

37. A. Ursprung und G. Blum: Über die Schädlichkeit ultravioletter Strahlen.

(Eingegangen am 26. April 1917.)

Bei den Untersuchungen über die Stärkebildung im Spektrum¹⁾ wurde mehrfach die schädliche Wirkung ultravioletter Strahlen beobachtet. Dies veranlaßte uns zu einigen orientierenden Versuchen.

Eine Durchsicht der Literatur zeigt, daß bisher hauptsächlich das Verhalten niederer Organismen, speziell der Bakterien studiert worden ist. Was über höhere Pflanzen gearbeitet wurde, findet sich bis 1911 bei KLUYVER²⁾ zusammengestellt, so daß wir uns auf das für uns Wesentlichste und auf wichtigere Neuerscheinungen beschränken können.

Um zu entscheiden, ob die Versuchspflanzen durch die Bestrahlung gelitten haben, verfuhr man auf verschiedene Weise. Die gewöhnlichste Methode bestand in der Kontrolle mit bloßem Auge. Stärkere Schädigungen machen sich so durch Welken, Braunfärben eventuell Absterben kleiner Teile bis ganzer Organe bemerkbar. Diese leicht sichtbaren Veränderungen treten aber oft erst lange (Stunden, Tage) nach der Bestrahlung auf. Ferner gibt es genug Schädigungen, die makroskopisch überhaupt nicht nachweisbar sind und mit der Zeit wieder ausgeglichen werden. Befriedigender ist daher die mikroskopische Prüfung. Die Autoren, welche sich ihrer bedienten, achteten besonders auf die Verlangsamung bzw. Sistierung der Plasmaströmung oder auf die vorausgehenden verschiedenartigen Desorganisationserscheinungen (Vakuolenbildung usw.). Uns interessierten speziell die osmotischen Eigenschaften; ferner sollten die verschiedensten Zellen in gleicher Weise untersucht

1) A. URSPRUNG, Über die Stärkebildung im Spektrum. Diese Berichte 1917, p. 44.

2) A. J. KLUYVER, Beobachtungen über die Einwirkung von ultravioletten Strahlen auf höhere Pflanzen. Sitzungsber. d. Wien. Akad., Bd. 120, Abt. I, p. 1137 (1911).

werden können. Aus diesem Grunde bedienten wir uns der Plasmolyse mit Rohrzucker und der nachfolgenden Deplasmolyse mit Wasser. Dieses Verfahren wurde bisher nicht angewendet; es finden sich nur einige vereinzelte Angaben über Behandlung der bestrahlten Zellen mit Salpeterlösung, die Prüfung auf Deplasmolyse blieb aber stets aus. Als Lichtquelle diente eine kleine Quecksilberquarzlampe (2 Amp., 37 Volt) mit einem 5½ cm langen und etwa 1 cm weiten Leuchtröhre. Die Distanz zwischen Lampe und Objekt betrug stets 20 cm. Algen, Pilze und Schnitte wurden unter reinem Wasser exponiert, das für die in Betracht fallenden Strahlen bekanntlich durchlässig ist; die übrigen Untersuchungsobjekte befanden sich in Luft. Die Resultate sind in Tabellenform zusammengestellt und enthalten neben dem Namen der Versuchspflanze die Dauer der Bestrahlung, die Anzahl der deplasmolysierten Zellen in Prozenten, die Konzentration des Plasmolytikums und die Dicke des Objektes. Die Konzentration wurde so gewählt, daß nicht zu starke, aber doch stets deutliche Plasmolyse vorlag.

Bei einer ersten Serie von Versuchen (Nr. 1—7) teilten wir die Objekte in drei Gruppen. Die erste Gruppe wurde direkt, die zweite unter Zwischenschaltung einer Quarzplatte, die dritte unter Zwischenschaltung eines Glasplättchens von 0,7 mm Dicke bestrahlt.

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %			Plasmo- lytikum Mol. Rohr- zucker
			ohne Filter	hinter Quarz	hinter Glas	
1.	<i>Synedra</i>	15 Sek.	100	100	100	0,30
			Deplasmolyse etwas langsamer als normal			
		30 Sek.	100	100	100	"
			Deplasmolyse bedeutend lang- samer als normal			
		1 Min.	0	0	100	"
2.	<i>Navicula</i> und <i>Pinnularia</i>	5 Min.	0	0	100	"
		10 Min.	0	0	100	"
		15 Sek.	100	100	100	"
		30 Sek.	100	100	100	"
			Deplasmolyse etwas langsamer als normal			

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %			Plasmo- lytikum Mol. Rohr- zucker
			ohne Filter	hinter Quarz	hinter Glas	
3.	<i>Spirogyra</i>	1 Min.	100	100	100	0,50
		5 Min.	30	30	100	"
		6 Min.	30	30	100	"
		10 Min.	0	0	100	"
4.	<i>Mougeotia</i>	1 Min.	100	100	100	"
		5 Min.	80	80	100	"
		6 Min.	70	70	100	"
		10 Min.	40	40	100	"
5.	<i>Penicillium</i> Hyphen	30 Sek.	100	100	170	1,0
		1 Min.	50	50	100	"
		2 Min.	25	25	100	"
		5 Min.	5	5	100	"
6.	<i>Saccharomyces cerev.</i>	1 Min.	100	100	100	2,0
		5 Min.	70	70	100	"
		10 Min.	25	25	100	"
7.	<i>Hedera Helix</i> ob. Epid. Palisad. Schwamm. unt. Epid. Schließz.	10 Min.				
			100	100	100	0,58
			100	100	100	0,70
			100	100	100	0,64
			100	100	100	0,58
			100	100	100	0,80
	<i>Hedera Helix</i> ob. Epid. Palisad. Schwamm. unt. Epid. Schließz.	20 Min.				
			100	100	100	0,58
			80	80	100	0,70
			80	80	100	0,64
	100	100	100	0,58		
	100	100	100	0,80		

Das Verhalten hinter dem Glasplättchen, das auch bei viel längerer Bestrahlung dasselbe blieb, zeigt, daß die Schädigung durch Strahlen $< 290 \mu\mu$ hervorgerufen wird, und daß die Erwärmung bedeutungslos ist. Aus dem identischen Resultat bei freier Bestrahlung und hinter Quarz folgt ferner, daß auch dem schwachen Plus an Erwärmung bei freier Bestrahlung kein Einfluß zukommt. Bei allen folgenden Versuchen unterblieb daher die Zwischenschaltung eines Filters. Um Wiederholungen zu vermeiden, sei bemerkt, daß überall, wo eine besondere Angabe fehlt, die Oberseite des Organs der Lampe zugekehrt war.

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
8.	<i>Ulothrix</i>	10 Min.	90	0,65	
		15 Min.	80	"	
		20 Min.	75	"	
		30 Min.	15	"	
9.	<i>Cladophora</i>	10 Min.	100	0,80	
		15 Min.	100	"	
		30 Min.	100	"	
		45 Min.	100	"	
		2 ¹ / ₂ Std.	5	"	
10.	<i>Fegatella</i>	30 Min.			
	ob. Epidermis		80	0,90	
	anschließendes grünes Parenchym		90	1,20	
	<i>Fegatella</i>	1 Std.			
	ob. Epid.		50		
	anschließendes grünes Parenchym		70		
	Atemhöhle:				
	chlorophyllhaltige Zellen direkt unter der Öffnung		10		
	chlorophyllhaltige Zellen seitlich der Öffnung		70		
	Epid. über Atemhöhle		100		
11.	<i>Fumariablatt</i>	10 Min.	90	0,60	
		20 Min.	80		
		30 Min.	70		
		45 Min.	10		
12.	<i>Pteris</i>	30 Min.		1,40	0,1
	ob. Epid.		30		
	Mesoph.		60		
	unt. Epid.		30		
	Schließz.		40		
	<i>Pteris</i>	1 Std.			
	ob. Epid.		in 1,4 u. 1,8 Mol Rohrz. tritt keine Plasmolyse mehr ein		
	Mesoph.				
unt. Epid.					
Schließz.					
13.	<i>Abies alba</i>	1 Std.		1,60	0,3
	ob. Epid.		95—100		
	Palis.				
	Schwammp.				
unt. Epid.					
14.	<i>Elodeablatt</i>				
	Spreite	10 Min.	100, Randzellen depl. langsamer	0,50	0,1
	Nerv		100		
	Spreite	30 Min.	90—100, Randz. depl. oft nicht		
	Nerv				
	Spreite	45 Min.	50		
	Nerv		100		
	Spreite	1 Std.	30		
Nerv		50			

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
15.	<i>Zea Mays</i>				
	junges Blatt: . . .	1 Std.			0,12
	ob. Epid.		0	0,75	
	Mesoph.		0	1,20	
	unt. Epid.		10	0,75	
	älteres Blatt: . . .	1 Std.			0,15
ob. Epid.	10				
Mesoph.	90				
unt. Epid.	60				
16.	<i>Tradescantia</i>		Kutikula der Lampe		
	Flächenschnitt durch Blatt		zu-gekehrt	ab-gekehrt	
	unt. Epid.	10 Min.	80	50	0,5
	"	20 Min.	15	5	
"	30 Min.	0	0		
17.	<i>Agaveblatt</i>				
	Obers. d. Lampe zugekehrt:	1 Std.			3,0
	ob. Epid.		90	0,7	
	ob. Assimil. gew. .		80	"	
	unt. "		90	"	
	unt. Epid.		100	"	
	Unters. d. Lampe zugekehrt:	1 Std.			
	unt. Epid.		80		
	unt. Assimil. gew. .		70		
	ob. Epid. "		90		
	Obers. d. Lampe zugekehrt:	2 Std.			
	ob. Epid.		80		
	ob. Assimil. gew. .		70		
	Wassergewebe . . .		95		
	unt. Assimil. gew. .		70		
	unt. Epid.	90			
	Unters. d. Lampe zugekehrt:	2 Std.			
	unt. Epid.		60		
unt. Assimil. gew. .	50				
Wassergewebe . . .	95				
ob. Assimil. gew. .	80				
ob. Epid.	90				
Obers. d. Lampe zugekehrt:	6 Std.				
ob. Epid.		30			
ob. Assimil. gew. .		60			
Wassergewebe . . .		50			
unt. Assimil. gew. .		30			
unt. Epid.	40				

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %		Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
	Unters. d. Lampe zugekehrt:	6 Std.				
	unt. Epid.		20			
	unt. Assimil. gew. .		20			
	Wassergew.		50			
	ob. Assimil. gew. .		50			
	ob. Epid.		60			
18	<i>Achyranthes</i> rotes B.	30 Min.				
	ob. Epid. (farblos) .		20		1,2	0,25
	Palis. (z. T. rot) .		30		1,8	
	Schwammp. (z. T. rot)		30		1,4	
	unt. Epid. (z. T. rot)		50		1,2	
	Schließz.		70		0,8	
	ob. Epid.	50 Min.	0			
	Palis.		0			
	Schwammp.		10			
	unt. Epid.		30			
	Schließz.		50			
19.	<i>Brassica ol.</i> (Rotkraut)	1 Std.	Wachsüberzug vorhanden entfernt			0,6
	ob. Epid.		90	30	0,8	
	Mesoph.		80	50	1,2	
	unt. Epid.		100	90	0,8	
20.	<i>Vicia Faba</i> Blatt	30 Min.	grün	etioliert		
	ob. Epid.		50	10	0,85	0,3 etiol.
	Schließz.		100	90	0,85	0,4 grün
	Palis.		80	40	1,60	
	Schwammp.		100	70	0,90	
	unt. Epid.		90	90	0,85	
	Schließz.		100	100	0,85	
	ob. Epid.	1 Std.	10	10		
	Schließz.		60	50		
	Palis.		70	10		
	Schwammp.		60	30		
	unt. Epid.		60	50		
	Schließz.		100	90		
21.	<i>Phaseolus vulg.</i> Fiederblatt	30 Min.				
	ob. Epid.		0		0,70	0,2
	Schließz.		50		0,80	
	Palis.		0		1,40	
	Schwammp.		10		1,20	
	unt. Epid.		70		0,70	
	Schließz.		20		0,70	
	ob. Epid.	1 Std.	0			
	Schließz.		0			
	Palis.		0			
	Schwammp.		0			
	unt. Epid.		10			
	Schließz.		0			

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der depiasmolytierten Zellen in %		Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
22.	<i>Pelargonium</i> Blatt mit weißem Rand					0,35
	ob. Epid.	30 Min.	grün 0	weiß 0	0,80	
	Palis.		5	20	1,20	
	Schwamm.		0	20	0,95	
	unt. Epid.		0	30	0,80	
	Schließz.		20	80	0,95	
	ob. Epid.	45 Min.	0	10		
	Palis.		0	0		
	Schwamm.		0	0		
	unt. Epid.		10	20		
	Schließz.		10	70		
23.	<i>Impatiens Sultani</i> Flächenschnitt durch Blatt		Kutikula der Lampe zu- ab-gekehrt gekehrt			0,3
	ob. Epid.	10 Min.	100	60		
	" "	20 Min.	90	40		
	" "	30 Min.	0	0		
	intaktes Blatt:	30 Min.				
	ob. Epid.		10		0,55	
	Palis.		30		1,80	
	Schwamp.		30		1,20	
	unt. Epid.		40		0,50	
	Schließz.		50		1,00	
24.	<i>Hedera Helix</i> Flächenschnitt durch älteres Blatt		Kutikula der Lampe zu- ab-gekehrt gekehrt			0,15
	ob. Epid.	10 Min.	100	100		
	" "	20 Min.	90	50		
	" "	30 Min.	60	10		
	junges Blatt:					
	ob. Epid.	10 Min.	100			
	Palis.		100			
	Schwamm.		100			
	unt. Epid.		100			
	Schließz.		100			
	ob. Epid.	20 Min.	80			
	Palis.		95			
	Schwamm.		100			
	unt. Epid.		100			
	Schließz.		100			
	ob. Epid.	30 Min.	70			
	Palis.		80			
	Schwamm.		100			
	unt. Epid.		100			
	Schließz.		100			
	ob. Epid.	1 Std.	0			
	Palis.		5			
	Schwamm.		5			
	unt. Epid.		20			
	Schließz.		10			
	älteres Blatt:					
	ob. Epid.	20 Min.	80		0,58	
	Palis.		95		0,70	
	Schwamm.		100		0,64	
	unt. Epid.		100		0,58	
	Schließz.		100		0,80	
						0,25

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm	
25.	<i>Coleus</i>					
	Blatt rotbraun mit grünem Rand					
	ob. Epid. (gefärbt)	30 Min.	0	0,90	0,85	
	konische Haare . . .		0	0,90		
	Palis.		80	1,60		
	Schwamm.		80	1,60		
	unt. Epid. (farblos)		40	0,90		
	Schließz.		90	0,90		
	konische Haare . . .		0	1,20		
	ob. Epid. (gefärbt)	45 Min.	0			
	konische Haare . . .		0			
	Palis.		10			
	Schwamm.		10			
	unt. Epid. (farblos)		0			
	Schließz.		0			
	kon. Haare		0			
26.	<i>Hedera Helix</i>		Epid. der Lichtquelle			
	Wurzelspitze halbiert		zu- ab- gekehrt gekehrt			
	Rinde	10 Min.	100			
	äußere Rindenschichten . . .	20 Min.	0	100		
	innere Rindenschichten . . .	20 Min.	70	80		
	äußere Rindenschichten . . .	30 Min.	0	10		
	innere Rindenschichten . . .	30 Min.	20	0		
27.	<i>Hyacinthus or.</i>					
	Gelbes Blumenblatt:	1 Std.				
	ob. Epid.		10	0,85	0,8	
	Mesoph. } oberes		60			
	} unteres		70			
	unt. Epid.		70			
	Rotes Blumenblatt	1 Std.				
	ob. Epid.		80	0,85	0,4	
	ob. Mesoph. (gefärbt)		40			
	mittl. Mesoph. (farblos)		10			
	unt. Mesoph. (gefärbt)		50			
	unt. Epid.		90			

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
28.	<i>Narcissus</i>				
	Weißes Blumenblatt:				
	ob. Epid.	1 Std.	80	0,80	0,15
	unt. Epid.		100		
	ob. Epid.	1½ Std.	0		
	unt. Epid.		80		
29.	<i>Dianthus Caryoph.</i>				
	Rotes Blumenblatt:				
	ob. Epid. (gefärbt) .	1 Std.	40	0,80	0,25
	Mesoph. (farblos) .		40		
	unt. Epid. (gefärbt) .		50		
	ob. Epid.	1½ Std.	10		
	Mesoph.		30		
	unt. Epid.		30		
	Weißes Blumenblatt:				
	ob. Epid.	1 Std.	20	0,80	0,3
	Mesoph.		30		
	unt. Epid.		50		
	ob. Epid.	1½ Std.	10		
	Mesoph.		10		
	unt. Epid.		20		
	Weißes Blumenblatt mit roten Streifen:				
	ob. Epid. (farblos bzw. rot)	1¼ Std.	weiß 50 rot 80	0,80	
	Mesoph. (farblos) .		50 80		
	unt. Epid. (farblos bzw. rot)		70 100		
30.	<i>Anemone cor.</i>				
	Rotes Blumenblatt:				
	ob. Epid.	1½ Std.	0	0,90	0,2
	unt. Epid.		10		
	Blaues Blumenblatt:				
	ob. Epid.	1 Std.	0	0,90	0,15
	unt. Epid.		0		

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %		Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
31.	<i>Viola tric. mar.</i>		Oberseite der Lampe		0,85	0,15
	Weiβes Blumenblatt:	30 Min.	zu-gekehrt	ab-gekehrt		
	ob. Epid.		100	100		
	Mesoph.		100	100		
	unt. Epid.		100	100		
	Weiβes Blumenblatt:					
	ob. Epid.	1 Std.	90	100		
	Mesoph.		90	90		
	unt. Epid.		100	90		
	ob. Epid.	1½ Std.	10	40		
	Mesoph.		40	40		
	unt. Epid.		50	10		
	Violettes Blumenblatt:	10 Min.				
	ob. Epid. (gefärbt).		100	100		
	Mesoph. (farblos)		100	100		
	unt. Epid. (gefärbt)		100	100		
	ob. Epid.	30 Min.	90	100		
	Mesoph.		100	40		
	unt. Epid.		100	20		
	ob. Epid.	45 Min.	80	100		
	Mesoph.		80	20		
	unt. Epid.		90	10		
	ob. Epid.	1 ¼ Std.	5	5		
	Mesoph.		5	5		
	unt. Epid.		5	0		
	Gelbes Blumenblatt:					
	ob. Epid.	20 Min.	100	100		
	Mesoph.		100	100		
	unt. Epid.		100	100		
ob. Epid.	30 Min.	70	70			
Mesoph.		90	70			
unt. Epid.		90	10			
ob. Epid.	1 Std.	0	0			
Mesoph.		0	0			
unt. Epid.		0	0			
Gelbes Blumenblatt mit blauen Streifen:	1¼ Std.					
Obers. gegen Lampe		gelb	blau			
ob. Epid.		10	10			
Mesoph.		10	20			
unt. Epid.		30	20			

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrahlung	Anzahl der deplasmoly- sierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
32.	<i>Chrysanthemum</i> Gelbes Blumenblatt:				
	ob. Epid.	1 Std.	90	0,85	0,2
	Mesoph.		100		
	unt. Epid.		100		
	ob. Epid.	1½ Std.	0		
	Mesoph.		60		
	unt. Epid.		80		
	Weißes Blumenblatt:				
	ob. Epid.	1 Std.	40		0,15
	unt. Epid.		50		
	ob. Epid.	1½ Std.	0		
	unt. Epid.		30		
33.	<i>Tulipa Gesn.</i> Fruchtknoten:	1 Std.		0,85	
	Epid.		0		
	äußere 2 Schichten		60		
	innere Schichten .		100		
Bestrahlung mit Bogenlampe.					
34.	<i>Tradescantia</i> Flächenschnitt durch Blatt:				
	unt. Epid.	20 Min.	100	100	
	„ „	1 Std.	100	100	
35.	<i>Impatiens Sultani</i> Blatt:	9½ Std.			0,25
	ob. Epid.		0		
	Palis.		2		
	Schwammp.		2		
	unt. Epid.		10		
	Schließz.		15		

Vergleichen wir zunächst miteinander die Zellen, welche direkt, d. h. ohne Überlagerung eines ein- oder mehrschichtigen Gewebes bestrahlt wurden. Hierher gehören die Einzelligen, die Zellreihen, die Zellflächen und unter den Zellkörpern die Epidermen.

Von den untersuchten Algen (Nr. 1, 2, 3, 4, 8, 9) waren die Diatomeen am empfindlichsten; Deplasmolyse fehlte hier schon nach 1. Minute, während sie bei *Cladophora* selbst nach 2½ Stunden noch vereinzelt vorhanden war. Damit deckt sich die Derbheit der *Cladophora*-Wand; doch sind die Differenzen so groß, daß die Wandbeschaffenheit wohl kaum zur Erklärung ausreichen dürfte; denn über

Einlagerungen, welche das Ultraviolett besonders stark absorbieren könnten, scheint nichts bekannt zu sein. Bemerkenswert ist die große Empfindlichkeit der Diatomeen wegen der starken Verkieselung ihrer Wände. Die Vermutung liegt nahe, es könnte die Permeabilität der Wand für Ultraviolett entweder dem Quarz oder dem Glas genähert worden sein. Da schon dünne Deckgläschen das schädliche Ultraviolett absorbieren können, hätte im zweiten Falle der Kieselpanzer einen gewissen — infolge der geringen Wanddicke allerdings nicht sehr starken — Schutz gewähren müssen. Die Wand scheint aber gerade umgekehrt äußerst durchlässig zu sein, also Eigenschaften zu besitzen, wie sie für den Quarz charakteristisch sind.

Die beiden chlorophyllfreien niederen Organismen (Nr. 5 und 6), die zum Vergleich herangezogen wurden, zeigen, daß es unter Algen und Pilzen Formen mit geringerer und größerer Widerstandsfähigkeit gibt. Wenn unter unserem Untersuchungsmaterial die Diatomeen die größte Empfindlichkeit zeigen, so läßt sich das nicht generalisieren. SCHULZE¹⁾ beobachtete bei *Chlamydomonas* schon nach 3 Sekunden Aufhören der Bewegung und Abwerfen der Cilien; ja bei *B. coli* tritt nach CERNOVODEANU und HENRI²⁾ der Tod sogar in weniger als einer Sekunde ein. Dabei ist aber nicht zu vergessen, daß die Strahlungsquellen verschiedener Autoren qualitativ und quantitativ oft ganz verschieden waren. Die einen operierten mit einem Gemisch sichtbarer und unsichtbarer Wellenlängen, wie es z. B. die Quecksilberlampe liefert, andere verwendeten nur Ultraviolett oder nur Teile desselben, wie z. B. die Wellenlänge 280 $\mu\mu^3$) oder die ganz kurzwelligeren SCHUMANN-Strahlen.⁴⁾ Verschiedene Wellenlängen üben aber bei derselben Intensität ganz abweichende Wirkungen aus und die Schädigung ein und derselben Wellenlänge hängt in hohem Maße von der Stärke der Strahlung ab. Wenn daher die Resultate zweier Versuche vergleichbar sein sollen, so muß die Qualität und Intensität der Strahlung in beiden Fällen übereinstimmen. In welchem Grade dies der Fall war, läßt sich aber wegen des Fehlens von Inten-

1) J. SCHULZE, Über die Einwirkung der Lichtstrahlen von 280 $\mu\mu$ Wellenlänge auf Pflanzenzellen. Beih. z. Bot. Centralbl. **25**, Abt. I, p. 52 (1910).

2) CERNOVODEANU ET HENRI, Etude de l'action des rayons ultraviolets sur les microbes Compt. rend. T. 150, p. 52 (1910).

3) SCHULZE I. c. u. HERTEL, Über Beeinflussung des Organismus durch Licht, speziell durch die chemisch wirksamen Strahlen. Ztschr. f. allg. Phys. **4**, p. 1 (1904).

4) W. T. BOVIE, The Action of SCHUMANN Rays on Living Organisms. Bot. Gaz. **61**, p. 1 (1916); ferner Bot. Gaz **59**, p. 149 (1915).

sitätsmessungen nicht entscheiden. Je kleiner die Dimensionen sind, um so leichter läßt sich eine Zelle *ceteris paribus* durchstrahlen; das läßt a priori bei den Bakterien eine besonders große Empfindlichkeit erwarten.

Äußerst mannigfaltig ist das Verhalten der oberen Epidermis bei Laub- und Blumenblättern. Wegen der dickeren und kutinisierten Außenwand vermutet man hier von vornherein eine größere Widerstandsfähigkeit als bei den genannten Algen und Pilzen. Dies trifft auch vielfach zu (z. B. *Abies* Nr. 13, *Agave* Nr. 17); aber es fanden sich doch Laubblätter (*Coleus* Nr. 25, *Pelargonium* Nr. 22, *Phaseolus* Nr. 21), deren obere Epidermis rascher geschädigt wurde als *Ulothrix*, und andererseits erwies sich *Cladophora* widerstandsfähiger als die Mehrzahl der geprüften Laubblattepidermen. Auch sonst stimmten die Erfahrungen wenig mit den Erwartungen überein. Man vergleiche z. B. die große Widerstandsfähigkeit des *Elodea*-Blattes (Nr. 14) im Gegensatz zu Luftblättern wie *Phaseolus* (Nr. 21), *Impatiens* (Nr. 23) und selbst *Hedera* (Nr. 24). Nicht minder auffällig verhielten sich die Blumenblattepidermen. Nach den Angaben von MAQUENNE und DEMOUSSY¹⁾ und STOKLASA²⁾ erwarteten wir hier eine relativ rasche Schädigung, fanden aber im allgemeinen das Gegenteil (vgl. besonders *Narcissus* Nr. 28, *Viola* weiß Nr. 31, *Chrysanthemum* gelb Nr. 32).

Auf die schützende Wirkung der Epidermisaußenwand, speziell der Kutikula, konnte man schon aus den Photographien KÖHLERS³⁾ schließen, und seitdem ist mehrfach darauf hingewiesen worden. Wir prüften sie dadurch, daß wir die Epidermis (d. h. Flächenschnitte, die unter der Epidermis vielfach noch Mesophyllreste enthielten) bald von der Außen-, bald von der Innenseite bestrahlten. Versuche mit *Tradescantia* (Nr. 16), *Impatiens* (Nr. 23) und *Hedera* (Nr. 24) ergaben übereinstimmend einen stärkeren Schutz durch die Außenwand. Ganze Blätter, die bald von der Ober-, bald von der Unterseite bestrahlt wurden, litten im ersten Falle weniger Schaden (vgl. *Agave* Nr. 17), was offenbar mit Differenzen in der Epidermisaußenwand zusammenhängt. Die Bedeutung eines dünnen Wach-

1) MAQUENNE ET DEMOUSSY, Influence des rayons ultraviolets sur la végétation des plantes vertes, Compt. rend. **149**, p. 756 (1909).

2) J. STOKLASA etc., Über den Einfluß der ultravioletten Strahlen auf die Vegetation. Centralbl. f. Bakt. Abt. 2, **31**, p. 477 (1912).

3) A. KÖHLER, Mikrophotographische Untersuchungen mit ultraviolettem Licht. Zschr. f. wiss. Mikr. **21** (1904).

überzuges ergibt sich aus dem Verhalten des *Brassica*-Blattes (Nr. 19), von dessen einer Hälfte der Reif abgewischt war. Der Unterschied beträgt für die obere Epidermis fast 70 %, ist also auffallend groß. Recht hübsch läßt sich endlich der Epidermisschutz bei *Fegatella* (Nr. 10) demonstrieren. Von den chlorophyllführenden Zellen der Atemhöhle sind die direkt unter der Öffnung gelegenen nur zu 10 % deplasmolysiert, während in der Nachbarschaft der Prozentsatz auf 70 steigt, sobald das schützende Dach der Epidermis beginnt. Deutlich ist hier auch der Einfluß des Einfallswinkels sichtbar, indem die Epidermiszellen auf der ebenen, senkrecht bestrahlten Thalluspartie zu 50 % deplasmolysieren, über der konisch ansteigenden Atemhöhle aber zu 100 %.

Besondere Erwähnung verdienen noch die bedeutenden Differenzen in der Widerstandsfähigkeit der unteren und oberen Epidermis beim violetten Blumenblatt von *Viola* (Nr. 31). Aus der inneren Struktur der Außenwände ist die Ursache für ein so verschiedenes Verhalten nicht ersichtlich; dagegen sind die oberen Epidermiszellen zu hohen kegelförmigen Papillen ausgezogen, die unteren aber nur wenig vorgewölbt. Es treffen daher die senkrecht auf die Blattfläche fallenden Strahlen die Wände auf der Oberseite unter einem viel größeren Einfallswinkel. Nun wächst bekanntlich die Menge des reflektierten Lichtes im Verhältnis zu dem in die Zelle hineingebrochenen mit dem Einfallswinkel, und man könnte daher versucht sein, die geringere Schädigung mit dem größeren Verlust durch Reflexion in Zusammenhang zu bringen. Indessen ist dieser Verlust nur ein scheinbarer, da die Strahlen nicht ins Freie, sondern auf benachbarte Papillen geworfen werden. Eine Eigentümlichkeit mancher Blumenblätter, zu denen auch *Viola* gehört, sind die vielfachen Reflexionen im Innern des Blattes an luftführenden Interzellularen oder an Inhaltskörpern. Der Lichtstrahl wird dadurch gezwungen, in der Farbstoff führenden Epidermis einen längeren Weg zurückzulegen, was für das Zustandekommen der Blütenfärbung von Bedeutung ist. Wenn nun die Strahlen in der unteren Epidermis wesentlich längere Wege zurücklegen würden, so wäre damit eine stärkere Absorption und somit auch eine stärkere Schädigung verständlich; doch ist aus der Konstruktion des Strahlenganges ein solcher Parallelismus nicht ersichtlich. Das Fehlen des Empfindlichkeitsunterschiedes bei der weißen *Viola* legt, da die anatomische Beschaffenheit dieselbe ist, einen Einfluß des Farbstoffs nahe; wir werden auf diesen Punkt später zurückkommen.

Die Schutzwirkung übergelagerter Ge-

w e b e s c h i c h t e n ist bei den verschiedensten Organen deutlich zu erkennen. Man vergleiche die regelmäßige Abnahme der Schädigung mit der Entfernung von der bestrahlten Seite bei *Achyranthes* (Nr. 18), *Impatiens* (Nr. 23, 35) und *Viola* (Nr. 31). Häufig genug kommen allerdings auch Unregelmäßigkeiten vor, deren Deutung weiterer Untersuchung bedarf.

Über die Tiefe bis zu welcher das Ultraviolett die Gewebe schädigt, lauten die Antworten sehr verschieden. Das ist, abgesehen von dem abweichenden Versuchsmaterial, bedingt 1. durch Verschiedenheiten in der Qualität, Quantität und Einwirkungsdauer der benutzten Strahlen, und 2. durch die Wahl der Untersuchungsmethode. Eine Strahlungsmenge, die nur vorübergehende Schädigung bewirkt, kann bei oberflächlicher Prüfung leicht bedeutungslos scheinen, obschon sie es in Wirklichkeit durchaus nicht ist. Jedenfalls haben wir mit unserer Methode, die doch auch noch ziemlich roh ist, ein tieferes Eindringen und eine wesentlich raschere Einwirkung gefunden, als andere Autoren, die mit vergleichbaren Objekten und stärkeren Lampen experimentierten.

Dünne Organe, denen stärker absorbierende Wandschichten fehlen, müssen *et. par.* besonders empfindlich sein. Damit dürfte die geringe Widerstandsfähigkeit von *Pteris* (Nr. 12) zusammenhängen; fand doch DANGEARD¹⁾ bei *Pteris serrulata* eine Durchlässigkeit bis zu 253 $\mu\mu$.

Das Vorhergehende macht es wahrscheinlich, daß junge Zellen und Organe im allgemeinen empfindlicher sein werden, als alte. Damit stimmen auch die Erfahrungen von SCHULZE an Staubfadenhaaren von *Tradescantia* überein. Wir selbst fanden deutliche Differenzen beim Maisblatt (Nr. 15), obschon die Altersunterschiede nicht groß waren. CARL²⁾ prüfte das Auskeimen und das erste Wachstum von Weizen und konstatierte eine Schädigung gleich von Anfang an. In den Versuchen von RAYBAUD³⁾ keimte *Lepidium* aus, starb aber ab, als in den Blättchen Chlorophyll gebildet worden war.

1) DANGEARD, Recherches sur la pénétration des rayons violets et ultra-violets au travers des divers organes de la plante. Bull. Soc. de France 1914. Ref. in Bot. Centralbl. 132, p. 321 (1916); vgl. auch Compt. Rend. 158, p. 369 (1914).

2) W. CARL, Über den Einfluß des Quecksilberdampflichtes auf die Keimung und das erste Wachstum von Pflanzen. Beitr. z. Biol. d. Pfl. 12, p. 435 (1914).

3) L. RAYBAUD, Influence des radiations ultraviolettes sur la plante. Rev. gén. de Bot. 25, p. 38 (1913).

Wir kommen zur Frage nach der Bedeutung des Anthokyanins. Bei *Viola* (Nr. 31) sind die gefärbten Blätter empfindlicher als die weißen; bei *Dianthus* (Nr. 29) trifft das Gegenteil zu. In den farblosen und bunten Epidermen waren bei *Viola* unter dem Mikroskop keine anatomischen Differenzen nachweisbar, die Epidermen stammten aber immerhin von verschiedenen Blüten. Dagegen lagen bei *Dianthus* (Nr. 29) die roten und weißen Partien dicht nebeneinander in demselben Blumenblatt und waren daher noch besser vergleichbar. In den roten Laubblättern von *Achyranthes* endlich ließen sich Empfindlichkeitsunterschiede benachbarter farbloser und roter Zellen überhaupt nicht erkennen. Es war somit in dieser Hinsicht kein eindeutiges Resultat zu erhalten. Vielfach erleichtert der Anthokyangehalt das Auffinden von Permeabilitätsänderungen. Bei *Achyranthes* trat z. B. nach halbstündiger Bestrahlung der Farbstoff aus Palisaden und Schwammparenchym aus, sobald die plasmolysierten Zellen in Wasser kamen; in der geschützteren unteren Epidermis blieb er dagegen erhalten. In ähnlicher Weise erfolgte bei *Coleus* der Austritt aus der Epidermis, nicht aber aus den aufsitzenden Haaren, die nur schief bestrahlt wurden.

Um über einen eventuellen Einfluß des Chlorophylls Aufschluß zu erhalten, verglichen wir das Verhalten chlorophyllhaltiger und -freier Zellen unter möglichst gleichen sonstigen Bedingungen. Eine Durchsicht unserer Tabellen zeigt, daß bei fast allen Blättern die Schließzellen widerstandsfähiger sind als die chlorophyllfreien Zellen derselben Epidermis; da jedoch die Unterschiede sich nicht nur auf den Chlorophyllgehalt beziehen, so ist bei den Schlußfolgerungen Vorsicht geboten. Das ergibt sich besonders deutlich beim etiolierten *Vicia*-Blatt (Nr. 20) und beim weißen Rand der *Pelargonium*-Spreite (Nr. 22). Die Differenz zugunsten der Schließzellen ist hier nicht minder deutlich, obschon ihnen Chlorophyll fehlt. Vergleichen wir ferner dieselben Gewebe bei gleich alten, normalen und etiolierten *Vicia*-Blättern, so erweisen sich die Zellen des grünen Blattes wiederum als widerstandsfähiger; aber auch hier ist das Resultat mehrdeutig. Es steht daher nicht im Widerspruch zu diesen Erfahrungen, daß bei der *Pelargonium*-Spreite gerade umgekehrt die weißen Partien widerstandsfähiger waren.

Das führt uns nun zu dem bekannten HERTELSchen Erklärungsversuch. Er stützt sich auf die zuerst von HERTEL, später auch von SCHULZE gemachte Wahrnehmung, daß bei *Elodea* und *Vallisneria* die Schädigung chlorophyllhaltiger Zellen geringer ist, wenn neben den ultravioletten auch noch sichtbare Strahlen einwirken. Diese

Beobachtung wird in der Weise gedeutet, daß die Ultraviolett-schädigung auf einem Sauerstoffentzug beruhen soll, dem durch die Sauerstoffbildung bei der Assimilation entgegengearbeitet würde. Da unsere Quecksilberlampe neben ultravioletten auch sichtbare Strahlen enthält, so hätten nach HERTEL *et. par.* die grünen Zellen widerstandsfähiger sein müssen, was durchaus nicht immer der Fall war. Wir experimentierten auch in der Weise, daß wir *Elodea*-Blätter das eine Mal nur mit der Quecksilberlampe, das andere Mal gleichzeitig noch mit einer Liliputbogenlampe mit Glaskondensator und Kühlgefäß bestrahlten. Eine wesentliche Differenz war jedoch — auch bei vorausgehender Verdunkelung — trotz öfterer Wiederholung nicht erkennbar. Nach der HERTELSchen Auffassung war ferner in einer Wasserstoffatmosphäre eine stärkere Schädigung zu erwarten als in gewöhnlicher Luft; nach SCHULZE ist aber kein Unterschied vorhanden. Sehr nahe würde es auch liegen, die große Empfindlichkeit der chlorophyllarmen Randzellen des *Elodea*-Blattes in diesem Sinne zu deuten, doch steht dem die große Widerstandsfähigkeit der ebenfalls chlorophyllarmen Nervzellen entgegen (Nr. 14).

In manchen Fällen mag die HERTELSche Hypothese sehr plausibel erscheinen; häufig wird man auch in der Schutzwirkung von Membranen und Gewebeschichten oder in anderen morphologischen und anatomischen Besonderheiten eine Lösung finden. Daneben liegen aber doch zahlreiche Beobachtungen vor, die sich auf solche Weise nicht erklären lassen und die Annahme einer verschiedenen Widerstandsfähigkeit des Plasmas nötig machen.

Beachtung verdient endlich auch noch das Verhalten der in den Chlorophyllkörnern vorhandenen Stärke. Außerhalb der Pflanze ließ man schon mehrfach ultraviolette Strahlen auf Stärke einwirken. Nach MASSOL, BIELECKI und WURMSER¹⁾ verliert verdünnte Stärkelösung die Fähigkeit, sich mit Jod zu bläuen und reduziert FEHLINGSche Lösung. KLUYVER²⁾ fand nach achtstündiger Bestrahlung von trockener Mais- und Kartoffelstärke zwar noch Bläuung mit Jodwasser, zugleich aber auch Reduktion FEHLINGScher Lösung. Da in der Pflanze die Lösung unter normalen Verhältnissen durch Diastase geschieht, ist es wichtig, zu wissen, daß Diastase durch Wellenlängen unter $300\ \mu\mu$ in kurzer Zeit stark geschädigt wird³⁾. Hiernach ist nun bei 1—2 stündiger Bestrahlung unter unseren Ver-

1) MASSOL, Compt. rend. 1912, I. p. 1645. — BIELECKI ET WURMSER, Compt. rend. 1912, I. p. 1429.

2) KLUYVER l. c.

3) HERTEL l. c., AGULHON, Compt. rend. 1911, I. p. 398 und andere Autoren.

suchsbedingungen ein Verschwinden der Chloroplastenstärke kaum zu erwarten, wohl aber eine Schädigung der Diastase. Wir experimentierten mit stärkehaltigen *Phaseolus*-Blättern, die zum Teil mit einem Deckgläschen bedeckt, in 10 cm Distanz bestrahlt wurden. Nach 2 Stunden war die Stärke unter dem Deckglas vollständig verschwunden, in der übrigen Spreite aber in anscheinend unveränderter Menge erhalten. Die Grenzlinie war ganz scharf und folgte genau dem Rande des Deckglases. Offenbar war die Diastase unter dem Deckglas, d. h. bei Ausschluß der schädlichen Wellenlängen, unbeschädigt geblieben, ihre Wirkung infolge der Temperaturerhöhung wohl noch gesteigert worden, während sie außerhalb des Deckglases ganz oder doch zum größten Teile zerstört worden war. Dazu kommt, daß auch unter dem Deckglas keine Stärke neu gebildet wurde, in erster Linie wohl infolge des Welkens und der relativ hohen Temperatur.

Von anderen Strahlungsquellen, die bedeutendere Mengen Ultraviolett liefern, haben wir zu Vergleichszwecken eine Wechselstrombogenlampe mit gewöhnlichen Kohlen (21 Amp., 28 Volt) herbeigezogen. Die Glasglocke war natürlich entfernt. Zunächst wurden Flächenschnitte durch *Tradescantia*-Blätter in 20 cm Entfernung exponiert, unter Zwischenschaltung einer kühlenden Wasserschicht zwischen planparallelen Quarzwänden. Selbst nach einer Stunde (Nr. 34) trat noch überall Deplasmolyse ein, während vor der Quecksilberlampe die Schädigung schon nach 10 Minuten deutlich gewesen war. Ferner stellten wir einen *Impatiens*-Sproß in 45 cm Entfernung ohne Zwischenschaltung eines Filters auf. Nach $9\frac{1}{2}$ Stunden erwiesen sich die senkrecht bestrahlten Blätter stark beschädigt (Nr. 35) und starben später ab. Auch hier ist die Wirkung dem Ultraviolett zuzuschreiben, denn ein neben dem Sproß befindliches Thermometer stieg nicht über 25° , und die schädigende Wirkung unterbleibt bekanntlich hinter einer Glasscheibe. Die bedeutend stärkere Schädigung durch die Quecksilberlampe beruht natürlich auf ihrem größeren Reichtum an wirksamem Ultraviolett.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: [35](#)

Autor(en)/Author(s): Ursprung Alfred, Blum Gebhard

Artikel/Article: [Über die Schädlichkeit ultravioletter Strahlen. 385-402](#)