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: II: Das Verhalten von Gewebestückchen in Wasser

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: 29.01.2026

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

II. Das Verhalten von Gewebestückchen in Wasser

A. In Wasser von Zimmertemperatur

Tabelle 9

Daucus Carota

Wurzelrinde von Frischmaterial in destilliertem Wasser untersucht. Die parallelepipedischen Objekte von 1,2 mm Dicke und 6 mm² Grundfläche (2 × 3 mm) [1] wurden in Paraffinöl präpariert. Die Messungen erfolgten an verschiedenen Karotten und nicht gleichzeitig.
Wassertemperatur 18° C.

Versuch	Dickenänderung nach Minuten										
1	+ 14	+ 23	+ 27	+ 30	+ 31	+ 33	+ 35	+ 39	+ 40		
	3	5	7	9	10	15	20	60	100		
2	+ 7	+ 21	+ 32	+ 41	+ 44	+ 47	+ 49	+ 54	+ 57	+ 59	+ 60
	1	3	5	7	8	9	10	15	20	60	100
3	+ 12	+ 20	+ 24	+ 31	+ 34	+ 36	+ 38	+ 44	+ 47	+ 49	+ 49
	2	4	5	7	8	9	10	15	30	60	100
4	+ 5	+ 11	+ 14	+ 18	+ 21	+ 23	+ 32	+ 38	+ 40	+ 38	
	1	3	5	7	9	10	15	20	30	60	
5	+ 22	+ 28	+ 37	+ 41	+ 42	+ 46	+ 47	+ 46	+ 43		
	4	5	7	9	10	15	20	30	60		

Diese fünf Versuche zeigen, daß in den meisten Fällen die stärkste Dickenzunahme in den ersten 20-30 Minuten erfolgt. Nach dieser Zeit ist die Absorption gewöhnlich nur mehr gering, oder sie wird, wie die zwei letzten Versuche zeigen, sogar negativ. Diese Dickenabnahme kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Als naheliegendste möchte man Krümmungserscheinungen bezeichnen, was sich bei solch minimalen Dickenänderungen nicht leicht nachweisen läßt. Hauptursache aber dürfte Exosmose sein, bei welcher Diffusion, vielleicht erhöht infolge Schädigung des Zellplasmas durch destilliertes Wasser, oder Zerstörung von osmotischem Material eine Rolle spielen könnte.

---

[1] Diese Objektgröße gilt für alle folgenden Versuche mit **Daucus**, sofern nichts vermerkt ist.

Ähnliches Verhalten zeigte auch das Gewebe der Kartoffelknolle, wie folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 10

Solanum tuberosum

Parenchymatisches Gewebe von Frischmaterial in destilliertem Wasser untersucht. Die Messungen erfolgten an verschiedenen Kartoffeln und nicht gleichzeitig.
Wassertemperatur 18° C. (Präparation in Paraffinöl.)

Versuch	Dickenänderung nach Minuten									
1	+ 24	+ 40	+ 46	+ 50	+ 53	+ 56	+ 58	+ 60	+ 62	+ 65
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	30
2	+ 26	+ 42	+ 47	+ 50	+ 52	+ 54	+ 56	+ 58	+ 59	+ 59
	1	3	4	5	6	7	9	15	20	30
3	+ 21	+ 34	+ 41	+ 45	+ 50	+ 52	+ 54	+ 55	+ 55	+ 55
	1	2	3	4	6	7	9	15	20	30
4	+ 36	+ 45	+ 50	+54	+ 56	+ 58	+ 61	+ 60	+ 58	+ 54
	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30

Das Kartoffelgewebe zeigt einen ähnlichen Absorptionsverlauf wie die Karottenrinde. Auch hier läßt sich zuweilen nach einem erreichten Maximum eine Dickenabnahme feststellen. Als Ursachen hierfür dürften wiederum die oben angeführten gelten. Gegenüber der Karotte weist dieses Objekt bei gleicher Dicke in der gleichen Zeiteinheit eine stärkere Dickenzunahme auf, was mit unterschiedlichen Permeabilitäts-, Plastizitäts- oder Saugkraftverhältnissen in Zusammenhang gebracht werden mag.

Die Gesamtdickenänderung variiert oft sehr stark bei Objekten derselben Größe und gleichartigen Gewebes von einer **Daucus**-Wurzel zur andern oder bei verschiedenen Kartoffelknollen. So kann ein Gewebestück ein anderes in der Dickenzunahme in Wasser um das Doppelte und mehr übertreffen (vgl. Tab. 9 und 11 für die Karotte sowie Tab. 10 und 14 für die Kartoffel). Dieselben Faktoren, die für ungleiche Absorption der Karottenrinde und des Kartoffelparenchyms geltend gemacht wurden (verschiedene Permeabilitäts-, Plastizitäts- und Saugkraftverhältnisse), mögen auch in diesem Falle zutreffen.

Ebenso kann die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme unterschiedlich sein, was teilweise ungleichem Befreien des Untersuchungsmaterials von Paraffinöl zuzuschreiben ist.

Um das Verhalten gleicher Gewebe bei verschiedenen Außenbedingungen zu beobachten, müssen vergleichbare Objekte hergestellt werden. Einmal sind sie nach den vorausgehenden Ausführungen derselben Karotte bzw. Kartoffel zu entnehmen und nach Möglichkeit derselben Stelle, um Saugkraftdifferenzen zu vermeiden (vgl. Tab. 5 und 6). Weiter darf eine Vergleichsserie auch nicht Gewebestücke aufweisen, die an Seitenwurzeln angrenzen oder sogar Gewebe davon enthalten, was praktisch nur für **Daucus** in Frage kommt. Natürlich war besonders auf gleiche Dimensionen, vor allem auf gleiche Dicke zu achten. Um allfällige Gewebespannungen sich ausgleichen zu lassen, kamen die Objekte mindestens für eine Stunde in Paraffinöl (vgl. Tab. 2 und 3). Unterschiedliche Werte, verursacht durch verschieden starke Vergrößerungen, wurden vermieden, indem ich die Messungen einer Serie jeweils mit ein und demselben Apparate durchführte.

So schnitt ich gleichzeitig vergleichbare Parallelepipede und brachte sie in Paraffinöl. Nach ca. einstündigem Verweilen experimentierte ich mit dem ersten der Reihe. Daß durch Paraffinöleinlagen bis zu drei Stunden die Wasseraufnahme kaum beeinflußt wird, ist bereits nachgewiesen worden (vgl. Tab. 8).

Bei Berücksichtigung aller oben angeführten Faktoren war es möglich, Serien von Objekten zu erhalten, die bei gleichen Außenbedingungen dieselben Dickenänderungen aufwiesen.

In den einzelnen Versuchsserien zeigen die extremen Werte Unterschiede bis zu ca. 8 $^0/_0$. Diese Streuungen wären schon verständlich, wenn sie einzig auf unterschiedliche Schnittdicke zurückgeführt werden dürften. Wie ich feststellte, entfallen auf ein Objekt von 1,2 mm Dicke ca. 25 Zellschichten. Nun ist leicht einzusehen, daß in einem Falle die obere und untere Grenzzellschicht intakt bleiben oder beiderseits verletzt werden kann, wenn die Schnittdicke nur um wenige μ variiert. Natürlich werden auch individuelle Unterschiede eine Streuung bewirken.

Die Versuche mit Karottenparenchym zeigen jedenfalls, daß es möglich ist, vergleichbare Objekte herzustellen, welche nach einer Einlage von 20-30 Minuten Dickenänderungen aufweisen, die nicht mehr wie 8 $^0/_0$ voneinander differieren.

Tabelle 11

Daucus Carota

Serien von je drei vergleichbaren Objekten aus dem Rindenparenchym der Wurzel (in destilliertem Wasser).

Versuch	Dickenänderung nach Minuten													
	I. Serie													
1	+ 15	+ 23	+ 28	+ 31	+ 33	+ 35	+ 36	+ 37	+ 38	+ 39	+ 42	+ 44		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20		
2	+ 11	+ 19	+ 25	+ 29	+ 32	+ 34	+ 36	+ 38	+ 39	+ 40	+ 44	+ 47		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20		
3	+ 13	+ 22	+ 28	+ 32	+ 34	+ 36	+ 38	+ 40	+ 41	+ 42	+ 45	+ 47		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20		
	II. Serie													
1	+ 7	+ 12	+ 15	+ 16	+ 17	+ 18	+ 19	+ 20	+ 21	+ 22	+ 24	+ 26	+ 26	+ 27	+ 28
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
2	+ 15	+ 21	+ 24	+ 25	+ 26	+ 26	+ 27	+ 28	+28	+ 28	+ 29	+ 29	+ 30	+ 30	+ 30
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
3	+ 10	+ 15	+ 18	+ 20	+ 20	+ 21	+ 21	+ 22	+ 22	+ 23	+ 25	+ 26	+ 27	+ 28	+ 28
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
	III. Serie													
1	+ 9	+ 14	+ 17	+ 20	+ 22	+ 23	+ 24	+ 25	+ 26	+ 27	+ 29	+ 32	+ 33	+ 35	+ 36
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
2	+ 10	+ 15	+ 18	+ 20	+ 21	+ 22	+ 22	+ 23	+ 24	+ 24	+ 26	+ 29	+ 30	+ 31	+ 33
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
3	+ 7	+ 13	+ 17	+ 19	+ 21	+ 23	+ 24	+ 25	+ 26	+ 27	+ 30	+ 33	+ 34	+ 35	+ 36
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
	IV. Serie													
1	+ 7	+ 11	+ 14	+ 16	+ 18	+ 20	+ 21	+ 22	+ 23	+ 23	+ 25	+ 26	+ 27	+ 27	+ 28
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
2	+ 6	+ 10	+ 13	+ 16	+ 18	+ 19	+ 20	+ 21	+ 22	+ 23	+ 25	+ 27	+ 28	+ 28	+ 29
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40
3	+ 8	+ 12	+ 15	+ 17	+ 19	+ 20	+ 21	+ 22	+ 23	+ 24	+ 25	+ 26	+ 27	+ 28	+ 28
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40

Wie aus Tabelle 12 hervorgeht, kann die Streuung noch weiter reduziert werden, wenn man mit Mittelwerten arbeitet. Im folgenden errechnete ich das Mittel der Dickenänderungen bis zur 20. Minute: Das erste Mittel wurde aus den vier ersten Versuchen der vier Serien (z. B. für die sechste Minute: + 35 + 18 + 23 + 20 = + 96:4 = + 24), das zweite aus den vier zweiten und das dritte aus den vier dritten Versuchen der vier Serien erhalten.

Tabelle 12

Daucus Carota

Mittelwerte der 4 Serien zu je 3 vergleichbaren Versuchen (vgl. Tab. 11).

Mittel aus den 4 Serien der	Dickenänderung nach Minuten											
Versuche 1	+ 10	+ 15	+ 18	+ 21	+ 23	+ 24	+ 25	+ 26	+ 27	+ 28	+ 30	+ 32
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Versuche 2	+ 10	+ 16	+ 20	+ 22	+ 24	+ 25	+ 26	+ 27	+ 28	+ 29	+ 31	+ 33
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Versuche 3	+ 10	+ 16	+ 20	+ 22	+ 24	+ 25	+ 26	+ 27	+ 28	+ 29	+ 31	+ 33
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20

Je größer die Anzahl der Messungen ist, aus denen die Mittelwerte errechnet werden können, umso geringer wird natürlich die Streuung, umso größer die Zuverlässigkeit bei Vergleichsmessungen. War das Verhalten eines Objektes in der Versuchslösung, verglichen mit Wasser, zu wenig eindeutig, machte ich entsprechend mehr, gewöhnlich bis 10 Versuche, und berechnete die Mittelwerte. War das Verhalten eindeutig, konnte ich mich mit weniger oder gar nur mit einer Vergleichsmessung begnügen.

Obwohl die Parenchymzellen der Kartoffel beträchtlich größer sind, sodaß auf eine Objektdicke von 1,2 mm nur ca. 8 Zellschichten entfallen, so zeigt doch die folgende Versuchsreihe, daß es möglich war, vergleichbare Objekte zu erhalten, deren Dickenänderungen in Wasser nach ungefähr 30 Minuten Streuungen von nicht mehr als 8 % aufwiesen.

Tabelle 13

Solanum tuberosum

Serie von vergleichbaren Objekten in destilliertem Wasser.

Versuch	Dickenänderung nach Minuten										
1	+ 12	+ 19	+ 26	+ 32	+ 39	+ 45	+ 49	+ 59	+ 68	+ 88	+ 105
	1	2	3	4	6	8	10	15	20	30	40
2	+ 8	+ 15	+ 27	+ 32	+ 44	+ 48	+ 58	+ 71	+ 95	+ 114	
	1	2	4	5	8	10	15	20	30	40	
3	+ 8	+ 17	+ 24	+ 30	+ 40	+ 49	+ 51	+ 63	+ 73	+ 95	+ 111
	1	2	3	4	6	9	10	15	20	30	40
4	+ 10	+ 20	+ 29	+ 36	+ 46	+ 55	+ 57	+ 67	+ 77	+ 95	+ 109
	1	2	3	4	6	9	10	15	20	30	40

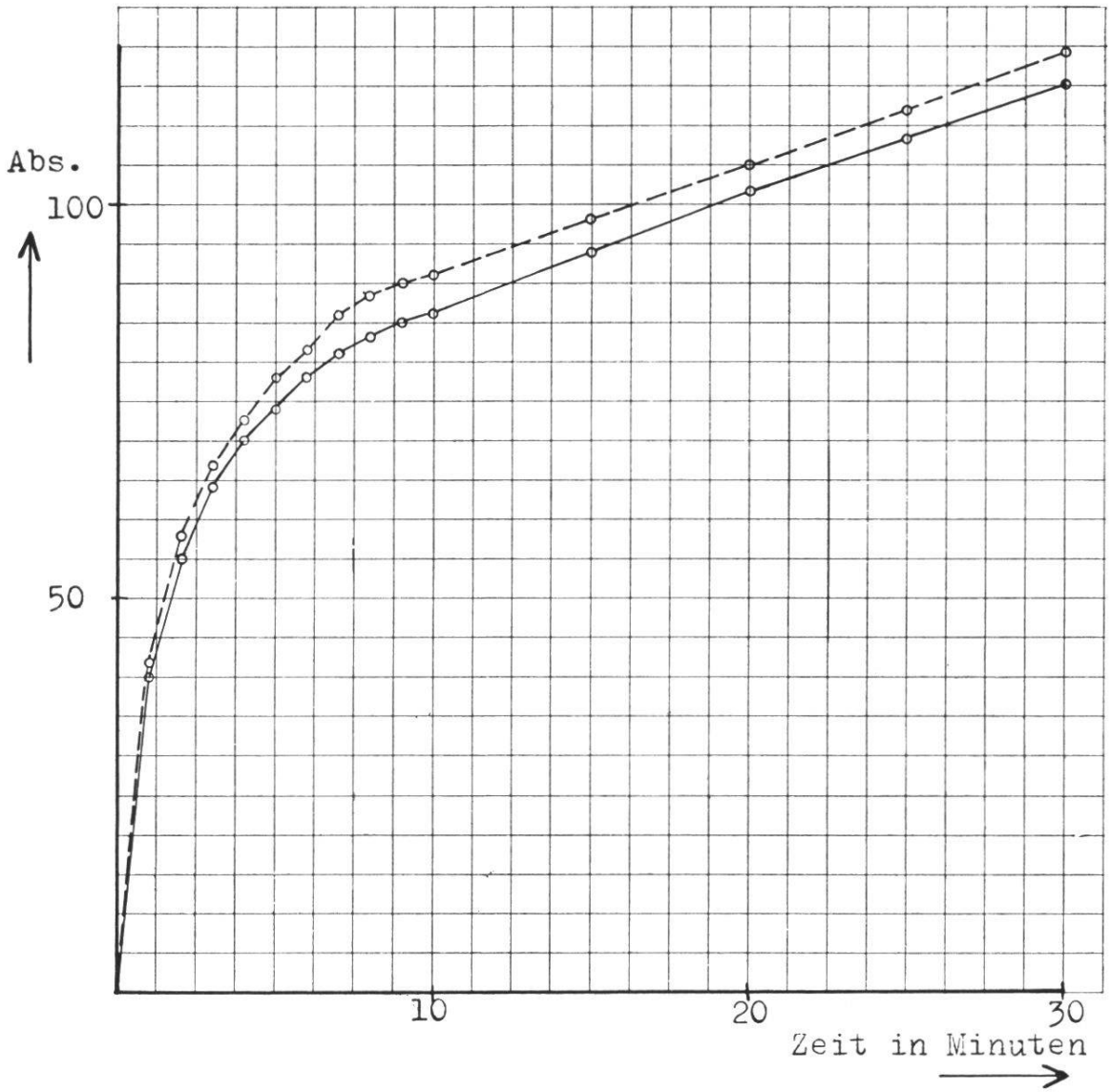
Als weitere methodologische Frage war noch zu prüfen, ob für die vergleichenden Untersuchungen Leitungswasser oder destilliertes Wasser verwendet werden sollte ; denn ich durfte natürlich nicht eine Vergleichsflüssigkeit wählen, die selbst schon ein anomales Verhalten des Untersuchungsgewebes hervorrief. Wie die folgende Tabelle aber zeigt, kann wenigstens für die entsprechende Untersuchungsdauer nicht auf eine schädliche Wirkung meines destillierten Wassers geschlossen werden (vgl. *Ursprung*, 1937, S. 1126).

Tabelle 14

Solanum tuberosum

Absorption in Leitungswasser und in destilliertem Wasser. Mittel von 10 Versuchen.

	Dickenänderung nach Minuten													
Dest. Wasser	+ 42	+ 58	+ 67	+ 73	+ 78	+ 82	+ 86	+ 88	+ 90	+ 91	+ 98	+ 105	+ 112	+ 119
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
Leitungs-Wasser	+ 40	+ 55	+ 64	+ 70	+ 74	+ 78	+ 81	+ 83	+ 85	+ 86	+ 94	+ 102	+ 108	+ 115
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30



Kurve zu Tab. 14

Solanum tuberosum

——— Absorption in Leitungswasser
– – – – Absorption in destilliertem Wasser

In dem von mir verwendeten destillierten Wasser ist die mittlere Absorptionsgeschwindigkeit etwas größer als in Leitungswasser, was man einer geringen Saugkraft von letzterem zuschreiben könnte. Allerdings sind die Dickenänderungen so wenig verschieden, daß ein Zufallsresultat nicht ganz ausgeschlossen wäre, zumal das Verhalten in den einzelnen Vergleichsversuchen nicht so eindeutig war. Sicher aber scheint destilliertes Wasser für die Versuchszeit keine beobachtbaren Schädigungen auszulösen, dürfte daher als Vergleichsflüssigkeit geeignet sein.

B. Einfluß der Erwärmung und Abkühlung auf die Wasseraufnahme

1. *Untersuchungen mit der Hebelmethode*

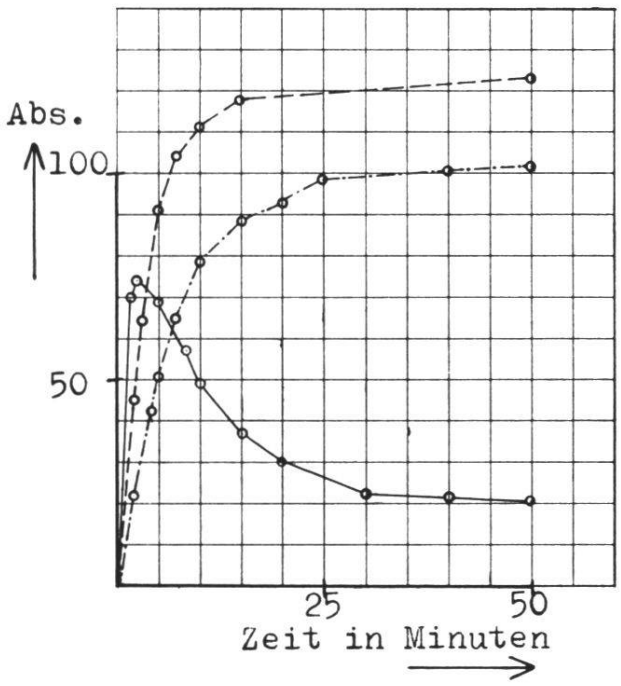
Das Versuchsmaterial bildeten Gewebestückchen von Karotten und Kartoffeln. Das Untersuchungsobjekt wurde wie gewohnt auf das Glastischchen unter den Taster des Hebelapparates gebracht und in ein Zylindergläschen mit destilliertem Wasser von der gewünschten

Tabelle 15

Daucus Carota

Vergleichbare Objekte in destilliertem Wasser von verschiedenen Temperaturen untersucht.

Wasser-temperatur	Dickenänderung nach Minuten										
15, 2-16°	+ 22	+ 43	+ 51	+ 65	+ 74	+ 78	+ 88	+ 93	+ 97	+ 101	+ 102
	2	4	5	7	9	10	15	20	30	40	50
40 -41°	+ 45	+ 65	+ 91	+ 104	+ 109	+ 111	+ 117	+ 119	+ 123		
	2	3	5	7	9	10	15	40	50		
56 -57°	+ 70	+ 74	+ 73	+ 69	+ 57	+ 49	+ 37	+ 30	+ 23	+ 22	+ 21
	2	3	4	5	8	10	15	20	30	40	50



Kurve zu Tab. 15

Daucus Carota

Absorption in destilliertem Wasser von verschiedenen Temperaturen

—·—·—·— 15, 2-16°

— — — — 40 -41°

———— 56 -57°

Temperatur eingetaucht. In das Zylindergläschen führte ich auch ein Thermometer ein, dessen Kugel sich auf der Höhe von Glastischchen und Objekt befand. Um die Wassertemperatur im Gläschen zu regulieren, stellte ich dieses in ein Gefäß mit Wasser, in dem die Temperatur durch Erwärmen mittels eines Heizkörpers, dem ein regulierbarer Widerstand vorgeschaltet war, konstant gehalten oder auch beliebig rasch erhöht werden konnte. Zur Abkühlung unter Zimmertemperatur umgab ich das Zylindergläschen mit einem Eismantel. So wurde das Verhalten vergleichbarer Objekte in Wasser von verschiedenen Temperaturen untersucht.

Tabelle 16

Solanum tuberosum

Vergleichbare Objekte in destilliertem Wasser von verschiedenen Temperaturen untersucht.

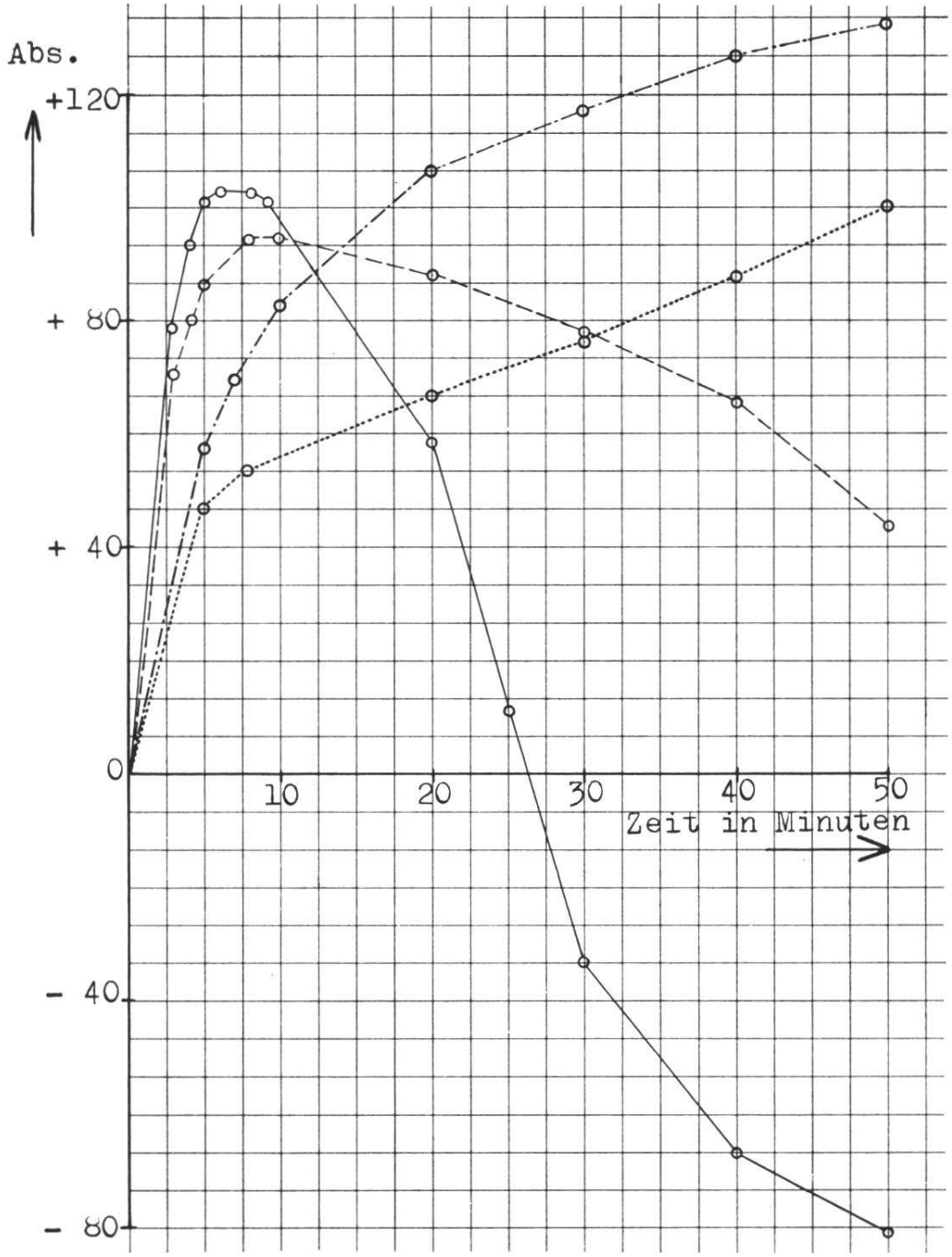
Wasser-temperatur	Dickenänderung nach Minuten							
3-4°	+ 6	+ 10	+ 14	+ 17	+ 19	+ 25	+ 31	+ 33
	1	2	3	4	5	10	20	30
16, 4-16, 8°	+ 10	+ 18	+ 23	+ 27	+ 29	+ 38	+ 47	+ 50
	1	2	3	4	5	10	20	30
29-30 °	+ 13	+ 21	+ 26	+ 30	+ 33	+ 48	+ 54	+ 60
	1	2	3	4	5	10	20	30

Tabelle 16a

Solanum tuberosum

Vergleichbare Objekte in destilliertem Wasser von verschiedenen Temperaturen untersucht.

Wasser-temperatur	Dickenänderung nach Minuten										
15°	+ 47	+ 49	+ 53	+ 55	+ 67	+ 76	+ 88	+ 100			
	5	6	8	10	20	30	40	50			
32°	+ 57	+ 64	+ 69	+ 79	+ 82	+ 107	+ 118	+ 126	+ 132		
	5	6	7	9	10	20	30	40	50		
41°	+ 70	+ 80	+ 86	+ 95	+ 95	+ 94	+ 88	+ 77	+ 65	+ 44	
	3	4	5	8	10	11	20	30	40	50	
50°	+ 79	+ 93	+ 101	+ 103	+ 103	+ 101	+ 58	+ 11	− 33	− 67	− 81
	3	4	5	6	8	9	20	25	30	40	50



Kurve zu Tab. 16a

Solanum tuberosum

Absorption in destilliertem Wasser von verschiedenen Temperaturen

..... 15° —·—·—·— 32° — — — — 41° ———— 50°

2. *Versuchsergebnisse*

Ich untersuchte die Wasseraufnahme bei verschiedenen Temperaturen an Gewebestückchen von Karotten und Kartoffeln, welche Objekte auch *Stiles* und *Jørgensen* (1917a, S. 415) verwendet hatten, die mit Hilfe der Wägemethode ebenfalls Temperatureinwirkungen auf die Absorption studierten. Meine Untersuchungsergebnisse decken sich prinzipiell mit den Resultaten der eben zitierten Autoren. Sie fanden an Kartoffelscheiben in dest. Wasser folgende Gewichtszunahmen (S. 422) :

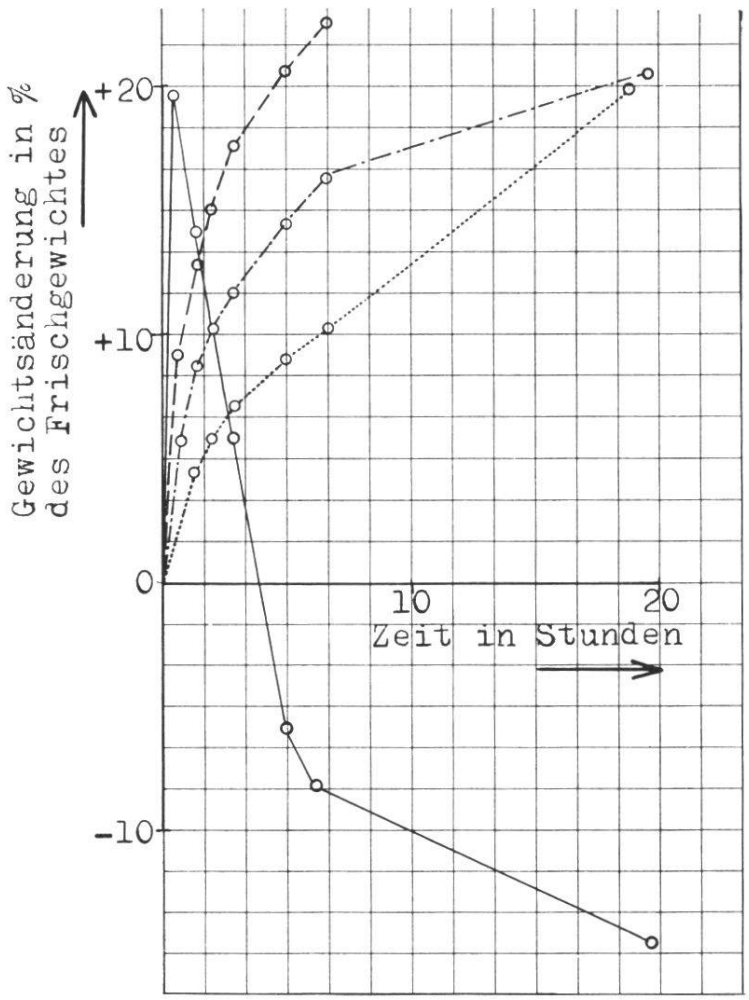
Tabelle 17

10°		20°		30°		40°	
Zeit in Stunden	Gew.-Zunahme in %	Zeit in Stunden	Gew.-Zunahme in %	Zeit in Stunden	Gew.-Zunahme in %	Zeit in Stunden	Gew.Zunahme in %
—	—	0,65	5,6	0,53	9,1	0,60	19,6
1,23	4,4	1,27	8,7	1,28	12,6	1,30	14,4
1,95	5,8	2,00	10,2	2,00	15,1	2,02	10,3
2,85	7,2	2,87	11,8	2,87	17,7	2,87	5,8
4,98	8,9	5,03	14,5	5,05	20,6	5,08	– 5,8
6,57	10,3	6,65	16,2	6,67	22,5	6,08	– 8,2
18,80	19,8	19,23	20,6	—	—	19,68	–14,6

Die Wasseraufnahme bei zunehmender Temperatur läßt drei verschiedene Etappen unterscheiden : Einen Bereich unterhalb der prämortalen Zone, eine prämortale und eine letale Zone. Unter prämortaler Zone ist der Bereich der Wasseraufnahme zu verstehen, der unmittelbar der negativen Absorption, die nach Abtöten der lebenden Zelle erfolgt, vorausgeht. Als letale Zone wird der Absorptionsbereich nach dem Abtöten der lebenden Zellen bezeichnet (vgl. *Ursprung*, 1918, S. 514, *Koller*, 1947, S. 39).

1. *Unterhalb der prämortalen Zone* nimmt die Geschwindigkeit der Wasserabsorption mit steigender Temperatur mehr oder weniger regelmäßig zu (Tab. 16, vgl. auch Tab. 17 bei 10°, 20° und 30°).

2. *Innerhalb der prämortalen Zone* erfährt die Absorptionskurve eine besonders starke Steigerung (Tab. 15 bei 56-57°, Tab. 16a bei 41 und 50°, vgl. auch Tab. 17 bei 40°). Besonders deutlich zeigt sich



Kurve zu Tab. 17

Solanum tuberosum

Einfluß der Temperatur auf die Wasserabsorption

..... Wassertemperatur = 10°
—·—·—·— Wassertemperatur = 20°
— — — — Wassertemperatur = 30°
———— Wassertemperatur = 40°

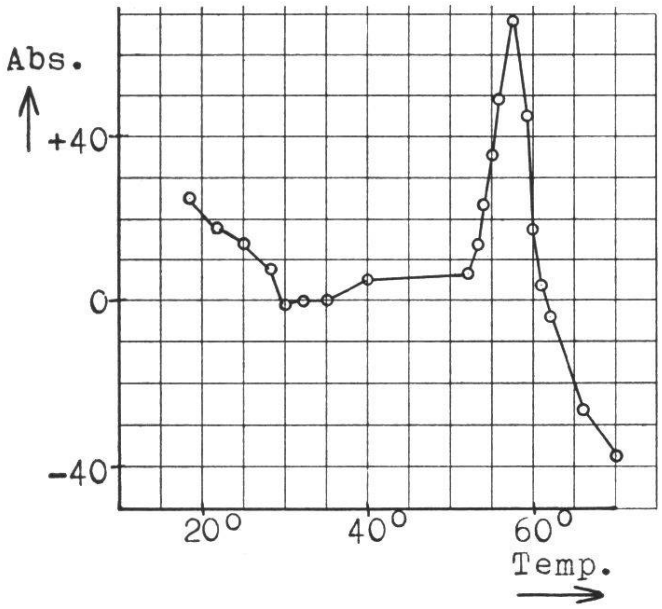
dieser prämortale Anstieg in Potometerversuchen. Zum Vergleich sei im folgenden ein Beispiel der Untersuchungen von *Ursprung* (1918, S. 518) angeführt (vgl. auch *Koller*, 1947, S. 39). *Ursprung* untersuchte Zweige, die in Flüssigkeit von steigender Temperatur untergetaucht waren. Die Schnittflächen wurden mit einem Potometer mit horizontaler Kapillare in Verbindung gebracht.

Tabelle 18

Fagus

Zweig unter Wasser. 1,2 m lang mit 470 Blättern. Erwärmung von 19°-70° in 2 $^1/_2$ Stunden.
« Temp. » bedeutet die am Thermometer, das in die Flüssigkeit mit dem Zweige eingetaucht wurde, abgelesene Temperatur, « Absorpt. » die Wasseraufnahme pro 30 Sekunden in Millimetern der Potetometerkapillare.

Temp.	19°	22°	25°	28°	30°	32°	35°	40°	52°	53°	54°
Absorpt.	25	18	14	8	–1	0	0	5	7	13	23
Temp.	55°	56°	56,5°	57,5°	58°	59°	60°	61°	62°	66°	70°
Absorpt.	35	49	58	68	60	45	17	4	– 4	– 27	– 38



Kurve zu Tab. 18
Fagus
Zweig unter Wasser

Daß der prämortale Anstieg, wie er bei Kartoffelstückchen beobachtet wurde, nicht etwa auf Quellung der Kartoffelstärke beruht, zeigen folgende Versuche.

Ich beobachtete das Verhalten von Kartoffelstückchen in Wasser von steigender Temperatur. Wie Tabelle 19 und die dazugehörige Kurve zeigen, trat nach anfänglich positiver Absorption bei ca. 45° die erwartete Dickenabnahme ein. Plötzlich aber, zwischen 62 und 63° erfolgte ein Umschwung, und das Objekt zeigte wieder ganz bedeutende Dickenzunahme. Jedenfalls dürfte erst diese letztere Gewebe-

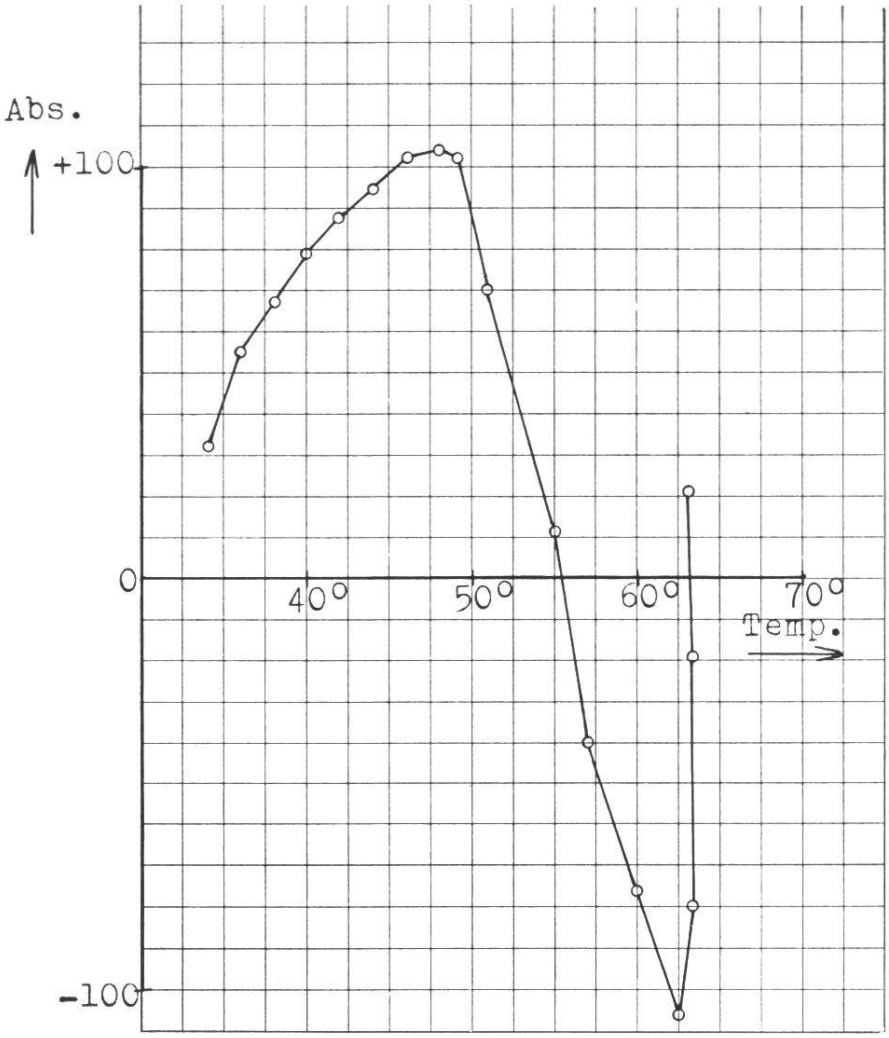
Tabelle 19

Solanum tuberosum

Dickenänderung eines Gewebestückchens in Wasser von steigender Temperatur.

Dicken-änderung	nach Minuten	Wassertempe-ratur in °C
+ 32	2	34
+ 41	3	35
+ 56	5	36
+ 62	6	37
+ 67	7	38
+ 73	8	39
+ 79	9	40
+ 84	10	41
+ 88	11	42
+ 92	12	43
+ 95	13	44
+ 101	15	45
+ 103	17	46
+ 104	20	48
+ 103	21	49
+ 70	30	51
+ 11	35	55
− 40	38	57
− 59	39	58
− 77	40	60
− 93	41	61,6
− 106	42	62,6
− 80	43	63,4
− 19	44	63,2
+ 21	45	63

dehnung auf einer Stärkequellung beruhen. Nach *Nägeli* (1858) beginnt tatsächlich Kartoffelstärke etwa in diesem Temperaturbereich zu quellen. Er schreibt (S. 67) : « Jene Temperaturgrenze, bei welcher an feuchter Kartoffelstärke die Quellungserscheinungen beginnen, beträgt 55 Grad Cent. für die größern und 65 Grad für die kleinen Körner ». Für die Verkleisterungstemperatur der Kartoffelstärke gibt *Lippmann* (vgl. *Wiesner*, 1900, S. 578) ein Intervall von 58,7 - 62,5° C. an. Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen deckten sich mit denen der erwähnten Autoren.



Kurve zu Tab. 19

Solanum tuberosum

Dickenänderung eines Gewebestückchens in Wasser von steigender Temperatur

3. In der *letalen Zone* fällt die Kurve mehr oder weniger rasch ab, indem aus den abgetöteten Zellen, die der Semipermeabilität verlustig gegangen sind, Zellsaft durch den Wanddruck ausgepreßt wird.

3. *Darstellung der Temperatureinwirkung auf die Wasserabsorption*

Alte Belege über den Einfluß der Temperatur auf die Wasseraufnahme finden wir bei *Sachs* (1892, S. 17), der für Kürbis- und Tabakpflanzen verminderte Absorption feststellte, wenn die Wurzeln abgekühlt wurden. In der Zusammenfassung einer Arbeit von *Krabbe*

(1896, S. 441) schreibt *Kolkwitz* (S. 497 und 498) : « Die Geschwindigkeitsänderung osmotischer Processe durch die Temperatur ist ziemlich erheblich. Spaltet man z. B. einen jugendlichen Markgewebecylinder von **Helianthus annuus** der Länge nach und legt die eine Hälfte in Wasser von 1-2° C., die andere in solches von ca. 25° C., so nehmen beide, besonders zu Anfang, mit ganz verschiedener Schnelligkeit Wasser auf, durchschnittlich im Verhältnis von 1:5. Diese und ähnliche Thatsachen müssen ihre Ursache im Protoplasmaschlauch haben und sind bis jetzt rein physikalisch nicht verständlich. Würde sich der Primordialschlauch mit seinen für Wasser durchlässigen Interstitien mit Glascapillaren, thierischen Häuten oder Ferrocyankupfermembranen direct in allen wesentlichen Punkten gleich verhalten, so dürfte dieses Verhältniß allerhöchstens 1 : 2 betragen. Wir müssen annehmen, daß dem lebenden Plasmaschlauch die ganz besondere Fähigkeit zukommt, die Weite seiner Interstitien bei Temperaturschwankungen erheblich zu ändern, denn eine andere Deutung hat sich für die mitgetheilten Thatsachen nicht finden lassen. »

Van Rysselberghe (1902, S. 209), der u. a. die Verkürzung zweier Markstücke von **Sambucus nigra** in 25 % Rohrzuckerlösung bei verschiedenen Temperaturen miteinander verglich, konnte die experimentellen Befunde von *Krabbe* im wesentlichen bestätigen. Er bemerkt allerdings (S. 246) : « Le fait que la perméabilité du protoplasme augmente, sous l'influence de la température, plus fortement que ne le fait celle d'une membrane précipitée de ferrocyanure de cuivre, ne permet pas de voir, par cela seul, dans les changements de la perméabilité protoplasmique, une action vitale, comme *Krabbe* l'admet. »

Ähnliches ergaben die Versuche von *Delf* (1916, S. 283), die die Kontraktionsgeschwindigkeit von Zwiebelblattstücken und Blütenschäften des Löwenzahns in wasserentziehenden, aber nicht plasmolysierenden Lösungen verfolgte.

Wie bereits erwähnt, bestimmten *Stiles* und *Jørgensen* (1917a, S. 421 ff.) mit der Wägemethode die Wasseraufnahme bei verschiedenen Temperaturen (vgl. Tab 17) und fanden zwischen 10° und 30° eine ziemlich regelmäßig beschleunigte Absorption, bei 40° aber eine sehr rasche, gefolgt von einer Stoffabgabe zufolge Abtötung des Gewebes. Einer genaueren Analyse enthielten sich die beiden Autoren. *Ursprung* (1918, S. 514), der bei Absorptionsversuchen mit nicht transpirierenden Zweigen im prämortalen Bereiche eine besonders starke Wasserauf-

nahme feststellen konnte (vgl. Tab. 18), hielt dann die verschiedenen Faktoren, die die Absorption durch die lebende Zelle bedingen, deutlich auseinander. Nach seinen Ausführungen dürften entsprechende Permeabilitätsänderungen des Protoplasmas als Hauptursache des von ihm beobachteten prämortalen Anstieges angenommen werden (vgl. S. 524). *Huber* und *Höfler* (1930, S. 351), die mit freiliegenden Protoplasten arbeiteten (vgl. S. 451), konnten zeigen, daß der Hauptwiderstand für die Absorption nicht in der Zellwand, sondern im Plasma liegt, womit *Ursprungs* Ansicht weitgehende Bestätigung fand. Dazu schreiben sie folgendes (S. 506) : « Bei Epidermiszellen der Zwiebelschuppen von **Allium cepa,** die im Zustand der Plasmolyse teilweise geöffnet worden sind, ist bei nachträglicher Deplasmolyse kein nennenswerter Unterschied in der Ausdehnungsgeschwindigkeit geöffneter und geschlossener Zellen nachweisbar, ein Beweis dafür, daß der Widerstand der Zellwand nicht entscheidend ist. » *De Haan* (1933, S. 234) konnte durch seine Untersuchungen einerseits die Befunde von *Huber* und *Höfler* bestätigen und kam im weitern zum Schluß (S. 328), « daß die Wasserpermeabilität des Protoplasmas von einem Quellungsprozeß beherrscht wird ». (Zum Einfluß der Temperatur auf die Permeabilität vgl. auch : *Gellhorn*, 1929, S. 76 u. 133, *Ursprung*, 1937, S. 1190, *Koller*, 1947, S. 95.)

Ähnliche Absorptionssteigerungen im prämortalen Bereich, wie sie *Ursprung* (1918, S. 514) und *Stiles* und *Jørgensen* (1917a, S. 422) fanden, konnten durch *Koller* (1947, S. 39) beobachtet werden. (Vgl. dazu auch meine Versuche mit der Hebelmethode, bes. Tab. 16a bei 41° und 50°.) Obwohl ich mit einer andern Versuchsanordnung experimentierte, handelt es sich doch um Absorption bei fehlender Transpiration. Mit *Ursprung* (1918, S. 519) und *Koller* (1947, S. 88 ff.) unterscheide ich zwischen physikalischen und physiologischen Faktoren.

a) Physikalische Faktoren

Bei meiner Versuchsanordnung wird das Wasser direkt von den lebenden Zellen aufgenommen und nicht erst durch Gefäße an diese übermittelt. Bei einer Erwärmung von Gewebestückchen ist der Einfluß auf die Interzellularluft sowie auf den Zellsaft (über den Einfluß der Erwärmung auf die Zellwand scheint nichts Näheres bekannt zu sein) zu untersuchen. Beide vergrößern mit steigender Temperatur

ihre Volumina, und zwar Gase in viel stärkerem Maße als Flüssigkeiten. Bei konstantem Druck gilt für

Wasser : Vol. bei 4° = 100, bei 100° = 104
Gas : Vol. bei 4° = 100, bei 100° = 135

(vgl. *Koller*, 1947, S. 88). Da es im vorliegenden Falle genügt, den Gesamteinfluß der Dehnung von Interzellularluft und Zellsaft auf die Dickenänderung meiner Objekte zu kennen, untersuchte ich ein Kartoffelstückchen in Paraffinöl von steigender Temperatur.

Tabelle 20

Solanum tuberosum

Dickenänderung in Paraffinöl von steigender Temperatur.

Dickenänderung	0	+ 1	+ 1	+ 2	+ 3	+ 3	+ 2
Nach Minuten	1	7	20	26	40	44	47
Temperatur	21,8	21,8	21,8	21,8	21,8	23,6	30
Dickenänderung	+ 3	+ 4	+ 6	+ 7	+ 6	+ 5	+ 3
Nach Minuten	50	51	53	54	56	57	58
Temperatur	38,4	41,4	47,2	50	54,6	55,6	56,2

Während der ersten 40 Minuten ist bei konstanter Temperatur eine Dehnung von 3 Teilstrichen zu beobachten, was einem Ausgleich von Spannungsdifferenzen zugeschrieben werden mag. (Vgl. Tab. 3.) Darauf erfolgt innert 14 Minuten eine Erwärmung auf 50°, wobei sich eine Dickenzunahme von nur 4 Teilstrichen konstatieren läßt. Die geringe Größe der bei 50° einsetzenden Letalreaktion führe ich darauf zurück, daß das Objekt nicht den Grad des Wassergehaltes aufweist, wie es bei Absorptionsversuchen in Wasser der Fall ist. Der kleine Betrag der Gesamtdickenänderung dürfte dahin ausgelegt werden, daß bei steigender Temperatur im Gewebeinnern keine bedeutende Druckzunahme erfolgt, da die Interzellularluft entweichen kann. Zudem wird eine Dickenzunahme auf Grund einer entsprechenden Volumänderung des Zellsaftes kaum stark ins Gewicht fallen. Nach *Hagen* (*Winkelmann*, 1906, *3*, S. 91, vgl. dazu *Koller*, 1947, S. 56 u. 57) folgt, daß eine 1 m lange Wassersäule von konstantem Querschnitt bei einer Erwärmung von 20° auf 50° eine Verlängerung von 10,3 mm, somit von rund 1 % erfährt. Wenn ich mein Gewebestück von 1200 μ Dicke mit

einer Wassersäule von derselben Länge vergleichen dürfte, müßte dieses bei einer Erwärmung von 20° auf 50° um 12 μ dicker werden. Bei der Annahme, daß 1 Teilstrich einer Dickenänderung von 0,8 μ gleichkommt (vgl. S. 6), wäre eine Dickenzunahme von 15 Teilstrichen zu erwarten. Natürlich reduziert sich dieser Betrag im vorliegenden Falle, da sich das Gewebe nicht nur parallel zur Tasterrichtung, sondern auch in den beiden andern Dimensionen dehnt.

Als weiterer physikalischer Faktor mag auch die Viskositätsabnahme des Wassers bei steigender Temperatur die Absorptionsgeschwindigkeit fördern.

Die Bedeutung der rein physikalischen Saugkraftsteigerung des Zellsaftes bei Temperaturzunahme soll im Zusammenhang mit der physiologischen Saugkraftänderung besprochen werden.

b) Physiologische Faktoren

α) Für den Bereich unterhalb der prämortalen Zone

Nachdem oben gezeigt wurde, daß durch Erwärmung die Interzellularluft kaum einen Einfluß auf die Dickenänderung ausübt (sie kann aus den Interzellularen austreten), darf ich die Bedeutung der Atmungstätigkeit in diesem Zusammenhang übergehen. Es ist das ein Faktor, der für Potometerversuche unter Umständen in Betracht fallen kann (vgl. dazu *Ursprung*, 1918, S. 520 u. 521, *Koller*, 1947, S. 89, *van der Paauw*, 1935, S. 309).

Dagegen ist die Bedeutung der osmotischen Zustandsgrößen zu erwägen. Über den Einfluß der Erwärmung auf die Saugkraft, Sz_n bei fehlender Transpiration liegen Versuche von *Gamma* (1932, S. 517 ff.) an Submersen, sowie von *Blum* (vgl. *Koller*, 1947, S. 90 ff.) an **Phaseolus**-Blättern vor. Ihre Versuche decken sich darin, daß Sz_n unterhalb des prämortalen Bereiches ansteigt. Wie die folgenden Beispiele zeigen, sind die Reaktionen der Pflanzen zu stark, als daß die tatsächlich beobachtete Sz_n-Zunahme einzig durch den physikalischen Anstieg der Saugkraft des Zellsaftes bedingt sein könnte. So fand *Gamma* (1932, S. 521) an **Elodea canadensis** bei einer Temperatursteigerung um 8° eine Sz_n-Zunahme von 30 % oder bei **Myriophyllum verticillatum** (S. 526) einen Sz_n-Anstieg bei Erwärmung um 19° von rund 100 %, wogegen nach Versuchen von *Morse* (1914, S. 184) die Saugkraft einer

1-moligen Rohrzuckerlösung bei 10° 25,693 und bei 40° 27,701 beträgt, also um 7,8 % ansteigt. (Vgl. dazu *Ursprung*, 1937, S. 1268, *Koller*, 1947, S. 92.) Zudem steht nach *de Haan* (1933, S. 303) die beschleunigte Wasseraufnahme bei Temperaturerhöhung mit einem Quellungsprozeß im Zusammenhang. Er schreibt : « Temperaturerhöhung beschleunigt die Quellung und erhöht den Quellungsgrad ; im Zusammenhang damit besteht eine erhöhte Permeabilität des Protoplasmas, also eine beschleunigte Wasseraufnahme und ebenfalls eine beschleunigte Wasserbewegung von Zelle zu Zelle. » Über Wasserpermeabilität siehe auch *Frey-Wyssling*, 1945, S. 330 ; 1946, S. 132 ; *Frey-Wyssling* und *Bochsler*, 1947, S. 30 ; *Bochsler*, 1948, S. 73 ; *Höfler*, 1950, S. 677.)

β) Für die prämortale Zone

Nach *Ursprung* (1918, S. 524) steht die Wasseraufnahme lebender Zellen in Abhängigkeit von osmotischem Wert, Elastizitätsverhältnissen sowie von Zellwand- und Plasmapermeabilität. Nach Untersuchungen von *Blum* (vgl. *Koller*, 1947, S. 90 und 91) und *Gamma* (1932, S. 521 ff.) nimmt aber Sz_n gerade im prämortalen Bereiche ab (vgl. auch *Ursprung*, 1932, S. 505), welche Verhältnisse ich wohl auch auf meine Objekte übertragen darf. Da auch kein bedeutender Einfluß der Temperatur auf die Elastizität zu erwarten ist (vgl. *Ursprung*, 1918, S. 521), muß schließlich die Erklärung in der Permeabilität von Zellwand und Plasma gesucht werden. Durch die tote Wand scheint aber die Filtration nach ähnlichen Gesetzen zu verlaufen, wie das Strömen durch Kapillaren (*Ursprung*, 1918, S. 523). Zudem fanden auch *Huber* und *Höfler* (1930, S. 351) wenigstens bei einer Temperatur unterhalb der prämortalen Zone, daß das Plasma und nicht die Zellwand für die Absorptionsgeschwindigkeit verantwortlich sei. Da die Wasseraufnahme im prämortalen Bereich bedeutend ansteigt (vgl. Tab. 16a bei 41 und 50°, Tab. 17 bei 40°, Tab. 18), muß nach allem Vorausgehenden geschlossen werden, daß der prämortale Anstieg in erster Linie auf eine entsprechende Permeabilitätszunahme des lebenden Plasmas für Wasser zurückzuführen ist. (Vgl. *Ursprung*, 1918, S. 524, *Koller*, 1947, S. 95 ff.)

γ) Für die letale Zone

Hier liegen die Verhältnisse einfach. Durch den Verlust der Semipermeabilität wird Zellsaft durch den Wanddruck ausgepreßt ; die Ab-

sorptionskurve beginnt zu fallen. (Vgl. *Ursprung*, 1918, S. 524 und 525, *Koller*, 1947, S. 97.)

Zusammenfassung

1. In Wasser von Zimmertemperatur zeigen Gewebestückchen von Karotte und Kartoffel ähnlichen Absorptionsverlauf. Die stärkste Wasseraufnahme erfolgt in den ersten 20-30 Minuten. Nach dieser Zeit ist die Absorption bei den von mir untersuchten Objekten meist nur mehr unbedeutend.

2. Es konnten vergleichbare Objekte hergestellt werden, deren Dickenzunahmen in Wasser Streuungen von nicht mehr als 8 $^0/_0$ aufwiesen. Bei Arbeiten mit Mittelwerten läßt sich diese noch weiter reduzieren.

3. Das von mir verwendete destillierte Wasser bewirkte während der Beobachtungszeit (30 Minuten) keine nachweisbare Schädigung an Kartoffelstückchen (vgl. Tab. 14).

4. Absorptionsversuche bei steigender Temperatur führten zu ähnlichen Ergebnissen wie sie *Stiles* und *Jørgensen* (1917a, S. 421 ff.) mit der Wägemethode erhielten :

   a) Unterhalb der prämortalen Zone nimmt die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme mit steigender Temperatur zu (vgl. Tab. 16, Tab. 17 bei 10°, 20° und 30°), was zur Hauptsache mit einer Sz_n-Zunahme und Permeabilitätssteigerung zufolge erhöhter Quellung erklärt wurde.

   b) Im prämortalen Bereiche wird die Absorption besonders stark (vgl. Tab. 16a bei 41° und 50°, Tab. 17 bei 40°, Tab. 18), was man in erster Linie als Folge einer Permeabilitätszunahme des Protoplasmas für Wasser auffassen kann.

   c) Die letale Zone ist durch eine negative Absorption charakterisiert ; denn mit dem Tode verliert das Protoplasma seine Semipermeabilität, worauf durch den Wanddruck Zellsaft ausgepreßt wird.