten Mitteilung diskutiert.

⁵ K. Aurand u. H. Pauly, Z. Naturforschg. **9** b, 506 [1954].

⁶ I. Wolf, Dissertation, Frankfurt 1954.