

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: IV: Der Einfluss von Pikrinsäure 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: 30.01.2026

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

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 Bereich 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 Lipoide 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 Lipoide 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-

stamm in gesättigte Pikrinsäurelösung. Durch Absorption dieses Giftstoffes sollten die lebenden Zellen abgetötet werden. Nach rund drei Tagen, als die Lösung über 15 m in den Leitungsbahnen aufgestiegen war, wurde der Pikrinsäure des Absorptionsgefäßes Fuchsin zugesetzt. Auf Grund der nach dieser Behandlung bis fast 22 m hoch emporsteigenden Fuchsinpikrinsäure glaubte *Strasburger*, eine Nichtbeteiligung lebender Zellen am Saftsteigen belegt zu haben (vgl. S. 10 ff.). Zu diesem Versuch schreibt er u. a. folgendes (S. 15) : « In Bahnen, die mit Pikrinsäure getödtet waren, stieg die Fuchsinpikrinsäure 3 Tage später bis zu fast 22 m Höhe nach. Die Pikrinsäure wird bekanntlich in der pflanzlichen und thierischen Histologie benutzt, um rasche Tödtung des Protoplasma, das sie unverändert fixiert, zu bewerkstelligen. An dem Tod der die Leitungsbahnen umgebenden Elemente war somit in diesem Falle, zur Zeit, da die Fuchsinslösung nachrückte, nicht zu zweifeln ; er wurde von mir auch durch directe Untersuchung der Zweige in verschiedener Höhe constatirt. » Zu früheren, ähnlichen Abtötungsversuchen *Strasburgers* hatte *Schwendener* (1892 S. 935) bereits schon folgendes bemerkt : « Auf die Versuche mit giftigen Lösungen habe ich keine Veranlassung näher einzugehen. Es kehren im Wesentlichen dieselben Momente wieder, auf welche soeben hingewiesen wurde. Das Ausgangsstadium ist auch hier ein künstlich herbeigeführter wasserreicher Zustand. Dann folgt eine Saugwirkung, welche sich zunächst nur auf den wässerigen (nicht giftigen) Zellsaft bezieht, wobei die Mitwirkung lebender Zellen natürlich nicht ausgeschlossen ist. Etwas später beginnt der Aufstieg der giftigen Lösung, eine Strecke weit voraussichtlich in zusammenhängenden Säulen, dann in *Jamin'schen Ketten*, also unter ähnlichen Verhältnissen, wie in dem vorhin erörterten Falle. Es ist also nicht zu verwundern, wenn bei diesem Versuche die Steighöhe des Giftes gelegentlich etwas mehr als 10 m betrug. Überdies ist es zweifelhaft, ob die lebenden Zellen immer sofort getödtet wurden. »

Ewart (1908, S. 341) wiederholte *Strasburgers* Abtötungsversuche. Pikrinsäure hielt er aber für solche Untersuchungen als wenig günstig. Er sagt dazu folgendes (S. 385) : « Preliminary testing soon showed that picric acid is not a satisfactory substance to use, owing to its pronounced retention by the walls of the wood vessels. As regards lateral diffusion, it is intermediate between such substances as lithium chloride and eosin, which diffuse readily laterally, and such substances

as sodium sulphindigotate, indigo carmine, iron chloride, sulphocyanide which diffuse little or not at all laterally and so remain restricted to confined paths. » Für Abtötungsversuche verwendete später Overton (1911, S. 102) wiederum u. a. Pikrinsäure. Der Stengel einer *Cyperus*-Pflanze wurde mit einem Glasrohr umgeben, das die Versuchslösung enthielt, womit der Stengel partiell abgetötet werden sollte. « From these experiments with picric acid, alcohol, and CuSO₄, we see that it is possible to kill a portion of the stem without completely disorganizing the killed stretch and without interfering with its conducting capacity » (vgl. S. 105). Eine *Cyperus*-Pflanze, deren Stengel er auf 10 cm Länge während 48 Stunden mit Pikrinsäure umgeben hatte, soll nach fast 1 1/2 Monaten in gutem Zustand gewesen sein (S. 106). Bei dieser Behandlung drang die Pikrinsäure jedenfalls nicht in dem Maße ein, daß eine völlige Abtötung erfolgte. Den Nachweis dürfte Ursprung (1912, S. 319) erbracht haben. Er schreibt : « Zur Nachprüfung verwendete ich Pikrinsäure. Ein intakter Cyperushalm wurde auf 3 cm Länge mit Pikrinsäure umgeben ; die Blätter blieben turgeszent. Ein ähnlicher Cyperushalm wurde gleich behandelt, die Epidermis und wohl auch noch angrenzende Zellen aber vorher entfernt ; die Blätter fingen nach 2 Tagen an zu welken und zu dorren. Einige andere stärkere Cyperushalme umgab ich auf 7 cm Länge mit Pikrinsäure- oder Kupferchloridlösung, bald wurden die Halme an der betreffenden Stelle nicht verletzt, bald der periphersten Schichten beraubt und eventuell auch noch mit einem Längsschnitt versehen. Das Absterben erfolgte bei den Pflanzen mit verletzten Halmen in der Regel nach 1-2 Tagen, in einem Falle nach 3-4 Tagen. Blieben die Blätter turgeszent, so ließen sich in der behandelten Halmpartie lebende Zellen nachweisen ».

Zu ähnlichen Resultaten führten übrigens auch die Untersuchungen von Martens (1942, S. 281), der den Einfluß von Pikroformol auf Staubfadenhaare von *Tradescantia* untersuchte. Das Ergebnis formulierte er folgendermaßen (S. 282) : « Toute cellule protégée par sa cuticule se montre donc rétive à la fixation ».

B. Eigene Untersuchungen

Zu den vorliegenden Versuchen verwendete ich Pikrinsäure (C₆H₃O₇N₃) von der Firma Kahlbaum. Sie besitzt ein Molekulargewicht von 229,05. Die Wasserlöslichkeit beträgt nach Schreiner (Landolt-

Börnstein, I. Erg. Bd. 1927, S. 273) 0,0575 Mol pro Liter bei 25°. Ich ging aber nicht von einer sogenannten gesättigten Lösung aus, wie sie Strasburger für seine Versuche gebrauchte. Um mit Lösungen genau bekannter Konzentrationen zu arbeiten, wählte ich eine 0,05-molige Stammlösung, aus welcher die übrigen verwendeten Konzentrationen durch Verdünnen mit destilliertem Wasser hergestellt wurden.

1. Untersuchungen mit der Hebel- und der Wägemethode

a) *Solanum tuberosum L.*

In höhern Konzentrationen, wo die Dickenänderung einen eindeutigen Verlauf nahm, führte ich nur je zwei Experimente aus und berechnete das Mittel. Für verdünntere Lösungen mußten dagegen mehrere Versuche angestellt werden, da die Absorption gegenüber der Wasseraufnahme nur wenig verschieden war. Die Objektgröße war die gewohnte : Parallelepipedo von 1,2 mm Dicke und 6 mm² Grundfläche.

Wie Tabelle 29 zeigt, verhalten sich Kartoffelstückchen in Pikrinsäure ähnlich wie in Kupfersulfat : Je höher die Konzentration ist, umso frühere und umso stärkere negative Absorption läßt sich konstatieren. Im Unterschied zum Kupfersulfat scheint die Pikrinsäure etwas giftiger zu sein. In einer 0,02-moligen Kupfersulfatlösung wurde

Tabelle 29

Solanum tuberosum

Absorption in Pikrinsäure. Mittel von je 2 Versuchen.

Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten									
	I. Reihe									
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 24	+ 34	+ 42	+ 49	+ 55	+ 60	+ 64			
	1	2	3	4	5	6	7			
	+ 68	+ 72	+ 76	+ 94	+ 108	+ 122	+ 135			
	8	9	10	15	20	25	30			
	+ 21	+ 32	+ 38	+ 42	+ 45	+ 48	+ 50			
0,05 Mol Pikrinsäure	1	2	3	4	5	6	7			
	+ 51	+ 50	+ 48	+ 44	+ 37	+ 24	+ 8			
	8	9	10	15	20	25	30			

Versuchs-
flüssigkeit

Dickenänderung
nach Minuten

II. Reihe

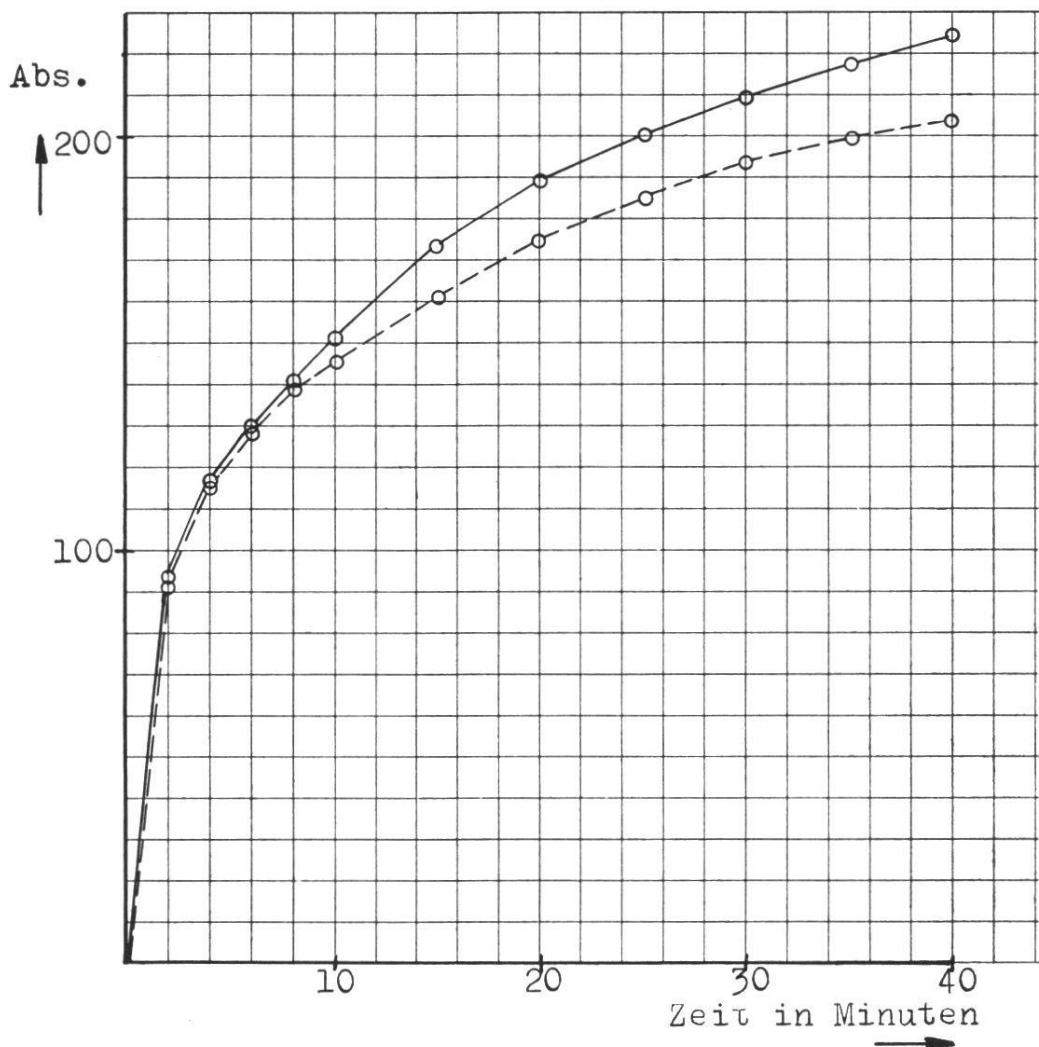
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 37	+ 50	+ 63	+ 76	+ 88	+ 98	+ 106	+ 112
	1	2	3	4	5	6	7	8
	+ 118	+ 124	+ 149	+ 170	+ 188	+ 204	+ 214	+ 223
	9	10	15	20	25	30	35	40
0,02 Mol Pikrinsäure	+ 18	+ 28	+ 33	+ 38	+ 43	+ 47	+ 52	+ 57
	1	2	3	4	5	6	7	8
	+ 62	+ 67	+ 86	+ 98	+ 102	+ 98	+ 89	+ 78
	9	10	15	20	25	30	35	40

III. Reihe

Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 56	+ 78	+ 90	+ 100	+ 108	+ 116	+ 123	+ 130
	1	2	3	4	5	6	7	8
	+ 135	+ 139	+ 158	+ 172	+ 184	+ 193	+ 202	+ 208
	9	10	15	20	25	30	35	40
0,01 Mol Pikrinsäure	+ 20	+ 31	+ 39	+ 46	+ 52	+ 57	+ 62	+ 67
	1	2	3	4	5	6	7	8
	+ 71	+ 75	+ 90	+ 100	+ 106	+ 110	+ 112	+ 111
	9	10	15	20	25	30	35	40

während 30 Minuten ständig Dickenzunahme beobachtet (vgl. Tab. 22 II. Reihe), wogegen dieselbe Pikrinsäurekonzentration von der 25. Minute ab negative Absorption bewirkt (vgl. Tab. 29, II. Reihe). Zudem tritt in den Pikrinsäurelösungen nach einem erreichten Maximum eine raschere Dickenabnahme ein als in den Kupfersulfatlösungen.

Während in einer 0,005-moligen Pikrinsäurelösung die Absorptionsgeschwindigkeit immer noch geringer ist als in Wasser, bewirkt eine 0,001-molare Lösung bereits eine erhöhte Absorption. Das Verhalten ist somit auch in niedrigen Konzentrationen ähnlich dem in Kupfersulfatlösungen. Ein Unterschied besteht darin, daß dieser Anstieg der Absorptionsgeschwindigkeit bereits in einer 0,004-moligen Kupfersulfatlösung beobachtet werden konnte, was für Pikrinsäure erst bei einer Verdünnung von 0,001 Mol der Fall ist.



Kurve zu Tab. 30, II. Reihe

Solanum tuberosum

— — — Absorption in Wasser
— — — Absorption in 0,001 Mol Pikrinsäure

Tabelle 30

Solanum tuberosum

Absorption in niedrigen Pikrinsäurekonzentrationen. Mittel von je 10 Versuchen.

Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten									
	I. Reihe									
Wasser	+ 58	+ 74	+ 85	+ 92	+ 98	+ 104	+ 109	+ 114		
(Vergleichs- flüssigkeit)	1	2	3	4	5	6	7	8		
	+ 118	+ 122	+ 136	+ 148	+ 158	+ 168	+ 177	+ 185		
	9	10	15	20	25	30	35	40		

Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten								
	+ 52	+ 70	+ 82	+ 90	+ 96	+ 102	+ 106	+ 110	
0,005 Mol Pikrinsäure	1	2	3	4	5	6	7	8	
	+ 113	+ 116	+ 128	+ 138	+ 147	+ 154	+ 160	+ 165	
	9	10	15	20	25	30	35	40	
<i>II. Reihe</i>									
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 66	+ 91	+ 105	+ 115	+ 122	+ 128	+ 134	+ 139	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	+ 143	+ 146	+ 161	+ 175	+ 185	+ 193	+ 199	+ 204	
	9	10	15	20	25	30	35	40	
0,001 Mol Pikrinsäure	+ 70	+ 93	+ 107	+ 116	+ 123	+ 130	+ 136	+ 141	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	+ 146	+ 151	+ 174	+ 189	+ 200	+ 209	+ 217	+ 224	
	9	10	15	20	25	30	35	40	

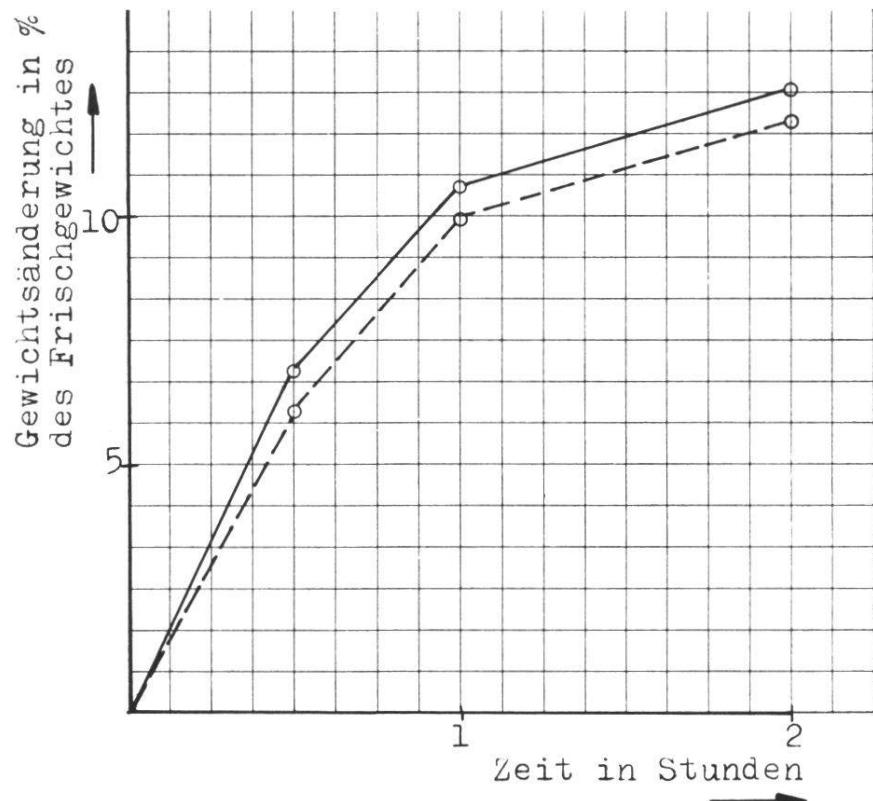
Zur Kontrolle wurde dieses Verhalten auch mit der Wägemethode untersucht. Mit Korkbohrer und Rasierklinge stellte ich aus Kartoffeln pillenförmige Objekte von ca. 700 mg Gewicht her. Insbesondere achtete ich auf eine gleichmäßige Beschaffenheit des Untersuchungsmaterials. Wie Fehler durch ungleichmäßiges Abtrocknen vermieden werden können, hat *Segmüller* (1947, S. 79 ff.) ausführlich beschrieben. Von zwei benachbarten Objekten kam jeweils das eine in Wasser, das andere in 0,001 Mol Pikrinsäure. Ich führte ebenfalls 10 Parallelversuche aus. Die Gewichtsveränderungen wurden in Prozenten umgerechnet, deren Mittelwerte in Tabelle 31 wiedergegeben sind.

Tabelle 31

Solanum tuberosum

Absorption in Pikrinsäure

	Gewichtsänderung in % nach Minuten		
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 6,06	+ 9,95	+ 11,90
	30	60	120
0,001 Mol Pikrinsäure	+ 6,87	+ 10,61	+ 12,54
	30	60	120



Kurve zu Tab. 31

Solanum tuberosum

— — — Gewichtsänderung in Wasser
— — — Gewichtsänderung in 0,001 Mol Pikrinsäure

In 0,001 Mol Pikrinsäure lässt sich auch mit der Wägemethode eine stärkere Absorption als in Wasser konstatieren (vgl. Tab. 31 und dazu gehörige Kurve). Der größte Unterschied ist nach einer halben Stunde feststellbar. Von da ab beginnen die Kurven sich einander leicht zu nähern (vgl. Zahlenwerte). Die Untersuchungen mit der Wägemethode bestätigen somit die mit der Hebelmethode gemachten Befunde.

b) *Echeveria metallica Hort.*

Herstellungsart, sowie Form und Größe der Objekte sind dieselben wie bei den Versuchen mit Kupfersulfatlösungen.

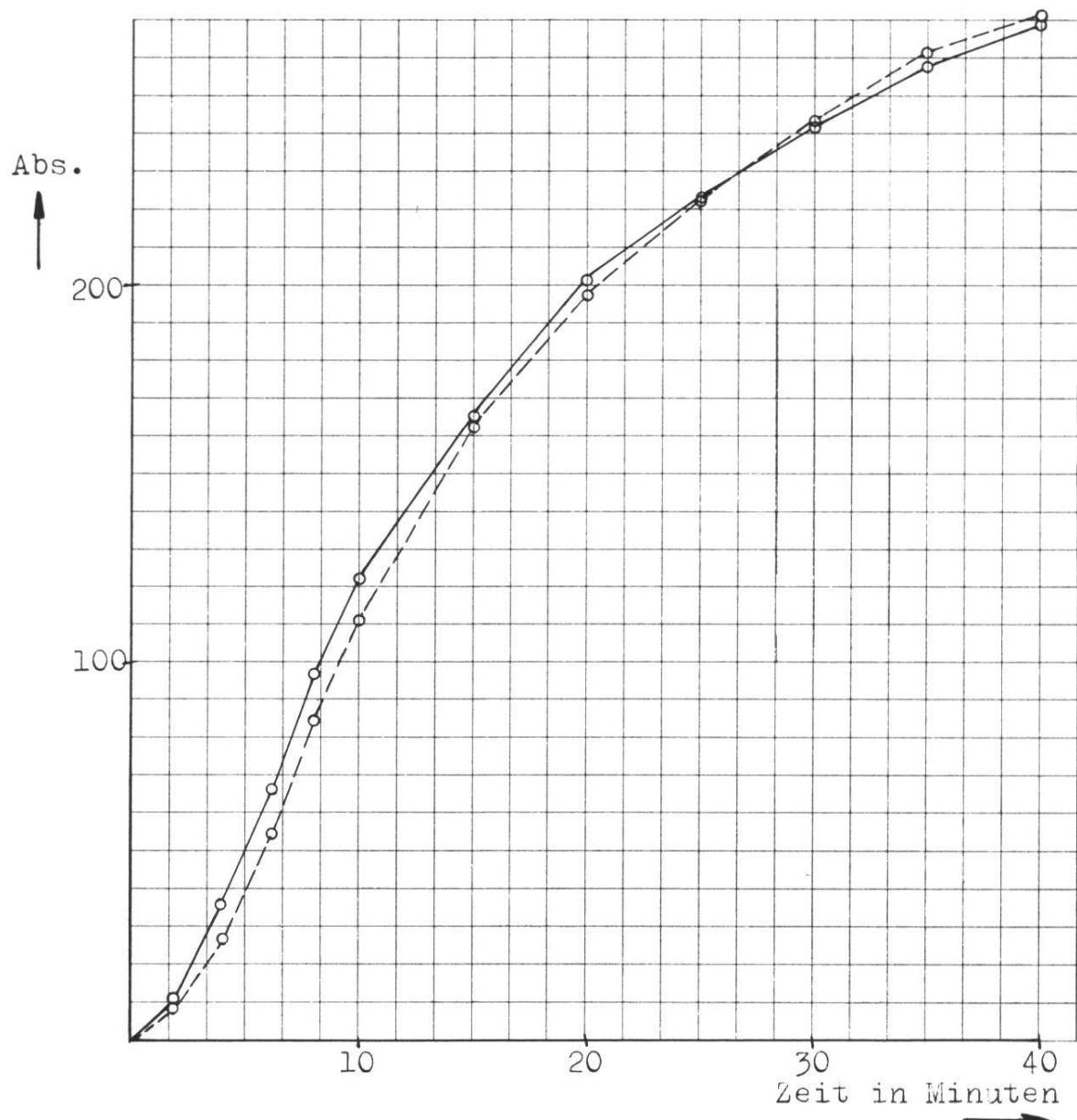
Das Blattgewebe von **Echeveria** zeigt Pikrinsäure gegenüber allgemein größere Empfindlichkeit als die Kartoffelknolle. In den Versuchen der zwei ersten Reihen kommt eine Giftwirkung in der verhältnismäßig früh eintretenden und starken negativen Absorption zum Ausdruck. Die 0,001-molige Pikrinsäurelösung bewirkt zunächst

Tabelle 32

Echeveria metallica

Absorption in Pikrinsäure

Versuchs- flüssigkeit	Dickenänderung nach Minuten
	<i>I. Reihe</i>
	(Mittel von je 2 Versuchen)
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 2 + 6 + 12 + 20 + 32 + 46 + 60 1 2 3 4 5 6 7 + 74 + 86 + 97 + 134 + 152 + 163 + 171 8 9 10 15 20 25 30
0,05 Mol Pikrinsäure	0 + 3 + 3 + 4 + 6 + 4 1 2 3 4 5 6 - 7 - 30 - 57 - 92 - 289 - 436 7 8 9 10 15 20
0,02 Mol Pikrinsäure	+ 1 + 3 + 6 + 9 + 12 + 16 + 20 1 2 3 4 5 6 7 + 22 + 24 + 26 + 28 - 38 - 144 - 229 8 9 10 15 20 25 30
	<i>II. Reihe</i>
	(Mittel von je 3 Versuchen)
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 3 + 11 + 21 + 31 + 43 + 58 + 71 + 83 1 2 3 4 5 6 7 8 + 94 + 104 + 137 + 158 + 173 + 185 + 195 + 213 9 10 15 20 25 30 35 40
0,005 Mol Pikrinsäure	+ 2 + 4 + 10 + 17 + 27 + 36 + 45 + 54 1 2 3 4 5 6 7 8 + 61 + 68 + 99 + 119 + 134 + 131 + 127 + 117 9 10 15 20 25 30 35 40
	<i>III. Reihe</i>
	(Mittel von je 10 Versuchen)
Wasser (Vergleichs- flüssigkeit)	+ 4 + 9 + 16 + 27 + 40 + 54 + 70 + 84 1 2 3 4 5 6 7 8 + 97 + 111 + 162 + 198 + 222 + 243 + 261 + 271 9 10 15 20 25 30 35 40
0,001 Mol Pikrinsäure	+ 4 + 11 + 22 + 36 + 51 + 67 + 82 + 97 1 2 3 4 5 6 7 8 + 111 + 122 + 165 + 201 + 223 + 242 + 258 + 269 9 10 15 20 25 30 35 40



Kurve zu Tab. 32, III. Reihe

Echeveria metallica

— - - - Absorption in Wasser

— — — Absorption in 0,001 Mol Pikrinsäure

eine etwas stärkere Dickenzunahme als die Vergleichslösung. Später überwiegt die Absorption in Wasser, was auf eine Giftwirkung hindeutet. Allerdings treten sowohl erhöhte wie verminderte Absorptionsgeschwindigkeit unter Pikrinsäureeinwirkung in diesem Versuch wenig deutlich in Erscheinung.

2. Untersuchungen mit der Potometermethode

Methode und Untersuchungsmaterial waren wiederum gleich wie bei den Versuchen mit Kupfersulfat. Wie Tab. 33 und 34 zeigen, wurden während eines Versuches Temperaturschwankungen von nur 0,5° festgestellt, während die relative Luftfeuchtigkeit um 1 % variieren konnte. Elektrisches Licht erhellt ständig den Versuchsraum. Den über dem Wurzelwerk abgeschnittenen Tomatensproß stellte ich in gewohnter Weise im Versuchsraum während 24 Stunden in Wasser ein. Darauf beobachtete ich ein paar Stunden lang die Wasseraufnahme, die als Vergleichsbasis für die nachfolgende Absorptionsgeschwindigkeit in der Pikrinsäurelösung dienen sollte.

Tabelle 33

Solanum Lycopersicum

Absorption unter Einfluß von 0,001 Mol Pikrinsäure

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F.	
		in %	T in °C im Versuchsraum
207	1,00	75	16
200	4,50	75	16
0,001 Mol Pikrinsäure			
211	5,50	75	16
190	6,17	75	16
162	7,50	75	16
182	10,00	75	16
202	12,25	75	16
249	22,00	75	16,5
236	24,00	75	16,5
236	27,75	75	16,5
252	31,25	74	16,5
264	34,92	74	16,5
290	46,00	75	16,5
273	48,50	75	16,5
277	51,33	75	16,5
276	56,00	74	16,5
235	70,75	74	16,5
213	75,75	74	16,5
204	79,00	74	16,5



Kurve zu Tab. 33

Solanum Lycopersicum

Absorption unter Einfluß von 0,001 Mol Pikrinsäure

↓ Beginn der Pikrinsäureabsorption

Nachdem die Wasserabsorption während $4\frac{1}{2}$ Stunden einigermaßen konstant geblieben war, wurde der Tomatensproß in eine 0,001-molare Pikrinsäurelösung übertragen. Im Verlaufe der ersten Stunde zeigte sich ein unbedeutender Geschwindigkeitsanstieg, der kaum auf eine

Beeinflussung seitens der Pikrinsäure zurückgeführt werden kann. Während der nächsten zwei Stunden fiel die Absorption auf etwa 80 % (in der Kurve mit * bezeichnet) und erreichte nach einem 14-stündigen Anstieg ein vorläufiges Maximum, das ca. 25 % über der Anfangsgeschwindigkeit lag (in der Kurve mit + bezeichnet). Möglicherweise befand sich dieses beobachtete Maximum bereits auf dem absteigenden Kurvenast; denn während der Nacht wurden fast 10 Stunden lang keine Ablesungen gemacht. Für die folgenden drei Stunden war von neuem ein leichter Geschwindigkeitsabfall zu verzeichnen. Hierauf stieg die Kurve wieder an und erreichte 40 Stunden nach Giftzusatz ein endgültiges Maximum, das die Anfangsgeschwindigkeit um 50 % übertraf (in der Kurve mit ++ bezeichnet). Schließlich nahm die Absorption mehr oder weniger ständig ab, sodaß sie drei Tage nach Versuchsbeginn wieder der Wasseraufnahme gleichkam. Als die Pflanze bereits während 27 Stunden Pikrinsäure aufgenommen hatte, war eine kaum feststellbare Verfärbung eines schmalen Streifens entlang der Blattnerven zu beobachten. Drei Stunden später wurden dann die ersten Welkesymptome deutlich, die sich in einer Erschlaffung der Spitzen der untersten Blätter äußerten. Bei den jüngsten Blättchen trat allmählich eine Bräunung bis Schwärzung am Rande ein. Nach 40-stündiger Pikrinsäureabsorption waren die Blattränder durchwegs schwarzbraun verfärbt und welk, z. T. schon dürr. Die Verfärbung pflanzte sich von den Blatträndern gegen das Blattinnere fort. Nach weiteren zwei Tagen war die Pflanze vollkommen welk und teilweise schon dürr. Die Absorptionsgeschwindigkeit betrug noch ca. 50 % der Anfangsquote.

Tabelle 34

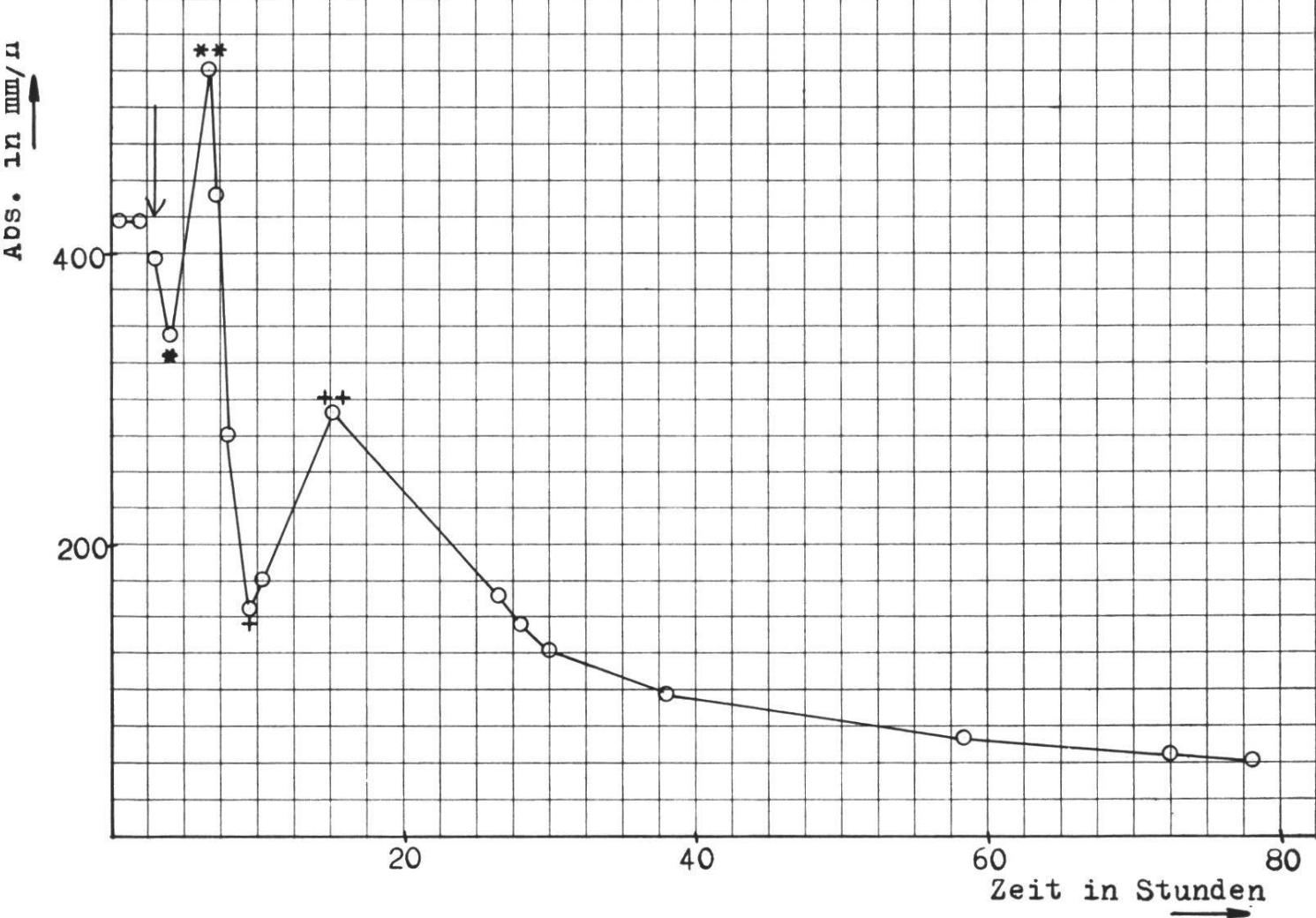
Solanum Lycopersicum

35 cm langer Sproß mit 9 Blättern und einem jungen Blütenstand. Absorption unter Einfluß einer 0,01-moligen Pikrinsäurelösung.

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F. in % im Versuchraum	T in °C
422	0,50	71	17
423	2,00	71	17

Absorption in mm/h	nach Stunden	Rel. L. F. in %	T in °C im Versuchsraum
0,01 Mol Pikrinsäure			
396	3,00	71	17,5
344	4,00	71	17,5
526	6,75	71	17,5
440	7,25	71	17,5
276	8,00	71	17,5
156	9,50	71	17,5
176	10,33	71	17,5
291	15,25	71	17,5
165	26,50	71	17,5
146	28,00	71	17,5
127	30,00	71	17,5
97	38,00	71	17
67	58,50	71	17
57	72,50	71	17,5
52	78,00	70	17,5
51	81,00	70	17,5
55	95,45	70	17,5
57	99,00	71	17,5
56	106,00	71	17,5
53	120,00	71	17,5
57	123,00	71	17,5
57	130,00	71	17,5
53	171,00	71	17,5
53	178,00	71	17,5

Der Kurvenverlauf ist im Prinzip derselbe, wie er unter Einwirkung der 0,001-moligen Pikrinsäure zu beobachten war (vgl. Tab. 33). Im vorliegenden Falle dürfte es sich einzig um einen rascheren Ablauf der verschiedenen Stadien handeln. Zwei Stunden nach Pikrinsäurezufuhr ist die Absorption auf ca. 80 % gefallen (in der Kurve mit * bezeichnet), worauf die Geschwindigkeit während $2 \frac{3}{4}$ Stunden auf das Maximum ansteigt (rund 25 % über der Wasseraufnahme ; mit ** bezeichnet). Darauf beginnt die Kurve wieder auf ein vorläufiges Minimum zu sinken (mit + bezeichnet), das $7 \frac{1}{2}$ Stunden nach Giftzusatz noch 37 % der Wasserabsorption ausmacht. Während dieses Abfalls, nämlich 6 Stunden nach Einstellen in die 0,01-molige Pikrinsäure, waren erstmals Welkeerscheinungen an den untersten Blättern zu beobach-



Kurve zu Tab. 34

Solanum Lycopersicum

Absorption unter Einfluß von 0,01 Mol Pikrinsäure

↓ Beginn der Pikrinsäureabsorption

ten. Auf einen nochmaligen Anstieg, dessen Maximum (70 % der Wasseraufnahme ; mit ++ bezeichnet) etwa 15 Stunden nach Versuchsbeginn erreicht ist, fällt die Kurve endgültig. Von 60 Stunden weg bleibt die Absorption während der folgenden fünf Tage praktisch konstant auf 13 % der Anfangsgeschwindigkeit. 15 Stunden nach Versuchsbeginn waren alle Blätter welk, mit Ausnahme der Axillarsprosse. Überhaupt blieben bei derartigen Versuchen meist die jüngsten Blätter am längsten unversehrt.

Zusammenfassung und Erklärungsversuche

1. Mit der Hebelmethode wurde festgestellt, daß Kartoffelstückchen in einer 0,001-moligen Pikrinsäurelösung eine stärkere Absorption zeigten als in Wasser, was Versuche mit der Wägemethode bestätigten. Ähnliches, wenn auch weniger eindeutiges Verhalten zeigten Blattstückchen von **Echeveria metallica** in derselben Konzentration. Es dürfte sich um eine Permeabilitätserhöhung handeln, wie sie tatsächlich unter Säureeinfluß in Erscheinung treten kann. *Lepeschkin* (1937, S. 55) schreibt dazu : « Auch die Permeabilitäts-erhöhung durch Säuren, die in kleinen Konzentrationen nur auf Eiweißkörper einwirken können, wurde bestätigt. » Speziell über die Einwirkung organischer Säuren bemerkte derselbe Autor (S. 119 und 120) : « Nach der früheren Ansicht von *Kahlenberg* und *True* (1896) wurde die schädliche Säurewirkung ausschließlich den Wasserstoffionen zugeschrieben. Diese Ansicht erwies sich jedoch nur auf Mineralsäuren anwendbar, deren Moleküle fast vollständig zu Ionen dissoziiert sind, während die Giftigkeit organischer Säuren, die verhältnismäßig schwach dissoziiert sind, stärker gefunden wurde, als es ihrem Wasserstoffionengehalt entsprach. » Diese größere Wirksamkeit organischer Säuren erklärt *Overton* (1902, S. 274) folgendermaßen : « Daß die Lösungen vieler schwacher organischer Säuren eine größere Wasseraufnahme bei Muskeln veranlassen, und sich auch bei anderen physiologischen Erscheinungen viel wirksamer erweisen, als nach Versuchen mit stärkeren Säuren bei alleiniger Berücksichtigung der elektrolytischen Dissociation zu erwarten wäre, d. h. als der Concentration der Wasserstoffionen entspricht, beruht höchst wahrscheinlich darauf, daß die Muskel-fasern und andere thierische und pflanzliche Zellen schon in völlig unversehrtem Zustand für die nicht-ionisierten Moleküle zahlrei-cher organischer Säuren (aller Säuren, deren Theilungsverhältnisse zwischen Wasser und Äther noch in stark verdünnten Lösungen zu Gunsten des Äthers, oder wenigstens nicht allzu stark zu Gunsten des Wassers ausfallen) sehr leicht durchlässig sind, während sie für Ionen erst im beschädigten Zustand oder unter ganz besonderen Umständen durchlässig sind. » Nach *Overton* (1899, S. 109) ist Pikrin-säure tatsächlich in Fetten löslich.
2. In höheren Konzentrationen ist die Absorptionsgeschwindigkeit

geringer als in Wasser. Je konzentrierter die Lösung ist, umso früher und in umso stärkerem Maße erfolgt eine Dickenabnahme. Die Giftwirkung von Kupfersulfat ist geringer als die von Pikrinsäure. Für letztere sind nämlich die Absorptionskurven bei gleichmolaren Konzentrationen früher und steiler abfallend. Die Giftigkeit beruht jedenfalls darauf, daß Pikrinsäure u. a. mit Eiweißkörpern, die als amphotere Substanzen sowohl mit Säuren als auch mit Basen Bindungen eingehen, reagieren. Dazu bemerkt *Lepeschkin* (1937, S. 123) : « Bei der schädlichen Wirkung von Säuren und Laugen auf die lebende Materie ist also eine chemische Veränderung ihrer Eiweißkörper sehr wahrscheinlich. Aber auch einige Lipoide (z. B. Phosphatide) werden durch Säuren und Laugen chemisch verändert. » Über die Wirkungsweise organischer und anorganischer Säuren sagt *Lepeschkin* (1937, S. 122) : « Im allgemeinen kann man also annehmen, daß die starken Säuren und Basen, die fast vollkommen in Ionen dissoziiert sind, im Anfang ihrer Einwirkung auf das Protoplasma hauptsächlich seine Oberfläche angreifen und nur langsam in seine inneren Teile eindringen und sie vergiften, während schwache Säuren und Basen, die in wässerigen Lösungen hauptsächlich als undissozierte Moleküle anwesend sind, schon von Anfang an die innern Protoplasmateile angreifen. » In Gewebe (jedenfalls tierische Gewebe) diffundiert Pikrinsäure nach Angaben von *Romeis* (1948, S. 69) nur langsam. Er schreibt : « Für sich allein wird die Pikrinsäure zum Fixieren nur mehr selten verwendet, da sie als solche nicht sehr rasch eindringt (nach *Tellyesniczky* in 0,75 %iger Lösung in 12 Stunden nur 1-2 mm) und ziemlich starke Schrumpfungen hervorruft, besonders im Protoplasma. »

3. Daß Pikrinsäure in ein intaktes Blatt nicht leicht eindringt, dürfte aus folgendem Versuch zu schließen sein.

Auf der Unterseite eines **Rhoeo**-Blattes randete ich einen ca. 3 cm langen und 1 cm breiten Streifen über dem Mittelnerv mit Vaseline ein. Darauf wurde 0,01-molige Pikrinsäurelösung hineingegeben und das Ganze mit einem Deckglas abgeschlossen. Zur Kontrolle machte ich dasselbe mit Wasser. Nach 19 Stunden wurden Deckglas und Vaseline entfernt und die Pikrinsäure sorgfältig abgespült. Aus den behandelten Blattflächen stellte ich sodann 3 : 3 mm große Epidermisschnitte her, überführte sie in 0,4 Mol Rohrzucker und beobachtete den Plasmolyseverlauf.

Tabelle 35

Rhoeo discolor

Plasmolyse nach Behandlung der Epidermis mit Pikrinsäure.

Epidermis behandelt mit	% der plasmolysierten Zellen			
	nach Minuten			
0,01 Mol Pikrinsäure	18,2 15	47,7 28	77,3 40	90,9 51
Wasser (Kontrolle)	63,9 19	72,8 26	90,1 40	

Die mit Pikrinsäure behandelte Blattfläche zeigte normale Plasmolyse in Rohrzucker, die einzig etwas langsamer verlief als beim Kontrollobjekt. Jedenfalls ergibt sich aus dem Versuch, daß das Protoplasma der Epidermiszellen seiner Semipermeabilität noch nicht verlustig gegangen war. Pikrinsäure in bedeutender Menge kann somit kaum eingedrungen sein.

In einem weiteren Versuch tauchte ich die Blattspitze eines **Rhoeo**-Blattes ca. 1 Tag in Pikrinsäure (0,01 Mol). Darauf wurde die Lösung wieder abgespült und das Blatt während mehrerer Tage beobachtet. Nicht die geringste Veränderung konnte festgestellt werden. Diese Befunde stimmen überein mit den Beobachtungen von *Ursprung* (1912, S. 319) an **Cyperus**-Halmen und *Martens* (1942, S. 281 und 282) an Staubfadenhaaren von **Tradescantia**.

4. Versuche mit der Potometermethode ergaben ähnliche Resultate, wie sie bereits mit Kupfersulfatlösungen erhalten wurden (vgl. Absorption von Kupfersulfat: Tab. 26 und 27, Absorption von Pikrinsäure: Tab. 33 und 34). Der Gesamtverlauf der Absorption läßt ebenfalls drei Phasen erkennen.
 - a) *Subprämortale Phase* (vgl. Kurven zu Tab. 33 und 34). Auf eine Diskussion der einzelnen Faktoren, die bei diesem Geschwindigkeitsabfall eine Rolle spielen könnten, glaube ich, nicht nochmals eingehen zu müssen (siehe S. 62).
 - b) Die *Phase des prämortalen Anstieges* dauerte in der 0,001-moligen Lösung rund 40 Stunden (vgl. Kurve zu Tab. 33, * bis +). Unter Einfluß der 0,01-moligen Lösung hielt dieselbe Phase nur

$2 \frac{3}{4}$ Stunden an (vgl. Kurve zu Tab. 34, * bis **). Diese dürfte der erhöhten Absorption entsprechen, wie sie bei einer Konzentration von 0,001 Mol an Blattgewebe von **Echeveria**, sowie an Kartoffelstückchen mit der Hebelmethode festgestellt wurde. Demnach müßte es sich auch hier um eine Permeabilitätssteigerung des Plasmas für Wasser handeln. Wie Tabelle 33 und die dazugehörige Kurve zeigen, läßt sich rund 18 Stunden nach Zusatz von 0,001 Mol Pikrinsäure, also innerhalb des prämortalen Bereiches, ein leichter Abfall verzeichnen (mit + bezeichnet). Das kann folgendermaßen erklärt werden. In allen Bereichen laufen die subprämortale, die prämortale und die letale Phase nebeneinander, da natürlich nicht alle lebenden Zellen gleichzeitig vom Giftstoff erreicht werden. Die prämortale Zone ist einzig dadurch charakterisiert, daß die Permeabilität der Zellen, die sich in dieser Phase befinden, steigt oder bzw. und die Anzahl der Zellen, die in den Prämortalzustand eintreten, ständig zunimmt. Somit mag der kurze Absorptionsrückgang innerhalb des prämortalen Bereiches durch irgend eine entsprechende Verschiebung dieser drei Phasen gedeutet werden.

- c) Für die *letale Phase* kommt der Bereich in Betracht, in dem die Absorptionsgeschwindigkeit mehr oder weniger ständig abfällt. Es dürften vorerst auch hier alle drei Phasen enthalten sein, nur nimmt die Letalwirkung ständig zu, bis ein Absorptionsminimum erreicht ist. So läßt sich der Anstieg in der 0,01-moligen Lösung innerhalb der letalen Zone (vgl. Kurve zu Tab. 34, mit ++ bezeichnet) mit einem vorübergehenden Überwiegen der Prämortalwirkung erklären (vgl. auch S. 66 und 67).