

N4357

Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. A 221, 386-397 (1972)

① Aus dem Robert Koch Institut, Berlin (West) Wn GER 56

Versuche über den Einfluß elektromagnetischer Wellen auf die Reaktionsfähigkeit von Zellen und Geweben
III. Mitteilung: Einfluß der Bestrahlung mit Rotlicht und Mikrowellen auf die Pinocytose von FL-Zellkulturen¹

① (3.2.71) Experiments on the Effect of Electro-magnetic Waves on the Reactivity of Cells and Tissues n. o. 3 + A
III. Communication: Effect of Irradiation with Red-light and Microwaves on Pinocytosis in FL Cell Cultures /

① SILKE HELLER

Mit 3 Abbildungen · Eingegangen am 1. November 1971

Zusammenfassung

Es wird über die Beeinflussung von Zellkulturen durch Bestrahlung berichtet, wobei während des Versuches die Behältnisse durch Aluminiumfolie abgedeckt waren. Die in Röhren auf Plastikfolie gezüchteten FL-Zellen wurden mit infrarot- und/oder mikrowellenbestrahlter Tusche beschickt, anschließend teilweise selbst bestrahlt und die Aufnahme von Tuschepartikelchen registriert.

Hierbei zeigte sich, daß eine Bestrahlung der Tusche mit Rotlicht und darauffolgend der Zellen mit cm-Welle die höchste Anzahl Zellen ergab, die Tusche aufgenommen hatten. Der Unterschied zwischen dieser und der unbestrahlten Gruppe konnte statistisch als signifikant gesichert werden.

Es ergaben sich Anzeichen für einen Maximalwert der Aufnahme von Tuscheteilchen in die Zellen.

Es sollte untersucht werden, ob sich eine Zellkultur durch Strahlung aus den Bereichen 1-2µ und 1,4 cm in ihren Lebensäußerungen beeinflussen läßt.

Im Gegensatz zu einem komplexen Gewebe oder sogar zu einem Organismus ist die Zellkultur übersichtlich, einschichtig und läßt die Beobachtung von Reaktionen von und in einzelnen Zellen zu.

¹ Auszug aus einer Dissertation der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin, 1970.

Während Röntgenbestrahlung von Zellkulturen (sowohl HeLa als auch FL) schon verschiedentlich, auch mit wechselnden Dosen, durchgeführt wurde (FOGH, POMERAT, STROUD), sind die nach CAROLI interessanten Wellenlängen des elektromagnetischen Bereichs in Bezug auf ihre Wirkung auf die Zellkultur noch unerforscht.

Um die Wirkung der Strahlen sichtbar und meßbar zu machen, wurde die leicht kontrollierbare Aufnahme von Tuschepartikelchen in die Zellen untersucht. Die Tusche hat den Vorteil, daß sie inert ist und sich neutral gegen die Zellen verhält. Bei der Verwendung eines Mikroorganismus wären die eigenen Reaktionen desselben schwer faßbar, in dem System hätten zwei lebende Partner reagiert.

Gerade weil die verwendeten Zellen (FL) nicht zur Phagozytose bestimmt sind, sondern vor allem durch Pinocytose Partikel aufnehmen, scheint der Vergleich mit der Arbeit LISCHKAS (s. I. Mitteilung) und die weitere Vervollständigung der Versuche besonders interessant zu sein.

Material und Methoden

Die Versuche mit den Zellen wurden nach der von KNOCKE, VOSS und KÖHLER, APODACA angegebenen Methode auf Kunststoffolie gemacht.

1. Kulturgläser

Für die Herstellung der Zellkulturen wurden Vierkantflaschen mit der Grundfläche 4 cm × 11,5 cm, für die Versuche anschließend dünnwandige Reagenzgläser verwendet.

2. Kunststoffolie

Als Folie stand Hostaphan NV 75, glasklar, Breite 1300, zur Verfügung. (Fa. Kalle AG., Wiesbaden). Sie wird zunächst mit einem in 50%igem Äthylalkohol getränkten Lappen intensiv abgewischt. Nach dem Zuschneiden der den Reagenzröhrchen entsprechenden Folienstücke (10 cm × 0,7 cm) werden diese nochmals in 50%igem Äthanol intensiv gewaschen. Durch Aufbewahrung der vorbehandelten Folienstücke für 48 Stunden in absolutem Äthanol wird desinfiziert. Die nassen Folien werden in die sterilen Kulturgefäße gebracht und diese geöffnet so lange im Brutschrank aufbewahrt, bis der gesamte Alkohol verdunstet ist. Die nach der Desinfektion durch Gummistopfen verschlossenen Kulturgefäße sind damit gebrauchsfertig.

3. Zellkultur

Zur Herstellung der Zellkulturen diente der im Institut gehaltene Stamm von FL-Zellen, menschlichen Amnionzellen (Fogh und Lund haben diese Zellen für die Kultur erstmals gewonnen). Der Stamm wird mit dem Wachstumsmedium: Hefelactalbumin + 10% aktives Kälberserum und dem Erhaltungsmedium: Parker 199 ohne Antibiotika gezüchtet. Das Erhaltungsmedium bleibt zwei Tage im Röhrchen. Nach „Beimpfung“ im Rahmen des Versuches wurde für die letzten 24 Stunden wieder Parker 199 aufgefüllt.

4. Tusche

Zur Inokulation wurde Pelikan-Ausziehtusche schwarz, ein Tropfen in 150 ml Parker 199 aufgelöst, verwendet. Zur Sterilisierung wurde das Gemisch für 20 Minuten in den Dampftopf gebracht, anschließend mit einem Gummistopfen steril verschlossen und im Kühlschrank aufbewahrt.

Die absolut schwarze Tusche zeichnet sich durch gute Sichtbarkeit unter dem Mikroskop aus.

Es wurden jeweils 0,5 ml der Tuschelösung pro Röhrchen eingefüllt.

5. Strahlenquellen und Versuchsanordnung

Die Bestrahlung erfolgte mit dem Osram-Siccatherm-Infrarot-Strahler Typ SL/r 250 W ($\lambda = 1-2 \mu$), wie ihn auch CAROLI und LISCHKA verwendet haben, und einem Mikrowellenstrahler ($\lambda = 1,4 \text{ cm}$), Klystron der Raython Comp., Mass., USA (siehe IV. Mitteilung). Bestrahlt wurden 10 ml bzw. die bereits mit Tusche beschickten Röhrchen aus 10 cm Abstand für 10 Minuten. Bei Kombinationsbestrahlung ergibt sich dadurch eine Dauer von insgesamt 20 Minuten. Bei der Rotlichtbestrahlung wurde das Schälchen, das die Tusche enthält, mit einem Mantel von Eiswürfeln umgeben, um eine störende Erwärmung zu vermeiden. Lampe und Schale wurden zur Wahrung der Sterilität und zum Schutz vor Strahlen mit einer Aluminiumfolie gegen die Umgebung abgedeckt. Beim Klystron erfüllte ein Bleikasten, bei dem durch ein Loch in der Decke der Strahlungsschlauch eingeführt wird, diese Funktion. Die Röhrchen konnten ohne diese Vorsichtsmaßnahmen bestrahlt werden, allerdings mußte auf Bewahrung vor Hitze während der Rotlichtbestrahlung weiter geachtet werden. Neben den Eiswürfeln mußte die Luft zwischen Lampe und Röhrchen mittels eines Ventilators gekühlt werden, da sich sonst das Glas zu schnell erwärmte und die Zellen zugrunde gingen. Der Transport zum Bestrahlungsort und zurück erfolgte in einem kleinmaschigen Drahtkorb, der innen mit Aluminiumfolie ausgelegt war, die Schalen bzw. Röhrchen selbst waren außerdem noch sorgfältig in Folie verpackt, um jede mögliche Beeinflussung durch äußere Strahlung zu vermeiden. Allerdings wurde das Einfüllen der Tusche in die Schälchen und später in die Röhrchen aus technischen Gründen ohne diese Vorsichtsmaßnahmen vorgenommen.

Die Versuche wurden immer zur gleichen Tageszeit angesetzt, um tageszeitliche Schwankungen in den biologischen Reaktionen, auf die PICCARDI und SOLBERGER hingewiesen haben, zu vermeiden. Die Bestrahlung erfolgte 9.30 Uhr bis einige Minuten nach 10 Uhr für die Tusche in allen Kombinationen; anschließend wurden die Röhrchen, soweit vorgesehen, bestrahlt und nach einer Stunde Einwirkzeit mit 2,5 ml Parker aufgefüllt.

Bestrahlung der Tusche und Zellen:

Versuchsgruppen:

- A) unbestrahlte Tusche
- B) infrarotbestrahlte Tusche
- C) cm-Wellenbestrahlte Tusche
- D) Tusche erst mit Rotlicht, anschließend mit cm-Welle bestrahlt
- E) Tusche erst mit cm-Welle, dann mit Rotlicht bestrahlt
- F) Tusche mit Rotlicht bestrahlt, auf die Zellen gegeben, diese im Röhrchen mit cm-Welle bestrahlt
- G) Tusche mit cm-Welle bestrahlt, Röhrchen beschickt, diese insgesamt mit Rotlicht bestrahlt
- H) unbestrahlte Tusche auf die Zellen gegeben, diese insgesamt mit cm-Welle bestrahlt.

6. Histologie

Die Folien wurden nach 8 bzw. 24 Stunden aus dem Röhrchen genommen, luftgetrocknet und 10 Minuten in Methanol fixiert. Anschließend 45 Minuten nach Giemsa gefärbt und in Äthanol und Wasser differenziert. Nach der Trocknung erfolgte die Eindeckung in Caedax (Kandabalsam). Reihenfolge der Eindeckung: von unten nach oben: Objektträger, Caedax, Folie (Kulturscite nach oben) Caedax, Deckglas.

Es stellte sich heraus, daß die nach 8 Stunden entnommenen Folien keine charakteristischen Unterschiede in den Gruppen erkennen ließen, so daß nur Folien nach 24 Stunden ausgewertet wurden. Mikroskopiert wurde mit Ölimmersion, Vergrößerung des Okulars $8 \times$, die des Objektivs $100 \times$.

Mit Hilfe der Versuchsanordnung konnte die Zahl der Zellen ausgezählt werden, die Tusche aufgenommen hatte.

Die Auswertung erfolgte durch Auszählung von je hundert Zellen an drei verschiedenen Stellen des Präparates, um einen möglichst guten Mittelwert zu erhalten. Zu den hundert jeweils ausgezählten Zellen in Beziehung (%) wurde die Anzahl Zellen gesetzt, die Tusche-partikelchen aufgenommen hatten, wobei die Zahl der aufgenommenen Teilchen nicht berücksichtigt wurde (Abb. 1, 2). In den Tabellen 1-3, die als Beispiel dienen mögen, ist stets nur die Zahl der Zellen angegeben, die pinocytieren haben; sie ist sinngemäß als Prozentzahl zu verstehen.

Die genauere Durchsicht eines Präparates an zehn Stellen zeigte, daß die Auswertung von nur drei Stellen einen genügend genauen Mittelwert ergibt.

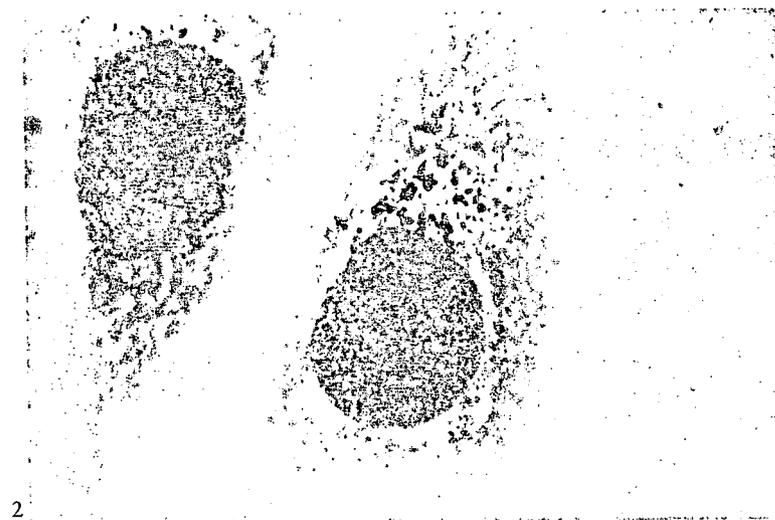


Abb. 1 u. 2. Tusche-partikelchen in FL-Zellkultur nach Kombinationsbestrahlung mit Rotlicht und cm-Welle, normale Versuchsanordnung. Vergr. ca. 1200 \times .

Um den Nachweis zu erbringen, daß die Tusche tatsächlich von den Zellen aufgenommen wird und nicht etwa nur der Zellmembran dicht anhaftet, wurden Schnittpräparate angelegt, die es gestatteten, die Zelle auch im Querschnitt zu beurteilen. Durch diese Paraffinschnitte konnte bewiesen werden, daß es sich tatsächlich um eine echte Aufnahme von Tuschepartikelchen in die Zelle handelt (Abb. 3).

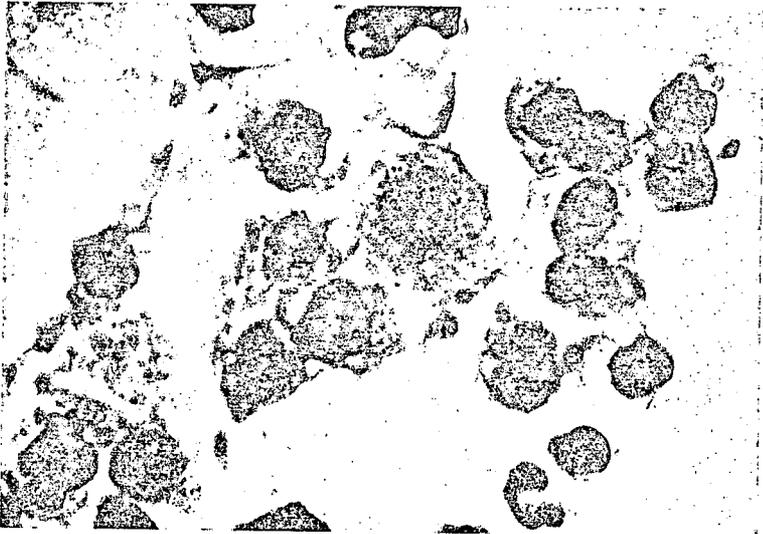


Abb. 3. Tuschepartikelchen in FL-Zellkultur, unbestrahlt. Zellen im Querschnitt. Vergr. ca. 1200 \times .

Erläuterungen zu den Tabellen 1-3:

Die Tabellen enthalten in graphischer Übersicht die Versuchsprotokolle jedes einzelnen Versuchstages. Das Datum wurde besonders vermerkt, um eventuelle Beziehungen zu meteorologischen Schwankungen feststellen zu können.

Zum Diagramm:

Die Großbuchstaben A-H stellen die gebildeten Versuchsgruppen dar und haben folgende Bedeutung:

Gruppe	Bestrahlung der Tusche	Bestrahlung der Zellen*
A	unbestrahlt	unbestrahlt
B	Rotlicht	unbestrahlt
C	cm-Welle	unbestrahlt
D	Rotlicht, anschl. cm-Welle	unbestrahlt
E	cm-Welle, anschl. Rotlicht	unbestrahlt
F	Rotlicht	cm-Welle
G	cm-Welle	Rotlicht
H	unbestrahlt	cm-Welle

(* Die Zellen wurden stets im Anschluß an die Inokulation mit Tusche bestrahlt).

Die einzelnen Gruppen bestanden aus zwei bzw. drei Folien; an jeweils drei Stellen wurden je 100 Zellen ausgezählt; die Anzahl wurde notiert, die Tuschepartikelchen aufgenommen hatte. Die Einzelwerte pro Folie sind im unteren Teil der Tabelle angegeben; in das Diagramm wurde der Mittelwert jeder untersuchten Folie eingetragen.

Die Zahlen am Rande des Diagramms, sinngemäß als Prozentzahlen zu verstehen, geben die Anzahl Zellen an, die von hundert ausgezählten Zellen Tusche aufgenommen haben (Tab. 1).

Über die Einzelwerte aller Folien einer Gruppe wurde der Mittelwert mit Standardabweichung gebildet und in die unterste Reihe der Meßwerte eingetragen.

Tabelle 1. Versuchsprotokoll vom 24./25.8.1967

	A	B	C	D	E	F	G	H
60 -						x		
--								
50 -						x		
--		x		x				
40 -			x	x				
--			x					
30 -	x	x			x			
--	x						x	
20 -								
--								
10 -								
Meßwerte:								
	28	37	42	55	-	51	36	-
	32	47	43	43	-	51	26	-
	33	48	42	28	-	69	25	-
	28	29	40	44	38	36	-	-
	28	34	36	43	31	50	-	-
	33	33	29	44	23	57	-	-
Mittelwerte:								
	30,3	38,0	38,7	42,8	30,7	52,3	29,0	-
	± 2,6	± 7,8	± 5,4	± 8,6	± 7,5	± 10,7	± 6,0	-

Versuchsergebnisse

a) Vergleich der verschiedenen Bestrahlungsreihen

Ein qualitativer Vergleich der Ergebnisse (vgl. Tabellen 1-3, die als Beispiel gegeben werden) läßt einen Unterschied zwischen der Gruppe „unbestrahlt“ und dem Komplex „bestrahlt“ vermuten. Deutlich ist zu erkennen, daß in der Reihe F (Tusche mit Rotlicht bestrahlt, „beimpfte“ Zellen dann mit cm-Welle) die Anzahl der Zellen mit Tuscheeinschlüssen am größten ist.

Tabelle 2. Versuchsprotokoll vom 2./3.2.1968

	A	B	C	D	E	F	G	H
60 -								
--								
50 -								
--						x		
40 -								
--						x		
30 -		x				x		x
--				x				x
20 -	x		x		x			
--		xx	x	x				
10 -	x		x	x	x			x
--								
10 -								
Meßwerte:								
	22	25	20	28	23	24	-	24
	20	21	23	25	25	33	-	26
	35	26	28	27	31	40	-	37
	16	24	27	22	20	40	-	25
	18	24	29	26	22	46	-	17
	19	25	19	27	23	46	-	26
	21	27	29	31	18	28	-	23
	22	31	22	17	31	35	-	28
	26	28	27	25	21	35	-	34
Mittelwerte:								
	22,1	25,7	24,9	25,3	23,8	36,3	-	26,7
	± 5,6	± 2,8	± 3,9	± 4,0	± 4,5	± 7,5		± 5,9

Tabelle 3. Versuchsprotokoll vom 14./15.2.1968

	A	B	C	D	E	F	G	H
60 -								
--								
50 -								
--						xx		
40 -					x			
--						x		
30 -			xx		x		xx	xx
--			x		x			
20 -	x	xx		x				
--	x	x		x				
10 -	x							
Meßwerte:								
	21	26	26	28	29	35	25	23
	25	16	31	22	32	60	38	36
	16	17	39	18	37	43	36	44
	14	23	24	29	37	41	26	27
	21	20	31	16	40	48	36	31
	17	19	37	21	46	48	37	22
	18	18	28	18	22	34	32	26
	18	24	24	18	25	40	26	40
	19	20	44	21	45	46	22	36
Mittelwerte:								
	18,8	20,3	31,6	21,2	34,8	43,9	31,1	31,7
	± 3,2	± 3,3	± 7,1	± 4,3	± 8,4	± 7,9	± 6,4	± 7,9

Wegen der großen Fehlergrenzen wird – um die Steigerung auch quantitativ nachzuweisen – der bekannte Signifikanztest angewandt (WEBER).

Es zeigt sich tatsächlich, daß signifikante Unterschiede bestehen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit jedoch, mit der die Hypothese „Der unbestrahlte Fall unterscheidet sich *nicht* vom bestrahlten“ abgelehnt werden kann, ist sehr unterschiedlich. In der nachfolgenden Tabelle (Nr. XV) wurden deshalb diese Irrtumswahrscheinlichkeiten

Tabelle 4. Zusammenstellung der Mittelwerte aller Versuchstage

Nr.	Datum	A	B	C	D	E	F	G	H
1	17./18. 8. 67	29,7 ± 9,7	29,0 ± 3,7	47,2 ± 9,2	39,8 ± 7,7	34,0 ± 5,5	37,7 ± 6,3	-	-
2	21./22. 8. 67	28,3 ± 5,8	31,8 ± 11,7	37,0 ± 12,7	36,5 ± 11,5	34,0 ± 12,3	42,7 ± 6,2	-	-
3	24./25. 8. 67	30,3 ± 2,6	38,0 ± 7,8	38,7 ± 5,4	42,8 ± 8,6	30,7 ± 7,5	52,3 ± 10,7	29,0 ± 6,0	-
4	28./29. 8. 67	37,8 ± 8,9	36,3 ± 4,2	26,3 ± 4,3	-	27,2 ± 6,1	41,5 ± 6,2	-	-
5	31.8./ 1.9.67	16,3 ± 2,3	24,5 ± 5,3	23,7 ± 6,6	24,0 ± 5,2	20,8 ± 3,2	51,2 ± 16,3	23,0 ± 2,6	-
6	4./5. 9. 67	21,8 ± 2,1	25,5 ± 6,7	29,8 ± 8,6	22,7 ± 6,9	23,2 ± 7,5	35,3 ± 4,1	25,0 ± 6,5	-
7	16./17. 10. 67	13,0 ± 2,1	25,7 ± 6,0	26,8 ± 7,9	26,9 ± 1,7	36,5 ± 7,7	33,0 ± 4,6	25,7 ± 3,2	-
8	20./21. 10. 67	20,5 ± 1,1	33,2 ± 3,3	27,5 ± 5,0	32,7 ± 2,2	35,7 ± 6,2	36,5 ± 5,4	21,8 ± 0,8	-
9	23./24. 10. 67	27,7 ± 9,9	34,0 ± 10,8	24,8 ± 5,5	36,5 ± 6,1	31,0 ± 5,5	44,3 ± 18,4	27,8 ± 9,3	32,7 ± 6,8
10	2./3. 2. 68	22,1 ± 5,6	25,7 ± 2,8	24,9 ± 3,9	25,3 ± 4,0	23,8 ± 4,5	36,3 ± 7,5	-	26,7 ± 5,9
11	9./10. 2. 68	27,2 ± 4,1	29,0 ± 4,7	25,3 ± 5,0	29,0 ± 7,5	26,4 ± 3,0	44,6 ± 5,1	22,2 ± 2,8	34,8 ± 6,9
12	14./15. 2. 68	18,8 ± 3,2	20,3 ± 3,3	31,6 ± 7,1	21,2 ± 4,3	34,8 ± 8,4	43,9 ± 7,9	31,1 ± 6,4	31,7 ± 7,9
13	23./24. 2. 68	24,3 ± 5,3	22,2 ± 4,5	26,2 ± 14,2	20,2 ± 5,1	25,1 ± 5,5	37,5 ± 9,1	21,6 ± 6,9	25,2 ± 4,6

in Prozent zusammengestellt. Dabei bedeutet naturgemäß die kleinste Zahl die deutlichste Signifikanz.

Werden die Mittelwerte über alle Werte eines Bestrahlungstyps gebildet, so ergibt sich folgende Tabelle (6):

Die Berechtigung dieser Mittelwertbildung erscheint insofern fragwürdig, als die große Schwankungsbreite zwischen den einzelnen Versuchsergebnissen dadurch nicht zum Ausdruck kommt (vgl. auch Punkt c).

Tabelle 5. Zusammenstellung der Irrtumswahrscheinlichkeit im Signifikanztest in Prozent

Versuchstag	B	C	D	E	F	G	H
17./18. 8. 67	-	0,5	5,0	-	5,0	---	---
21./22. 8. 67	-	12,5	12,5	-	0,5	---	---
24./25. 8. 67	2,5	0,5	1,0	-	0,05	-	---
28./29. 8. 67	-	(1,0)	---	(2,5)	-	---	---
31. 8./1. 9. 67	0,5	2,5	1,0	-	0,05	0,05	---
4./5. 9. 67	12,5	2,5	-	-	0,05	-	---
16./17. 10. 67	1,0	0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	---
20./21. 10. 67	0,05	0,5	0,05	0,05	0,05	2,5	---
23./24. 10. 67	-	-	12,5	-	5,0	-	-
2./3. 2. 68	12,5	-	12,5	-	0,05	---	12,5
9./10. 2. 68	-	-	-	-	0,05	(0,5)	1,0
14./15. 2. 68	-	0,05	12,5	0,05	0,05	0,05	0,05
23./24. 2. 68	-	-	5,0	-	0,5	-	-

(-: keine Signifikanz; ---: keine Vergleichszahlen; (): A (unbestrahlt) ist der bestrahlten Gruppe überlegen).

Da jedoch die unterschiedlichen Meßwerte auf alle Versuchsgruppen verteilt sind, vermögen die Angaben der Tabelle 6 doch einen in den Relationen richtigen Gesamteindruck zu vermitteln.

Die Tabelle zeigt, daß durch die Kombination der Bestrahlung „rotlichtbestrahlte Tusche und darauffolgend mit cm-Welle bestrahlte Zellen (F)“ fast stets der stärkste Anstieg der Anzahl der Zellen mit Tuscheeinschlüssen erreicht wird.

Wenn nur eine Strahlenart in dem Versuch einwirkte, ergaben sich Steigerungen, die geringer waren als bei kombinierter Bestrahlung (B, H). Durch die reine Rotlichtbestrahlung der Tusche (B) wird nur in ca. der Hälfte der Versuche eine Steigerung gebracht, die noch nicht einmal immer deutlich nachweisbar ist. Die Bestrahlung der mit unbestrahlter Tusche beschickten Zellen mit cm-Welle (H) zeigte eine Steigerung in drei von fünf Fällen; eine Deutung erscheint jedoch wegen der geringen Anzahl der Versuche problematisch.

Tabelle 6: Mittelwerte über alle Werte eines Bestrahlungstyps

	B	C	D	E	F	G	H
Mittelwert	28,4	29,6	29,1	19,1	41,1	25,0	30,0
Standardabweichung	6,3	8,8	8,6	6,3	7,4	5,0	5,0
Signifikanz zu A (in %)	2,5	1,0	2,5	0,5	0,05	-	1,0

Als Mittelwert für A ergab sich $24,3 \pm 7,1$.

Der 4. Versuch (28./29.8.67) nimmt in der Untersuchungsreihe eine Sonderstellung ein, denn nur bei diesem Versuch ist A zwei der bestrahlten Gruppen (C und E) überlegen und nur in diesem Versuch ist kein signifikanter Unterschied zwischen F und A festzustellen (beim 11. Versuch (9./10.2.68) sind wohl bei Versuch G einige Zellen abgestorben, vgl. Kapitel Methoden).

Auch bei anderen Versuchen (1., 2., 9., 13.), bei denen die Steigerung von A zu F nicht mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05% vorliegt, kann beobachtet werden, daß die Signifikanz der anderen Gruppen sehr viel geringer oder mit einer akzeptablen Irrtumswahrscheinlichkeit gar nicht nachweisbar ist.

Mit aller Vorsicht kann hieraus vielleicht geschlossen werden, daß ein gewisser Maximalwert existiert, der durch die Kombination „Rotlicht bestrahlte Tusche-Zellen mit cm-Welle bestrahlt“ am ehesten erreicht wird. Es wäre jedoch auf jeden Fall verfrüht, diesen Wert größenordnungsmäßig abschätzen zu wollen, vor allem weil ja auch der Wert von F starken Schwankungen unterworfen ist.

b) Morphologie

Bei der Auswertung fiel folgende Tatsache auf: qualitativ scheinen an dicht bewachsenen Stellen weniger Zellen Tusche aufzunehmen als an dünn bewachsenen Stellen. Die auffallenden Schwankungen in den Meßwerten einer Folie (vgl. Tabellen 1-3) finden durch diese Beobachtung eine Erklärung. Es war jedoch nicht möglich, eine quantitativ faßbare Korrelation herzustellen.

Die Unterschiede im Bewuchs finden sich bei allen Gruppen des Versuches, so daß eine Hemmung oder Förderung des Zellwachstums durch die durchgeführte Bestrahlung nicht wahrscheinlich ist. Eine Ursache für die unterschiedliche Dichte des Zellrasens kann einerseits in der leichten Schrägstellung der Röhren liegen, andererseits in nicht vermeidbaren Konzentrationsschwankungen der Zellsuspension.

Die Aufnahme der Tuschepartikelchen selbst wurde nicht direkt beobachtet. Aus der Tatsache, daß die Tusche in den Zellen in zwei Formen vorlag (vgl. Abb. 1-3), nämlich

- a) in einem vakuolenartigen Gebilde und
- b) frei im Cytoplasma,

kann vielleicht geschlossen werden, daß der Aufnahmeodus dem von HOLTER angegebenen Weg der Pinocytose entspricht.

c) Schwankungen der Meßwerte

Auffallend hoch ist die Schwankung der Meßwerte von einer Gruppe, wenn zwei verschiedene Versuchstage verglichen werden.

Die Werte der einzelnen Reihen an verschiedenen Versuchstagen sind z. T. signifikant unterscheidbar, selbst wenn eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05% angesetzt wird (z. B. ist A8 A7 überlegen, A11 und A13 übertreffen A12, D8 übertrefft D7 u. a.).

Hier sei in diesem Zusammenhang nur erwähnt, daß die Schwankungen in den Reihen A und B stets parallel liegen (d. h. wenn A steigt, so steigt auch B), daß jedoch die Schwankungen bei B nie so deutlich signifikant sind wie bei A.

Die Parallelität der Schwankungen gilt nicht bei allen Versuchsreihen, so ist z. B. C12 C11 mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05% überlegen, während A12 A11 mit der gleichen Wahrscheinlichkeit unterliegt.

Nach den Bemerkungen in b) könnte die Vermutung nahe liegen, daß sich die Schwankungen auf den unterschiedlich dichten Bewuchs zurückführen lassen. Diese Vermutung konnte nicht erhärtet werden.

Die Versuchsanordnung war so gestaltet, daß von atmosphärischen oder anderen äußeren Einflüssen möglichst ungestörte Ergebnisse erzielt werden konnten. Zwischen den auffälligen Schwankungen der Ergebnisse und den meteorologischen Daten (aus dem meteorologischen Institut der Freien Universität Berlin) war auch kein unmittelbarer Zusammenhang zu erkennen.

Diskussion der Versuchsergebnisse

Es gelang, in einer Zellkultur durch Bestrahlung die Lebensäußerungen der Zelle, in diesem Fall die Aufnahme (Pinocytose) von Tuscheartikelchen, zu beeinflussen; sie ließ sich in einer FL-Zellkultur durch Bestrahlung signifikant steigern.

Vergleicht man die Ergebnisse mit LISCHKAS Beobachtungen, so stellt sich heraus, daß bei Rotlichtbestrahlung die Steigerung der Lebensäußerungen von Zellen, einerseits die Wanderungsgeschwindigkeit von Leukocyten und andererseits die Pinocytose in einer FL-Zellkultur, in der gleichen Größenordnung liegen (ca. 40%). Eine deutliche Parallele ergibt sich zu den Ergebnissen von CAROLI, denn auch hier wurde die deutlichste Steigerung bei der Kombination Rotlicht - cm-Welle (F) gefunden. Daß es sich um eine tatsächliche Wirkung der Strahlenkombination handelt, wird durch die Kontrollversuche mit unbestrahlter Tusche und sonst gleichem Versuchsgang sowie den nur tuschebestrahlten Gruppen deutlich.

Das Neue an den vorliegenden Versuchen ist die Tatsache, daß mit Zellkulturen gearbeitet wurde.

Ein konstantes Maximum, wie es CAROLI für seinen Titer nachwies, konnte in der vorliegenden Versuchsanordnung nicht gefunden werden. Einige Anzeichen lassen sich aber in diesem Sinne deuten. Es mag in der Verschiedenheit des betrachteten Objektes liegen, daß eine mögliche Übereinstimmung nicht deutlicher wird.

Eine Abhängigkeit des Verhaltens der Zellkulturen von Wettervorgängen, wie LISCHKA sie bei seinen Ergebnissen vermutet, jedenfalls nicht ausschließt, konnte nicht gefunden werden. Ein Vergleich der Frotenkarte (als Indikator) mit den Werten läßt das erkennen. Der grundsätzliche Unterschied zur Versuchsanordnung LISCHKAS: die beabsichtigte möglichst vollständige Ausschaltung äußerer Einflüsse in der vorliegenden Versuchsreihe macht das Ergebnis verständlich. Es liegt nahe, zu vermuten, daß die Abschirmung nicht optimal war, denn es bleiben die schwankenden Ergebnisse in allen Gruppen, besonders der unbestrahlten, bestehen, die sicher irgendwelchen, uns noch unbekanntem Einflüssen unterliegen. Der auffallende Tag: 28.8.67 (4. Versuch) mit seinen nahezu gleichen Werten in den Gruppen A und F ließe sich vielleicht im Sinne CAROLIS so deuten, daß eine den Versuchsbedingungen ähnliche atmosphärische Strahlung bestanden haben mag, die dieses auffallende Ergebnis bewirkte.