

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg  
**Herausgeber:** Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 53 (1963)  
  
**Artikel:** Beeinflussung der Absorption durch Temperatur und einige chemische Körper : Kupfersulfat, Pikrinsäure, Methylsäure, Äthylalkohol und Gesafid  
**Autor:** Wicki, Joseph  
**Kapitel:** III: Der Einfluss von Kupfersulfat auf die lebende pflanzliche Zelle  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308412>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

### III. Der Einfluß von Kupfersulfat auf die lebende pflanzliche Zelle

#### A. Bisherige Untersuchungen

Wohl seit *Nägeli* (1893) gelten die Schwermetalle, vor allem das Kupfer, für die Pflanzenzelle als außerordentlich giftig. Der besagte Autor schreibt nämlich (S. 23) : « 1 Teil Kupfer erteilt also 1000 Millionen Teilen Wasser noch deutliche oligodynamische, für die Spirogyrenzellen tötliche Eigenschaften. » *Szücs* (1913, S. 85) benutzte als Indikator für die Giftwirkung des Kupfersulfates das Ausbleiben der geotropischen Reaktion bei Hypokotyl und Keimwurzel von **Cucurbita Pepo**. Die ausgekeimten Pflänzchen tauchte er in Kupfersulfatlösung, wenn ihre Würzelchen 1-2 cm lang waren. Dabei wurden die Keimlinge bis zum untersten Drittel der Kotyledonen benetzt. Er fand, daß nach zweistündigem Verweilen der Wurzeln in einer 0,001875 n Kupfersulfatlösung 57,1 % der Untersuchungsobjekte nicht mehr reagierten. Eine 0,02815 n Lösung verhinderte nach einer Einwirkungsdauer von 51 Minuten bereits schon an 73,3 % diese Reaktion (vgl. S. 98). *Pringsheim* (1925, S. 1) zeigte, daß Schwermetallsalze doch nicht so schädlich sind, wie bis anhin angenommen wurde. Er sagt (S. 12) : « Aus meinen Versuchen und Beobachtungen sind zwei Tatsachen in diesem Zusammenhange von Bedeutung. Nämlich einmal die Speicherung von einer Kupferverbindung bei **Elodea** im Zellsaft der Idioblasten, die beweist, daß das Kupfer zum mindesten in gewisse Zellen eindringt, ohne deren Struktur sichtbar zu verändern, und zweitens die Tatsache, daß in Schwermetallsalzlösungen von hoher Konzentration und selbst in dem so giftigen Kupfersulfat trotz Plasmolyse die Plasmaströmung noch längere oder kürzere Zeit anhalten kann. »

Weiter schreibt *Pringsheim* (S. 13) : « Die Giftwirkung der Schwermetallsalze ist eine Zeitreaktion, im schroffen Gegensatz etwa zu der oxydierenden Gifte, z. B. Halogene, die nur von einer bestimmten Konzentration ab, dann aber fast momentan abtötend wirken. » *Lepeschkin* (1927, S. 250) führte Versuche aus, um festzustellen, ob für Zellschädigungen durch Metallsalze die Metallionen selber oder der in der Salzlösung vorhandene Überschuß an Wasserstoffionen verantwortlich gemacht werden könne. Er fand, daß Algenzellen in einer

0,00001 normalen Kupfervitriollösung bereits nach 3 Stunden Schädigungen aufwiesen, während die Zellen in einer 0,00001 normalen Schwefelsäure vollkommen normal aussahen, trotzdem der pH Wert beider Lösungen gleich, nämlich 5,2 sei. Daher schließt *Lepeschkin* (1937, S. 127): « Was nun Schwermetallsalze anbelangt, deren Lösungen ebenfalls eine große Menge von Wasserstoffionen enthalten, so wirken sie hauptsächlich durch ihre Metallionen. » Weiter schreibt derselbe Autor (S. 127): « Merkwürdig ist die Tatsache, daß die Zellen dieser Alge (sc. *Spirogyra*) in 0,01 n  $\text{CuSO}_4$  nach 40 Minuten absterben, während sie durch eine 0,5 n  $\text{CuSO}_4$ -Lösung sich plasmolysieren lassen und erst nach 4 Stunden getötet werden. » *Lepeschkin* erklärt (S. 127) die Möglichkeit der Plasmolyse mit Schwermetallsalzen « mit einer schützenden Wirkung der bei der Plasmolyse stattfindenden Entwässerung des Protoplasmas. In der Tat wird die Resistenz des Protoplasmas gegen mechanische Eingriffe durch genügend konzentrierte Zucker- oder Salzlösungen bedeutend erhöht. Die Entwässerung vermindert außerdem die Permeabilität des Protoplasmas und also das Eindringen der Schwermetallsalze in die Zelle ». Über die Schädlichkeit von Salzen spricht sich *de Haan* (1933, S. 307) ähnlich aus: « Salze, die einen starken Quellungseinfluß auf das Protoplasma ausüben und dadurch eine sehr hohe Wasserpermeabilität verursachen, was eine schnelle Plasmolyse und Deplasmolyse zur Folge hat, sind ebenfalls sehr schädlich. »

Nach *Kaho* (1933, S. 664), der den Einfluß von Co-, Ni- und Cd-Salzen auf die Zellen der Rotkohlblätter untersuchte, kann die Giftwirkung ebenfalls mit einer Quellung in Zusammenhang gebracht werden, da er schreibt (S. 678): « Diese (sc. Versuchsergebnisse) zeigen deutlich, daß diejenigen Schwermetallsalze, die in allen Konzentrationen die Quellung von Agar am stärksten hindern (Azetate und insbesondere Sulfate), auch für das Pflanzenplasma am wenigsten giftig sind. » Die unterschiedliche Giftwirkung der Salze mit demselben Metallion und der Umstand, daß die Pflanzenzellen in den Lösungen hoher Konzentrationen (bis 0,5 mol) stundenlang am Leben bleiben können, während etwa tausendmal schwächere Lösungen das Eiweiß rasch irreversibel koagulieren, erklärt *Kaho* (S. 681 und 682) folgendermaßen: « Die untersuchten Schwermetallsalze erzeugen bei der Berührung mit der Pflanzenzelle auf der Plasmaoberfläche eine Schutzschicht (irreversible koagulierte Oberflächenschicht), die das Eindringen des Salzes auf einige Zeit verhindert und die größere Masse des

Plasmas vor der momentanen Abtötung schützt. Die Durchlässigkeit dieser Schutzschicht für die Salze nimmt (bei demselben Kation) nach der lyotropen Reihe



ab. »

*Schindler* (1944, S. 225) stellte die kennzeichnenden Todeserscheinungen der Zellen in Kupfersalzlösungen fest. Nach ihm (vgl. S. 243) wirken hypotonische Kupfersalzlösungen vielfach giftiger als hyper-tonische, « vermutlich weil die Plasmolyse eine Verfestigung des Plasmalemmas und damit eine Verzögerung des Eintrittes der Metallionen ins Plasma bewirkt ». (Über den Einfluß von Kupfersalzen auf die lebende Zelle vgl. auch *Michalesco-Sorin*, 1928.)

*Biebl* (1949, S. 1), der die Resistenzgrenzen von Blattepidermen verschiedener Kartoffelsorten sowie für eine Reihe Laub- und Lebermoosen in Borsäure und einigen Sulfaten untersuchte, schreibt über den Einfluß von Kupfersulfat (S. 9), daß « ihm gegenüber alle untersuchten Plasmen recht ähnliche Resistenzgrenzen besitzen ». Leider gibt er aber keine Werte an. (Zum Einfluß der Schwermetallsalze auf die pflanzliche Zelle vgl. auch *Ursprung*, 1937, S. 1129 und 1130.)

Besonders umfangreich ist die Literatur, die sich mit Stimulationsfragen der Kupfersalze oder deren Bedeutung als Spurenelement beschäftigt. (Vgl. *Scharrer*, 1944, S. 109, und Literaturverzeichnis, S. 252.)

## B. Eigene Untersuchungen

Ich experimentierte mit Cuprum sulfuricum purissimum ad analysin ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) von der Firma A. G. vorm. *B. Siegfried*, Zofingen. (Molekulargewicht = 249,7.) Aus einer 1-moligen Lösung wurden durch Verdünnung die verwendeten Konzentrationen hergestellt. Für Konzentrationen unter 0,1 Mol benutzte ich eine 0,1-molige Stammlösung.

### 1. Untersuchungen mit der Hebelmethode

#### a) *Solanum tuberosum* L.

Zuerst wurde an vergleichbaren Kartoffelstückchen das Verhalten in Konzentrationen geprüft, die in der Nähe der Saugkraft des Untersuchungsgewebes liegen.

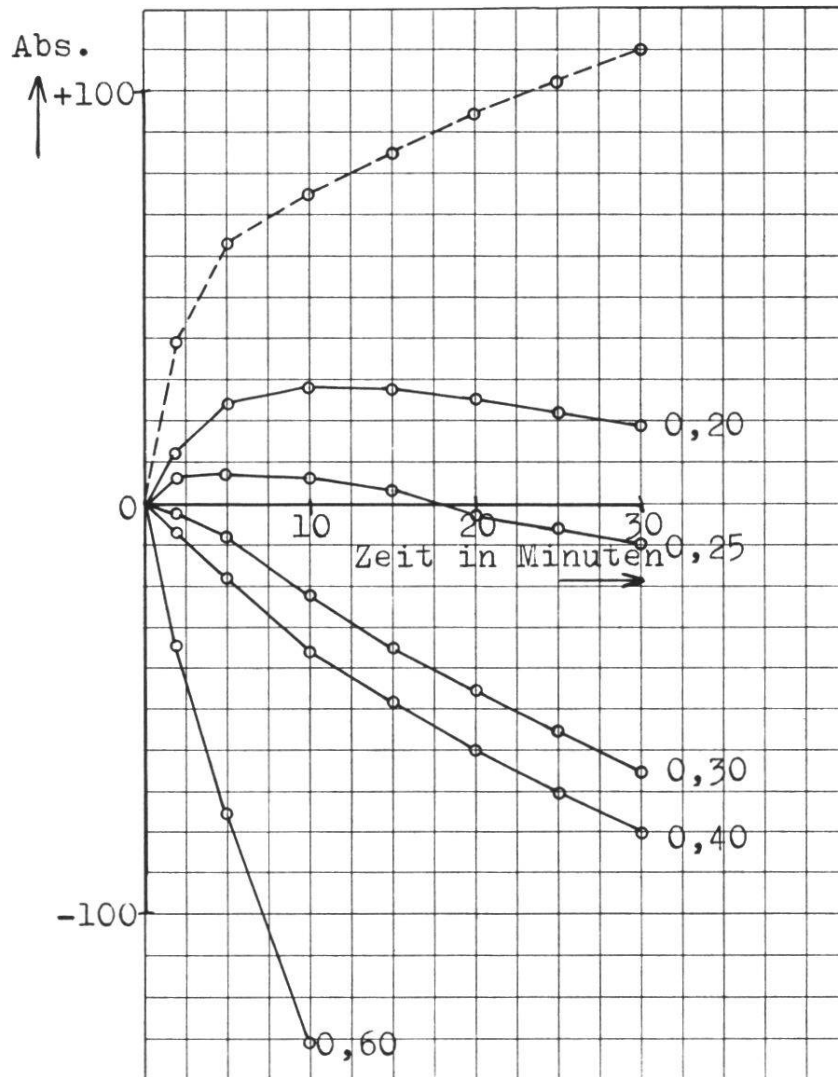
Tabelle 21

**Solanum tuberosum**

Absorption in Kupfersulfat. Mittel von je 2 Versuchen.

Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten													
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+	24	+	39	+	50	+	58	+	63	+	66	+	69
		1		2		3		4		5		6		7
	+	71	+	73	+	75	+	85	+	94	+	102	+	110
		8		9		10		15		20		25		30
0,2 Mol CuSO <sub>4</sub>	+	8	+	12	+	17	+	20	+	24	+	25	+	26
		1		2		3		4		5		6		7
	+	26	+	27	+	28	+	27	+	25	+	22	+	19
		8		9		10		15		20		25		30
0,25 Mol CuSO <sub>4</sub>	+	4	+	6	+	6	+	7	+	7	+	6	+	6
		1		2		3		4		5		6		7
	+	6	+	6	+	6	+	3	—	2	—	6	—	10
		8		9		10		15		20		25		30
0,3 Mol CuSO <sub>4</sub>	—	1	—	2	—	4	—	5	—	8	—	10	—	12
		1		2		3		4		5		6		7
	—	16	—	20	—	22	—	35	—	46	—	56	—	65
		8		9		10		15		20		25		30
0,4 Mol CuSO <sub>4</sub>	—	3	—	6	—	11	—	14	—	18	—	22	—	26
		1		2		3		4		5		6		7
	—	30	—	33	—	36	—	48	—	60	—	70	—	80
		8		9		10		15		20		25		30
0,6 Mol CuSO <sub>4</sub>	—	18	—	34	—	48	—	62	—	76	—	88	—	100
		1		2		3		4		5		6		7
	—	110	—	121	—	131	—	176	—	218	—	253	—	276
		8		9		10		15		20		25		30

Der Versuch zeigt, daß es trotz der schädlichen Wirkung der Kupfersalze, die hier besonders in den 0,2 und 0,25-moligen Lösungen zu Tage tritt, gelingt, diejenige Kupfersulfatkonzentration zu finden, die der Saugkraft des Untersuchungsgewebes annähernd gleichkommt. Diese dürfte bei ca. 0,25 Mol CuSO<sub>4</sub> liegen. In den Konzentrationen von



Kurve zu Tab. 21

**Solanum tuberosum**

— — — — Absorption in Kupfersulfat (Konzentration in Mol)  
 - - - - Absorption in Wasser

0,3 Mol an aufwärts wird die Giftwirkung durch die Saugkraft des Salzes verdeckt, während sie in den niedrigeren Konzentrationen im absteigenden Kurvenast zum Ausdruck kommt. In der 0,2-moligen Lösung erfolgt eine Dickenabnahme zwischen der 10. und 15. Minute nach Versuchsbeginn, für die 0,25-molige schon zwischen der 5. und 10. Minute. Die Kurve ist die Summe zweier Komponenten: der Dickenzunahme der Zellen, die Flüssigkeit aus dem Außenmedium aufnehmen, und der Dickenabnahme der geschädigten oder getöteten Zellen, die nach Verlust der Semipermeabilität durch den Wanddruck Zellinhalt auspressen.

Weiter untersuchte ich das Verhalten von Kartoffelstückchen in verdünnten Kupfersulfatlösungen. Von drei vergleichbaren Objekten wurde eines in dest. Wasser (Vergleichsflüssigkeit) und die andern in zwei verschiedene Kupfersulfatkonzentrationen gebracht.

Tabelle 22

**Solanum tuberosum**

Absorption in Kupfersulfat. Mittel von je 10 Versuchen.

Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten						
	<i>I. Reihe</i>						
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 74	+ 94	+ 105	+ 113	+ 120	+ 126	+ 131
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 136	+ 141	+ 144	+ 158	+ 166	+ 173	+ 177
	8	9	10	15	20	25	30
0,04 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 39	+ 59	+ 70	+ 78	+ 83	+ 87	+ 90
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 92	+ 93	+ 94	+ 96	+ 94	+ 93	+ 91
	8	9	10	15	20	25	30
0,06 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 38	+ 58	+ 71	+ 78	+ 84	+ 87	+ 90
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 91	+ 92	+ 92	+ 94	+ 93	+ 91	+ 88
	8	9	10	15	20	25	30
	<i>II. Reihe</i>						
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 49	+ 66	+ 76	+ 84	+ 91	+ 96	+ 101
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 106	+ 110	+ 113	+ 126	+ 133	+ 140	+ 145
	8	9	10	15	20	25	30
0,01 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 42	+ 54	+ 61	+ 66	+ 69	+ 72	+ 74
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 76	+ 78	+ 79	+ 85	+ 89	+ 93	+ 96
	8	9	10	15	20	25	30
0,02 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 37	+ 50	+ 56	+ 60	+ 63	+ 64	+ 66
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 67	+ 68	+ 69	+ 75	+ 80	+ 84	+ 87
	8	9	10	15	20	25	30

Versuchs-  
flüssigkeit

Dickenänderung  
nach Minuten

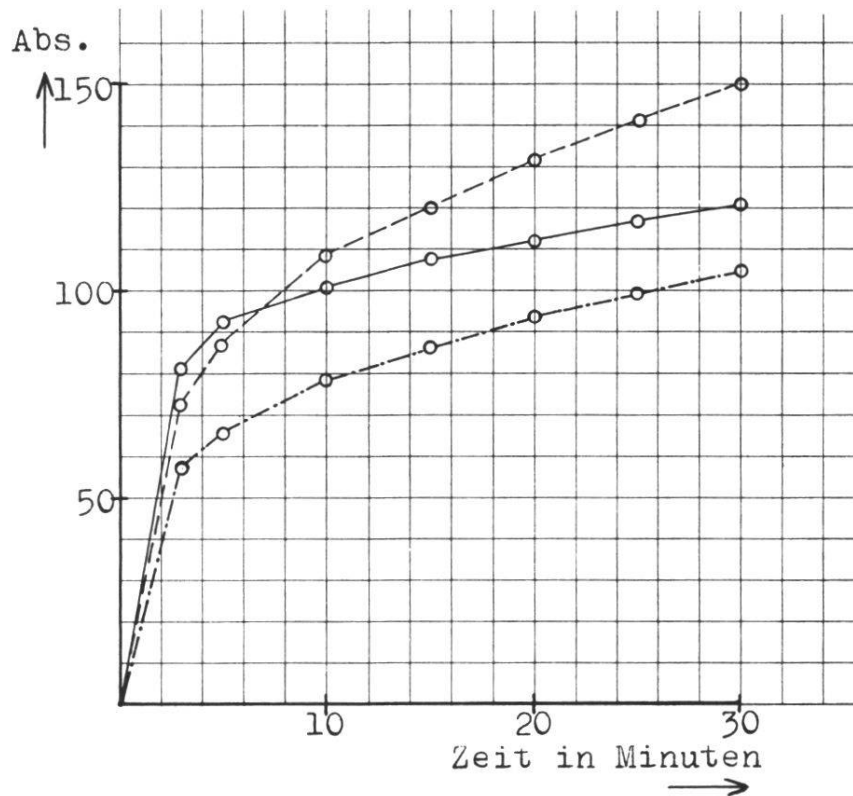
*III. Reihe*

Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 39	+ 58	+ 72	+ 81	+ 87	+ 92	+ 97
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 101	+ 105	+ 108	+ 120	+ 132	+ 141	+ 150
	8	9	10	15	20	25	30
0,004 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 40	+ 68	+ 81	+ 88	+ 92	+ 94	+ 96
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 98	+ 100	+ 101	+ 108	+ 112	+ 117	+ 121
	8	9	10	15	20	25	30
0,008 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 32	+ 48	+ 57	+ 62	+ 66	+ 69	+ 72
	1	2	3	4	5	6	7
	+ 74	+ 76	+ 78	+ 86	+ 93	+ 99	+ 104
	8	9	10	15	20	25	30

Die I. Reihe zeigt, daß bei Versuchen mit der Hebelmethode der Einfluß der beiden Lösungen (0,04 und 0,06 Mol) auf die Kartoffel wenig verschieden ist. Eine ganz geringe Dickenabnahme war von der 15. Minute an in beiden Lösungen zu beobachten. Es kommt auch hier sehr deutlich der Charakter der Giftwirkung des Kupfersalzes zum Ausdruck : Der langsame Abstieg weist auf eine Zeitreaktion hin, während es sich bei den früher beschriebenen Erscheinungen in erwärmtem Wasser von einer bestimmten Temperatur an um eine momentane Reaktion handelte, was aus dem steilen Kurvenabfall hervorging (vgl. *Pringsheim*, 1925, S. 13).

In der II. Reihe bleibt die Absorption in beiden Konzentrationen (0,01 und 0,02 Mol) die ganze Beobachtungszeit über positiv, sodaß kaum auf eine Schädigung geschlossen werden kann. Jedenfalls wird eine allfällige Giftwirkung durch die Dickenzunahme verdeckt.

Interessant ist der Absorptionsverlauf der Objekte in der 0,004-moligen Lösung der III. Reihe. In dieser Konzentration zeigen die Gewebestückchen wenigstens für die ersten paar Minuten eine stärkere



Kurve zu Tab. 22, III. Reihe

**Solanum tuberosum**

- — — — Absorption in Wasser
- Absorption in 0,004 Mol Kupfersulfat
- . - . - . Absorption in 0,008 Mol Kupfersulfat

Dickenzunahme als die Vergleichsobjekte in Wasser. Im vorliegenden Falle muß das Kupfersalz somit die Permeabilität des Plasmas erhöht haben. Bald aber überwiegen Giftwirkung und Saugkraft der Kupferlösung, wie die nunmehr steiler ansteigende Wasserkurve zeigt.

b) *Echeveria metallica* Hort.

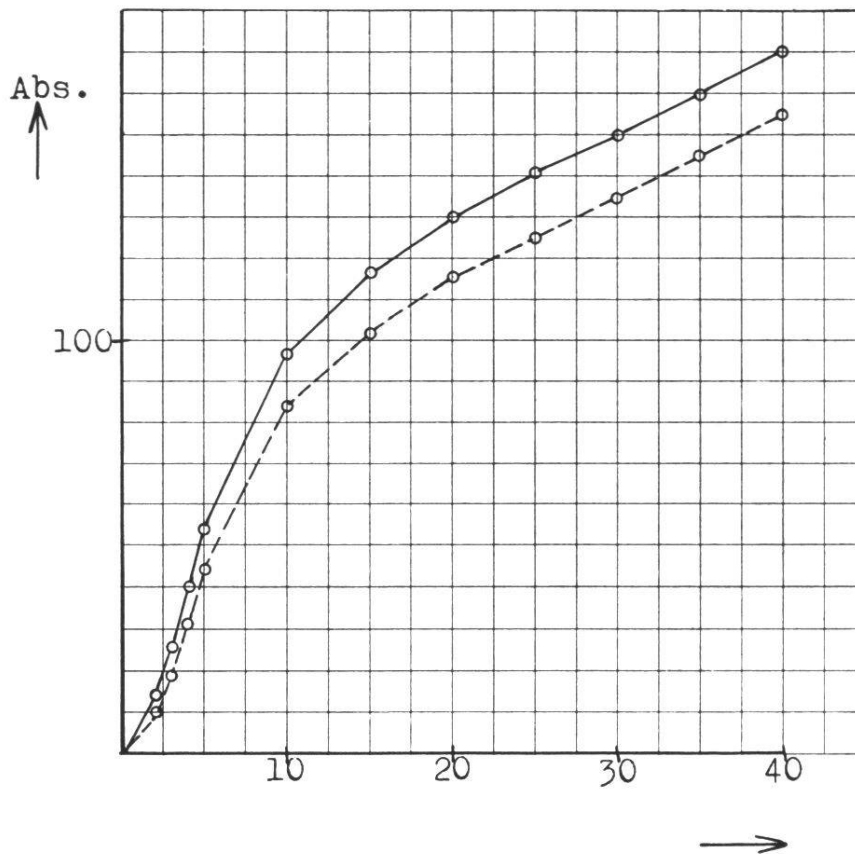
Für die folgenden Untersuchungen schnitt ich mit dem Rasiermesser Blattstückchen heraus, die symmetrisch zur Blattmitte lagen. Die Dickenänderung wurde senkrecht zur Blattfläche gemessen, sodaß das Objekt jeweils unten und oben von der Epidermis begrenzt war. Zur Untersuchung gelangten Parallelepipede von 4 mm Länge und 3 mm Breite. Die Dicke variierte zwischen drei und vier mm, war aber zwischen zwei verglichenen Objekten gleich.

Tabelle 23

**Echeveria metallica**

Absorption in Kupfersulfat.

Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten															
<i>I. Reihe</i>																
(Mittel von je 4 Versuchen)																
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+	6	+	15	+	29	+	42	+	54	+	66	+	75	+	82
		1		2		3		4		5		6		7		8
	+	90	+	96	+	120	+	136	+	148	+	160	+	174	+	186
		9		10		15		20		25		30		35		40
0,04 Mol CuSO <sub>4</sub>	+	2	+	7	+	12	+	18	+	22	+	27	+	31	+	35
		1		2		3		4		5		6		7		8
	+	39	+	43	+	62	+	78	+	88	+	94	+	96	+	94
		9		10		15		20		25		30		35		40
<i>II. Reihe</i>																
(Mittel von je 4 Versuchen)																
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+	6	+	14	+	26	+	40	+	56	+	74	+	90	+	108
		1		2		3		4		5		6		7		8
	+	123	+	135	+	177	+	199	+	217	+	232	+	246	+	260
		9		10		15		20		25		30		35		40
0,02 Mol CuSO <sub>4</sub>	+	4	+	10	+	19	+	27	+	42	+	54	+	65	+	76
		1		2		3		4		5		6		7		8
	+	86	+	94	+	124	+	144	+	161	+	174	+	187	+	197
		9		10		15		20		25		30		35		40
<i>III. Reihe</i>																
(Mittel von je 5 Versuchen)																
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+	4	+	10	+	19	+	31	+	44	+	54	+	64	+	71
		1		2		3		4		5		6		7		8
	+	78	+	84	+	102	+	115	+	125	+	134	+	145	+	155
		9		10		15		20		25		30		35		40
0,01 Mol CuSO <sub>4</sub>	+	6	+	14	+	26	+	40	+	54	+	66	+	77	+	85
		1		2		3		4		5		6		7		8
	+	92	+	97	+	117	+	130	+	141	+	150	+	160	+	170
		9		10		15		20		25		30		35		40



Kurve zu Tab. 23, III. Reihe

**Echeveria metallica**

— — — — Absorption in Wasser  
 ————— Absorption in 0,01 Mol Kupfersulfat

Auffallend ist bei Versuchen mit **Echeveria**-Blattstückchen, daß die Dickenzunahme, wie sie aus Tab. 23 hervorgeht, nicht zu Beginn am stärksten ist, sondern eine allmähliche Steigerung erfährt, wonach wiederum eine Geschwindigkeitsabnahme eintritt. Diese Tatsache suche ich damit zu erklären, daß die Objekte unten und oben durch die Epidermis begrenzt sind. Somit wird praktisch nur von der Seite her absorbiert. Den Taster legte ich jeweils dem Gewebestückchen genau in der Mitte auf. Alle darunter liegenden Zellen zeigen natürlich nicht sofort stärkste Dickenzunahme. Bedeutende Wasseraufnahme erfolgt vorerst nur durch die Randzellen, die direkt von der Flüssigkeit umspült werden. Infolgedessen nimmt die Saugkraft der Randpartien ab. Damit steigt aber das Sauggefälle zu Gunsten der weiter innen gelegenen Zellen, das mit fortschreitender Wasseraufnahme wieder abflaut. So läßt sich der mehr oder weniger S-förmige Verlauf der Absorptionskurven verstehen.

In der I. Reihe, in der 0,04-moligen Lösung tritt gegen den Schluß des Versuches in einer leichten Dickenabnahme die Giftwirkung der Kupfersulfatlösung zu Tage.

Der Versuch mit einer 0,02-moligen Lösung in der II. Reihe läßt bezüglich einer Giftwirkung keine Schlüsse zu.

Merkwürdigerweise zeigen die Objekte in einer 0,01-moligen Kupfersulfatlösung stärkere Dickenzunahme als in reinem Wasser. Bei dieser Konzentration dürfte somit eine Permeabilitätserhöhung eingetreten sein.

Das Verhalten des Blattgewebes von *Echeveria* gegenüber Kupfersulfat ist ähnlich, wie das der Kartoffelknolle. Auf eine unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber dem Kupfersalz darf aus den vorliegenden Versuchen nicht geschlossen werden, da die Versuchsbedingungen für beide Objekte verschieden sind: Das Kartoffelgewebe ließ die Flüssigkeit leichter eindringen als die Blattstückchen von *Echeveria*, die unten und oben von einer Epidermis begrenzt waren. Auch wurden für die Untersuchungen an der Kartoffelknolle bedeutend kleinere Objekte verwendet.

c) *Sempervivum spec.*

Zur Untersuchung gelangten parallelepipedische Blattstückchen von 2 mm Breite, 3 mm Länge und bis zu 4 mm Dicke.

Tabelle 24

*Sempervivum spec.*

Absorption in Kupfersulfat. Mittel von je 10 Versuchen.

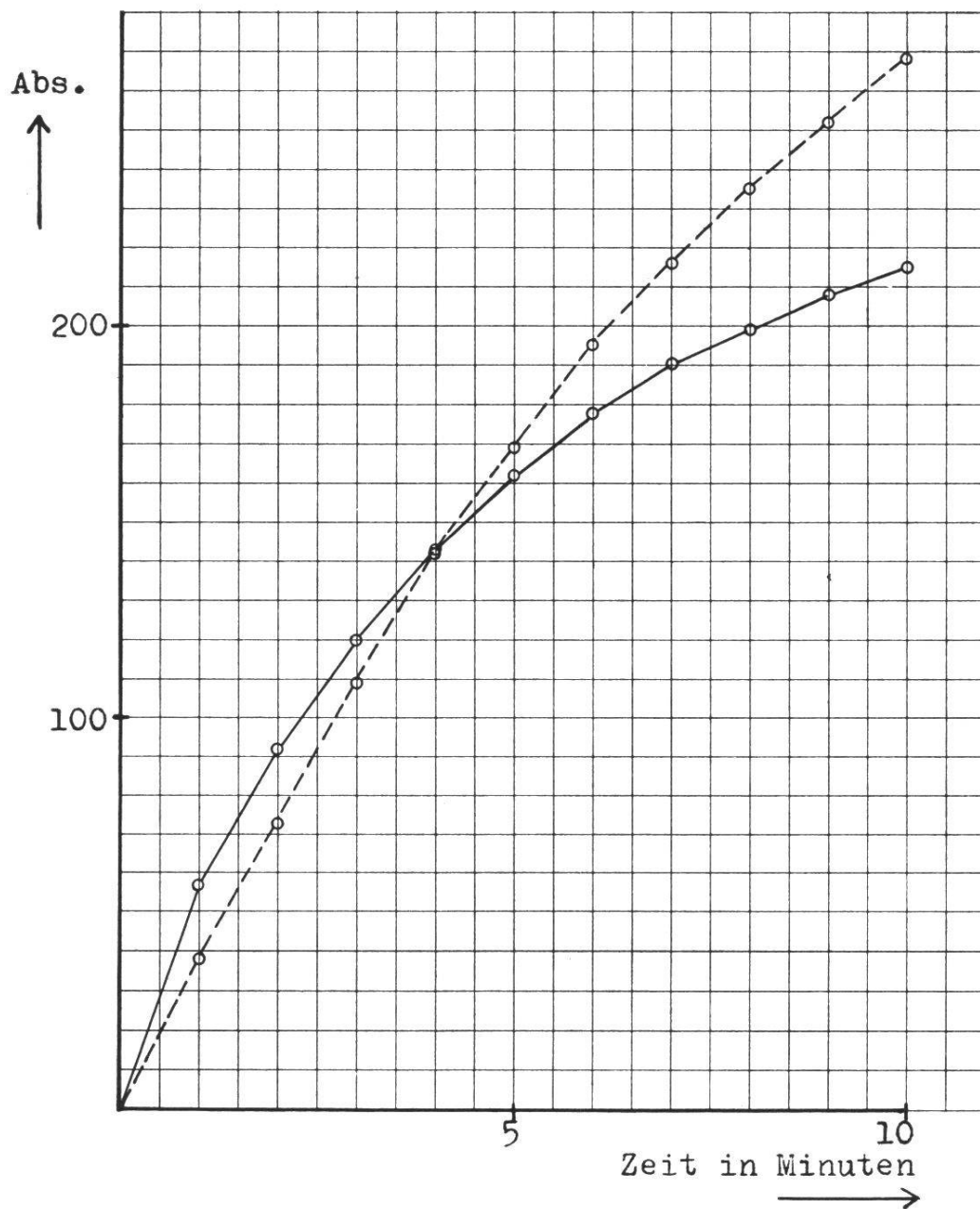
Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten								
	<i>I. Reihe</i>								
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 47	+ 83	+ 113	+ 138	+ 160	+ 178	+ 195	+ 210	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	+ 222	+ 234	+ 279	+ 317	+ 348	+ 376	+ 402	+ 422	
	9	10	15	20	25	30	35	40	
0,04 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 44	+ 72	+ 95	+ 112	+ 125	+ 136	+ 146	+ 154	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	+ 163	+ 167	+ 196	+ 217	+ 233	+ 246	+ 258	+ 265	
	9	10	15	20	25	30	35	40	

Versuchs-  
flüssigkeit

Dickenänderung  
nach Minuten

II. Reihe

Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 38	+ 73	+ 109	+ 142	+ 169	+ 195	+ 216	+ 235
	1	2	3	4	5	6	7	8
	+ 252	+ 268	+ 332	+ 382	+ 415	+ 449	+ 474	+ 493
	9	10	15	20	25	30	35	40
0,02 Mol CuSO <sub>4</sub>	+ 57	+ 92	+ 120	+ 143	+ 162	+ 178	+ 190	+ 199
	1	2	3	4	5	6	7	8
	+ 208	+ 215	+ 247	+ 272	+ 294	+ 317	+ 339	+ 359
	9	10	15	20	25	30	35	40



Kurve zu Tab. 24, II. Reihe

Sempervivum spec.

— — — — Absorption in Wasser

———— Absorption in 0,02 Mol Kupfersulfat

Obwohl bei den Untersuchungsobjekten die obere und untere Epidermis vorhanden war, nahm die Absorption einen ähnlichen Verlauf wie bei den Kartoffelstückchen. Ich schreibe es dem Umstand zu, daß die Objekte von **Sempervivum** eine um die Hälfte kleinere Grundfläche aufwiesen, als die von **Echeveria**; infolgedessen kann die Flüssigkeit auch rascher zu den innersten Gewebeschichten vordringen.

In der 0,04-moligen Lösung ist bis zum Schluß eine Dickenzunahme zu beobachten, sodaß über eine allfällige Giftwirkung nichts ausgesagt werden kann. Die 0,02-molige Lösung scheint während der ersten Minuten eine gewisse Permeabilitätserhöhung zu bewirken. Eindeutig ist diese Erscheinung hier nicht, da der raschere Kurvenanstieg kaum außerhalb der Fehlergrenze liegen dürfte, zumal es nicht sehr leicht ist, von einem **Sempervivum**-Blatt vergleichbare Objekte zu erhalten.

## 2. Versuche mit der Potometermethode

### a) Methode und Versuchsmaterial

Als Potometergefäß verwendete ich eine Pulverflasche von 1 Liter Inhalt. In diese tauchten mit einem Ende Potometerkapillare, Versuchspflanze, sowie ein Glasrohr, das mit einem Flüssigkeitsreservoir verbunden war. Potometerkapillare, Versuchspflanze und Glasrohr durchstießen einen Gummistopfen, der die mit Flüssigkeit ganz angefüllte Flasche luftdicht abschloß. Das von der Pflanze aufgenommene Wasser oder die Versuchslösung konnten nur aus der Kapillare nachgezogen werden, sofern der Hahn zum Reservoir geschlossen war. Unmittelbar über dem Stopfen lief die 1 m lange Potometerkapillare horizontal über einen Streifen aus Millimeterpapier weiter. So war es möglich, den Stand des Meniskus jederzeit auf 1 mm genau abzulesen.

Experimentiert wurde in einem gut isolierten Kellerzimmer, in welchem die Temperaturschwankungen während eines Versuches (die Versuchsdauer dehnte sich in einzelnen Fällen bis 4 Tage aus) nicht mehr als 1° ausmachten. Die relative Luftfeuchtigkeit konnte dagegen Unterschiede bis zu 5 % aufweisen. Die Versuche führte ich unter völligem Abschluß vom Tageslicht aus. Der Raum war ständig durch elektrisches Licht erhellt.

Für die vorliegenden Untersuchungen verwendete ich in Töpfen kultivierte Tomatenpflanzen (**Solanum Lycopersicum** L.; Sorte Rhein-

lands Ruhm). Das Abschneiden des Sprosses erfolgte unter Wasser. Als Vergleichsbasis für die Absorption von Giftstoffen diene die Wasseraufnahme. Daher prüfte ich zuerst das Verhalten abgeschnittener Tomatensprosse in Wasser bei den gegebenen Versuchsbedingungen. Es zeigte sich, daß die Absorption schon vor Ablauf von 24 Stunden keinen größeren Schwankungen mehr unterworfen war (vgl. dazu *Gäumann* und *Jaag*, 1947, S. 11 ff.). Somit wurden die Pflanzen nach Entfernung des Wurzelwerkes ein Tag, bevor sie für einen Versuch Verwendung fanden, in Wasser eingestellt im Versuchsraum belassen. Am Anfang eines jeden Experimentes beobachtete ich während einiger Stunden die Wasserabsorption, die ja als Vergleichsbasis dienen sollte, worauf die Pflanze in die Versuchslösung kam. Das bedingt einen Wechsel der Potometerflasche. Daher war zu prüfen, ob schon der Austausch dieser Flüssigkeitsgefäße eine Störung in der Absorption hervorruft.

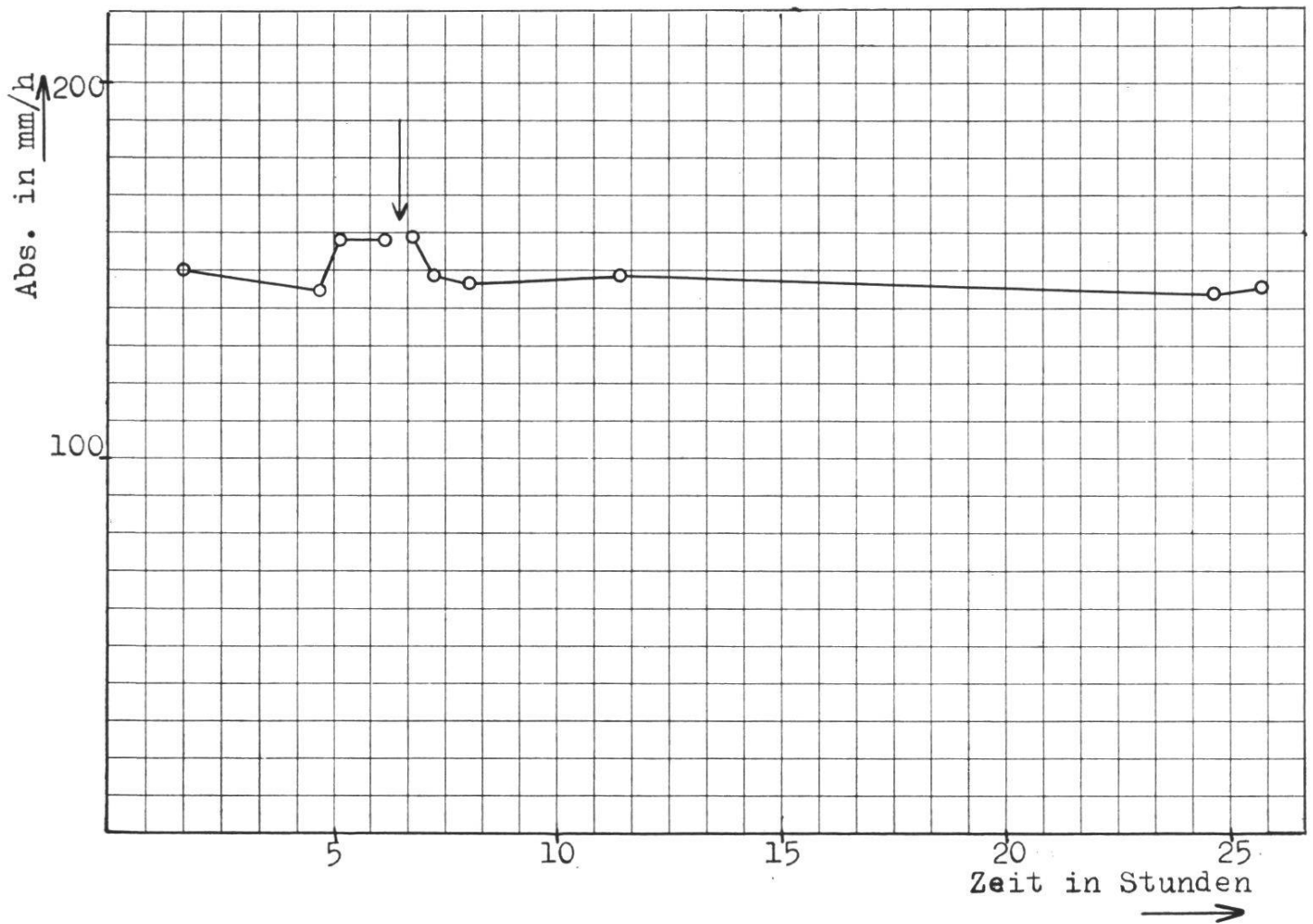
*Tabelle 25*

***Solanum Lycopersicum***

Die abgeschnittene Pflanze stand vor dem Versuch 24 Stunden in Wasser. Der transpirierende Sproß war 30 cm lang und trug 5 große und 2 kleine Blätter.

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F. in % im Versuchsraum	T in °C
150	1,67	66	16
144	4,67	67	16
158	5,17	67	16
158	5,67	67	16
158	6,17	67	16
Wasserwechsel (nahm ca. 5 Minuten in Anspruch, worauf die erste Ablesung wieder erfolgen konnte)			
159	6,75	68	16
149	7,25	70	16
147	8,00	70	16
149	11,42	69	16
143	24,67	66	16
146	25,67	66	16

Wie aus dieser Tabelle und der folgenden Kurve hervorgeht, wird die Wasseraufnahme durch den Wechsel der Potometerflasche nicht gestört.



Kurve zu Tab. 25

### **Solanum Lycopersicum**

Abgeschnittener Sproß. Wasserabsorption bei Übertragung der Pflanze von einem Gefäß in ein anderes

↑ Gefässwechsel

### *b) Versuche mit Kupferlösungen*

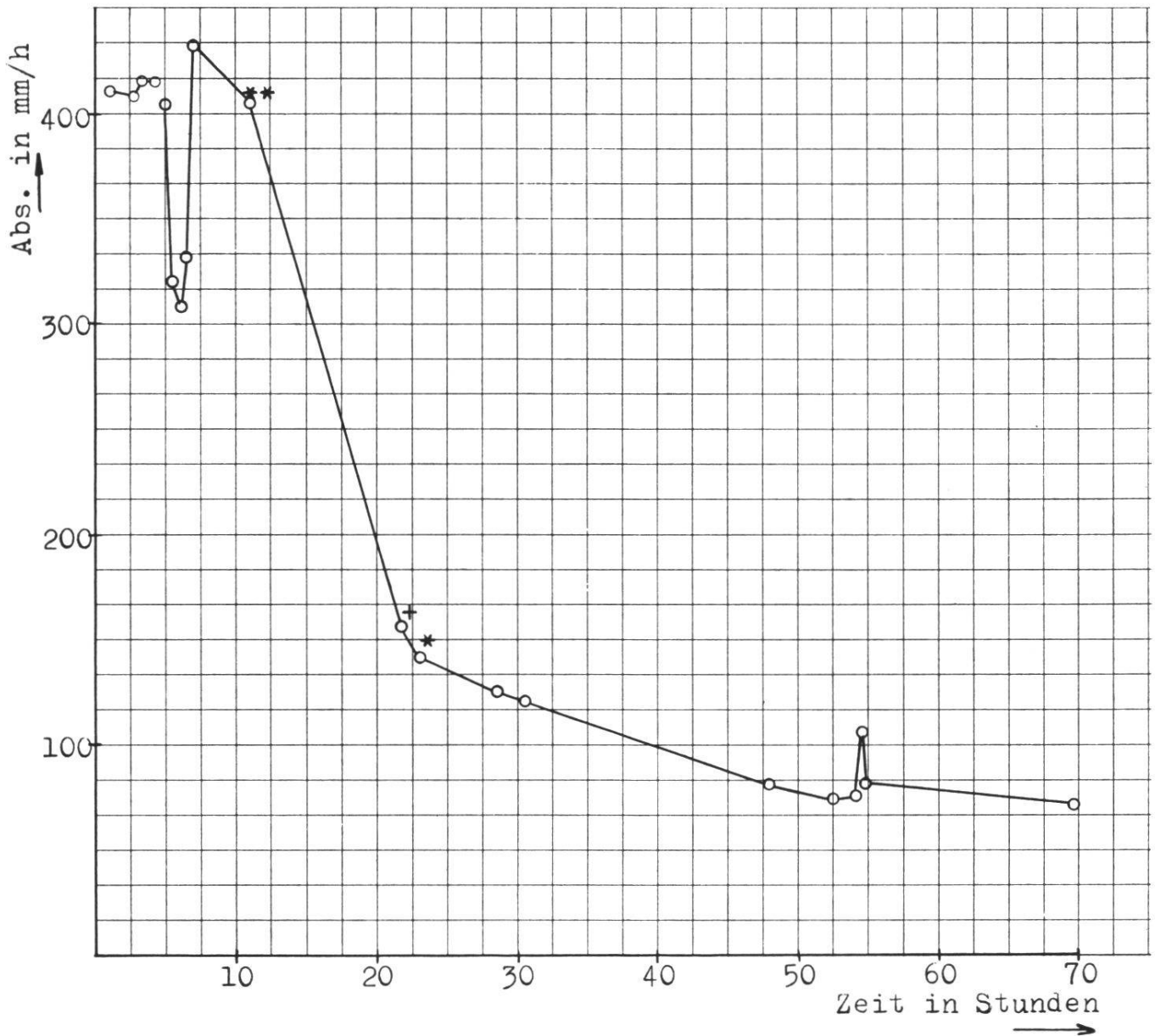
Nach der oben dargelegten Vorbehandlung wurden die über dem Wurzelwerk abgeschnittenen Tomatenpflanzen in ein Potometergefäß mit Wasser gebracht und die Absorption während mehrerer Stunden beobachtet. Darauf vertauschte ich die Flasche gegen eine solche mit der gewünschten Flüssigkeit. Für die Experimente wählte ich eine 0,004-molige Lösung, die bei Kartoffelstückchen (vgl. Tab. 22, III. Reihe) eine erhöhte Absorption bewirkte, sowie eine 0,01-molige, die denselben Effekt für **Echeveria**-Blattstückchen (vgl. Tab. 23, III. Reihe) hatte.

Tabelle 26

**Solanum Lycopersicum**

35 cm langer Sproß mit 5 kräftigen Blättern. Absorption in 0,004-moliger Kupfersulfatlösung.

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F. in % im Versuchsraum	T. in °C
411	1,00	64	16,5
409	2,92	64	16,5
416	3,42	64	16,5
416	3,92	64	16,5
416	4,42	64	16,5
0,004 Mol Kupfersulfat			
406	5,00*	64	16,5
322	5,50	64	16,5
310	6,00	64	16,5
332	6,50	65	16
432	7,00	65	16
419	9,00	65	16
406	11,00	65	16
156	21,50	64	16
150	22,00	64	16
146	22,50	64	16
142	23,00	64	16
140	23,50	64	16
140	24,00	64	16
130	27,50	64	16
128	28,00	64	16
126	28,50	64	16
126	29,00	64	16
126	29,50	64	16
121	30,50	64	16
120	32,08	64	16
85	46,50	65	16
84	47,00	65	16
83	47,67	66	16
81	48,00	66	16
75	48,75	66	16
74	52,50	66	16
76	54,00	66	16
106	54,50	66	16
82	54,75	66	16
72	69,67	66	16



Kurve zu Tab. 26

**Solanum Lycopersicum**

Absorption unter Einfluß von 0,004 Mol Kupfersulfat.

↑ Beginn der Kupfersulfatabsorption.

Nachdem die Absorptionsgeschwindigkeit des Tomatensprosses in Wasser während mehr als vier Stunden praktisch konstant geblieben war, wurde die Potometerflasche mit Leitungswasser gegen eine solche mit 0,004-moliger Kupfersulfatlösung ausgewechselt. In der ersten halben Stunde nahm die Absorption ganz unbedeutend ab, sank in der zweiten dagegen auf ca. 80 % der Anfangsgeschwindigkeit. Nach der 90. Minute nahm sie wieder zu und erreichte ihr Maximum 2 1/2 Stunden nach Übertragung der Pflanze in die Kupferlösung. Gleichzeitig konnte am Tomatenproß noch nicht die geringste Veränderung fest-

gestellt werden. Erst nach 6  $\frac{1}{2}$ -stündiger Einwirkung des Kupfersalzes, als die Absorptionsgeschwindigkeit bereits wieder zu sinken begann, weisen die untersten Blätter vereinzelte dunkle Flecken auf (in der Kurve mit \*\* bezeichnet). Die ganze Pflanze hatte im übrigen ein frisches Aussehen. Nach 17 Stunden war die Absorption fast auf  $\frac{1}{3}$  gesunken. Alle Blätter wiesen Flecken auf, und die zwei untersten begannen zu welken (in der Kurve mit + bezeichnet). Am wenigsten mitgenommen schienen noch die jüngsten. Drei Stunden später begann auch das dritte Blatt zu welken (in der Kurve mit \* bezeichnet). Merkwürdig ist der kurze Anstieg, der nach der 50. Stunde trotz Konstanz der kontrollierten Außenfaktoren beobachtet werden konnte.

Nach drei Tagen, als die Absorptionsgeschwindigkeit nur mehr schwach fiel und alle Blätter welk waren, brach ich den Versuch ab. An Stengelquerschnitten untersuchte ich darauf mit Kaliumferrocyanid die Verteilung des Kupfers. Dieses ließ sich nur im Holzkörper und in den ihn umgebenden Zellen nachweisen.

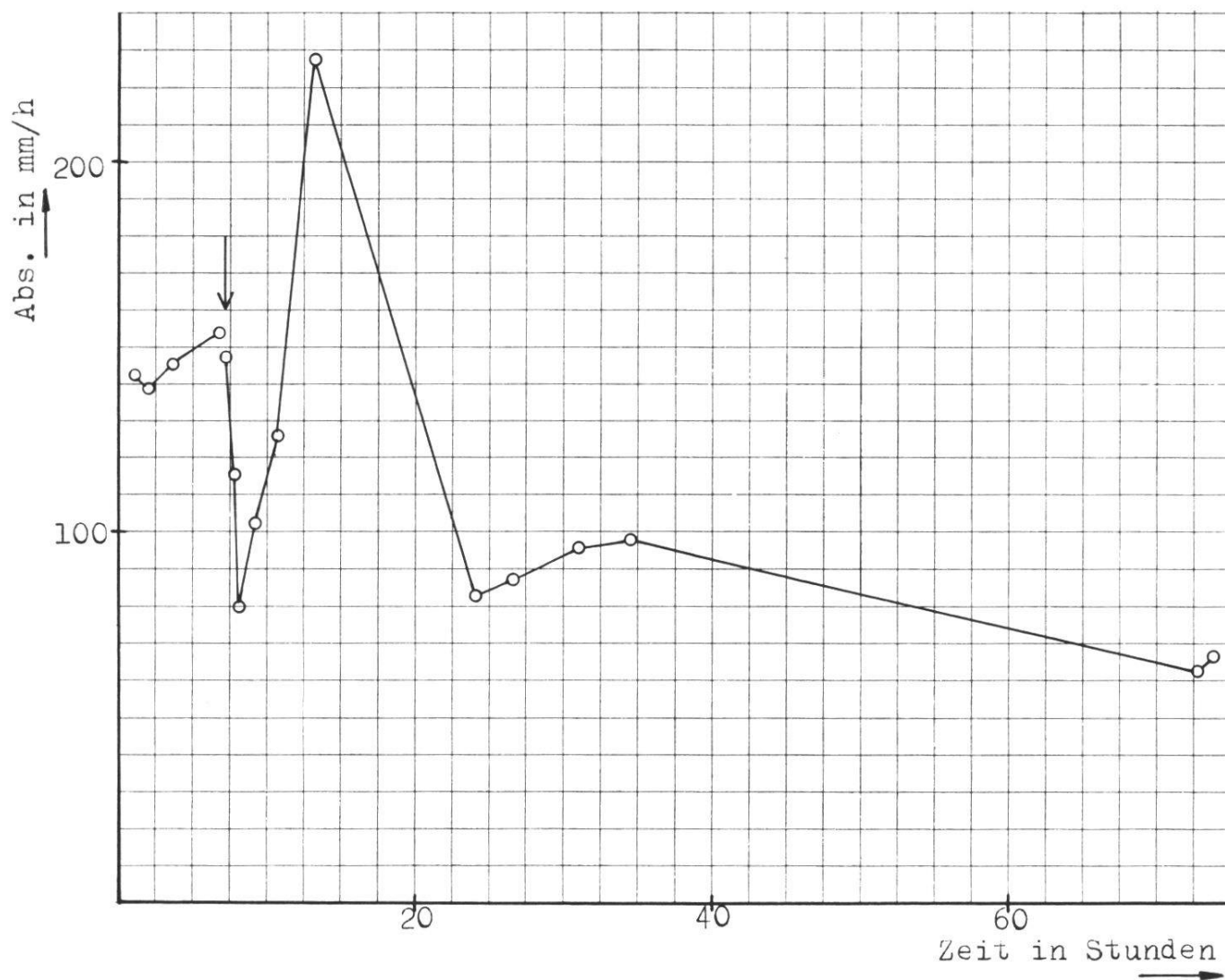
*Tabelle 27*

**Solanum Lycopersicum**

30 cm langer Sproß mit 7 kräftigen Blättern. Absorption in 0,01-moliger Kupfersulfatlösung.

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F. in % im Versuchsraum	T in °C
143	1,00	66	16
139	2,00	66	16
146	3,67	66	16
154	6,67	66	16
0,01 Mol Kupfersulfat			
148	7,25	66	16
114	7,75	66	16
80	8,25	67	16
84	8,75	68	16
102	9,25	69	16
110	9,75	70	16
120	10,25	69	16
126	10,58	69	16
207	13,00	69	16
228	13,33	69	16

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F.	
		in % im Versuchsraum	T, in °C
83	24,00	68	16
89	24,83	68	16
87	26,50	68	16
89	27,50	69	16
93	30,00	69	16
96	31,00	69	16
97	32,00	69	16
98	34,58	69	16
63	72,75	69	16
67	73,75	69	16
56	99,08	69	16



Kurve zu Tab. 27

### **Solanum Lycopersicum**

Absorption unter Einfluß von 0,01 Mol Kupfersulfat

↑ Beginn der Kupfersulfatabsorption

In der ersten halben Stunde zeigt sich, ähnlich wie beim vorigen Versuch, keine wesentliche Verringerung der Absorptionsgeschwindigkeit. In der nächsten halben Stunde erfolgt ein Abfall um rund 50 % der Anfangsgeschwindigkeit. Darauf nimmt die Absorption wieder rasch zu und erreicht den höchsten Wert 6 1/2 Stunden nach dem Giftzusatz. Dieses Maximum liegt mehr als 50 % über der anfänglichen Wasseraufnahme. Gleichzeitig kann erstmals eine geringe Schädigung festgestellt werden, die sich in einer leichten Bräunung der Nerven in den untersten Blättern äußert. 17 Stunden nach Zugabe der Kupfersulfatlösung ist die Absorption wieder auf 50 % der Anfangsgeschwindigkeit gefallen. Zugleich kann eine Braunfleckung an allen Blättern konstatiert werden. Die jüngsten sind nur an den Spitzen gebräunt. Von diesem Zeitpunkt an verläuft die Absorption wenig regelmäßig, im gesamten aber fällt sie leicht. Als der Versuch nach vier Tagen abgebrochen wurde, schienen die oberen Blätter stellenweise noch lebend.

*c) Erklärungsversuch der Einwirkung von Kupfersulfat auf die Absorption*

Für beide Konzentrationen lassen sich im Gesamtverlauf der Kurven deutlich drei Phasen unterscheiden.

**α) Subprämortale Phase**

In der ersten Phase fällt die Absorptionsgeschwindigkeit stark ab. Die Erklärung dieser Erscheinung muß in einer Erhöhung des Filtrationswiderstandes der Leitelemente und bzw. oder in einem entsprechenden Verhalten der lebenden Zellen gesucht werden. Ebenso wäre auch eine Transpirationsverminderung unter Einfluß des Kupfersalzes denkbar, worauf die Pflanze mit einer verminderten Absorption antworten könnte.

Wäre der Filtrationswiderstand der Leitelemente für Kupfersulfat dem beobachteten Absorptionsabfall entsprechend größer als für Wasser, müßte die Geschwindigkeitsabnahme schon eintreten, bevor die Lösung weitgehend in der Pflanze verteilt ist.

Mögen auch die verwendeten Kupfersalzlösungen größere Viskosität besitzen als Wasser, so kann der beobachtete Rückgang der Absorptionsgeschwindigkeit doch kaum damit erklärt werden, wie aus dem folgenden hervorsteht.

Der Viskositätskoeffizient von Wasser beträgt bei 25° 0,008941 (*Landolt-Börnstein*, I. Erg. Bd., 1927, S. 83), während eine  $\frac{n}{8}$  CuSO<sub>4</sub>-

Lösung bei 25° eine Viskosität von 1,0384 besitzt, wenn die Zähigkeit des Wassers bei der Versuchstemperatur = 1 gesetzt wird (*Landolt-Börnstein*, Hw. I, 1923, S. 155). Darnach berechnet sich der Viskositätskoeffizient einer  $\frac{n}{8}$  CuSO<sub>4</sub>-Lösung bei 25° zu 0,009284.

Die Bedeutung der Viskosität ergibt sich aus der Formel von *Poiseuille*:  $Q = \frac{\pi \cdot PR^4}{8\eta \cdot L} \cdot T$ , worin  $Q$  = Ausflußmenge in der Zeit  $T$ ,  $P$  = Druck,  $R$  = Radius des Rohrlumens,  $\eta$  = Viskositätskoeffizient,  $L$  = Länge des Rohres bezeichnen. Somit ist das Verhältnis der Ausflußmenge von Wasser ( $Q_w$ ) zur Ausflußmenge  $\frac{n}{8}$  Kupfersulfatlösung ( $Q_{Cu}$ ) den entsprechenden Viskositätskoeffizienten ( $\eta_w$  und  $\eta_{Cu}$ ) umgekehrt proportional:

$$\frac{Q_w}{Q_{Cu}} = \frac{\eta_{Cu}}{\eta_w} = \frac{0,009284}{0,008941} = 1,0383$$

Pro Zeiteinheit fließen folglich bei 25° C durch ein Rohr bei gleichen Bedingungen 3,83 % mehr Wasser als  $\frac{n}{8}$  Kupfersulfatlösung. Damit können Geschwindigkeitsabnahmen, wie sie beobachtet wurden (20-50 %), nicht erklärt werden, zumal ich mit noch verdünnteren Lösungen (0,004 und 0,01 Mol) experimentierte. Wenn nämlich mit der Konzentrationsabnahme auch die Viskositätskonstante kleiner wird, muß sich ja mit zunehmender Verdünnung die Ausflußmenge der Kupfersulfatlösung mehr und mehr derjenigen von Wasser nähern.

Handelt es sich bei diesem Geschwindigkeitsabfall um ein entsprechendes Verhalten der lebenden Zellen, sollte zu diesem Zeitpunkt die Kupferlösung schon weitgehend in der Pflanze verteilt sein. Um diese Verhältnisse nachzuprüfen, stellte ich einen über dem Wurzelwerk abgeschnittenen Tomatensproß eine halbe Stunde in eine 0,01-molige Kupfersulfatlösung. Darauf wurde die Pflanze in 4-5 cm lange Teilstücke zerschnitten, und die Schnittfläche mit Kaliumferrocyanid bestrichen. So konnte auf einer Länge von 20 cm in aller Deutlichkeit Kupfer nachgewiesen werden. An Längsschnitten war auf weitere 5 cm nur mehr eine äußerst geringe Bräunung nachweisbar, die sich allmählich verlor. Obwohl sich Kupfer nur über eine Länge von 25 cm feststellen ließ, liegt die Vermutung nahe, daß die Kupferionen doch weiter hinaufgestiegen waren, vielleicht bis zur Spitze des 35 cm langen Sprosses, was ich aber mit der relativ groben Methode nicht mehr nachweisen konnte. Diese Vermutung mag durch Versuche von *Gäumann* und *Jaag* (1947, S. 19 und 20) gestützt werden. Sie fanden, daß Eosin

beispielsweise rund eine halbe Stunde benötigte, um durch sämtliche Gewebe ihres vermutlich noch längeren Tomatensprosses transportiert zu werden.

Die Absorption durch die lebende Zelle wird von verschiedenen Faktoren bestimmt. Eine Rolle spielt dabei die Saugkraftdifferenz Zelle – Gefäß. Zudem sind auch Elastizitätsverhältnisse sowie Permeabilität von Zellwand und Plasma in Betracht zu ziehen (vgl. *Ursprung*, 1918, S. 524).

Um die Bedeutung der Saugkraft der Versuchslösung für die Absorptionsgeschwindigkeit zu untersuchen, beobachtete ich im folgenden Versuch das Verhalten eines Tomatensprosses in einer Rohrzuckerlösung. Vorerst versuchte ich mittels einer Dampfdruckmethode die den verwendeten Kupfersulfatlösungen isotonischen Rohrzuckerkonzentrationen zu ermitteln, was aber nicht gelang. Da die Kupfersalzlösungen mit der unbekannten Saugkraft stark verdünnt waren (0,004 und 0,01 Mol), mußte mit solch minimalen Konzentrationsunterschieden gearbeitet werden, daß die Empfindlichkeit dieser Methode nicht mehr genügte.

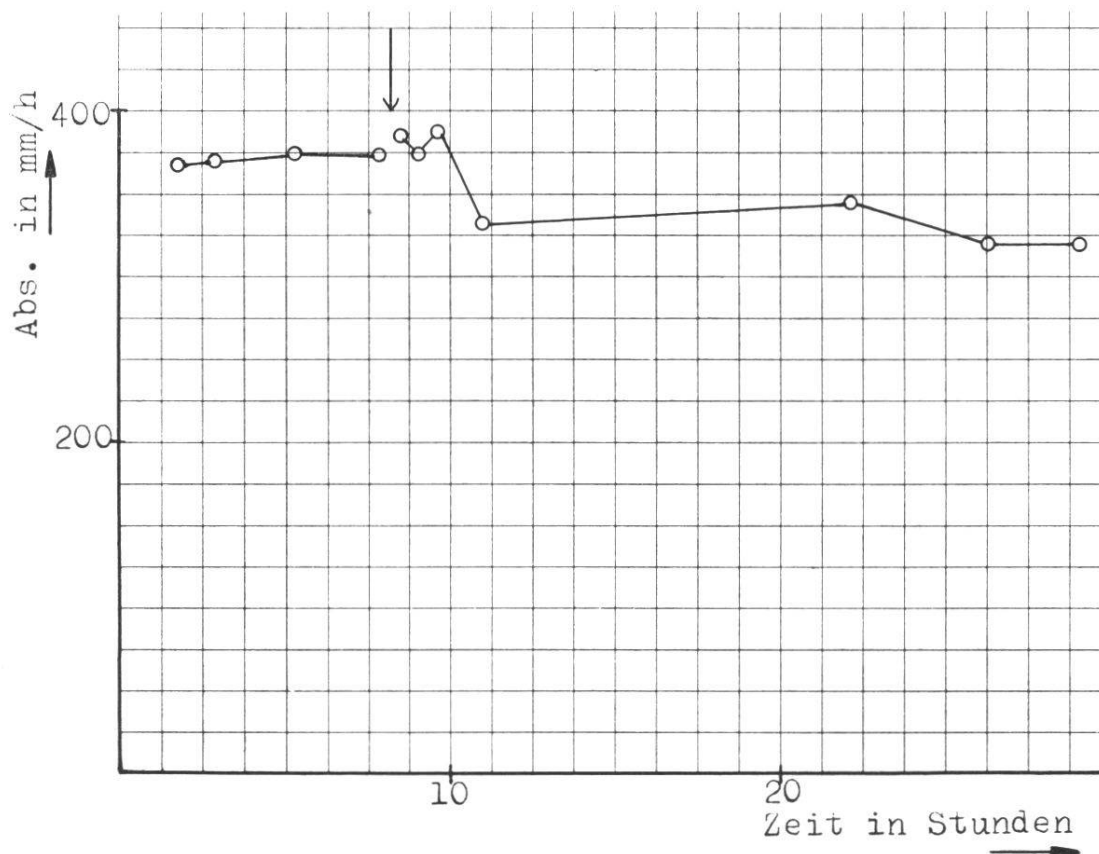
Ich wählte eine 0,15-molige Rohrzuckerlösung, deren Saugkraft nur wenig verschieden sein dürfte von einer 0,1-moligen Kupfersulfatlösung.

*Tabelle 28*

***Solanum Lycopersicum***

Ca. 35 cm langer Sproß mit 8 Blättern. Absorption in 0,015-moliger Rohrzuckerlösung.

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F	
		in ‰ im Versuchsraum	T in °C
367	1,75	81	19,5
370	2,92		
375	5,25		
374	7,83		
0,015 Mol Rohrzucker			
386	8,50	80	19,5
374	9,00	80	19,5
390	9,50	80	19,5
333	11,00	85	19,5
344	22,17	85	19
320	26,25	85	19
319	29,00	85	19



Kurve zu Tab. 28

### **Solanum Lycopersicum**

Absorption unter Einfluß von 0,015 Mol Rohrzucker

↑ Beginn der Rohrzuckerabsorption

Erst nach  $1\frac{1}{2}$ -ständiger Absorption in Zuckerlösung beginnt die Kurve zu sinken, wogegen in Kupfersulfat schon in der zweiten halben Stunde ein Geschwindigkeitsabfall zu verzeichnen war. Ein starker Einfluß der Zuckerlösung auf die Wasseraufnahme ist aus diesem Rückgang nicht zu folgern, zumal gleichzeitig die Luftfeuchtigkeit im Versuchsraum etwas anstieg. Daß der Geschwindigkeitsverlust erst zwischen der 80. und 190. Minute eintrat, darf kaum mit der steigenden Zuckerkonzentration in den Leitungselementen in Zusammenhang gebracht werden; wäre das der Grund, müßte die Kurve auch weiterhin abfallen.

Wenn der vorliegende Versuch auch auf eine gewisse Absorptionsabnahme in Rohrzuckerlösung hindeutet, so ist sicher nicht die Saugkraft als einziger Faktor für die in Kupfersulfat beobachtete Geschwindigkeitsabnahme in Betracht zu ziehen. Weiter scheint mir, daß diese

erste Phase nicht mit einer entsprechenden Zunahme des Filtrationswiderstandes der Zellwände unter Einfluß des Kupfersalzes zu erklären sei ; denn würde die Kupfersalzlösung tatsächlich die Permeabilität der Zellwände herabsetzen, wäre schwer einzusehen, warum in der nachfolgenden Phase die Kupferlösung mit einem Male dieselben Zellwände wieder leichter passieren sollte.

Findet dieses Verhalten seine Deutung nicht in einer Herabsetzung der Wasserabgabe, bleibt als letzte Erklärungsmöglichkeit noch eine entsprechende Abnahme der Wasserpermeabilität des Protoplasmas. Da ich keine Transpirationmessungen ausführte, möchte ich mich auf Untersuchungen von *Gäumann* und *Jaag* (1947, S. 5) beziehen. Sie bestimmten gleichzeitig Absorption und Transpiration an Tomatenpflanzen unter Einfluß von Lycomarasmin. Wenn es sich auch um verschiedenartige Stoffe handelt, so hat das Kupfersalz doch die Eigenschaft, Eiweiße zur Koagulation zu bringen, was die besagten Autoren auch für Lycomarasmin nachwiesen (*Gäumann* und *Jaag*, 1947a, S. 241). Über die Koagulationsfähigkeit von Schwermetallsalzen schreibt *Kaho* (1933, S. 664) : « Die große Kolloidaktivität zusammen mit starker Adsorbierbarkeit macht die Schwermetallsalze zu wirksamsten Plasmagiften. Es wird angenommen, daß dabei die Hauptwirkung den Kationen zukommt und die Anionen fast keinen Einfluß auf die Koagulation ausüben. » Der subprämortale Bereich dürfte der von *Gäumann* und *Jaag* (1947, S. 17 ff.) beobachteten Schockphase entsprechen, womit sie den unmittelbar auf die Lycomarasminzugabe erfolgten Absorptionsabfall bezeichneten. Da überhaupt Kupfersulfat eine ähnliche Veränderung der Wasseraufnahme bewirkt, wie Lycomarasmin, könnte man sich denken, daß beide Stoffe auch die Wasserabgabe in analoger Weise beeinflussen. Nach den Untersuchungen der besagten Autoren scheinen Absorption und Transpiration meistens gleichsinnig zu verlaufen. Dagegen läßt sich in einzelnen Versuchen eher ein Nachhinken der Transpirations-hinter der Absorptionskurve herauslesen (vgl. *Gäumann* und *Jaag*, 1947, S. 27 und 29).

Die erste Phase kann somit kaum auf ein entsprechendes Verhalten der Wasserabgabe zurückgeführt werden. Der Absorptionsabfall, den die geringe Saugwirkung der Versuchslösungen und deren unbedeutend höhere Viskosität allein nicht erklären können, scheint somit auf einer entsprechenden Abnahme der Wasserpermeabilität des Protoplasmas zu beruhen.

### β) Phase des prämortalen Anstiegs

Auf den Absorptionsabfall in der ersten Phase folgt plötzlich wieder ein überraschender Anstieg (vgl. Kurven zu Tab. 26 und 27). Bei beiden Versuchen liegt das Maximum über dem Betrag der anfänglichen Wasseraufnahme. In der 0,01-moligen Kupfersulfatlösung wird diese sogar um rund einen Drittel überstiegen. Diese Verhältnisse decken sich mit Beobachtungen, die mit der Hebelmethode gemacht wurden (vgl. Tab. 22, 23 und 24). Innerhalb eines gewissen Konzentrationsbereiches war auch bei dieser Versuchsanordnung eine stärkere Absorption als in Wasser zu verzeichnen. Diese Phase erinnert an den prämortalen Anstieg, wie er für Gewebestückchen und ganze Sprosse bei erhöhter Temperatur festgestellt wurde. Ein Unterschied besteht aber darin, daß unter Einfluß von Kupfersulfat die übersteigerte Absorption zeitlich weiter ausgedehnt war. Kupfersulfat löst somit eine Zeitreaktion (vgl. Tab. 26 und 27) aus (vgl. *Pringsheim*, 1925 S. 13), während der prämortale Anstieg bei erhöhter Temperatur einer Momentreaktion (vgl. Tab. 18) gleichkommt. Aus den Erklärungsversuchen für diese Phase geht bereits hervor, daß auch hier die Deutung in erster Linie in einem entsprechenden Verhalten des Protoplasmas, d. h. in diesem Falle in einer Erhöhung der Wasserpermeabilität zu suchen ist. Eine erhöhte Absorption könnte allerdings auch die Folge einer steigenden Transpiration sein. Da aber mit der Hebelmethode, also bei fehlender Transpiration, dieselbe Erscheinung beobachtet werden konnte, liegt eine gewisse Berechtigung vor, auch den bei Potometerversuchen festgestellten Absorptionsanstieg zur Hauptsache auf eine Permeabilitätszunahme des Protoplasmas für Wasser zurückzuführen.

### γ) Letale Phase

Nachdem in der zweiten Phase ein Maximum erreicht ist, beginnt die Kurve praktisch ständig zu fallen. Die durch die Kupferlösungen abgetöteten, oder mindestens schwer geschädigten Zellen, beginnen ihre Semipermeabilität zu verlieren und pressen zufolge des Wanddruckes Zellsaft aus. Die Absorption war allerdings die ganze Versuchsdauer über nie negativ. Wie oben erwähnt wurde, handelt es sich ja um eine Zeitreaktion und nicht um ein rasches und gleichzeitiges Absterben aller Zellen. Somit dürfte im vorliegenden Falle die Transpiration, wie sie auch durch totes Gewebe hindurch erfolgen kann,

während der ganzen Beobachtungszeit über so groß gewesen sein, daß trotz Austritt des Zellsaftes die Absorption noch positiv blieb.

#### Zusammenfassung

1. An Kartoffelstückchen gelang es, diejenige Kupfersulfatkonzentration zu ermitteln, die der Saugkraft des Untersuchungsgewebes annähernd gleichkommt. Diese dürfte bei ca. 0,25 Mol  $\text{CuSO}_4$  liegen (vgl. Tab. 21).
2. Mit der Hebelmethode konnte an verschiedenen pflanzlichen Objekten (*Solanum tuberosum*, *Echeveria metallica*, *Sempervivum spec.*) beobachtet werden, daß Kupfersulfatlösungen in bestimmten, niedern Konzentrationen rascher absorbiert wurden als destilliertes Wasser, was einer Permeabilitätserhöhung des Plasmas für Wasser zuzuschreiben ist. In höhern Konzentrationen war die Absorption geringer als in der Vergleichsflüssigkeit (destilliertes Wasser). Dieses Verhalten mag auf eine Saug- und Giftwirkung des Kupfersalzes zurückgeführt werden.
3. Der Einfluß von Kupfersulfat auf die Pflanze wurde auch mit Hilfe der Potometermethode untersucht. Im Absorptionsverlauf ließen sich für beide verwendeten Konzentrationen (0,004 und 0,01 Mol) drei charakteristische Phasen unterscheiden.
  - a) Ca.  $\frac{1}{2}$  Stunde nach Zugabe der Kupferlösung trat eine starke Herabsetzung der Absorptionsgeschwindigkeit ein. Dieser Bereich wurde als *subprämortale Phase* bezeichnet. Nebst einer geringen Saugwirkung der Kupfersulfatlösungen muß für diesen Absorptionsabfall zur Hauptsache eine Permeabilitätsabnahme des Plasmas für Wasser angenommen werden.
  - b) Der folgende Absorptionsbereich, der als *Phase des prämortalen Anstiegs* bezeichnet wurde, ist durch einen starken Geschwindigkeitsanstieg gekennzeichnet. In einem Falle liegt das Maximum sogar 50 % über der Anfangsgeschwindigkeit. Die Erklärung dieses Verhaltens muß vorwiegend in einer steigenden Permeabilitätszunahme des Plasmas für Wasser gesucht werden.
  - c) In der dritten Phase nahm die Absorption ständig ab, am Anfang rasch, gegen den Schluß hin unmerklich oder überhaupt nicht mehr. Es ist das die *letale Phase*; denn hier kommt in

erster Linie die Reaktion sterbender und abgestorbener Zellen zum Ausdruck. Die Permeabilität des Plasmas hat so stark zugenommen, daß dieses auch für den Zellinhalt durchläßig wird, worauf die Zelle zufolge des Wanddruckes Zellsaft auspressen kann.

Für den Absorptionsverlauf im prämortalen und letalen Bereiche muß eine ständige Permeabilitätszunahme des Protoplasmas angenommen werden. Diese Phasen sind somit vergleichbar der prämortalen und letalen Zone, die für die Absorption bei steigender Temperatur unterschieden wurden (vgl. Tab. 18). Speziell über Permeabilitätsänderung durch Schwermetallsalze schreibt *Lepeschkin* (1937, S. 54 und 55) : « Andererseits ist schon seit *Pfeffer* (1877) bekannt, daß auch schwache Säuren, Schwermetallsalze und andere Stoffe, die keinen Einfluß auf Lipide ausüben, die osmotischen Eigenschaften des Protoplasmas verändern können. Die Permeabilitätszunahme für wasserlösliche Stoffe unter der Einwirkung von Sublimat, das nur auf Eiweißkörper und nicht auf Lipide einwirkt, wurde neuerdings von *Boas* (1930) beobachtet. » Eine anfängliche Permeabilitätsabnahme, wie sie tatsächlich auf Grund der Potometerversuche zu folgern ist, läßt sich aus dieser Angabe nicht herauslesen, sondern einzig die prämortale und die letale Phase werden dadurch erklärt. Es scheint sich vielmehr um eine analoge Permeabilitätsbeeinflussung zu handeln, wie sie *Martens* (1942, S. 256) für Anästhetika beschrieb : « L'effet narcotique (concentrations faibles) correspond à une diminution de la perméabilité protoplasmique ; l'effet toxique (concentrations fortes) à son augmentation. » (Vgl. dazu auch *Eichberger*, 1934, S. 606). Ersteres mag für die Phase der vermutlichen Permeabilitätsabnahme, letzteres für die prämortale und die letale Phase zutreffen.

## **IV. Der Einfluß von Pikrinsäure auf die lebende pflanzliche Zelle**

### **A. Einleitung**

Pikrinsäure gilt allgemein als ein rasch wirkendes Gift für die lebende Zelle. Diese Eigenschaft ist mitbestimmend für ihre Verwendung in der Fixierungstechnik. So benutzte *Strasburger* (1893) Pikrinsäure für seine Abtötungsversuche. Er stellte einen rund 22 m hohen Eichen-