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 Ouecksilberquarzlampe (2 Amp., 37 Volt) mit einem 5½ cm langen und etwa 1 cm weiten Leuchtrohr. 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 Anzalıl 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.	Pflauze	Dauer der		Anzahl der deplasmolysierten Zellen in %			
7/11.	Панге	Bestrahlung	ohne Filter	hinter Quarz	hinter Glas	Mol. Rohr- zucker	
1.	Synedra	15 Sek.	100	100	100	0,30	
		30 Sek.	etwas la als n 100 Deplas bedeute	molyse ormal 100 molyse nd lang- s normal	100	n	
		1 Min.	0	0	100	29	
		5 Min.	0	0	100	>>	
2.	Navicula und	10 Min.	0	0	100	77	
4.	Pinnularia	15 Sek.	100	100	100	"	
		30 Sek.	100	100	100	"	
			etwas la	molyse angsamer ormal			

_								
Nr.	Pflanze	Dauer der	Anzahl de Z	Anzahl der deplasmolysierten Zellen in ⁰ / ₀				
		Bestrahlung	ohne Filter	hinter Quarz	hinter Glas	Mol. Rohr- zucker		
3.	Spirogyra	1 Min.	100	100	100	0,50		
		5 Min. 6 Min.	30	30	100	27		
		10 Min.	30 0	30 0	100 100	"		
		10 ми.	0	0	100	22		
ź.	Mougeotia	1 Min.	100	100	100	29		
		5 Min.	80	80	100	" "		
		6 Min.	70	70	100	,,		
_	75	10 Min.	40	40	100	"		
ō.	Penicillium	00 0 1	100	100	100	4.0		
	Hyphen	30 Sek. 1 Min.	100 50	100 50	170 100	1,0		
		2 Min.	25	25	100	27		
		5 Min.	5	5	100	"		
		o min.	Ü		100	27		
6.	Saccharomyces cerev.	1 Min.	100	100	100	2,0		
ı		5 Min.	70	70	100	27		
_	TT. J TT.1:	10 Min.	25	25	100	, ,,		
7.	Hedera Helix ob. Epid.	10 Min.	100	100	100	0.58		
	Palisad.		1 0 0	100	100	. 0,70		
	Schwammp.		100	100	100	0,64		
	unt. Epid.		100	100	100	0,58		
i	Schließz.		100	100	100	0,80		
	Hedera Helix	20 Min.						
	ob. Epid.	ZO Min.	100	100	100	0,58		
	Palisad.		80	80	100	0,70		
i	Schwammp.		80	80	100	0,64		
	unt. Epid.		100	100	100	0,58		
	Schließz.		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 Bestrah- lung	Anzahl der deplasmoly- sierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
8.	Ulothrix	10 Min. 15 Min. 20 Min.	90 80 75	0,65	
9.	Cladophora	30 Min. 10 Min. 15 Min. 30 Min. 45 Min.	15 100 100 100 100	0,80	
10.	Fegatella ob. Epidermis	21 2 Std. 30 Min.	5 80	0,90	
	anschließendes grünes Parenchym		90	1,20	
	Fegatella ob. Epid	1 Std.	50		
	anschließendes grünes Parenchym	3	70		
	Atemhöhle: chlorophyllhaltige Zellen direkt unter		. •		
	der Öffnung chlorophyllhaltige Zellen seitlich der		10		
	Öffnung Epid. über Atem-		70		
11.	höhle	10 Min. 20 Min. 30 Min.	100 90 80 70	0,60	
12.	Pteris	45 Min. 30 Min.	10	1,40	0,1
	ob, Epid		30 60 30 40	,	
	Pteris ob. Epid	1 Std.	in 1,4 u. 1,8 Mol		
	Mesoph		Rohrz. tritt keine Plasmo- lyse mehr ein		
13	Abies alba ob. Epid	1 Std.		1,60	0,3
	Palis		95-100		
14.	Elodeablatt	10 Min.	100, Randzellen	0.50	0,1
	Spreite	10 Min.	depl. langsamer	0,50	0,1
	Spreite	30 Min.	90—100, Randz. depl. oft nicht		
	Spreite	45 Min.	50		
	Nerv	1 Std.	100 30 50		

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

A. URSPRUNG und G. BLUM:

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrah- lung	Anzahl der deplasmoly- sierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
	Unters. d. Lampe zugekehrt: unt. Epid unt. Assimil. gew ob. Assimil. gew ob. Epid	6 Std.	20 20 50 50 60		•
18	Achyranthes rotes B. ob. Epid. (farblos). Palis. (z. T. rot). Schwammp. (z. T. rot) unt. Epid. (z. T. rot) Schließz. ob. Epid. Palis. Schwammp. unt. Epid. Schließz.	30 Min.	20 30 30 50 70 0 0 10 30 50	1,2 1,8 1,4 1,2 0,8	0,25
19.	Brassica ol. (Rotkraut) ob. Epid Mesoph unt. Epid	1 Std.	Wachsüberzug vor- ent- handen fernt 90 30 80 50 100 90	0,8 1,2 0,8	0,6
20.	Vicia Faba Blatt ob. Epid. Schließz. Palis. Schwammp. unt. Epid. Schließz. ob. Epid. Schließz. Palis. Schwammp. unt. Epid. Schließz.	30 Min.	grün etioliert 50 10 100 90 80 40 100 70 90 90 100 100 10 10 60 50 70 10 60 30 100 90	0,85 0,85 1,60 0,90 0,85 0,85	0,3 etiol. 0,4 grün
21.	Phascolus vulg. Fiederblatt ob. Epid. Schließz. Palis. Schwammp. unt. Epid. Schließz. ob. Epid. Schließz. Palis. Schwammp. unt. Epid. Schließz.	1 Std.	0 50 0 10 70 20 0 0 0	0,70 0,80 1,40 1,20 0,70 0,70	0,2

Nr.	Pflauze	Dauer der Bestrah- lung	Anzahl der deplasmoly- sierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	Dicke in mm
22.	Pelargonium				,
	Blatt mit weißem Rand ob. Epid.	30 Min.	grün weiß	0,80	0,35
	Palis	oo min.	$\begin{array}{ccc} 0 & 0 \\ 5 & 20 \end{array}$	1,20	
	Schwammp		0 20	0,95	
	unt. Epid		$\begin{array}{ccc} 0 & 30 \\ 20 & 80 \end{array}$	0,80 0,95	
	ob. Epid	45 Min.	0 10	,	
	Palis		0 0		
	unt. Epid		10 20		
23.	Schließz		10 70 Kutikula der		
	Flächenschnitt		Lampe zu- ab-		
	durch Blatt ob. Epid	10 Min.	gekehrt gekehrt 100 60		
	" "	20 Min.	90 40		
	intaktes Blatt:	30 Min. 30 Min.	0 0	Ę.	
	ob. Epid		10	0,55	0,3
	Palis		30 30	1,80 1,20	
	unt. Epid		40	0,50	
24.	Schließz		50 Kutikula der	1,00	
- 1.	Flächenschnitt durch		Lampe zu- ab-		
	älteres Blatt ob. Epid	10 Min.	gekehrt gekehrt 100 100		
	,, ,, · · · ·	20 Min.	90 50		
	junges Blatt:	30 Min.	60 10		
	ob. Epid	10 Min.	100		0,15
	Palis		100 100		
	unt. Epid		100		
	Schließz ob. Epid	20 Min.	100 80		
	Palis	20 11111	95		
	Schwammp unt. Epid	:	100 100		
	Schließz		100		
	ob. Epid	30 Min.	70 80		
	Schwammp		100		
	unt Epid		100		
	ob. Epid	1 Std.	0		
	Palis		5 5		
	unt. Epid		20		
	Schließz		10		
	ob. Epid	20 Min.	80	0,58	0,25
	Palis Schwampp		95 100	0,70 0,64	
	unt. Epid		100	0,58	
	Schließz		100	0,80	

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrah- lung	Anzahl der deplasmoly- sierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	
25.	Coleus				
20.	Blatt rotbraun mit grünem Rand ob. Epid. (gefärbt) konische Haare. Palis. Schwammp. unt. Epid. (farblos) Schließz. konische Haare. ob. Epid. (gefärbt) konische Haare. Palis. Schwammp. unt. Epid. (farblos) Schließz.	30 Min.	0 0 80 80 40 90 0 0 0 10	0,90 0,90 1,60 1,60 0,90 0,90 1,20	0,85
	kon. Haare		0		
26. 27.	Hedera Helix Wurzelspitze halbiert Rinde äußere Rinden- schichten innere Rinden- schichten äußere Rinden- schichten innere Rinden- schichten innere Rinden- schichten Hyacinthus or.	10 Min. 20 Min. 20 Min. 30 Min. 30 Min.	Epid. der Lichtquelle zu- gekehrt gekehrt 100 0 100 70 80 0 10 20 0		
	Gelbes Blumenblatt: ob. Epid. Mesoph. oberes unt. Epid	1 Std.	10 60 70 70	0,85	0,3
	Rotes Blumenblatt ob. Epid ob. Mesoph. (gefärbt) mittl. Mesoph. (farblos) unt. Mesoph. (gefärbt) unt. Epid	1 Std.	\$0 40 10 50 90	0,85	0,4

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrah- lung	Anzahl der deplasmoly- sierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	
28.	Narcissus Weißes Blumenblatt: ob. Epid. unt. Epid. ob. Epid. unt. Epid. unt. Epid.	1 Std.	80 100 0 80	0,80	0,15
	Rotes Blumenblatt: ob. Epid. (gefärbt). Mesoph. (farblos). unt. Epid. (gefärbt). ob. Epid Mesoph unt. Epid Weißes Blumenblatt:	1 Std.	40 40 50 10 30 30	0,80	0,25
	ob. Epid	1 Std.	20 30 50 10 10 20	0,80	0,3
٠	blatt mit roten Streifen: ob. Epid. (farblos bzw. rot) Mesoph. (farblos) . unt. Epid. (farblos bzw. rot)	11/4 Std.	weiß rot 50 80 50 80 70 100	0,80	
30.	Anemone cor. Rotes Blumenblatt: ob. Epid unt. Epid Blaues	1½ Std.	0 10	0,90	0,2
	Blumenblatt: ob. Epid unt. Epid	1 Std.	0	0,90	0,15

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrah- lung	deplas sierten	hl der smoly- Zellen %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	
31.	Viola tric. max. Weißes Blumenblatt: ob. Epid Mesoph unt. Epid	30 Min.		ab- gekehrt 100 100 100	0,85	0,15
	Blumenblatt: ob. Epid. Mesoph. unt. Epid. ob. Epid. Mesoph. unt. Epid.	1 Std.	90 90 100 10 40 50	100 90 90 40 40 10		
	Violettes Blumenblatt: ob. Epid. (gefärbt).	10 Min.	100	100		0,2
	Mesoph. (farblos). unt. Epid. (gefärbt) ob. Epid. Mesoph. unt. Epid. ob. Epid. Mesoph. unt. Epid.	30 Min.	100 100 90 100 100 80 80 90	100 100 100 40 20 100 20		
	ob. Epid	1 4 Std.	5 5 5	5 5 0		
	Gelbes Blumenblatt: ob. Epid Mesoph. unt. Epid Mesoph unt. Epid unt. Epid unt. Epid unt. Epid unt. Epid unt. Epid	20 Min. 30 Min. 1 Std.	100 100 100 70 90 90 0	100 100 100 70 70 10 0		0,2
	Gelbes Blumen- blatt mit blauen Streifen: Obers. gegen Lampe ob. Epid Mesoph unt. Epid	1½ Std.	gelb 10 10 30	blau 10 20 20		

Nr.	Pflanze	Dauer der Bestrah- lung	Anzahl der deplasmoly- sierten Zellen in %	Plasmolytikum Mol Rohrzucker	
32.	Chrysanthemum Gelbes Blumenblatt: ob. Epid. Mesoph. unt. Epid. ob. Epid. Mesoph.	1 Std.	90 100 100 0 60 80	0,85	0,2
3 3.	unt. Epid	1 Std.	40 50 0 30		0,15
	Fruchtknoten: Epid	1 Std.	0 60 100	0,85	

Bestrahlung mit Bogenlampe.

		O	<i>Q</i>		
34.	Tradescantia Flächenschnitt durch Blatt: unt. Epid	20 Min. 1 Std.	Kutikula der Lampe zu- ab- gekehrt gekehrt 100 100 100 100		
35.	Impatiens Sultani Blatt: ob. Epid. Palis. Schwammp. unt. Epid. Schließz,	9 ½ Std.	$\begin{array}{c} 0 \\ 2 \\ 2 \\ 10 \\ 15 \end{array}$	0), 25

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 $2\frac{1}{2}$ 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 Ouarz 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 Ouecksilberlampe liefert, andere verwendeten nur Ultraviolett oder nur Teile desselben, wie z. B. die Wellenlänge 280 µµ³) oder die ganz kurzwelligen SCHUMANN-Strahlen.4) Verschiedene Wellenlängen üben aber bei derselben Intensität ganz abweichende Wirkungen ausund 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-

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

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).

^{1) [.} Schulze, Über die Einwirkung der Lichtstrahlen von 280 μμ Wellenlänge auf Pflanzenzellen. Beih. z. Bot. Centralbl. 25, Abt. I, 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).

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, Chrysanthenum gelb Nr. 32).

Auf die schützende Wirkung der Epidermis außen-wand, 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 Wachs

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 vièl 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 lnhaltskörpern. 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-

webeschichten 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 cet. 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 µµ.

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 plantule. Rev. gén. de Bot. 25, p. 38 (1913).

Wir kommen zur Frage nach der Bedeutung des Anthok v a n s. 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. 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.

HERTELschen Das führt uns nun zu dem bekannten Erklärungsversuch. Er stützt sich zuerst später auch von SCHULZE Wahrvon HERTEL. nehmung, daß bei Elodea und Vallisneria die Schädigung chlorophyllhaltiger Zellen geringer ist, wenn neben ultrasicht bare Strahlen einwirken. Diese violetten auch noch

Beobachtung wird in der Weise gedeutet, daß die Ultraviolettschädigung auf einem Sauerstoffentzug beruhen soll, dem durch die Sanerstöffbildung bei der Assimilation entgegengearbeitet würde. Da unsere Quecksilberlampe neben ultravioletten auch sichtbare Strahlen enthälte so hätten nach HERTEL cet. par. die grünen Zellen widerstandsfäliger 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 gleichzeitigunisch mit einer Liliputbogenlampe mit Glaskondensor und Kühlgefäß bestrahlten. Eine wesentliche Differenz war jedoch - auch bei vorausgehender Verdunkelung - trotz öfterer Wiederholphe 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 Empfindliclikeit uder 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 Meinbrahen und Gewebeschichten oder in anderen morphologischen und Janatomischen Besonderheiten eine Lösung finden. Daneben liegen aber doch zahlreiche Beobachtungen vor, die sich auf solche Weiser 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 verdümnte 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 μμ 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⁾ Klugver l. c.

³⁾ HERTEL I. 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 Weichselstrombogenlampe 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 945 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