

*Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Pflanzen.***Von Prof. Dr. F. Unger,**

wirklichem Mitgliede der kais. Akademie der Wissenschaften.

(Als Fortsetzung der gleichnamigen Beiträge. Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissenschaften mathem.-naturw. Cl. Bd. XLIII. S. 497.)

IX. Neue Untersuchungen über die Transpiration der Gewächse.

1. Einleitendes, die Geschichte des Gegenstandes betreffend.
Methode der Untersuchung.

Will man über das Leben der Pflanzen, und namentlich über den Stoffwechsel in demselben auch nur einigermaßen zum Verständniss der einzelnen sich bedingenden Vorgänge gelangen, so ist vor Allem ein Phänomen nicht ausser Acht zu lassen, welches alle Prozesse vermittelt und beherrscht, alles in den Gang setzt und unterhält und in deren wichtigste Momente unmittelbar eingreift, — dies ist die Aufnahme des Wassers und die Abgabe desselben an das die Pflanze umgebende Medium. Der ganze Process der Ernährung kann ohne Mitwirkung des Wassers nicht vor sich gehen. Das Wasser schafft alle zum Gedeihen der Pflanze nothwendigen Stoffe in Auflösungen herbei, und führt sie in das Innere derselben ein; in wässerigen Lösungen wandeln dieselben von Zelle zu Zelle, verändern sich hiebei und treten zu neuen Verbindungen zusammen. Aber nicht bloß die gelösten Stoffe, sondern das Lösungsmittel selbst spielt dabei wie bei ähnlichen Processen ausser der Pflanze eine Hauptrolle. Es geht sowohl unverändert in die neugebildeten Substanzen ein und erhält sie in der für den Organismus nothwendigen Form, oder es wird zersetzt und es sind seine Bestandtheile, welche Theil nehmen an der Bildung neuer chemischer Producte. Auf diese Weise wird die von der Pflanze aufgenommene flüssige Nahrung nach und nach verändert — assimiliert und tritt endlich in tausenderlei Bestandtheilen

als Eigenthum der Pflanze selbst oder als von dieser ausgeschiedene Materien auf.

Bei der geringen Löslichkeit mancher Körper im Wasser, die jedoch nichts desto weniger für diese oder jene Pflanze als nothwendige Bedingungen ihrer Existenz erscheinen, ist es begreiflich, dass von dem Lösungsmittel — dem Wasser — sicherlich in den meisten Fällen grosse Quantitäten in den Organismus der Pflanzen eingeführt werden, ohne dass dieselben weiter verwendet werden können. Dieser Überschuss des Wassers muss wieder fortgeschafft werden. Dies geschieht wie von selbst dadurch, dass das Medium, worin die Pflanze lebt, dasselbe aufnimmt.

Dass bei Pflanzen, welche im Wasser vegetiren, eine solche Abgabe des für die Unterhaltung des Lebensprocesses überflüssigen Wassers gleichfalls stattfindet, ist nicht zu bezweifeln. Bei den terrestrischen Pflanzen hingegen ist es im Allgemeinen ein wenn auch nicht in die Augen fallendes Phänomen, doch eine Thatsache, welche sich leicht durch den einfachsten Versuch sicherstellen lässt.

Nur wenigen Pflanzen kommt die Eigenthümlichkeit zu, das Wasser im flüssigen Zustande abzuscheiden. Es hängt diese Eigenthümlichkeit gewisser Pflanzen theils mit ihrem grossen Nahrungsbedarf an Wasser, theils mit einer eigenthümlichen Organisation zusammen, ohne welchen eine Ausscheidung von tropfbar flüssigen Wassers unmöglich wäre. Die Ausscheidung flüssigen Wassers ist zwar auch noch bei mehreren anderen Pflanzen beobachtet worden, ohne dass jedoch zugleich die Bedingungen dieser Erscheinung, welche immerhin zu den ungewöhnlichen zu zählen ist, bekannt geworden wären.

Dagegen ist die Absonderung dunstförmigen Wassers durch alle der Atmosphäre ausgesetzten Theile der Pflanze eine Erscheinung, welche bei allen Landpflanzen ohne Ausnahme stattfindet und Transpiration — Ausdünstung — genannt wird. Die bei diesem Vorgange herrschenden Gesetze können nur dieselben sein, welche für die Verdunstung überhaupt gelten. Die durch den belebten Körper und durch dessen Einrichtung bewirkten Modificationen dieses Vorganges können für die Pflanzenphysiologie nicht unbeachtet bleiben. Sie näher kennen zu lernen war von jeher eine Aufgabe dieser Wissenschaft. Wie weit man hierin bereits gekommen ist, soll ein kurzer Überblick der Literatur zeigen.

Schon Mariotte¹⁾ hat sich durch ein höchst einfaches Experiment von der dunstförmigen Absonderung des Wassers bei Pflanzen zu überzeugen gesucht. Er stellte einen beblätterten Zweig in ein verschlossenes Glas. Allmählich beschlug sich der innere Rand desselben mit Wassertröpfchen, und nach Verlauf zweier Stunden konnten zwei Löffel voll Wasser gesammelt werden.

Genauer hatte Stephan Hales²⁾ das Mass der wässerigen Ausdünstung der Pflanzen bestimmt. Er setzte eine 3 Fuss hohe Pflanze von *Helianthus annuus* in einen glasierten Topf und verschloss die Öffnung mit einer Bleiplatte, welche nur zum Durchgange des Stengels mit einem Loche versehen war, ausserdem aber noch ein zweites verschliessbares Loch hatte, durch welches der Pflanze von Zeit zu Zeit die nöthige Feuchtigkeit zugeführt wurde. Die Bestimmung des Wasserverlustes geschah durch Abwägen, was durch 14 Tage Früh und Abends geschah. Ähnliche Experimente wurden auch mit einer Kohlpflanze angestellt. Es ergab sich hieraus, dass die Sonnenblume innerhalb 24 Stunden im Mittel 567 Grm.³⁾ ausdünstete, eine Kohlpflanze 538 Grm. Vergleicht man die Ausdünstung der ersteren Pflanze mit der Ausdünstung einer gleich grossen Oberfläche des menschlichen Körpers, so verhält sich jene zu dieser wie 50:15, d. i. sie ist ungefähr dreimal stärker; vergleicht man aber die Volumina, so ist die Ausdünstung der Pflanze das 17fache von jener des Menschen. Hales fand ferner, dass die mit lederartigen Blättern versehenen Citronenbäume weniger ausdünsten als Bäume, die ihr Laub abwerfen und noch weniger als Sommergewächse (l. c. p. 3—12). Nach Müller's Beobachtungen, welche er anführt, ist die Ausdünstung von Morgen bis Mittag ungleich stärker als von Mittag bis Abend. Als vorzügliche Organe der Ausdünstung werden die Blätter erkannt, weniger dunstförmiges Wasser geben ab Früchte, Holz u. s. w. Die Ausdünstungsmaterie ist bei verschiedenen Pflanzen Wasser mit einigen fremdartigen Theilen gemengt (l. c. p. 30).

¹⁾ Edme Mariotte, *Essays de physique. Premier essay de la végétation des plantes.* Paris 1679. 12. p. 98.

²⁾ *Vegetable statiks.* London 1738. 80.

³⁾ 20 Unzen englischen Gewichtes geben 567 Grm.

J. Steph. Guettard¹⁾, der sich vorzüglich mit den auf der Oberfläche der Pflanzentheile befindlichen Poren und Drüsen beschäftigte, hatte gleichfalls einige die Ausdünstung betreffende Beobachtungen gemacht. Er schätzt die wässerige Aushauchung eines Cornelkirschenzweiges, der $5\frac{1}{2}$ Drachmen wog und mit seinem unteren Ende im Wasser stand, innerhalb 24 Stunden auf $11\frac{3}{4}$ Drachmen. Im Juni dunsten die Pflanzen nur $\frac{2}{3}$ Theile von dem aus, was sie im August verlieren (l. c. 1749, p. 382). Ein Lorbeerbaum haucht in zwei Sommertagen eben so viel Wasserdunst aus als in zwei Monaten zur Winterszeit. Nach Versuchen soll die Sonne nicht durch vermehrte Wärme sondern durch den Reiz des Lichtes die Ausdünstung befördern (l. c. 1748, p. 845). Kränkliche und gebleichte Pflanzen dunsten weniger aus als gesunde mit grünem Laube (l. c. 1749, p. 396), dagegen Pflanzen auf trockenem Boden mehr als auf feuchtem (l. c. 1748, p. 856). Guettard fand ferner, dass die obere Blattseite kräftiger als die untere Seite bei der Abgabe von Wasserdunst wirksam ist (l. c. 1748, p. 848), und dass Pflanzen selbst mit scharfen Säften nur ein unschmackhaftes Wasser liefern.

Ausführlich beschäftigte sich kurze Zeit darauf mit den Functionen der Blätter Charles Bonnet²⁾, und es konnte nicht anders sein, als dass bei den zahlreichen Versuchen, die derselbe anstellte, auch der Abgabe des Wasserdunstes gedacht wurde. Auch er hielt wie seine Vorgänger die Blätter als die eigentlichsten Organe für die Abgabe des Wassers, aber zugleich auch als die vornehmlichsten Werkzeuge der Aufnahme desselben, in welch' letzterer Beziehung sie wie Luftwurzeln wirken sollen. Die Aufnahme von Wasser in jeglicher Form soll durch die Unterseite der Blätter vermittelt werden, doch wagt er es nicht aus den ungenügenden und sich häufig widersprechenden Versuchen mit Sicherheit den Schluss zu ziehen, dass die Oberseite der Blätter die aushauchende sei. Die grosse Menge der Öffnungen, welche sich an der unteren Fläche der Blätter befinden, mache indess diese Seite für geeigneter als die obere Seite dem von der Wurzel aufgenommenen Nahrungssaft einen Ausgang zu verstaten. Endlich glaubt er die Erfahrungen dadurch am besten vereinigen

¹⁾ Mém. de l'académie des sciences de Paris 1748 et 1749.

²⁾ Recherches sur l'usage des feuilles. Genève 1754. 4.

zu können, wenn er annähme, dass bei Nacht die Unterseite der Blätter vorzüglich als Einsaugungsorgan, bei Tag dagegen als Ausscheidungsorgan des Wasserdunstes wirksam sei.

Denselben Gegenstand nahm noch vor dem Schlusse des achtzehnten Jahrhunderts ein anderer französischer Pflanzenphysiolog, J. Senebier ¹⁾ auf und beschäftigte sich vorzüglich damit, die äusseren Einwirkungen auf die Ausdünstung der Pflanzen näher kennen zu lernen und das Verhältniss der Aufnahme des Wassers durch die Wurzeln, zur Ausscheidung desselben durch die Blätter zu erforschen. Er wiederholte zum Theile Guettard's Versuche. Es wurden nämlich beblätterte Zweige in eine Flasche von Kugelform eingeschlossen, die einen an's Licht, die anderen an einen dunkeln Ort gestellt. Es zeigte sich, dass die ersteren mehr Wasserdunst abgaben als letzere, woraus er wie Guettard den Schluss zieht, dass nicht die Wärme sondern das Licht die Ausdünstung besonders begünstige. Weitere Versuche, die er mit Zweigen anstellte, die mit ihrem abgeschnittenen Ende in gefärbte Flüssigkeit, ferner in verdünnte Säuren gestellt wurden, zeigten, dass diese Flüssigkeiten von den Zweigen zwar aufgenommen und weiter, ja bis an ihre Spitzen geführt wurden, dass sie aber keineswegs in die Ausscheidungsmaterie übergingen. Dieselbe war jederzeit klares Wasser mit einer kleinen Beimischung eines gummigen und harzigen Stoffes, so wie von etwas kohlsaurem und schwefelsaurem Kalk (l. c. IV, p. 76).

Um das Verhältniss der Aufnahme des Wassers zur Ausscheidung kennen zu lernen, operirte Senebier ebenfalls mit abgeschnittenen, beblätterten Zweigen. Er bestimmte die Aufnahme durch die Verminderung des Wassers, in welchem der unterste Theil eingetaucht war, und die Abgabe durch das in der gleichen Zeit ausgeschiedene und in einem die Pflanze bedeckenden weiten Glase angesammelte Wasser. Es springt in die Augen, dass hier wohl keine Genauigkeit möglich war. Das Verhältniss des aufgenommenen Wassers zu dem ausgedunsteten verhielt sich an heissen Tagen wie 15 : 13, sonst wie 3 : 2, nie aber unter 4 : 1.

Nachdem jene merkwürdigen Organe durch F. v. Gleichen entdeckt waren, wodurch die Oberhaut der Pflanzen, namentlich jene der Blätter als durchlöchert angesehen werden musste, war es begreiflich,

¹⁾ Physiologie végétale. Genève 1800. V. Tomes.

dass man in eben diesen Organen, den sogenannten Spaltöffnungen, vorzügliche Vermittler der dunstförmigen Ausscheidung des Wassers erblickte. Hedwig ¹⁾ hat diese Ansicht zuerst ausgesprochen, Knight²⁾ bestätigte dieselbe durch die Entdeckung, dass ein Weinblatt nur an der Unterseite, wo es eben allein Spaltöffnungen hat, Wassertropfchen aushaucht, und von dieser Zeit an wurden von allen Pflanzenphysiologen die Spaltöffnungen als die wesentlichsten Organe dieser Function angesehen, ungeachtet einige Anatomen das Durchlöchertsein der Spaltöffnungen leugneten.

Man unterliess nicht durch neuere Untersuchungen die Ergebnisse älterer Forschungen zu prüfen.

Joh. Bapt. da St. Martino ³⁾, der sich mit der Ursache der Entstehung des Honigthaus beschräftigte, hatte auch der wässerigen Ausdünstung der Pflanzen seine Aufmerksamkeit geschenkt. Nach seinen Versuchen dünstete ein Kohlkopf innerhalb 24 Stunden 23 Unzen, ein Maulbeerbaum 18 Unzen, eine Maispflanze 7 Drachmen Wasser aus. Manches Blatt schien ihm (in Vicenza) täglich 10 Gran zu verlieren.

Auf diese und die früheren Erfahrungen gestützt, hat Jos. Jak. Plenk ⁴⁾, ohne die Quellen anzugeben, Berechnungen angestellt, wie viel ein mit Pflanzen besetzter Acker in einer gewissen Zeit Wasser an die Atmosphäre abgibt und gezeigt, dass dies für die Sommerszeit mehr als der auf dieselbe Fläche fallende Regen beträgt. Er stellt die bisher eruirten Gesetze der vegetabilischen Ausdünstung zusammen und hält den Nutzen derselben darin, dass die Pflanzen von ihren überflüssigen Säften befreit werden, denn die Pflanzen verdärben, wenn diese Ausdünstung unterdrückt würde.

Hatte sich, wie wir sahen, schon Senebier bemüht, das Verhältniss der Wasseraufnahme durch den Stamm zur Ausscheidung desselben durch die Blätter ausfindig zu machen, so wurde dieser Versuch erneuert durch Joh. Woodward ⁵⁾, nach welchem die Pflanze wenigstens 46mal mehr durch die Ausdünstung Wasser an die Atmosphäre abgebe, als zu ihrer Nahrung verwende, ein Ver-

¹⁾ Sammlung zerstreuter Abhandlungen. I. p. 128.

²⁾ Philos. Transact. 1803. p. 277.

³⁾ Voigt's Magaz. Bd. VII, St. 2, p. 18.

⁴⁾ Physiologie und Pathologie der Pflanzen. Wien, 1795 p. 41

⁵⁾ Philos. Transact. Nr. 253, p. 193.

hältniss, welches bei weitem wahrscheinlicher ist, als das von Senebier gefundene.

In neuerer Zeit hat De Candolle ¹⁾ über den in Rede stehenden Gegenstand in nachstehender Weise seine Ansicht ausgesprochen. Er unterscheidet zwischen unmerklichem Abgang des Wassers (*déperdition insensible*) und wässeriger Aushauchung (*exhalation aqueuse*) und hält ersteren für einen physikalischen Vorgang, der mit den eigentlichen Lebenserscheinungen der Pflanze nicht zusammenhängt, letztere hingegen als einen Lebensvorgang, der durch eigene Organe bewerkstelligt wird. Der unmerkliche Abgang des Wassers findet nach De Candolle Statt bei allen Pflanzentheilen, die mit Flüssigkeit versehen sind, z. B. bei Früchten, Knollen u. s. w., überhaupt bei solchen, die eine Epidermis besitzen. Er geht z. B. bei Flechten sehr langsam vor sich. Anders ist es mit der wässerigen Aushauchung, die vorzüglich durch die Blätter bewerkstelligt wird, und De Candolle meint, dass ihnen zwar auch die erstere Art des Wasserverlustes zukomme, dass jedoch der grösste Theil desselben durch die Spaltöffnungen erfolge, ja er hält sogar dafür, dass die wässerige Aushauchung eines jeden Pflanzentheiles mit der Zahl seiner Spaltöffnungen im Verhältniss stehe. Comparetti glaubt überdies beobachtet zu haben ²⁾, dass die Spalten der Hautdrüsen bei Tage geöffnet und Nachts geschlossen seien, daher im Einklange mit der grösseren oder geringeren Stärke der Verdunstung stehen.

Um den Einfluss des Lichtes auf die Transspiration kennen zu lernen, liess W. Miquel ³⁾ gleich grosse Zweige und einzelne Blätter derselben Pflanzenart im zerstreuten Lichte und in der Finsterniss eines Schrankes Wasser absorbiren. Aus der Verschiedenheit der aufgenommenen Mengen schloss er auf die Verschiedenheit der Verdunstung, da die Aufsaugung im geraden Verhältnisse zur Exhalation stehe. Bei 40 verschiedenen Pflanzen war nur von 33 das Resultat übereinstimmend. Aber auch hierin war es kaum

¹⁾ Physiologie végét. I. p. 108.

²⁾ J. Meyen, Neues System der Pflanzenphysiologie I. p. 283.

³⁾ Quelques expériences pour déterminer l'influence de la lumière sur l'exhalation aqueuse de feniles et sur la succion par le tiges des plantes. Ann. d. scien. nat. II. Sér. t. XI. Bot. 1839. p. 43.

möglich sichere Verhältnisszahlen gefunden zu haben, da die vorausgesetzte gleiche Flächenausdehnung der Zweige und Blätter nur eine beiläufige war und jeder genauen Feststellung entbehrte. Die Transspiration im Lichte verhielt sich, alle übrigen Momente gleich gesetzt, zu jenen beim vollkommenen Mangel des Lichtes nach diesen Versuchen wie 1 : 0·59.

M. J. Scheiden ¹⁾ hält die Verdunstung des Wassers von Pflanzentheilen, die einer Atmosphäre ausgesetzt sind, welche nicht an sich schon vollständig mit Wasserdünsten gesättigt ist, für einen rein physikalischen Process. Dieselbe scheine ununterbrochen nach Verhältniss der Trockenheit und Bewegung der Atmosphäre so wie der Temperatur und der zur Ausdünstung geschickten Fläche vor sich zu gehen. Auch er hält die Spaltöffnungen für die alleinigen Organe, welche dem in den benachbarten Intercellulargängen sich verbreitenden Wasserdunst einen Austritt erlauben. Ihr Schliessen durch Erschlaffung, was ihm jedoch fraglich scheint, bewirke eine Behinderung der Transspiration. Dass die Aushauchung von Wasserdunst durch die Blätter einen Einfluss auf die Aufnahme von wässriger Nahrung durch die Wurzel ausübe, haben schon die ersten Beobachter dieses Phänomens erkannt und die Menge des von einem abgeschnittenen und in's Wasser gesetzten Zweige ausgeschiedenen Wassers im geraden Verhältnisse zur Menge seiner Blätter gesetzt.

Auch Hugo v. Mohl ²⁾ bestätigt dies durch Versuche, welche er über Aufsaugung von holzsaurem Eisen bei Nadel- und Laubhölzern angestellt hat, und ganz in derselben Weise sind auch die Versuche von de la Boucherie zu erklären. Die den Pflanzen giftigen Substanzen werden bei beblätterten Stämmen bis in die kleineren Äste geführt.

Über das Verhältniss von Aufnahme des Wassers, durch die Wurzel und Abgabe des Wasserdunstes durch die der Luft ausgesetzten Theile der Pflanze geben auch die von Mr. J. B. Lawes ³⁾ an mehreren Culturpflanzen angestellten Versuche Aufschluss. Drei Weizen- und Gerstenpflanzen, eine Bohne und eine Erbsenpflanze verloren

¹⁾ Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik. Erste Auflage. II. p. 487, I. p. 287.

²⁾ Die vegetabilische Zelle p. 229. (Handwörterbuch der Physiologie von Dr. R. Wagner.)

³⁾ Experiment investigation into the amount of Water given off by Plants during their growth.

jede in 172 Tagen, während sie sich entwickelten, blühten und reiften, 7 — 8 Kilogrm. Wasserdunst, eine Kleepflanze nur ungefähr 4 Kilogrm. Der Wasserverlust durch Transspiration war im Juli und August am stärksten und betrug beiläufig das Vierfache von dem Wasserverluste im Monat April.

Überblickt man die bisherigen Erfahrungen, welche über den vorliegenden Gegenstand gemacht wurden, so muss man offen gestehen, dass man in demselben kaum über die ersten Lineamente der Erkenntniss hinaus ist. Weder die verschiedenen Seiten, welche dieser wichtige Vorgang der Forschung darbietet, sind gehörig gewürdigt, noch ist auch nur eine derselben richtig und genau behandelt worden. Keiner der vielen Versuche ist mit jener Gründlichkeit und Exactheit ausgeführt, wodurch sie allein auf wissenschaftliche Giltigkeit Anspruch machen können, — keine der Beobachtungen ist mit Rücksicht aller einflussreichen Momente angestellt worden. Weder genaue Angaben von Mass und Gewicht, noch die Benützung zweckmässiger Instrumente bei Beobachtungen und Versuchen zeichnen die gewonnenen Erfahrungen aus, so dass aus denselben kaum ein einziges Gesetz der Wirksamkeit der Pflanze abgeleitet werden kann.

Dieser Umstand einerseits, die Wichtigkeit des Gegenstandes andererseits hat mich veranlasst, durch längere Zeit demselben meine Aufmerksamkeit zuzuwenden, und da ich zugleich in der Lage war, den von Neuem anzustellenden Versuchen durch Anwendung passender Vorrichtungen und Instrumente jene Genauigkeit zu verschaffen, ohne welcher ein Erkennen von Gesetzmässigkeit durchaus unmöglich ist, so ist diese meine Untersuchung umfangreicher ausgefallen, als sie ursprünglich beabsichtigt war.

Um dem Leser einen Massstab zur Beurtheilung der folgenden Versuche zu geben, will ich vorher die Methode etwas näher auseinandersetzen, die ich bei Anstellung derselben im Einzelnen befolgte und von denen die Mehrzahl bisher noch von keinem der Experimentatoren in Anwendung gebracht wurde.

Vor Allem handelt es sich hier um eine genaue Bestimmung des Verlustes an dunstförmigem Wasser, entweder von der ganzen Pflanze oder von einzelnen Theilen derselben. Da diese Quantitäten nicht gering sind, wie das jeder vorläufige Versuch zeigt, so kann

man erwarten, dass sich selbst bei der rohesten Behandlung eine gewisse Genauigkeit erzielen lässt.

Mit dem Wasserdunst verliert die Pflanze aber auch noch andere Gase, deren Mengen jedoch, wenn sie auf Gewicht reducirt werden, gegen den Verlust an Wasserdunst jedenfalls verschwindend klein sind. Man hat somit in der Gewichtsbestimmung ein Mittel an der Hand, sich von dem Verluste selbst kleinerer Quantitäten von dunstförmigem Wasser zu überzeugen. Indem man daher die Pflanze oder den Pflanzentheil vor und nach einer gewissen Zeit, die durch die Aufgabe des Versuches bestimmt wird, einer Gewichtsbestimmung unterwirft, erlangt man in der Differenz beider Gewichte auf das Genaueste den in eben dieser Zeit erlittenen Verlust an Wasser in Dampfgestalt. Es ist begreiflich, dass auf diese Weise selbst grössere Pflanzen, ja sogar kleine Bäumchen ein Gegenstand des Versuches sein können.

Eine zweite Methode besteht in der Anwendung von solchen Substanzen, die Feuchtigkeit begierig absorbiren. Es wird in Folge dessen unter Ausschluss der atmosphärischen Luft eine solche absorbirende Substanz in die Nähe der Versuchspflanze oder eines Theiles derselben gebracht und dieselbe vor und nach der Anwendung auf einer genauen Wage gewogen. Absorbirte Wassermengen von einem Milligramm können noch mit Sicherheit bestimmt werden.

Diese Methode findet dort ihre Anwendung, wo es sich mehr um die Bestimmung kleiner als grosser Quantitäten handelt. Ich wendete diese Methode bei Bestimmung des Wasserverlustes kleinerer Pflanzentheile, z. B. Blätter, Theile der Blätter und namentlich zur Bestimmung des Wasserverlustes beider Blattseiten mit Vortheil an.

Erfüllt die erste Methode alle Bedingungen, welche man bei Versuchen über die Transspiration der Pflanzen, wenn dieselben hinlängliche Genauigkeit gewähren sollen, stellen kann, so ist dies bei der zweiten Methode nicht der Fall. Finden zwar auch bei dieser die mächtigsten der äusseren Einflüsse, wie Wärme, Licht, Bodenfeuchtigkeit (Zufuhr von flüssiger Nahrung), wie bei der ersteren Methode ihre ungehinderte Wirksamkeit, so ist doch der Feuchtigkeitszustand der Luft und die Bewegung derselben hier im veränderten Masse thätig, da durch das Absorptionsmittel die Feuchtigkeit der den Pflanzentheil umgebenden Luftschichte vermindert, daher verändert und durch den nothwendigen Abschluss der-

selben jede Bewegung und Erneuerung von selbst aufgehoben wird. Es lässt sich daher im Voraus sagen, dass Bestimmungen des Wasserdampfverlustes an zwei vollkommen gleichen Pflanzen, in gleicher Zeit und unter ganz gleichen Umständen nach beiden Methoden ein nicht ganz übereinstimmendes Resultat geben können. Versuche also, welche nach der ersten und zweiten Methode zugleich angestellt sind, können nur im beschränkten Sinne als gleichbedeutend angesehen werden. Dagegen können Versuche nach der zweiten Methode sehr wohl unter einander verglichen werden, und wo es sich darum handelt relative Grössen zu erlangen, ist dieselbe sehr wohl anwendbar.

Endlich gibt es noch eine dritte Methode, die von Pflanzentheilen ausgehauchte Wassermenge zu bestimmen. Sie besteht darin, dass der Wasserdunst durch eine passende Vorrichtung condensirt, gesammelt, in kubicirte Röhren geleitet und da seinem Volumen nach bestimmt wird. Wenn bei der vorhergehenden Methode die Transspiration nach Massgabe des angewendeten Trocknungsmittels man möchte sagen in einer fortwährend trockenen, von Wasserdünsten freien Atmosphäre vor sich geht, findet dieselbe in der dritten Methode in einer von Wasserdünsten ohne Unterlass vollkommen geschwängerten Atmosphäre Statt, und es ist begreiflich, dass wenn Trockenheit oder Feuchte der Luft auf die Verdunstung Einfluss haben, das durch beide Methoden erzielte Resultat, vorausgesetzt, alle übrigen Umstände seien gleich, keineswegs dasselbe ist. Indess auch diese Methode kann in manchen Fällen ihre Anwendung finden und wo mehrere Versuche nach derselben ausgeführt sind, sind sie auch mit einander vergleichbar.

Die Ausführung aller dieser Methoden hat gewisse Vorsichtsmassregeln nothwendig, ohne welchen sie schlechterdings kein brauchbares Resultat liefern können. Ich erlaube mir nun dieselben etwas näher aus einander zu setzen.

Bei der ersten Methode, den Wasserdunstverlust direct durch die Wage zu bestimmen, kommt es vor Allem darauf an, dass in den Wasserdunstverlust der Pflanze sich kein anderer Verlust an Wasserdunst mischt, da man sonst etwas als Function der Pflanzen ansehen würde, was es nicht ist.

Alle Bestimmungen nach der ersten Methode können nur an sogenannten Topfpflanzen gemacht werden, die sammt ihrer

Unterlage, in der sie wurzeln, auf die Wage gebracht werden müssen. Es versteht sich von selbst, dass ein einfaches Abwiegen solcher Topfpflanzen kein verlässliches Resultat geben kann, indem sowohl durch die poröse Beschaffenheit der Wand des Topfes als durch die unbedeckte Oberfläche der Erde, die ihn erfüllt, nicht unbedeutende Mengen von Wasserdunst fort und fort durch Verdunstung der feuchten Erde verloren gehen.

Frühere Experimentatoren haben glasierte Töpfe in Anwendung gebracht und die freie Erdoberfläche durch eine passende Decke zu schützen gesucht oder vergleichsweise den dadurch entstandenen Fehler zu ermitteln gesucht. Das Ungenügende dieses Verfahrens einsehend, hatte ich bei meinen Versuchen einen genaueren Verschluss zu bewerkstelligen mir Mühe gegeben.

Ich liess auf einer Glasfabrik eine hinlängliche Anzahl von Töpfen aus Glas machen, alle von gleicher Grösse und gleicher abgestutzt-konischer Form. Sie hatten eine Höhe von $5\frac{1}{2}$ Zoll und erweiterten sich von unten nach oben der Art, dass ihr unterer Durchmesser $4\frac{1}{2}$ Zoll, ihr oberer 6 Zoll enthielt. Der obere Rand war in eine 3 Linien starke Leiste nach aussen gebogen und eben abgeschliffen.

Diese Form und Grösse des Topfes erlaubte es, dass fast alle nicht zu grossen Gefässe aus Thon, in welchen man in unseren Gewächshäusern Pflanzen zieht, in denselben eingesenkt werden konnten und dass der Rand des Glastopfes noch darüber hervorragte. Der obere offene Theil wurde nun durch zwei halbkreisförmig geschnittene Glasplatten, die in der Mitte, wo sie sich berührten, zum Durchgang des Stengels eine grössere oder kleinere runde oder längliche Öffnung hatten, bedeckt. Auf solche Weise waren nun Seiten und Erdoberfläche des Geschirres der Versuchspflanze von aussen abgeschlossen und es erübrigte nur noch die Glasplatten mit dem Rande des Glastopfes und mit dem Stengel der Pflanze durch einen passenden Kitt zu verbinden, um den Abschluss luftdicht zu machen. Die Anwendung des geschmolzenen gewöhnlichen Baumwachses hat sich hiezu ganz geeignet gezeigt.

Ich erwähne nur noch, dass beim Einschliessen der Versuchspflanzen in die Glastöpfe vor der Verkittung der Topf der Pflanze durch passende Korkstücke in gehöriger Höhe gehoben und seitlich an den Glaswänden festgestellt werden muss. Dauern die Versuche

länger und muss die Versuchspflanze während der Zeit befeuchtet werden, so ist in einem der Glasdeckeln noch eine kleine verschliessbare Öffnung anzubringen.

In der Regel hatten alle zu obigen Versuchen gewählten Pflanzen sammt dem einschliessenden Glastopf nie mehr als 2 Kilogramm gewogen und hatten eben zwischen den Schenkeln der Wagschale Platz. Das Wägen war immer schnell vollzogen, denn der Verlust der Pflanze an Wasserdunst ist so bedeutend, dass bei nur einigermaßen beblätterten Individuen das Gleichgewicht nur auf einige Secunden hergestellt werden kann.

Für die Wasserdunstbestimmung nach der zweiten Methode wurde Chlorcalcium allen übrigen Wasserdunst absorbirenden Substanzen vorgezogen. Nachdem der zu untersuchende Pflanzentheil von der atmosphärischen Luft durch eine Glasglocke, Kegelglas oder Glastrichter mit geschlossener Endöffnung abgeschlossen wurde, brachte man kleine Stücke von Chlorcalcium in einem flachen Uhrglase mit dem transspirirenden Pflanzentheile so nahe als möglich in Verbindung. Das Absorptionsmittel sammt dem Glase wurden vor und nach Schluss des Versuches ebenfalls sehr schnell und durch ein darüber gelegtes gleich grosses Uhrglas geschützt, auf einer chemischen Wage gewogen. Zum luftdichten Verschlusse der Glasglocken etc. wurde auch hier geschmolzenes Baumwachs genommen, welches, wenn es nur nicht zu heiss aufgetragen wird, nie eine nachtheilige Wirkung auf den Pflanzentheil ausübt, an dem es applicirt wird.

Bei der dritten Methode endlich wurde der zu untersuchende Pflanzentheil, z. B. ein Blatt, in einen Glaskolben geführt, der Hals desselben an den Blattstiel durch die früher erwähnten Mittel luftdicht verschlossen und das an der Innenwand des Glases sich absetzende Wasser durch eine an der Unterseite des Kolbens angebrachte und mit einer kubicirten Röhre verbundene Öffnung abgeleitet und angesammelt.

Von der unteren Blattfläche konnte ebenso durch Ankittung eines Trichters, dessen Hals gleichfalls mit einer kubicirten Röhre verbunden wurde, der condensirte, von der transspirirenden Fläche ausgeschiedene Wasserdunst der Menge nach bestimmt werden. Drehte man den Blattstiel, so war die gleiche Bestimmung auch für die Oberseite des Blattes möglich.

Dieser Methode bediente ich mich, um die Transspiration im freien Felde stehender Pflaunzen in einigen ihrer Theile zu bestimmen.

Da die Grösse der Transspiration der Pflaunzen unter übrigen gleichen Umständen der Grösse der verdunstenden Oberfläche proportionell ist, so kommt es bei allen Versuchen der Art, sollen sie mit einander vergleichbar sein, darauf an, das Flächenmass der verdunstenden Oberfläche genau zu bestimmen.

Da man nicht leicht auch nur zwei Pflaunzen finden wird, die einander in Bezug auf die Ausdehnung der Oberfläche vollkommen gleich sind, diese Bestimmung aber durch das Augenmass ohne bedeutende Fehler zu veranlassen nicht gemacht werden kann, so ist auf die Flächenangabe jener Pflaunzen, deren Transspiration zu untersuchen ist, alle, ja die grösste Genauigkeit zu verwenden.

Bei diesen Bestimmungen sind erstlich Stengel und Blatttheile wohl zu unterscheiden, indem ich hiebei die übrigen Pflanzentheile ganz ausser Acht lasse.

Krautartige, grüne Stengel verhalten sich ähnlich wie die Blätter, jedoch bin ich noch nicht im Stande genauere Unterschiede in der Function beider anzugeben. Ist die Oberfläche des Stengels und der Zweige der Versuchspflanze gegen die der Blätter nicht unbeträchtlich, so muss sie in Rechnung gebracht werden, im entgegengesetzten Falle kann sie als verschwindend klein unberücksichtigt bleiben.

Das Flächenmass des meist runden oder kantigen Stengels zu finden hat keine besonderen Schwierigkeiten, desto zeitraubender ist eine genaue Bestimmung desselben an den Blättern einer Pflanze, besonders wenn sie reichlich damit versehen ist und dieselben wie bei krautartigen Pflaunzen an Grösse und Form sehr weit von einander verschieden sind. Hier bleibt nichts übrig, als jedes einzelne Blatt für sich zu bestimmen. Die Summe dieser Blattflächen gibt die gesammte Flächenausdehnung der Blätter.

Um die Ausdehnung unregelmässiger Flächen, wie das die Blätter der Pflaunzen sind, zu finden, hat man Hilfsinstrumente. Das genaueste hiervon ist das Planimeter ¹⁾, mittelst welchem man nur den Umfang der Fläche graphisch zu suchen braucht, was

¹⁾ Die gesuchtesten Planimeter sind jene von Stampfer und Wettli.

durch eine mechanische Vorrichtung leicht und in kürzester Zeit bewerkstelliget wird, um ohne Berechnung sogleich am Instrumente den demselben entsprechenden Flächeninhalt abzulesen. Die Einrichtung des Instrumentes erfordert es indess, dass die zu suchende Fläche demselben in horizontaler Lage und gehörig befestigt dargeboten wird. Ist man daher im Stande die Blätter vom Stamme der zu untersuchenden Pflanze zu trennen, so findet die Anwendung dieses Instrumentes, welches jedoch immerhin kostspielig ist, kein Hinderniss. Sollen jedoch die Blätter am Stengel haften bleiben, was man in der Regel wünscht, so langt man mit dem angegebenen Verfahren nicht aus. Flächenbestimmungen der am Stengel befindlichen Blätter habe ich auf folgende Weise zu Stande gebracht.

Auf einer Glastafel von ungefähr 17 — 18 Decim. Länge und 10 Decim. Breite wurde durch einen Kratzdiamant ein in Quadrate getheilte Flächenmass aufgetragen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Quadratlinien viel zu klein und Quadratzolle viel zu gross sind. Das passendste Mass geben Quadratdecimeter. Ist nun die eine Seite der Glastafel in solche Quadratdecimeter getheilt, so wird die andere Seite matt geschliffen und bei der Dicke des Glases, welche einen Millimeter nicht viel überschreiten darf, ist man im Stande auch auf der matt geschliffenen Kehrseite noch die Theilungslinien gut zu erkennen.

Die Anwendung dieser Glastafel zur Bestimmung des Flächenmasses der Blätter ist nun folgende: Man gibt dem Blatte eine Unterlage und legt auf dasselbe die Glastafel, so dass jenes zwischen beiden Flächen leicht eingeklemmt wird. An der aufwärts gekehrten matt geschliffenen Seite wird mittelst einem Bleistifte der ganz scharf durchscheinende Rand des Blattes gezeichnet. Man entfernt die Glastafel nach der Zeichnung und hat nun auf einer und derselben Fläche den Umriss und das damit verbundene Quadratmass, das nun nach Bequemlichkeit nach den darauf fallenden Quadraten, Halben- und Viertel-Quadraten abgelesen und summirt wird.

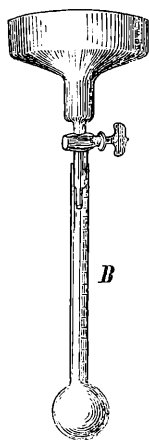
In wenig Minuten hat man die Flächenausdehnung von 20 — 30 Blättern einer Pflanze mit hinlänglicher Genauigkeit bestimmt.

Ein ähnliches, nur weniger einfaches Verfahren haben auch andere Physiologen zur Flächenbestimmung der Pflanzenblätter angewendet. Es gewährt dieses Verfahren den Vortheil, dass die Pflanze dabei verschont, den Blättern kaum irgend ein Nachtheil zugefügt

wird, und dass daher dieselbe auch in späterer Zeit wieder ein Gegenstand gleicher Untersuchung sein kann.

Bei der Untersuchung über die Transspiration kommen jedoch noch Fragen vor, deren Lösung ohne Anwendung weiterer Vorrichtungen und Apparate nicht möglich ist. Wir wollen nur die Frage über den Unterschied der Transspiration und der Verdunstung berühren, um zu zeigen, dass, so wie man bei Vergleichung dieser Vorgänge das Mass der einen zu bestimmen sucht, auch das Mass der anderen eben so genau bestimmt werden müsse.

Die Physiker haben es bisher noch nicht für nöthig erachtet, durch passende Instrumente so wie sie den wässerigen Niederschlag für gewisse Zeitperioden bestimmten, auch das Mass der Verdunstung zu eruiren, obgleich es für die Kenntniss der klimatischen Beschaffenheit eines Landstriches wichtig wäre, auch dieses genau zu wissen. Das Bestreben, meinen Untersuchungen die nöthige Sicherheit zu verschaffen, hat mich veranlasst, diesem Mangel durch Construirung eines eigenen Instrumentes, eines Verdunstungsmessers (Atmometer), abzuhelfen. Die Einfachheit und die praktische Brauchbarkeit wird demselben einen weiteren Eingang verschaffen. Die Bestandtheile dieses Instrumentes sind folgende:



A ist das Verdunstungsgefäß, welches eine runde Öffnung von $3\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, senkrechte Wände hat und unten in einen engen Hals ausläuft. Dasselbe ist von Glas. Mit dem Halse ist ein Hahn in Verbindung, durch welchen das in ihm befindliche Wasser abgelassen werden kann.

Mit dem Verdunstungsgefäße steht in Verbindung das Messgefäß *B*, welches aus einer kubicirten Röhre unten in eine Glaskugel ausgedehnt besteht. Dasselbe kann vom Halse des Verdunstungsgefäßes nach Belieben entfernt werden.

Um das Atmometer in Wirksamkeit zu setzen, füllt man das Gefäß *B* mit Wasser und zwar so weit, bis dasselbe auf den Nullpunkt der Scala zu stehen kommt und entfernt dabei sorgfältig alle Luftblasen. Der ganze Wasserinhalt von *B* wird in das unten durch den Hahn verschlossene Verdunstungsgefäß *A* entleert, sodann das Gefäß *B* wieder an den Hals von *A* gesteckt. Die Wassermenge füllt das Verdunstungsgefäß beinahe bis zum Rande.

Nach Verlauf einiger Zeit, bis zu welcher man die Grösse der Verdunstung prüfen will, wird der Hahn des Gefässes *A* geöffnet; das Wasser läuft in das Gefäss *B* ab, allein es erfüllt dasselbe nicht mehr wie früher. Der Abgang ist eben durch die Verdunstung in dieser Zeit verloren gegangen und derselbe zeigt sich durch einen tieferen Stand im Rohre von *B*. Bei der Weite des Rohres von 10—12 Millim. lassen sich noch Zehntel eines Kubikdecimeters ablesen und bestimmen. Die Grösse des Atmometers ist erfahrungsgemäss auf eine 24stündige grösste Verdunstung berechnet.

Das Instrument hat nur noch ein Gestell nothwendig, was am einfachsten in einem befestigten durchlöcherten Brettchen bestehen kann. Um es im Freien anzubringen, ist in einiger Entfernung ein Dach nothwendig. Bei vergleichenden Versuchen wurde das Atmometer stets in der Nähe der Versuchspflanzen angebracht.

Da die Verdunstung und so auch die Transspiration der Gewächse von der Wärme der Luft und von ihrem Feuchtigkeitszustande abhängt, so mussten, um diese Factoren genau kennen zu lernen und ihren Einfluss auf die Transspiration zu erfahren, gleichzeitig Thermometer- und Psychrometer-Beobachtungen angestellt werden. Beide Instrumente wurden gleichfalls stets in der Nähe der Versuchspflanzen und nur das Barometer an einem wenige Schritte entfernten Orte aufgestellt und beobachtet.

Auf diese Weise und nachdem ich alle Beobachtungen selbst ohne Dazwischenkunft eines zweiten Beobachters anstellte, glaubte ich subjectiv und objectiv alle Bedingungen erfüllt zu haben, die zur Erreichung eines genauen Resultates nothwendig sind.

Ich werde nun im Folgenden die Ergebnisse meiner mehr als zehnjährigen Erfahrungen über die Transspiration der Gewächse mittheilen und dabei der leichteren Übersicht wegen dieselben in acht einzelnen Abschnitten in möglichster Kürze aus einander setzen.

2. Grösse der Transspiration im Allgemeinen und ihre Abhängigkeit von äusseren Momenten.

Nicht leicht dürfte sich eine Pflanze besser zu genauen Versuchen über Transspiration eignen, als der rothe Fingerhut (*Digitalis purpurea* Lin.). Ich nahm einige junge Pflanzen aus dem Grunde des botanischen Gartens, setzte jede in einen besonderen Topf und

liess sie durch einige Zeit im Schatten stehen, bis sie sich frisch angewurzelt hatten und kräftig weiter gewachsen waren.

Sie hatten bereits alle ihre Blätter, selbst die an der Blütenähre befindlichen Hochblätter entwickelt, als ich mit einer derselben folgenden Versuch anstellte.

Ich versenkte den Topf, worin diese Pflanze stand, auf die bereits angegebene Weise in einen etwas grösseren Glastopf und verschloss die Öffnung, so dass der Verschluss knapp unter den untersten Wurzelblättern um den unverletzten Stengel herum stattfand.

Die so vorgerichtete Pflanze wurde nun an einen schattigen Ort des botanischen Gartens im Freien hingestellt und durch eine über der Pflanze aufgerichtete Bedachung Sorge getragen, dass die Luft und ihre Bewegungen ungehindert auf dieselbe einwirken konnten, dass jedoch dadurch jede Befeuchtung durch Regen abgehalten blieb.

Die Pflanze, welche Tag und Nacht hindurch sich an demselben Orte befand, wurde nur zum Behufe der täglich um 12 Uhr Mittags vorzunehmenden Wägung in ein nahe gelegenes Zimmer gebracht, diese rasch beendet und die Pflanze sogleich wieder an ihren vorigen Ort gestellt. Über die Ergebnisse derselben wurde ein Tagebuch geführt, worin nebenbei auch über das Aussehen und die wahrnehmbaren Veränderungen der Pflanze, die sie von Zeit zu Zeit erfuhr, kurze Notizen beigelegt wurden.

Da die Pflanze während der Versuchszeit viel Wasser durch Verdunstung verlor, so konnte ohne irgend einen Ersatz desselben durch Befeuchtung der Erde, worin sie stand, ein Fortwachsen kaum denkbar sein. Es wurde daher von Zeit zu Zeit eine gemessene Menge Wasser behutsam durch eine Öffnung des Verschlusses ¹⁾ in den Topf gebracht, und dieses jederzeit bemerkt.

Gleichzeitig wurde die Temperatur der Luft, die Luftfeuchtigkeit und die Grösse der Verdunstung einer bestimmten Wasserfläche durch Beobachtung an geeigneten Instrumenten, welche in der Nähe der Versuchspflanze aufgestellt wurden, ermittelt.

Die Zeit, innerhalb welcher diese Beobachtungen angestellt wurden, lief vom 6. Juni 1853 bis 7. Juli 1853 und betrug also 31 Tage. Während dieser Zeit entwickelte sich die Pflanze ganz

¹⁾ Zu diesem Zwecke diente ein, an der verschliessenden Glasdecke befindliche Öffnung, die entweder durch einen Pfropf oder durch eine darüber gelegte und verkittete Glasplatte zugemacht werden konnte.

normal und beinahe eben so rasch, als jene Pflanzen, welche im freien Gartenbeet standen, kam zur Blüthe und vollendete eben dieselbe beinahe vollständig, als der Versuch geschlossen wurde. Die im Laufe dieser Zeit welk und dürr gewordenen Blätter, die abgefallenen Blumenkronen wurden bei den Gewichtsbestimmungen stets mit in Rechnung gebracht, damit der Versuch in jeder Beziehung tadellos blieb.

Ich gebe in der nachstehenden Übersicht, und zwar in der 2. Rubrik den täglichen, d. i. innerhalb 24 Stunden erfolgten Gewichtsverlust der Pflanze durch Transspiration des Wassers, in der 3. und 4. Rubrik die zur Beobachtungsstunde (d. i. 12 Uhr Mittags) stattgehabte Temperatur der Luft und den auf den jedesmaligen Druck der Luft reducirten Feuchtigkeitszustand derselben in Procenten und endlich in den folgenden Spalten Bemerkungen über die Witterungsbeschaffenheit und das Aussehen der Pflanze, in der letzten Spalte endlich die Menge des Wassers, welche nach Bedürfniss der Pflanze von Zeit zu Zeit hinzugesetzt wurde.

Übrigens habe ich es nicht versäumt, die Flächenausdehnung sämmtlicher Blätter genau zu bestimmen, und zwar sowohl bei Beginn als nach Beendigung des Versuches, eben so die Flächenausdehnung des Stengels und der Blattstiele, überdies wurde noch die anatomische Beschaffenheit der Blätter, die Grösse und Zahl der Spaltöffnungen u. s. w. genau untersucht.

Zeit der Beobachtung	Verlust d. Transpiration innerh. 24 St. in Grm.	Temperatur der Luft in ° C.	Absolute Luftfeuchtigkeit in Proc.	Witterungsbeschaffenheit innerhalb 24 Stunden	Aussehen der Pflanze	Gewinn an Wasser d. Befeuhten in Grm.
6. Juni	—	16·2	90·8	trüb.		
7.	41·25	19·0	77·4	einzelne Sonnenblicke, Platzregen.		100
8.	26·55	19·5	68·1	heiter, Sonne.		
9.	43·25	20·2	67·2	d. eine halbe Stunde Gewitterregen, heiter, etwas Regen.		
10.	31·11	18·0	78·5	wenig Regen, heiter.		
11.	22·94	17·2	73·3	Wolkenbruch, heiter, zuweilen Sonne.		
12.	35·90	16·5	70·1	heiter, viel Sonne, trüb, Sonne.	die unterste Corolle fängt sich an zu färben	90

Zeit der Beobachtung	Verlust d. Transpiration innerh. 24 St. in Grm.	Temperatur der Luft in ° C.	Absolute Luftfeuchtigkeit in Proc.	Witterungsbeschaffenheit innerhalb 24 Stunden	Aussehen der Pflanze	Gewinn an Wasser d. Befeuhten in Grm.
13. Juni	26·48	15·3	87·6	trüb, Morgens Regen, Mittags trüb, zuweilen Sonne.	die unterste Corolle eben geöffnet.	
14. „	34·20	19·4	71·6	trüb, heiter, Sonnenschein.		
15.	34·79	17·8	63·1	Sonnenschein.		
16.	29·08	15·6	98·7	trüb, Regen, trüb.		
17.	21·35	17·3	86·9	Regen, trüb, Sonne, Gewitterregen.		
18. „	19·10	18·7	81·9	Sonne, Gewitterregen, Regen.	alle Blätter schlaff.	100
19.	12·10	16·0	91·6	Regen, trüb, Gewitterregen, Regen.	alle Blätter wieder steif, die Pflanze in vollster Blüthe.	
20. „	22·35	19·0	78·5	trüb, Sonnenschein.		
21.	22·75	14·7	81·9	heftiger Wind, trüb, Sonne, trüb.		
22.	19·18	18·8	63·0	heftiger Wind, trüb, Sonne, trüb, Wind, Regen.		
23.	14·97	17·1	73·6	heiter, Wind, Sonne, Regen, Gewitterregen.	die ganze Pflanze welk	230
24.	15·60	16·1	91·0	trüb, Regen, trüb, Wind.	die Pflanze wieder turgescirend.	230
25. „	23·77	17·4	70·1	trüb, heftiger Wind, heiter, Sonnenschein.		
26.	22·01	15·2	84·6	trüb, Regen, Regen.		
27.	14·41	13·4	95·4	Regen, Regen, trüb.		
28.	27·38	22·0	63·1	Sonnenschein, wolkenloser Himmel.		
29.	36·50	24·9	71·5	Sonnenschein.		
30.	36·93	24·9	68·7	Sonnenschein, wenig Regen.		
1. Juli	28·71	23·3	68·9	Sonnenschein, trüb.		
2. „	16·74	16·0	84·5	trüb, Regen, Gewitter, trüb, Gewitter, Regen.		
3.	10·67	16·2	67·8	Regen, Wind, trüb, Sonne.		
4. „	15·73	14·5	75·2	Sonnenschein, Wind, trüb, trüb.	alle Blätter schlaff.	
5.	52·10	—	—	heiter, Sonnenschein.		
6.		—	—	heiter, Sonnenschein.		
7.		22·5	69·1	heiter, Sonnenschein.	alle Blätter welk.	

Überblickt man die hier angegebenen Verhältnisse, so springt die grosse Ungleichheit der Transspiration in den gleichen Zeittheilen zuerst in die Augen, so zwar, dass zuweilen nahezu das Vierfache von dem Minimum transspirirt wurde. Vergleicht man das Mittel der Transspiration, welches für 24 Stunden 24.45 Grm. ist, so ersieht man leicht, dass 13mal die Menge des ausgedünsteten Wassers über und 18mal unter dem Mittel blieb und kein einziges Mal dasselbe ganz erreicht wurde.

Die Ungleichheit der Transspiration kann nur in den äusseren Bedingungen, namentlich in der eben so schwankenden Wärme der Luft und in ihrem Feuchtigkeitszustande den Grund haben, und vergleicht man die wärmsten Tage während der Dauer dieser Untersuchungen, welche vom 6. — 10. Juni und vom 28. Juni bis 1. Juli fallen, so entspricht denselben in der That auch das höchste Mass der Transspiration.

Zum Theile von der Wärme abhängig ist auch die Luftfeuchtigkeit. Die vierte Spalte zeigt die gleichzeitig vorhandene Feuchtigkeit der Luft in Procenten auf den jedesmaligen Luftdruck reducirt.

Auch hier stellt sich heraus, dass die niedersten Grade der Luftfeuchtigkeit mit der grössten Transspirationsmenge und umgekehrt die höchsten Zustände der Luftfeuchtigkeit mit den geringsten Transspirationsmengen zusammenhängen, und dass daher wo niedere Temperatur und die grösste Feuchtigkeit der Luft, wie z. B. am 19., 24. und 27. Juni stattfand, auch verhältnissmässig eine sehr geringe Transspiration erfolgte.

Dass aber überhaupt, obgleich diese beiden Factoren als die einflussreichsten erscheinen, die Menge des ausgedünsteten Wassers dennoch nicht allein nach deren Einflusse steigt und fällt, ergibt sich von selbst, weil diese Menge noch von einem dritten Factor abhängig ist, nämlich von der Feuchtigkeit des Bodens und der Leichtigkeit, womit die Pflanze sich des Wassers desselben zu bemächtigen und in die Organe der Transspiration zu leiten im Stande ist.

Da durch die stetige Aufsaugung fortwährend ein Theil des mit den Wurzeln in Berührung kommenden Wassers von denselben aufgenommen durch die ganze Pflanze vertheilt, endlich auch zu den Blättern gelangt und dieser ganze Vorgang eben von der Menge des Wassers in der Erde abhängig ist, so muss bei normaler Beschaffen-

heit der Pflanze fortwährend zwar immer eine gewisse Menge von Wasser in dieselbe Pflanze gelangen, diese Menge aber in gleichen Zeittheilen sehr ungleich sein, indem der Feuchtigkeitszustand der Erde, in welcher die Pflanzenwurzeln sich befinden, in der Regel fortwährenden Schwankungen unterworfen ist. Wo daher der durch die Verdunstung des Bodens so wie durch die Transspiration erfolgte Verlust Ersatz erhält, muss die der Aufsaugung im geringen Masse dargebotene Flüssigkeit nothwendig auf das Mass der Transspiration einwirken und die Regelmässigkeit derselben oder die gesetzmässige Abhängigkeit von den erstgenannten Factoren auf das mannigfaltigste stören.

Kommt noch hinzu, dass, wie in der Natur, der Boden selbst den grössten Theil seiner Feuchtigkeit verdunstet, durch wässerige Niederschläge hinwieder sich oft plötzlich eine grosse Menge Feuchtigkeit sammelt, so ist leicht einzusehen, dass die Transspiration dadurch auf das Eindringlichste modificirt wird. Welchen Einfluss übrigens die Temperatur so wie die Luftfeuchtigkeit für sich auf die Transspiration bei stets gleichbleibender Bodenfeuchtigkeit ausüben, sollen die folgenden Versuche darthun.

In dem vorstehenden Versuche habe ich nur die Verhältnisse, wie sie in der Natur vorkommen, nachzuahmen, nicht continuirlich das transspirirte Wasser zu ersetzen gesucht, sondern vielmehr nach Bedürfniss, welches durch das Aussehen der Pflanze angedeutet wurde, in verschiedenen Intervallen verschiedene Mengen Wasser in die Erde, worin sich die Pflanze befand, gebracht. Der Erfolg war stets ein frischeres Aussehen der vordem languescirenden Pflanze. Aber dass dadurch stets eine vermehrte Transspiration die Folge gewesen wäre, wie man das theoretisch hätte voraus sehen können, ist keineswegs der Fall. Ein Blick auf die vorstehende Tabelle lässt dies leicht erkennen. Im Gegentheile erfolgte, indem in vier Fällen unmittelbar nach der Befeuchtung zufälliger Weise eine Erniedrigung der Temperatur eintrat, immer auch eine Verminderung der Transspiration.

Die grösste Menge transspirirten Wassers war vom 8. auf den 9. Juni zu bemerken. Zu diesem Resultate gelangte die Versuchspflanze erstens durch die hohe Temperatur ($20^{\circ}2$ C.), durch die geringe Luftfeuchtigkeit (69·18 Proc.) und durch den Umstand, dass sie eben hinlänglich befeuchtet wurde.

Dass ungeachtet der grossen Trockenheit der Luft und der verhältnissmässig hohen Temperatur derselben die Versuchspflanze am Schlusse des Versuches dennoch wenig transspirirte, kam von dem bereits eingetretenen grossen Mangel an Feuchtigkeit der Erde her, in der die Pflanze stand, so dass das vollkommene Welksein der Pflanze zu dieser Zeit bloß darin seinen Grund haben konnte.

Vergleicht man endlich die gesammte Menge des Wassers, welches die Pflanze in Dunstform durch 31 Tage verlor, mit der Menge dessen, die sie in derselben Zeit durch Befeuchten nach und nach gewann, so muss man erstaunen, da sich diese Mengen fast das Gleichgewicht halten. Die Pflanze verlor durch Transpiration während dieser Zeit 757.90 Grm. Wasser und mehr zufällig als absichtlich wurden ihr 750 Grm. zugesetzt.

Bedenkt man jedoch, dass am Schlusse des Versuches die Trockenheit der Erde bemerklich grösser war als am Anfange desselben, dass diese aber nicht etwa durch die von der Pflanze transspirirte grössere Menge Wassers, welche nur 7.9 Grm. beträgt, hinlänglich erklärt werden kann, so geht nothwendig daraus hervor, dass ein nicht geringer Theil des durch die Wurzeln aufgenommenen Wassers in der Pflanze blieb, da zersetzt und in veränderter Form in die Substanz der Pflanze übergieng.

Leider lässt sich durch den vorliegenden Versuch die Menge des auf solche Weise in seine Bestandtheile zerlegten und verwendeten Wassers nicht genau angeben; ich werde jedoch dieses Verhältniss im Folgenden besonders zu ermitteln suchen. —

Um den Einfluss der Luftfeuchtigkeit in seiner gesonderten Wirkung auf die Transpiration kennen zu lernen, habe ich zwei gleichartige und gleichgrosse Pflanzen unter denselben äusseren Umständen in Bezug auf Verdunstung beobachtet. Alles gleich gesetzt, war nur die eine Pflanze einer mit Wasserdünsten gesättigten Atmosphäre exponirt, während die andere sich in freier Luft befand. Es dienten mir hiezu zwei junge Topfpflanzen von *Ricinus communis*, mit 2 Blättern versehen. Beide wurden wie gewöhnlich mit dem unteren Theile luftdicht in Glastöpfe eingeschlossen, Nr. I blieb frei, Nr. II wurde von einer Glasglocke der Art bedeckt, dass sich die Pflanze immerfort in einer mit Wasserdunst geschwängerten Atmosphäre befand, was durch eine derselben bei-

gegebene mit Wasser gefüllte Schale erzielt wurde. Da die genau bestimmte Blattfläche von Nr. I — 190 Centim. □, die von Nr. II hingegen 160 Centim. □ betrug, so stellte sich nach Berechnung auf die gleiche Blattfläche von 190 Centim. □ die Verdunstungsmenge beider in folgendem Verhältnisse heraus.

Zeit und Dauer der Beobachtung	Verlust an Wasserdunst in Grammen		Temperatur der Luft in C. °	Feuchtig- keitszustand d. äusseren Luft
	I	II		
Vom 19. Juli 7 Uhr Abends bis 20. Juli 7 Uhr Abends	11·60	1·66	16 13	91·5%
Vom 20. Juli 7 Uhr Abends bis 21. Juli 7 Uhr Morgens	17·05	1·14	13·6	
Vom 21. Juli 7 Uhr Morgens bis 21. Juli 7 Uhr Abends	16·77	1·55	15·4	
Zusammen .	45·42	4·35		

Es verhält sich also im gegebenen Falle der Wasserverlust einer in ziemlich feuchter Atmosphäre zu einer in mit Wasserdunst vollkommen gesättigten Luft transspirirenden Pflanze wie 10·44 : 1. Es ist begreiflich, dass sich dies Verhältniss in dem Masse steigert, als die Luft an Trockenheit zunimmt. Es ergibt sich aber zugleich, dass auch in einer mit Wasserdämpfen vollkommen gesättigten Atmosphäre dennoch eine wenn gleich im geringen Grade vor sich gehende Verdunstung stattfindet.

Dies zeigen namentlich auch nachstehende Versuche, wo ein Theil der Pflanze in einem verschlossenen, und daher vollkommen feuchten Raume, der andere hingegen sich in freier Luft befand.

Es wurde ein Blatt (105 Centim. □) einer jungen mit 12 Blättern versehenen Pflanze von *Brassica Rapa* vom 14. Jänner bis 2. Februar in einen Glaskolben eingeschlossen. Im Verlaufe von 19 Tagen hatte dasselbe bei fortwährend trübem Wetter nur 3 Centim. Kub. Wasser in Dunstform abgegeben. Schon in den letzten Tagen des Jänner fing das eingeschlossene Blatt an zu vergilben und bald darauf trennte es sich vom Stock ganz und gar. Beim Eröffnen des Kolbens war ein sehr unangenehmer fauliger Geruch zu bemerken.

Vom 5. — 21. Februar wurde ein zweites Blatt (71 Centim. □) eben so behandelt. Innerhalb 16 Tagen, während welcher Zeit die Sonne fast niemals aus dem bedeckten Himmel hervortrat, verdunstete das Blatt 3·8 Centim. Kub. Wasser. Dabei war die Zimmertemperatur stets zwischen 12 und 16° R.

Ein dem ersteren analoger Versuch wurde noch an zwei ziemlich gleich grossen Stöcken einer besonders wasserliebenden Pflanze — dem *Ranunculus polyanthemos* ausgeführt und zugleich das Thermometre, Hygrometer und Atometer beobachtet. Nr. I in's Freie gestellt, hatte 448·5 Centim. □ Oberfläche; Nr. II unter einem mit Wasserdunst vollkommen imprägnirten geräumigen Glascylinder hatte 376 Centim. □ Beide, so wie der Atometer, auf das gleiche Flächenmass der ersteren Pflanze reducirt, verhielt sich der Verlust an Wasser wie folgt:

Zeit und Dauer der Beobachtung	Verlust an Wasserdunst in Grm.		Temperatur der Luft in C.°		Atometer
	I	II	im Freien	im Cylinder	
Vom 13. Oct. bis 14.	17·18	1·69	12·5	11·2	18·97
15.	22·82	1·48	14·9	14·0	27·66
16.	20·00	6·39	15·0	14·5	26·08
17.	24·08	5·16	16·1	16·0	34·59
18.	24·17	7·45	15·5	15·1	31·61
19.	22·42	6·16	12·7	12·3	31·61
Zusammen	130·67	28·33			

was ein Verhältniss von 1 4·6 gibt.

3. Vergleichung der Transspiration mit der Verdunstung.

Wir gehen nun zur Vergleichung des Vorganges der Transspiration, wie sie in der Pflanze erfolgt, mit der gewöhnlichen Verdunstung über. Zu diesem Behufe wurde das oben beschriebene Atometer ganz in die Nähe der Pflanze gebracht, dasselbe vor Regen geschützt, jedoch so, dass die Verdunstung dadurch nicht wesentlich beeinträchtigt werden konnte. Die Mengen, welche das Instrument, das dem verdunstenden Wasser eine Oberfläche von 5674 □ Millim. darbot, täglich zeigte, sind auf eine Fläche von 5000 □ Millim. gebracht, wie sie in der zweiten Spalte angeführt sind.

Vergleicht man diese Mengen Wassers mit der Verdunstung, welche eine gleich grosse Oberfläche der Pflanze etwa (ein einzelnes

Blatt aus der Mitte des Stengels von *Digitalis purpurea*) darbot, so ergibt sich Folgendes.

Zeit der Beobachtung	Ein Blatt von <i>Digitalis purpurea</i> von 5000 □ M. M. transspirirte in 24 Stunden in Grm.	Eine Wasseroberfläche von 5000 □ M. M. verdunstete in 24 Stunden in Grm.	Der Wasserverlust der Pflanze 100 gesetzt hat eine gleich grosse Wasseroberfläche verdunst.	Bewegung der Luft und Bewässerung
Vom 6. — 7. Juni .	3·232	4·532	140	
7. — 8.	2·080	3·084	148	
8. — 9.	3·389	8·459	249	
9. — 10.	2·438	5·199	213	
10. — 11.	1·797	2·467	137	
11. — 12.	2·813	5·904	209	
12. — 13.	2·075	6·168	297	
13. — 14.	2·680	4·758	177	
14. — 15.	2·726	5·728	210	
15. — 16.	2·279	8·107	355	
16. — 17.	1·673	3·524	210	
17. — 18.	1·496	4·846	323	
18. — 19.	0·948	2·467	260	
19. — 20.	1·751	3·348	191	
20. — 21.	1·782	7·578	425	starker Wind
21. — 22.	1·503	5·463	363	„ „
22. — 23.	1·173	7·842	669	Wind, wenig Was.
23. — 24.	1·222	4·758	389	Wind
24. — 25.	1·862	7·490	402	
25. — 26.	1·724	7·049	408	
26. — 27.	1·129	3·789	335	
27. — 28.	2·147	4·670	217	
28. — 29.	2·860	8·459	294	
29. — 30. „	2·894	11·103	377	wenig Wasser
30. Juni — 1. Juli	2·249	10·045	446	
1. — 2. Juli	1·311	8·371	638	
2. — 3.	0·836	4·934	590	
3. — 4.	1·232	8·459	694	
4. — 5.	} 4·075	24·321	596	
5. — 6.				
6. — 7.				

Hieraus ergibt sich Folgendes:

1. Die Verdunstung übersteigt unter allen Verhältnissen die Transspiration der Pflanzen, d. i. eine

Blattfläche und eine gleichgrosse Wasseroberfläche verhalten sich in Bezug auf die Wasserabgabe an die Atmosphäre so, dass diese stets ein mehrfaches von jener beträgt.

2. Unter gleichen Umständen wächst und fällt die Transspiration der Blattfläche nicht in demselben Masse, als die Verdunstung der Wasserfläche zu- und abnimmt.

3. In der Regel sind es 40 — 140 Proc., um welche die Verdunstung einer Wasserfläche eine gleichgrosse Blattfläche übertrifft, in ungewöhnlichen Fällen steigt diese Zahl auf 500 — 600 Proc. Im Mittel verhalten sich aber beide verdunstenden Oberflächen wie 3:1, so dass also eine Wasserfläche das Dreifache einer gleich grossen Blattfläche an Wasserdunst an die Atmosphäre abgibt.

Der Grund, warum eine Blattfläche in der Abgabe des Wasserdunstes in der Regel immer und zuweilen sogar in einem hohen Masse hinter der Wasserfläche zurückbleibt, ist einzig und allein nur in der grösseren Vertheilung des Wassers in der verdunstenden Oberfläche und in dem Hindernisse zu suchen, das die Organisation des Blattes, insbesondere aber die Epidermis der raschen Verdunstung fortwährend entgegensetzt.

Am auffallendsten tritt dies bei stark bewegter Atmosphäre hervor, in welchem Falle stets die Verdunstung ausserordentlich befördert wird, dagegen die stetige rasche Erneuerung der Luftschichten nicht in gleichem Masse bei der geschützten Blattfläche auf die Verdunstung fördernd einwirken kann. Man sieht dies insbesondere sehr deutlich, wenn man die verhältnissmässig hohen Zustände der Verdunstung vom 21. — 26. Juni mit den übrigen Tagen vergleicht, während welcher Zeit aber auch die heftigsten und anhaltendsten Winde herrschten.

Ein zweites nicht minder auffallendes Missverhältniss der Verdunstung und der Transspiration trat in den letzteren Versuchstagen ein. Hier ist der Grund jedoch nicht in der Bewegung der Luft zu suchen, wodurch dieses Missverhältniss etwa hätte hervorgebracht werden können, sondern lediglich in dem grossen Wassermangel, den die Pflanze bereits empfinden musste, und in Folge dessen sich die Transspiration merklich verminderte, während die Verdunstungsfähigkeit des Atmometers sich gleich blieb.

Diese Thatsachen sind jedoch sehr sprechend und zeigen nur zu deutlich, in wie ferne der rein physikalische Vorgang der Verdunstung durch die Organisation der Pflanze modificirt werden muss, ohne dass dadurch die Transspiration der Pflanzen ein von der gewöhnlichen Verdunstung verschiedener Vorgang genannt zu werden verdient.

4. Ungleichheit der Transspiration nach Verschiedenheit der Pflanzen.

In wie ferne gerade eben dieses Moment, nämlich die Organisation der Pflanze und namentlich des Blattorganes auf die Quantität der Transspiration von Einfluss sein könne, machte ich zur selben Zeit und unter ganz gleichen Verhältnissen auch noch Versuche mit einigen anderen Pflanzen, und zwar mit *Phaseolus vulgaris*, mit *Cucumis sativa* und *Helianthus annuus*.

Da alle diese Pflanzen zu dem Versuche auf gleiche Weise wie die *Digitalis* behandelt wurden mit der alleinigen Ausnahme, dass ich dieselben schon in den Töpfen keimen und nicht erst dahin übersetzen liess, dieselbe auch neben der *Digitalis* zu stehen kamen und daher also ganz gleichen Einflüssen ausgesetzt waren, so liess sich auch ein ganz entsprechendes vergleichbares Resultat erwarten; dasselbe in tabellarischer Form zusammengestellt, gibt folgende Seite.

Alle Pflanzen waren zur Versuchszeit noch jung, hatten einige Blätter und sahen frisch aus. Die gesammte Blattfläche von *Phaseolus* hatte 483 Centim. □, die von *Cucumis* am Anfange des Versuches 327 Centim. □, zu Ende desselben (die Entwicklung ging sehr rasch vor sich) 595 Centim. □ und jene von *Helianthus* am Anfange 229 Centim. □, am Ende 319 Centim. □

Bringt man alle diese Verschiedenheiten auf ein gleiches Mass, indem man die Vergrösserungen, welche die Pflanze während des Versuches erfuhr, den Zeittheilen proportionell annimmt, und vergleicht man endlich diese Ergebnisse mit der zuvor untersuchten Pflanze, welche eine Blattfläche von 638 Centim. □ darbot und deren Ausdehnung man als Einheit festsetzt, so erhält man

Zeit der Beobachtung	Phaseolus vulgaris			Cucumis sativa			Helianthus annuus			Digitalis purpurea
	d. Pflanze transsp. in 24 St. in Grm.	Aussehen der Pflanze	die Pflanze consumirte Was. in Grm.	d. Pflanze transsp. in 24 St. in Grm.	Aussehen der Pflanze	die Pflanze consumirte Was. in Grm.	d. Pflanze transsp. in 24 St. in Grm.	Aussehen der Pflanze	die Pflanze consumirte Was. in Grm.	die Pflanze transspirirte in 24 St. in Grammen
19.-20. Juni	29·52	die Cotyledonen abgefallen, 5 Blätter bereits entwickelt mit 483 CM. Fläche		—			—			22·35
21.	28·69			—			—			22·75
22.	32·46			—			—			19·18
23.	29·72			51·51	besass noch beide fleischigen Cotyledonen mit 5 Blättern in der Ausdehnung von 327 CM. □		50·87	besass 8 entwickelte Blätter mit 229 CM. □ Fläche		14·97
24.	25·20			36·06			39·96			15·60
25.	27·21			33·57			54·45			23·77
26.	23·58			33·04			47·90			22·01
27.	17·08			17·65			22·32			14·41
28. „	27·31			31·56	ein Sammenblatt ganz vertrocknet, das zweite vergilbt		42·12			27·38
29.	30·48			43·87			61·15			36·50
30. „	31·13			59·22			48·61			36·93
1. Juli	22·78		246	67·38		238	53·27		230	28·71
2.	17·59			40·08			44·09			16·74
3.	17·48			25·39	beide Cotyledonen vertrocknet, ebenso 1 Blatt		21·12			10·67
4.	27·52			41·64			52·00			15·73
5.	87·65									
6.				76·39			263·55			52·10
7.										
8.	29·72	die Pflanze noch immer frisch und in der Entwicklung begriffen, die Blattfläche nicht besonders vergrößert.		33·72	4 Blätter, jedes mit 85 C. M. □ Ausdehnung war hinzugekommen, Nachts mehr vertrocknet, die Pflanze hatte jetzt 595 C. M. □ grüne Blattfläche.		87·30	die Pflanze schlanker geworden, nur 1 paar Blätter hinzugekommen, was zuletzt die Blattfläche von 319 CM. □ gab. Die Blätter schlaff.		

Diesen Versuchen füge ich noch einige andere bei, welche ich später zur selben Jahreszeit und unter ganz ähnlichen Verhältnissen an folgende Pflanzen anstellte, nämlich an *Lactuca sativa*, *Fragaria elatior*, *Verbascum Thapsus* und *Polygonum lapathifolium*, — Pflanzen, die in Bezug auf Blattsubstanz, Oberflächenbildung und Behaarung von einander sehr verschieden waren. Die erste hatte 504 Centim. □ Oberfläche, die zweite 311 Centim. □, die dritte 540 Centim. □ und die vierte 334 Centim. □. Reducirt man die Ergebnisse der Beobachtung auf die gleiche Oberfläche von 638 Centim. □, so erhält man für diese Pflanzen folgende Unterschiede :

Zeit der Beobachtung	Verbascum Thapsus			Polygonum lapathifol.		
	d. Pflanze transsp. in 24 St. in Grm.	Aussehen der Pflanze	Reichlich bewässert	d. Pflanze transsp. in 24 St. in Grm.	Aussehen der Pflanze	Reichlich bewässert
21.- 22. Juni	18·9	frisch		55·7	durchaus frisch	
23.	15·1			60·5	{ die 3 untersten Blätter welk	
24.	16·1			59·5		
25.	11·8			36·8	5 Blätter welk	
26.	} 21·0			51·4	8 Blätter welk	
27.						
28.	10·4	ein Blatt welk		22·1		
	93·3			286·0		

Man ersieht aus den achttägigen Versuchen, dass sich die beiden Pflanzen in Bezug auf die Schwankungen der Verdunstungsmengen in den auf einander folgenden Zeiträumen nicht gleichförmig verhielten, dass dieselbe Pflanze einmal das Doppelte, ein anderes Mal sogar das Vierfache der Verdunstungsmenge der andern betrug. Im Ganzen ist die Menge des von *Polygonum* transspirirten Wassers das Dreifache von der Menge des von *Verbascum* ausgehauchten. Man sieht hieraus den Einfluss der dichten Behaarung auf die Transspiration sehr deutlich, denn sie bewirkte im Vergleich mit *Polygonum* eine Verminderung desselben um den dritten Theil.

Folgende zwei Pflanzen wurden unter denselben Einflüssen gleichzeitig beobachtet. Die Ergebnisse sind folgende:

Zeit der Beobachtung	Lactuca sativa			Fragaria elatior		
	d. Pflanze transsp. in 24 St. in Grm.	Aussehen der Pflanze	Reichlich bewässert	d. Pflanze transsp. in 24 St. in Grm.	Aussehen der Pflanze	Reichlich bewässert
28.-29. Juni	17·7	vollkommen frisch		26·3	vollkommen frisch	
30.	7·7			12·3		
1. Juli	40·9			65·3		
2.	63·2			94·7		
	129·5			198·6		

Beide Pflanzen, die erstere mit zarten, membranösen, die letztere mit bei weitem derberen Blättern verhielten sich in Bezug auf ihre Transspiration wie 1:1·5, so dass also das derbere Blatt sich einer stärkeren Transspiration zu erfreuen hatte. Man ersieht aus diesen wenigen Versuchen, wie gross im Allgemeinen innerhalb gewisser Grenzen die Abgabe des Wassers an die Atmosphäre Verschiedenheiten unterworfen ist, welche lediglich in der Organisation des verdunstenden Organes ihren Grund haben.

V. Periodicität der Transspiration. Unterschied von Tag und Nacht im Allgemeinen.

Man wird sich nicht lange mit Untersuchungen über die Transspiration der Pflanzen beschäftigen ohne die Erfahrung zu machen, dass dieselbe nicht ununterbrochen in gleicher Stärke vor sich geht. Tag und Nacht, selbst die verschiedenen Tageszeiten machen hierin einen gewaltigen Unterschied, ja man gewahrt bald, dass diese vorzugsweise von Wärmeeinfluss abhängige Function wie diese einem täglich periodischen Wechsel unterworfen ist.

Diesen genauer durch die Erfahrung zu ermitteln, muss eine nicht ausser Acht zu lassende Aufgabe der Lehre von der Transspiration sein. Man darf sich jedoch hiebei nicht verhehlen, dass besondere Umstände wohl berücksichtigt werden müssen, um solche Resultate zu erlangen, die das gesuchte Gesetz der Periodicität deutlich und rein von Nebeneinflüssen darzulegen im Stande sind. Schon

St. Hales, der die Pflanzen, mit welchen er experimentirte, Früh und Abends einer Gewichtsbestimmung unterwarf, machte die Erfahrung, dass dieselben bei Tag ungleich mehr an dunstförmigem Wasser verloren hatten als bei Nacht, wo dieselbe fast stille zu stehen, ja in einigen Versuchen sogar ein Ersatz des verlorenen Wassers durch die gleichen Organe zu erfolgen schien¹⁾. Weitere Versuche zeigten ferner, dass die Ausdünstung vom Morgen bis Mittag viel stärker, als vom Mittag bis Abend war.

Wenn man mit Pflanzen experimentirt, die dem ununterbrochenen Einflusse des Sonnenlichtes vom Morgen bis Abend ausgesetzt sind, so treten bei gewissen Methoden die Unterschiede der Transpiration nach den Tageszeiten noch augenfälliger hervor.

Schliesst man nämlich durch ein gläsernes Gefäss ein Blatt oder einen Theil des Blattes von der atmosphärischen Luft ab, so gewahrt man sogleich, als die Sonnenstrahlen, welche den Pflanzentheil treffen, ein Beschlagen der inneren Seite des Glasgefässes mit Wassertröpfchen verursachen, die bei fortwährender Einwirkung der Sonne sich alsbald vergrössern, zusammenrinnen, und sich als grössere Tropfen an der tiefsten Stelle sammeln. Man macht leicht die Erfahrung, dass dieser Process um so intensiver stattfindet, als die Temperatur der Luft erhöht, und der Lichteinfluss am stärksten ist. Während man z. B. in den Morgenstunden und gegen den Abend weniger ausgedünstetes Wasser in einem solchen Apparate sich sammeln sieht, geht die Ansammlung von condensirtem Wasser um die Mittagszeit sehr stark vor sich. In der Nacht dagegen kann man nicht das mindeste Beschlagen des Gefässes wahrnehmen.

Solche roh ausgeführte Versuche zeigen zwar, dass die Transpiration einem periodischen, ja vielleicht stündlichen Wechsel unterworfen ist, allein sie sind noch nicht hinlänglich, um hieraus irgend ein Gesetz ableiten zu können. Die Bedingungen hierzu sind eine mehrmalige innerhalb 24 Stunden vorgenommene Bestimmung des Wasserverlustes einer Pflanze, und die Entfernung aller Einflüsse, wodurch der regelmässige Gang der Transpiration gehemmt würde. Die erste Bedingung ist von unserer eigenen Bemühung abhängig, und je öfter solche Bestimmungen stattfinden, und auf je längere

1) Man sehe hierüber meinen Aufsatz: Nehmen die Blätter der Pflanzen dunstförmiges Wasser aus der Atmosphäre auf? Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss. Bd. IX, p. 885.

Zeit sie ausgedehnt werden, um so mehr kann man in dem erhaltenen Mittel das gesuchte Gesetz erlangt zu haben erwarten. Die zweite Bedingung ist jedoch wenigstens zum Theile nicht in unserer Macht, da sie von äusseren meteorologischen Einflüssen abhängig ist.

Vollkommen heitere, wolkenfreie Tage zur Sommerszeit sind ohne Zweifel allein zu solchen Beobachtungen erforderlich. Man wird viele Beobachtungen beginnen ohne die Freude zu haben sie auch in gleicher Stetigkeit beenden zu können, da die Zwischenfälle, die einen regelmässigen Gang der Luftmeteore stören, nur zu häufig sind.

Auf einen Umstand, der vielleicht manchem ausserordentlich scheint, glaubte ich gleichfalls bei der Erörterung dieser Frage ein Gewicht zu legen, nämlich auf den Umstand, dass die Versuchspflanze eine im freien Grunde stehende sei, auf welche nicht die willkürliche Bewässerung vor und während der Versuchszeit einwirkt, sondern die der Gesamtvegetation einer Gegend zukommenden derartigen Einflüsse empfängt. Ferner, dass der Standort der Versuchspflanze von der Art gewählt werde, dass dieselbe dem Einflusse der Sonne vom frühesten Morgen bis am spätesten Abend ausgesetzt ist.

Unter diesen Bedingungen konnten nur in den Monaten August und September des Jahres 1852 durch einige Tage Versuche an ein paar Pflanzen auf meinem Landgute bei Grätz in Steiermark ausgeführt werden. Die Bedingung des Versuches, nämlich im freien Lande stehende Pflanzen zu benutzen, machte es nöthig, dass die Bestimmung des transspirirten Wassers durch Condensation vor sich ging. Ich wendete auch nicht Ballons oder Glaskolben an, in welche ich ein oder das andere Blatt der Versuchspflanze bog und verschloss, sondern ich applicirte die zuvor beschriebenen Trichter und mass in einer kubicirten mit der Trichterspitze verbundenen Röhre das von der nach unten gerichteten Fläche ausgehauchte Wasser, während die entsprechende Oberseite des Blattes zwar gleichfalls durch einen verschlossenen Trichter bedeckt und geschlossen, das darin sich sammelnde Wasser aber unbeachtet blieb. In einem Falle hatte ich durch Umbiegen des Blattes auch die ausgehauchte Wassermenge der sonst nach oben gekehrten Blattfläche bestimmt.

Die Bestimmungen geschahen durch directes Ablesen der Wassersäule in der Messröhre, und zwar jedesmal ungefähr nach 2 Stunden,

wo die Unterschiede stets auffallend waren. Die beiden Pflanzen, welche ich zu diesem Experiment auserlesen, waren die Sonnenblume (*Helianthus annuus*) und die weisse Rübe (*Brassica Rapa*), Pflanzen, welche sich durch eine bedeutende Transspiration vor vielen anderen auszeichnen, und daher ein in die Augen fallendes Resultat zu geben versprochen.

Die angewendeten Glastrichter waren gewöhnliche Glastrichter von 5410·8 Millim. □ Öffnung. Ein Stück eines vollkommen unverletzten Blattes wurde horizontal zwischen zwei dieselbe Fläche bedeckende Trichteröffnung gebracht, sachte angedrückt, und die Fugen sorgfältig verkittet. Durch zwei in den Boden befestigte Träger liessen sich beide Trichter so mit dem Blatte verbinden, dass selbst Windstösse keine Verrückung hervorbringen oder Klüfte im Kiste bewirkten konnten.

Wenn gegen diese Vorrichtung auch mancherlei eingewendet werden kann, so hat sie doch, da es sich hier nicht um absolute, sondern nur um relative Grössen handelt, das Gute, dass das Verhalten im freien Lande wachsender Pflanzen dadurch ermittelt werden konnte.

Ich lasse nun in tabellarischer Form die Ergebnisse der Beobachtungen folgen, und bemerke nur, dass, was die Ausführung betrifft, dieselben vollkommen fehlerfrei sind, auch die ununterbrochen heiteren und sonnigen Tage die oben gestellten Bedingungen ganz und gar erfüllt hatten.

Namen der Pflanzen	Seite des Blattes	Zeit des Versuches	Dauer des Versuches in den Tagesstunden von — bis	Menge des von einer Fläche von 5410·8 □ MM. transspirirten Wassers in Grm.
<i>Helianthus annuus</i>	Unterseite	30. — 31. August	8 — 10 Uhr 10 — 12 12 — 2 2 — 4 4 — 6 6 — 8 8 Uhr Ab. — 8 „ Morg.	0·850 1·100 1·150 0·500 0·150 0·000 0·000
		31. Aug. bis 1. Sept.	7 — 9 Uhr 9 — 11 11 — 1 1 — 3 3 — 5 5 — 7 7 Uhr Ab. — 7 „ Morg.	0·950 1·150 0·950 0·830 0·150 0·000 0·000
<i>Brassica Rapa</i>	Unterseite	11. Sept.	10½ — 12½ Uhr 12½ — 2½ 2½ — 4½ 4½ — 6½ 6½ — 7½ 7½ — 10½ 10½ Uhr Ab. — 10½ „ M.	1·550 0·600 0·500 0·000 0·000 0·000 1·000
		15. Sept.	9 — 11 Uhr 11 — 1 1 — 3 3 — 5 5 — 7 7 — 9½ 9½ Uhr A. — 9½ „ Morg.	0·550 0·600 0·800 0·500 0·200 0·300 0·000
	Oberseite	21. Sept.	9½ — 10 Uhr 10 — 11½ 11½ — 12 12 — 1 1 — 2 2 — 9½ 9½ Uhr A. — 9½ „ Morg.	1·150 2·000 1·000 1·000 1·500 0·900 0·000
	Unterseite	27. Sept.	9 — 11 Uhr 11 — 1 1 — 3 3 — 9 9 Uhr Ab. — 9 „ Morg.	1·150 1·500 1·000 0·700 0·000
	Oberseite	27. Sept.	9 — 11 Uhr 11 — 1 1 — 3 3 — 9 9 Uhr Ab. — 9 Morg.	0·950 2·000 1·700 1·700 0·000

Sucht man hieraus die Werthe für die einzelnen Stunden des Tages und der Nacht durch Interpolation, so erhält man als folgendes Resultat:

Namen der Pflanzen	Zeit des Versuches	S t u n d e n																							
		der Nacht												des Tages											
		12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Helianthus annuus</i>	30. Aug.		.	.	.	.	.	.	.	.	0·35	0·50	0·60	0·60	0·65	0·50	0·30	0·20	6·10	0·05	.	.	.	.	.
	31.	.	.	.	.	.	.	.	.	0·45	0·50	0·55	0·60	0·60	0·35	0·48	0·35	0·10	0·05	.	.	.	.	.	.
<i>Brassica Rapa</i>	11. Sept.	.	.	.	.	.	.	.	.	0·10	0·40	0·50	0·50	1·05	0·30	0·30	0·30	0·20	.	.	.	.	.	.	.
	15.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0·25	0·30	0·30	0·30	0·40	0·40	0·25	0·25	0·10	0·10	0·20	0·10	.	.	.
	21.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1·20	1·30	1·30	1·40	1·50	0·60	0·20	0·05	.	.	.	.	.	.
	27.	.	.	.	.	.	.	.	.	0·10	0·20	0·40	0·75	0·70	0·80	0·50	0·50	0·30	0·10	.	.	.	.	.	.
	27.	.	.	.	.	.	.	.	.	0·40	0·40	0·55	0·80	1·20	1·00	0·70	0·50	0·50	0·30	.	.	.	.	.	.

Hieraus ergeben sich einige Folgerungen, die, so unvollkommen die Versuche auch sind, doch nicht unbeachtet bleiben können.

1. Die Transspiration der Gewächse geht in der That nicht in gleichmässiger Folge vor sich, sondern steigt und fällt trotz aller hemmenden und begünstigenden Nebeneinflüsse in den verschiedenen Stunden des Tages, so dass innerhalb 24 Stunden stets ein Maximum und ein Minimum eintritt.

2. Das Maximum der Transspiration fällt auf die Tagesstunden 12 — 2 Uhr, der Eintritt des Minimums erfolgt zur Nachtzeit.

Abgesehen von allen Störungen, welche den regelmässigen Gang der Transspiration beeinträchtigen, dürfte es nicht unwahrscheinlich sein, dass das Maximum der Transspiration im Frühlinge und im Herbste früher als im Sommer eintritt.

3. Aus den bisherigen Erfahrungen scheint hervorzugehen, dass die Zunahme der Transspiration allmählicher erfolgt als die Abnahme derselben.

4. Aus den angeführten Versuchen ist zwar nicht ersichtlich, ob auch zur Nachtzeit eine Transspiration vor sich geht, indem sehr geringe Quantitäten tropfbar flüssigen Wassers bei dieser Methode nicht mehr bestimmt werden konnten. Ich habe mich jedoch durch anderweitige Versuche, die später angeführt werden sollen, überzeugt, dass selbst unter den ungünstigsten Verhältnissen immer noch kleine Quantitäten Wasserdunst von den Blättern an die Atmosphäre abgegeben werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1861

Band/Volume: [44 2](#)

Autor(en)/Author(s): Unger Franz Joseph Andreas Nicolaus

Artikel/Article: [Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Pflanzen. 181-217](#)