

48. C. Steinbrinck: Ueber die Grenzen des Schrumpfelns.

Eingegangen am 22. October 1900.

I. Ueber die Arbeitsfähigkeit der Verdunstung.

Der bekannte und lehrreiche Versuch ASKENASY's¹⁾, wobei in einem Trichterrohr mit feuchter Gipskappe durch die Verdunstung des Wassers Quecksilber über die Höhe des Barometerstandes gehoben wird, ist auf Veranlassung von NERNST in WIEDEMANN's Annalen von REINGANUM²⁾ und später in etwas anderer Form von NERNST selbst in seiner „Theoretischen Chemie“³⁾ vom thermodynamischen Standpunkte aus erörtert worden. Auf die einfachsten Grundsätze der Thermodynamik gestützt, suchen diese Forscher die bei dem Versuche durch die Verdunstung gelieferte Energie zu ermitteln, und ihre Erörterungen haben für die maximale Höhe, bis zu welcher das Quecksilber dabei eventuell gehoben werden könnte, Formeln geliefert, die im Wesentlichen durchaus übereinstimmen, und deren geringe Unterschiede für unsere botanischen Fragen durchaus belanglos sind, so dass sie hier ausser Erörterung bleiben mögen.

Versteht man unter:

- P die der verfügbaren Energie entsprechende, auf das Quecksilber ausgeübte Zugkraft, in Atmosphären ausgedrückt,
- T die absolute Temperatur des Versuchsraumes,
- p den Druck des gesättigten Wasserdampfes bei der Temperatur T,
- p' den im Versuchsraum über dem Gips wirklich herrschenden Wasserdampfdruck,
- s das specifische Gewicht des Wassers bei der Temperatur T,
- R die bekannte Gasconstante (= 0,0821),
- M das Moleculargewicht des Wassers (= 18),

so lautet die von REINGANUM abgeleitete Formel:

$$P = \frac{1000 R s}{M} \cdot T \cdot \frac{2(p-p')}{p+p'} \text{ Atm.},$$

1) Verhandl. des Naturhist.-Medic. Ver. zu Heidelberg 1896. N. F. V. Beiträge zur Erklärung des Saftsteigens.

2) WIED. Ann. 1896. N. F. 59, S. 764–767: Ueber durch isotherme Destillation erzeugte Druckdifferenzen.

3) Theor. Chemie. III. Aufl. 1900. S. 165–167.

und die von NERNST herrührende, etwas genauere:

$$P = \frac{1000 \text{ Rs}}{M} \cdot T \cdot \log \text{ nat } \frac{p}{p'} \text{ Atm.}$$

Setzt man das spezifische Gewicht des Wassers unter Vernachlässigung der geringen Abweichung gleich 1, so hat der erste gebrochene Factor auf der rechten Seite beider Formeln den Werth 4,56, und diese lassen sich für unseren Gebrauch bequemer schreiben:

$$P = 4,56 \cdot T \cdot \frac{2(p - p')}{p + p'} \text{ Atm.,}$$

beziehungsweise

$$P = 4,56 \cdot T \cdot \log \text{ nat } \frac{p}{p'} \text{ Atm.}$$

Um eine zahlenmässige Vorstellung der Werthe von P zu gewinnen, wählen wir als Temperatur des Versuchsraumes $17^\circ \text{ C.} = 290^\circ$ in absolutem Masse und nehmen einen Feuchtigkeitsgehalt von 80 pCt. im Zimmer an. Dann ist p' sehr nahe gleich $\frac{4}{5}p$, und die Formel von REINGANUM liefert den Werth

$$P = 4,56 \cdot 290 \cdot \frac{2}{9} = 294 \text{ Atm.,}$$

die von NERNST

$$P = 4,56 \cdot 290 (\log \text{ nat } 5 - \log \text{ nat } 4) = 4,56 \cdot 290 (1,61 - 1,39) = 4,56 \cdot 290 \cdot 0,22 = 291 \text{ Atm.}$$

Wir haben hierbei den Wassergehalt der Luft ziemlich hoch genommen. Ist derselbe nur 67 pCt., der Quotient $\frac{p'}{p}$ somit nahe gleich $\frac{2}{3}$, so steigt die Zugkraft auf $4,56 \cdot 290 \cdot \frac{2}{5}$, bezw. $4,56 \cdot 290 \cdot 0,405$ gleich ca. 530 Atmosphären. Die durch die Verdunstung aus der Umgebung auf den ASKENASY'schen Apparat übertragene Energie würde also theoretisch unter diesen Umständen hinreichen, um das Quecksilber 400 *m* hoch zu heben.

Diese Zahlen scheinen mir nun, trotz ihres zunächst rein theoretischen Charakters, für manche botanische Fragen von hohem Interesse. Denn die Formeln beschränken sich durchaus nicht auf die erwähnte Versuchsanordnung. Ihr Geltungsbereich erstreckt sich vielmehr auf Grund ihrer Ableitung auf die „isotherme Destillation“ überhaupt, d. h. auf jede Verdunstung von Wasser aus einem beliebigen imbibirten Körper, falls diese so langsam vor sich geht, dass die Temperatur des Wassers durch Wärmezufuhr aus der Umgebung constant erhalten wird. So zum Beispiel bleiben sie für die Transpiration lebender Pflanzen in Kraft und speciell ferner auch für den Vorgang, den wir als „Schrumpfelns“ bezeichnet haben, also für die Contraction lebendiger und todter, flüssigkeitserfüllter Zellen, die durch Verdunstung verursacht wird und unter Verbiegung und

Faltung der Zellwände erfolgt. Der Unterschied, dass bei ASKENASY's Versuch Quecksilber gehoben wird, beim Schrumpfen aber statt dessen die Festigkeit der Zellmembranen überwunden werden muss, ist ja für die thermodynamische Betrachtung ebenso gleichgültig, wie die Substanz des imbibirten wasserabgebenden Körpers, vorausgesetzt, dass die Continuität des ganzen Systems gewahrt bleibt.

Thatsächlich findet allerdings die Gültigkeit der Formeln ihre Beschränkung darin, dass längst vor der Erreichung der theoretischen Maximalwirkung eine Unterbrechung im Zusammenhang des Systems (Gips - Wasser - Quecksilber oder Zellwand - Zellflüssigkeit) stattfindet. Trotzdem büßen diese Rechnungen hierdurch für unseren Fall an Interesse nicht ein. Denn sie lehren deutlich, dass ohne diese Unterbrechung selbst sehr dickwandige Elemente des Pflanzenkörpers beim Verlust ihres flüssigen Inhaltes der völligen Zerknitterung anheimfallen würden. Auf die Ursachen dieser Unterbrechung sollen nun unsere ferneren Erörterungen gerichtet sein.

II. Ueber die Luftdurchlässigkeit als Unterbrechungsursache.

In meiner letzten Mittheilung¹⁾ ist zunächst die Frage gestreift worden, ob die Verholzung der Zellmembran eine Schranke für ihre Faltung darbiere. Einige Aeusserungen anderer Forscher, sowie ein Vergleich im Verhalten des verholzten Hollundermarkes und des unverholzten Sonnenrosenmarkes im todtten Zustande beim Wasserverlust schienen dieser Auffassung günstig zu sein. Ich hatte nämlich damals an todttem injicirtem Hollundermark noch kein Schrumpfen beobachtet. Inzwischen ist mir dies aber an Markproben von *Sambucus nigra*, die ich aus frischgeschnittenen diesjährigen und vorjährigen Zweigen herausgeschält habe, oftmals gelungen. Da diese Proben mit Phloroglucin-Salzsäure eine sehr ausgesprochene Reaction auf Verholzung lieferten und ich ferner, wie bereits in einer Anmerkung zur vorigen Mittheilung berichtet war, auch bei Jungholz von *Salix*-Schösslingen und *Sambucus*-Zweigen erhebliche Schrumpfung constatirt habe, so lässt sich somit die Ansicht, dass die Verholzung allgemein dahin wirke, die Gestalt der abgestorbenen Zellen zu fixiren, nicht aufrecht erhalten.

In meiner eben erwähnten Mittheilung habe ich ferner ausführlicher die Frage untersucht, ob zum Zustandekommen des Schrumpfens die Undurchlässigkeit der Membranen für Luft erforderlich sei. Es war ja wiederholt behauptet worden, dass die Zellhäute der „Cohäsionsmechanismen“ einen luftdichten Abschluss böten und ihre wasserleeren Zellräume daher auch fast luftleer wären.

1) Diese Ber. 1900. S. 285.

Dem gegenüber hat meine Untersuchung ergeben, dass die Membranen der geprüften Antheren und Markgewebe für Luft, wenigstens bei Druckdifferenzen von etwa einer Atmosphäre, in ziemlich hohem Grade permeabel sind. Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, dass eine völlige Luftundurchlässigkeit nicht zu den Bedingungen der Schrumpfung gehört. Die andere Frage, ob aber nicht dennoch das Mass der Schrumpfung in den einzelnen Fällen unter anderem auch von dem besonderen Grade der Luftdurchlässigkeit abhängt, ist damit noch nicht scharf beantwortet.

Vielleicht trägt auch hier eine Parallele mit ASKENASY's Versuchen zur Klärung unseres Problems bei. Seine Ergebnisse lassen nämlich nicht bloss zu dem Vorgange der Schrumpfung, wie oben aus einander gesetzt wurde, sondern auch zu der umgekehrten Erscheinung, nämlich zu der elastischen Schwellung (Entfaltung) der Gewebe bei erneuter Wasserzufuhr, ein einfaches physikalisches Analogon erkennen. Den betreffenden Passus in der citirten Abhandlung des Heidelberger Forschers habe ich erst kürzlich bei der erneuten Lectüre derselben aufgefunden. Diese Stelle lautet wörtlich folgendermassen¹⁾: „Wenn . . . der Versuch dadurch endet, dass sich zwischen Gips und Wasser eine Luftblase bildet, so findet ein sehr langsames Fallen des Quecksilbers statt in dem Masse, als der Gips durch allmähliches Austrocknen für Luft durchgängig wird. Giesst man aber gleich nach Beendigung des Versuches etwas Wasser auf den Gips, . . . so sinkt das Quecksilber mit ausserordentlicher Geschwindigkeit, so dass es in wenigen Minuten ganz aus dem Rohre verschwunden und durch Wasser ersetzt ist. Dies zeigt sehr schön, wie der feuchte Gips, der für Luft so schwer durchdringlich ist, doch Wasser mit Leichtigkeit durchgehen lässt; selbst kleinere Druckunterschiede bewirken, dass das Wasser sich rasch durch den Gips bewegt“.

Bleiben wir zunächst eine Weile bei der Frage stehen, welche Kraft es ist, die das Wasser durch den Gipspfropf in das Trichterrohr so lange hinabdrängt, bis das Quecksilberniveau innen und aussen ungefähr gleich ist. Es scheint mir ausser Zweifel, dass der Luftdruck als Ursache hierfür nicht in Anspruch genommen werden kann. Denken wir uns nämlich den Versuch, so wie ASKENASY ihn schildert, in völliger Luftleere vollzogen, so würde das Resultat sicherlich dasselbe sein. Der Luftdruck über der Gipskappe und über dem Quecksilberniveau im äusseren Gefässe differiren ja nur um einen ganz minimalen Betrag. Die treibende Kraft geht vielmehr von der am Wasser des Trichterrohres haftenden gehobenen Quecksilbersäule aus. Wir begegnen hier also genau demselben

1) l. c. S. 13 des S.-A.

Verhältniss, wie bei der Entfaltung geschrumpfter Zellen bei Wasserzutritt. Wie bei ASKENASY's Versuch das Gewicht des Quecksilbers, so wirkt bei den geschrumpften Zellen die Elasticität der Wandung ziehend auf das adhärende Wasser. In beiden Fällen erleidet das (im Trichterrohr bezw. Zellraum) eingeschlossene Wasser eine Dehnungsspannung, die sich durch die poröse Wand auf das Aussenwasser fortsetzt und dieses, wie ich für die Zellgewebe experimentell nachgewiesen habe¹⁾, unabhängig vom Luftdruck so lange durch diese Wand in den Innenraum hineinzwingt, bis die Zugspannung ausgeglichen ist. Wenn ich die gesperrt gedruckten Schlussworte im obigen Citat aus ASKENASY's Bericht recht verstehe, so ist es zum Zustandekommen des geschilderten Ergebnisses durchaus nicht nöthig, dass das Quecksilber vorher über die Barometerhöhe gehoben worden ist. Vielmehr genügt bei seinem Apparat schon ein „kleinerer Druckunterschied“, d. h. eine geringere Erhebung der Quecksilbersäule im Trichterrohr (auch ohne dass sich unter dem Gips eine Luftblase gebildet hat), um das Einströmen von Wasser durch den Gipspfropf herbeizuführen.

Wir kommen nun zur Erörterung der Frage, warum der durchfeuchtete Gips das aufgebossene Wasser so rasch passiren, die Filtration der anstossenden Luft aber nicht zulässt. Die Antwort darauf scheint ziemlich nahe zu liegen, sobald man die starke Anziehung zwischen den Molecülen der in Betracht kommenden flüssigen und festen Körper berücksichtigt. Sollte Luft in reichlicher Menge durch die Poren des Gipses fliessen, so müssten diese vorher durch die Verdrängung von sie erfüllenden Wassertheilchen wegsam gemacht sein. Jene Molecularanziehung müsste also überwunden werden. Dazu reichte aber bei ASKENASY's Versuchen selbst der Zug einer Quecksilbersäule, die den Barometerstand überstieg, meist nicht aus, mithin erwies sich der imbibirte Gipspfropf bei diesen Versuchen auch dem Druck einer Atmosphäre gegenüber luftdicht. Der Eintritt der Wassertheilchen konnte dagegen ungehindert stattfinden, weil ihm die Molecularanziehung nicht widerstrebte. Zu ihrem Eindringen war ja nur eine Verschiebung der Wassertheilchen innerhalb der Poren nöthig, die bei der Beweglichkeit der Wassermolecüle einen weit geringeren Kraftaufwand erforderte, als die völlige Ablösung der Molecüle von der Porenwand oder die Verdrängung derselben aus dem Innern der Porenröhren, in so fern als ja andere Wassertheilchen zur Befriedigung der molecularen Anziehungskräfte nachrückten. Mit anderen Worten: Zu dieser Verschiebung der Wassertheilchen genügte der Zug der gehobenen Quecksilbersäule, nicht

1) Diese Ber. 1900, S. 48.

aber zur Ueberwindung der Adhäsion und Cohäsion der Flüssigkeitsmolecüle, die in nächster Nachbarschaft der Gipstheilchen lagen.

Uebertragen wir nun endlich diese Betrachtung auf das Problem der Schrumpfung von Pflanzenzellen, indem wir als Beispiel das Gewebe der *Fritillaria*-Anthere wählen, auf die sich mein letzter Bericht vornehmlich bezieht. Wir wissen von diesem Gewebe bestimmt, dass seine Wände auch im imbibirten Zustande für Luft durchlässig sind. Andererseits ist aber eben so wenig zu bestreiten, dass die atmosphärische Luft beim Schrumpfungsprocess nicht in wahrnehmbarem Grade durch sie eindringt. Diese Thatsache dürfte nach dem Vorigen leicht dahin zu erklären sein, dass der Widerstand der Membranen gegen die Faltung geringer ist, als derjenige der imbibirten Wassertheilchen gegen ihre Verdrängung aus den Poren. Aus diesem Grunde erweist sich die Membran unter diesen Umständen allerdings so weit luftundurchlässig, dass keine Unterbrechung des Zusammenhangs zwischen Wand und Flüssigkeit zu Stande kommt.

Darf man diese Erklärung aber auch dahin ergänzen, dass das Fortschreiten der Contraction stets dann sistirt werde, wenn der wachsende Zug der Membranen auf die in den Poren befindlichen Wassertheilchen die Höhe derjenigen Druckdifferenz übersteigt, bei welcher man gelegentlich anderer experimenteller Untersuchungen eine reichliche Durchlässigkeit der betreffenden Zellhaut für Luft constatirt hat? Dies scheint zunächst eine sehr nahe liegende Consequenz der bisherigen Auseinandersetzungen zu sein und findet auch an dem Verhalten der *Fritillaria*-Anthere, soweit bekannt, keinen directen Widerspruch. Denn unsere Beobachtung über die Permeabilität ihrer Gewebe für Luft bezieht sich nur auf Druckdifferenzen von annähernd einer Atmosphäre; der Versuch hat aber ausserdem ergeben, dass ein geringerer Luftdruck als dieser bereits genügt, um die Fächer einer durch Befeuchtung wieder geschlossenen Anthere eben so weit zu öffnen, als dies bei frischen Staubbeuteln unter gewöhnlichen Umständen durch den Schrumpfungsprocess geschieht¹⁾. Mithin überschreitet bei der *Fritillaria*-Anthere der zu dieser Compression nöthige Zug nicht den Betrag des Druckes, bei dem die Luftdurchlässigkeit der Wände bisher festgestellt ist. Das Gleiche gilt auch für das Sonnenrosen- und Hollundermark. Für beide Gewebe genügt, wie ich neuerdings

1) Vergl. diese Ber. 1900, S. 282. Dass die Quer- und Längscontraction der ganzen Anthere bei dem erwähnten Versuche erheblich hinter derjenigen zurückblieb, die von der Schrumpfung bewirkt wird, widerspricht dem nicht; denn die luftverdünnten Zellräume der geprüften Antheren enthielten ja bereits reichliche Mengen von Wasser, die eine derartige Compression, wie sie an wasserleeren Zellen möglich ist, verhindern konnten.

bezüglich des letzteren wenigstens einige Male habe feststellen können, ebenfalls der Atmosphärendruck, um die bei der Schrumpfung stattfindende Compression hervorzubringen. Wie steht es aber in dieser Hinsicht mit erheblich dickwandigeren Geweben, z. B. mit den sogenannten Bank- und Stuhlzellen der *Clematis*-, *Magnolia*- und anderen Antheren? Bedarf es auch bei ihnen zu den beim Schrumpfen vorkommenden Formänderungen und Dimensionsverringernungen keines höheren Druckes als einer Atmosphäre, oder schliessen ihre Membranen auch bei den etwa erforderlichen höheren Drucken noch luftdicht?

Wer diese Fragen für überflüssig hält, da sich die Bejahung des oben (S. 391) gesperrt gedruckten Satzes von selbst verstehe, der wird sich dadurch vielleicht wider Erwarten in die Lage versetzt sehen, auch ein Urtheil über die physikalische Möglichkeit der ursprünglichen Saftsteigetheorie ASKENASY's zu fällen.

Bekanntlich hat ASKENASY zugestanden, dass die Gegenwart von Luftblasen in den Leitungsbahnen seiner Theorie Schwierigkeiten bereitet, da diese Blasen den Zusammenhang der Wasserfäden unterbrechen, die anderenfalls vom Boden bis zum Gipfel eines hohen Baumes, ebenso wie die Quecksilbersäule im Trichterrohr, durch die Transpiration als Ganzes emporgehoben werden würden. Stellen wir uns aber, um dieser thatsächlichen Schwierigkeit aus dem Wege zu gehen, die Leitungsbahnen eines etwa 20 m hohen lebenden Baumes für den Moment einmal wirklich ganz blasenfrei und wassererfüllt vor, so würde auf Grund der Untersuchungen VON HÖHNEL's¹⁾ und STRASBURGER's²⁾ die Bejahung des erwähnten Satzes sofort das Auftreten solcher Blasen am Gipfel der Leitungsbahnen und damit den Stillstand der Aufwärtsbewegung verlangen. Die genannten Forscher haben nämlich trotz des sorgfältigen Abschlusses der Gefässe von den Intercellularen, der sich in der Natur vorfindet, selbst bei Drucken unterhalb einer Atmosphäre ein verhältnissmässig rasches Eindringen der äusseren Luft in die Gefässe der lebenden Pflanze constatirt³⁾.

Denken wir uns nun einmal den Versuch ASKENASY's mit einem Trichterrohr wiederholt, dessen Wandung unterhalb des Trichters, statt aus Glas, aus einer festen Masse von den Eigenschaften der pflanzlichen Gefässmembran gebildet wäre und nehmen an, das Quecksilber sei in derselben etwa auf den Barometerstand gehoben. Das Gewicht des Quecksilbers würde nunmehr vermittelt der darüber

1) Beiträge zur Luft- und Saftbewegung in der Pflanze. Jahrb. für wissensch. Bot. XII, S. 115.

2) Bau und Verrichtung der Leitungsbahnen, S. 717 ff.

3) Vergl. z. B. STRASBURGER, Leitungsbahnen, S. 725.

befindlichen adhären den Wassersäule auf die Wasserpartikeln innerhalb jenes Theiles der Rohrwandung einen Zug ausüben, der einem äusseren Ueberdruck von einer vollen Atmosphäre gleichkäme. Die äussere Luft müsste also in die Gefässe mindestens so rasch eintreten wie bei den Versuchen VON HÖHNEL's und STRASBURGER's, die meist mit Drucken gearbeitet haben, die nicht ganz an den von einer Atmosphäre heranreichten. Es müsste also auch diesmal eine Unterbrechung des Systems am Gipfel der Röhre stattfinden, ebenso wie ASKENASY es fand, wenn die Gipskappe nicht mehr dicht schloss. Dieses Verhalten würde sich aber nicht ändern, wenn man bei entsprechender Verlängerung des Rohres das Quecksilber durch Wasser ersetzte und das gleiche Gewicht des letzteren statt des Metallgewichts ziehend wirken liesse. Demnach gälte dasselbe auch für die lebenden Pflanzen.

Es dürfte also wohl angezeigt sei, die angeregte Frage nach der entscheidenden Wirkung des Luftdurchlässigkeitsgrades noch genauer zu prüfen.

III. Ueber gesteigerte Dampfbildung als Hemmniss des Schrumpfelns.

Wir gehen nunmehr zu den anderen Ursachen über, die der Schrumpfung eine Grenze setzen, kehren aber zweckmässiger Weise vorher nochmals zu den Formeln von NERNST und REINGANUM zurück. Sie besagen nicht nur, dass durch die Verdunstung eine Arbeitsleistung erzielt werden kann, die sich durch den Hub einer Quecksilbersäule von vielen Metern Länge veranschaulichen lässt, sondern auch umgekehrt, dass die Dampfbildung durch den Zug einer, diesen Formeln entsprechenden Quecksilbersäule gänzlich sistirt werden würde¹⁾. Dem entsprechend verlangt die Theorie, dass auch beim Schrumpfen die Verdunstung des Wassers durch den Widerstand der contrahirten Zellmembranen zwar nicht verhindert, aber doch diesem entsprechend herabgesetzt wird. Es ist ja auch ohne Rechnung verständlich, dass es eines grösseren Energieaufwandes, also einer beträchtlicheren Wärmezufuhr aus der Umgebung bedarf, wenn, wie bei ASKENASY's Versuch, zugleich Quecksilber gehoben oder wie beim Schrumpfen die Biegungsfestigkeit der Wände überwunden werden muss, als wenn die Energie bloss zur Verwandlung der Wassertheilchen in Dampfform verwendet zu werden braucht.

Hierdurch wird u. a. verständlich, warum der Dörrprocess des Obstes und Gemüses ein verhältnissmässig langwieriger ist. In einem

1) Vergl. NERNST, Theoretische Chemie. 1900, S. 166.

Fachschriftchen von ED. LUCAS, Director eines pomologischen Instituts, finde ich hierzu die Angabe¹⁾: „Die in Dampf weichgekochten Früchte, deren Zellen bei diesem Verfahren grossentheils zerrissen sind, dörren sich weit schneller und leichter, als die vorher nicht so behandelten Früchte“. Man kann sich übrigens auch an gleich grossen Proben von Markgeweben, von denen bei gewöhnlicher Temperatur die eine schrumpfelt, die andere formbeständig bleibt, überzeugen, wie viel länger die Austrocknung im ersteren Falle dauert.

Das hartnäckige Festhalten der Flüssigkeit an ihrem Aggregatzustande trat mir am auffälligsten bei einigen Versuchen entgegen, die ich, um die Verdampfung möglichst zu erleichtern, bei höherer Temperatur anstellte. Ich brachte zum Beispiel kleine Prismen von totem Sonnenrosenmark, die ich erst mit Wasser völlig erfüllt und bei denen ich dann das Wasser durch wasserfreien Alkohol völlig verdrängt hatte, in ein Wasserbad von 60° oder 70° und zuletzt 90°, in der Erwartung, dass der Alkohol bei einer solchen, seinem Siedepunkt nahen oder ihn übersteigenden Temperatur gleichsam zu rasch verdampfen würde, um vorher Zeit zu finden, die Membranen der Zellen zu zerknittern. Hatte ich doch bei Antheren von *Fritillaria imperialis* und *Lilium candidum* wiederholt beobachtet, dass ihre mit Alkohol durchtränkten Gewebe sogar bei gewöhnlicher Temperatur das Schrumpfen unterliessen. Aber auch bei den oben angegebenen Temperaturen schrumpften jene Sonnenrosenmarkstücke in unverringertem Masse. Ich brachte andere Stücke desselben Markes nach gleicher Behandlung in ein Luftbad von 155°. Auch diesmal trat noch starkes Schrumpfen ein. Ebenso contrahirten sich wassergesättigte *Fritillaria*-Antheren in nicht geringerem Masse wie bei gewöhnlicher Temperatur, als ich von 60°, 70°, 90° im Wasserbade zu 180°, 200°, 230°, 255° im Luftbade aufstieg. Selbst in eine direct über der Gasflamme erhitzte Silberschale gebracht oder auf ein rothglühendes Platinblech gelegt, schrumpften sie in demselben Masse wie gewöhnlich. Allerdings erhielt ich trockene Antheren von der doppelten Länge der natürlichen, als ich sie wassergesättigt auf einen Objectträger legte, der durch eine Spiritusflamme erhitzt war, und die scharfe Erhitzung fortsetzte.

Offenbar spielt bei diesen Ergebnissen nicht bloss der hemmende Zug der Membranen, sondern weit mehr noch das geringe Wärmeleitungsvermögen der Flüssigkeiten eine Rolle. In Folge dessen gelangten diese kaum oder nicht entfernt auf die Temperatur des umgebenden Raumes. Eine allzu plötzliche Dampfbildung, welche die Continuität des Systems hätte aufheben können, wurde daher ver-

1) Kurze Anleitung zum Obstdörren. 4. Auflage. Stuttgart, 1873, S. 28.

mieden. In anderen Fällen scheint aber durch erhöhte Temperatur oder sonstige Umstände momentan eine so reichliche Dampfbildung hervorgerufen zu werden, dass die Schrumpfung gänzlich unterbleibt oder doch stark herabgesetzt wird, ohne dass die Zellen zerrissen werden. Dass die Zellen dabei wirklich intact geblieben sind, lässt sich dadurch erweisen, dass man die Gewebe nach erneuter Injection mit Wasser nochmals bei gewöhnlicher Temperatur in freier Luft trocknet und ihr unvermindertes Schrumpfen constatirt.

Man wird also in diesen Fällen wohl annehmen müssen, dass durch den überaus raschen Uebergang der in und an den Membranen gelegenen Wassertheilchen in Dampfform der feste Zusammenhang der Flüssigkeit mit der Wand, der zur Ausübung der gewöhnlichen Zugwirkung nöthig ist, unterbrochen wird. Hierher gehört z. B. die bereits oben erwähnte, nicht selten zu beobachtende Formbeständigkeit von Antheren, die nach längerem Liegen in wasserfreiem Alkohol bei gewöhnlicher Temperatur in freier Luft ausgetrocknet werden. Meist bedarf es aber zur genügenden Beschleunigung der Verdampfung besonderer Hilfsmittel. Als solche bieten sich ausser dem Ersatz des Wassers durch absoluten Alkohol oder durch eine andere Flüssigkeit von niederem Siedepunkt und ausser der Anwendung höherer Temperaturen die starke Verkleinerung der Probestücke und die Uebertragung der Proben in den trockenen „luftleeren“ Raum dar. Namentlich bei der Combination von mehreren dieser Mittel ist es mir nun, wie ich zum Theil schon früher mitgetheilt habe, thatsächlich gelungen, die Schrumpfung mit Sicherheit ganz zu unterdrücken. So erwiesen sich alkoholdurchtränkte Antheren von *Fritillaria imperialis* und *Lilium candidum* beim Austrocknen in der Luftleere und im Wasserbade von 90°, auch *Amaryllis*-Antheren als durchaus formbeständig. Dasselbe Resultat erhielt ich einmal mit *Fritillaria* (Alkoholanthere) bei 76°, während ein andermal Alkohol-Staubbeutel derselben drei genannten Pflanzen selbst bei 70° ebenso stark schrumpften, wie die natürlichen, in der Blüthe belassenen.

Kleinere Stücke von *Crocus*-, *Fritillaria*-, *Lilium*- und *Liriodendron*-Antheren stellten auch im wasserdurchtränkten Zustande ihr Schrumpfen völlig ein, wenn sie in unserem früher mehrfach erwähnten Apparate der plötzlichen vollen Wirkung der Luftleere ausgesetzt wurden. Von sachverständiger Seite ist mir ferner die Vermuthung bestätigt worden, dass die Volumverringering auch bei Dörrobst, wenn man es bei erhöhter Temperatur trocknet, geringer ausfällt, als wenn sich der Trockenprocess in freier Luft vollzieht. Ich selbst habe hierüber noch keine entscheidenden Versuche angestellt. Jedoch spricht dafür das Ergebniss einer Beobachtung, als ich käufliche Aepfelschnitze und Feigen erst im Wasser wieder

schwellen und dann von Neuem im Zimmer trocknen liess. Sie waren nach dem Trocknen ganz erheblich kleiner geworden, als sie anfänglich gewesen waren und hatten einen hohen Härtegrad erlangt.

Die Praxis des Dörrprocesses scheint zum Theil seiner wissenschaftlichen Ergründung vorausgeeilt zu sein. Vielleicht tragen diese Zeilen dazu bei, ein besseres Verständniss desselben anzubahnen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1900

Band/Volume: [18](#)

Autor(en)/Author(s): Steinbrinck Carl

Artikel/Article: [Ueber die Grenzen des Schrumpfelns 386-396](#)