

Bav. 2469

Bl. 1

Sitzungsberichte

der

königl. bayer. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1866. Band I.

München.

Druck von F. Straub (Wittelsbacherplatz 3).

1866.

In Commission bei G. Franz.

530

trefflichen Scharfsinn und Takt, welcher sie bei der Unterscheidung der Formen geleitet hat. Ich anerkenne mit Bewunderung, wie weit es Fries mit so unvollkommenen Mitteln in der naturgemässen Abgrenzung der Formen gebracht hat, so dass eine neue Bearbeitung wesentlich auf seinen Errungenschaften fortbauen kann. Die Anerkennung einer vorzüglichen Leistung darf uns aber nie hindern, nach einer bessern zu streben, die unvollkommene Methode durch eine vollkommeneren zu ersetzen, zu den bisherigen Mitteln der Erkenntniss neue hinzuzufügen. Der folgende Fortschritt ehrt am besten den vorhergehenden, und eine Leistung stellt sich das beste Zeugniß ihres Werthes aus, wenn sie eine fernere Leistung möglich und nothwendig macht. Uebrigens ist die Forderung, dass die Pflanzenformen nicht in den Herbarien und Gärten, sondern auf ihren natürlichen Standorten studirt werden müssen, schon längst und wiederholt ausgesprochen worden. Wenn etwas in dieser Richtung zu thun übrig blieb, so war es bloss, den Grundsatz consequent durchzuführen und aus ihm die logischen Folgerungen zu ziehen, welche sich mit Nothwendigkeit ergeben.

Herr Nägeli berichtet ferner:

„Ueber Versuche, betreffend die Capillarwirkungen bei vermindertem Luftdrucke“, welche derselbe gemeinsam mit Hrn. Dr. Schwendener angestellt hat.

Die Untersuchungen über das Verhalten enger Capillarröhren bei vermindertem Luftdrucke wurden durch ein pflanzenphysiologisches Problem veranlasst. Die belaubte und kräftig vegetirende Pflanze verdunstet eine grosse Menge von Wasser, welches von der Wurzel aufgenommen und durch den Stamm

und die Aeste empor geführt wird. Die Frage, durch welche Kräfte diese Arbeit geleistet werde, hat die Pflanzenphysiologen vielfach beschäftigt. Man hatte früher die Capillarität dafür in Anspruch genommen und ist in neuester Zeit wieder auf diese Theorie zurückgekommen.

Es versteht sich von selbst, dass aus der Pflanze ausfließendes Wasser, wie man es beim Thränen der Weinreben und bei einigen normalen Ausscheidungen beobachtet, nicht durch Capillarwirkungen gehoben werden kann. Dagegen liesse sich denken, dass das Wasser, welches von der Verdunstung aus den Blättern weggenommen wird, durch Haarröhrchenanziehung ersetzt würde.

Wenn man eine Capillarröhre in Wasser stellt, so steigt dasselbe bis auf eine durch ihre Weite bestimmte Höhe. Lässt man sie stehen, so verdunstet fortwährend eine gewisse Menge aus der Capillarröhre und wird durch nachströmendes Wasser ersetzt. — Füllt man eine weite Röhre mit feinem Sand und stellt dieselbe mit dem untern Ende in Wasser, so befeuchtet sich der Sand und die Verdunstung am obern Ende zieht fortwährend das Wasser empor. — Hieher gehört auch der bekannte schöne Versuch, der schon vor längerer Zeit von Liebig ausgeführt wurde. Eine mit einer Blase verschlossene und mit Wasser gefüllte Glasröhre wird mit dem offenen Ende in ein Gefäss mit Quecksilber gestellt; das Wasser verdunstet durch die Blase und das Quecksilber steigt bis zu einer gewissen Höhe, aber nicht über dieselbe, da bei länger andauernder Verdunstung Luft durch die Blase eintritt.

In diesen Fällen ist es zugleich die Capillarität und die Verdunstung, welche einen aufsteigenden Wasserstrom möglich machen. Die Arbeit wird wohl allein von der Verdunstung geleistet und dafür eine entsprechende Wärmemenge verbraucht. Um ein Wassertheilchen, auf welchem nicht bloss der Druck einer Atmosphäre lastet, sondern an

welchem überdem eine Quecksilbersäule von 12 Zoll oder eine Wassersäule von 14 Fuss hängt, loszureissen und verdunsten zu machen, bedarf es unter übrigens gleichen Umständen einer grössern Kraft, als wenn auf das Wassertheilchen bloss die Atmosphäre drückt, in gleicher Weise wie letzteres schwieriger verdunstet als ein anderes, das einem verminderten Luftdruck ausgesetzt ist.

Handelt es sich nun darum, in wiefern diese Erscheinung zur Erklärung des Saftsteigens in der Pflanze benutzt werden darf, so ist zunächst die Frage zu beantworten, wie hoch überhaupt die Flüssigkeit in Capillarröhren steigen könne. Ich war früher der Ansicht, dass die Höhe nicht überschritten werde, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht halte; und ich habe dessnachen bei einer Besprechung der Ursachen, welche das Saftsteigen veranlassen, die Wirksamkeit der Verdunstung in den Blättern als 32 Fuss Wasserhöhe in die Berechnung eingeführt (Pflanzenphys. Untersuch. I pag. 28. 1855).

Diese Annahme, dass in einer Capillarröhre oder in einem Capillarsystem das Wasser nicht über 32 Fuss zu steigen vermöge, stützte sich auf folgende zwei theoretische Betrachtungen.

Wenn die Flüssigkeit in einer Capillarröhre durch den Zug des concaven Meniscus empor gehoben wird, so wirkt der letztere wie der Kolben einer Pumpe. Das Wasser steigt unter dem Meniscus empor. Wird die Röhre so enge, dass das Wasser in Folge dieses Zuges über 32 Fuss steigen sollte, so kann es dieses Maass nur um so viel überschreiten, als es seine Cohäsion erlaubt. Diese ist aber nach den Versuchen von Buijs-Ballot, Gaylussac u. A. so gering, dass sie vernachlässigt werden kann, indem sie für Wasser von 10° nur einer Flüssigkeitsäule von 5 M.M. das Gleich-

gewicht hält ¹⁾. — Wollte man aber nach der Theorie von Laplace das Steigen in den Capillarröhren nicht durch den Zug des concaven Meniscus, sondern durch den überwiegenden Moleculardruck der untern ebenen Flüssigkeitsoberfläche geschehen lassen, so würde die Analogie mit einer Pumpe gleichwohl bestehen. Denn ungeachtet dieses Moleculardrucks reißt die Wassersäule jedesmal von dem Kolben ab, sowie dieser 32 Fuss über das Wasserniveau sich erhebt ²⁾.

Sehen wir von dieser Analogie einer Capillarröhre mit der Pumpe ab, und berücksichtigen wir bloss die Spannungsverhältnisse in der Flüssigkeitssäule einer Capillarröhre und deren wahrscheinliche Consequenzen, so ergibt sich Folgendes. Die Wassersäule am Grunde einer Capillarröhre hat die nämliche positive Spannung wie das umgebende Wasser. Nach oben nimmt die Spannung ab, und auf einer Höhe von 32 Fuss ist sie gleich derjenigen, welche eine Wasserfläche in dem luftleeren Raum zeigt. Wasser unter der Luftpumpe geräth aber ins Kochen. Da der Druck in einer 32 Fuss hohen Capillarröhre in gleichem Maasse vermindert ist, wie in der Luftpumpe, so müsste in dieser

1) Nachträglich ist es mir unwahrscheinlich, dass die bei den erwähnten Versuchen mit Metallplatten, die horizontal auf das Wasser gelegt und durch Gewichte abgerissen wurden, gefundene Cohäsion auch auf das Verhalten des Wassers in geschlossenen Röhren angewendet werden könne.

2) Man dürfte vielleicht hiegegen einwenden, dass der Moleculardruck nicht bloss an den freien Wasseroberflächen wirke, sondern auch da, wo das Wasser die Wandungen berührt; letztere Annahme scheint mir nicht gerechtfertigt, wie ich später noch zeigen werde.

Höhe Dampfbildung erfolgen und damit weiteres Steigen unmöglich werden³⁾).

Bei der Bearbeitung der Mikrophysik für das von Schwendener und mir herausgegebene Buch „das Mikroskop“ kam das Thema des Steigens in sehr engen Capillarröhren wieder zur Sprache, und obgleich wir zunächst keinen Grund hatten, an der Richtigkeit der eben gemachten Folgerungen zu zweifeln, so war es doch nöthig, durch Versuche hierüber Gewissheit zu erlangen. Die ersten Beobachtungen ergaben ein scheinbar günstiges Resultat.

Bevor wir an die eigentliche Frage giengen, schien es zweckmässig, zu prüfen, ob die bekannten Gesetze der capillaren Anziehung auch für mikroskopisch enge Röhren bis zu den äussersten Grenzen der Wahrnehmbarkeit Geltung haben. Die Höhe, bis zu welcher Flüssigkeiten in capillaren Röhren emporsteigen, steht bekanntlich, soweit die Beobachtungen reichen, im umgekehrten Verhältniss zum Durchmesser. Für eine Röhrenweite von 1 M.M. beträgt sie 30 und für eine solche von $\frac{1}{10}$ M.M. 300 M.M. Gilt dieses Gesetz auch für Röhren von $\frac{1}{1000}$ und $\frac{1}{10000}$ M.M. Durchmesser, so wie für noch engere, zu denen man die Molecularinterstitien der Zellmembranen rechnen kann?

Es versteht sich, dass die experimentelle Prüfung jedenfalls nicht unter eine Weite von $\frac{1}{1000}$ M.M. gehen kann, weil engere Lumina nicht mehr mikroskopisch zu messen sind. Die Erfahrung zeigte, dass aus anderen Ursachen nicht einmal diese Grenze zu erreichen ist.

Weil es nicht möglich ist, direkt die Steighöhe zu be-

3) Hiebei wurde nicht berücksichtigt, dass die Dampfbildung in einer Capillarröhre in anderer Weise erfolgen könnte als in einem weiten Gefäss, was allerdings der Fall ist. Ich werde hierauf später noch zurückkommen.

obachten, so muss man die Kraft der capillaren Anziehung bestimmen, da aus dieser auf jene geschlossen werden kann. Zu diesem Behufe wurden fein ausgezogene Glasröhrchen von 0,003—0,01 M.M. Weite mit Wasser gefüllt, dann mittelst eines Korkes in das umgebogene untere Ende A einer langen aufrechten Röhre B so eingefügt, dass die feine Spitze nach innen gekehrt war, und hierauf sorgfältig verkittet. Wurde nun in den langen Schenkel B Quecksilber eingegossen, welches die Luft unterhalb A comprimirte, so musste sich zeigen, auf welche Höhe x der Druck gesteigert werden konnte, bis das Wasser aus der Capillarröhre verdrängt und durch Luft ersetzt wurde. Die Höhe x , mit 13,6 multipliziert, giebt die Länge einer Wassersäule von gleichem Gewicht, welche somit als das Maass der Capillaranziehung zu betrachten ist und welche die Höhe anzeigt, bis zu welcher das Wasser in dem verlängert gedachten Röhrchen emporsteigen würde. In folgender Tabelle sind die auf diese Weise erhaltenen Resultate zusammengestellt.

Durchmesser des Capillarröhrchens in M. M.	Höhe des Quecksilbers in M. M.	Höhe der entsprechenden Wassersäule in Metern.	Berechnete Steighöhe des Wassers in Metern.
0,009	230	3,11	3,33
0,008	290	3,91	3,75
0,004	520	7,02	7,5
0,003	810	10,93	10,0

Dass die beobachtete Höhe nicht genau mit derjenigen übereinstimmt, welche die Rechnung ergiebt, rührt jedenfalls zum Theil von den unvermeidlichen Fehlern in der Bestimmung des Durchmessers her; andern Theils mögen aber auch noch Ursachen mitwirken, welche sich der Beurtheilung entziehen. Das Experimentiren mit so feinen Röhrchen, wie die hier angewendeten, ist überhaupt mit Schwierigkeiten verbunden, an die man zum Voraus

nicht denken würde. Schon das Füllen derselben macht sich meist sehr schwer. Das Wasser muss auf der weitem äussern Seite so weit reichen, dass die Wirksamkeit des daselbst befindlichen breitem Meniscus gegenüber derjenigen des schmalen innern Meniscus verschwindet. Lässt man nun das Wasser an dem breitem Ende eintreten, so condensiren sich im dünnern Ende sehr häufig kleine Wassertröpfchen, welche mit luftführenden Räumen alterniren, und das weitere Füllen unmöglich machen. Lässt man das Wasser dagegen an dem engern Ende eintreten, so geht das Füllen sehr langsam vor sich, und kann, selbst wenn der Druck einer Quecksilbersäule von 700—800 M. M. zu Hülfe genommen wird, Stunden und selbst Tage erfordern. Ist endlich die Höhlung bis zu einer Weite, wo die Capillarwirkung vernachlässigt werden darf, gefüllt, so zeigt die mikroskopische Untersuchung, welche zur Controle immer angewendet werden muss, dass sich im feinen Theile der Röhre mittlerweile Luftbläschen ausgeschieden haben, welche dieselbe unbrauchbar machen. Diese Luftausscheidung tritt auch in soeben frisch gezogenen Röhren ein und zwar um so eher, je enger sie sind. Zuweilen entwickelten sich diese Luftbläschen erst nach dem Einkitten, und wir überzeugten uns nachträglich durch die mikroskopische Untersuchung hievon, nachdem sich herausgestellt hatte, dass die Capillarwirkung einen weit grössern Druck aushielt, als man erwarten konnte. Es stellte sich also die Nothwendigkeit heraus, die feinen Röhren nicht bloss vor, sondern auch nach dem Versuche mikroskopisch zu prüfen.

In Folge dieser Uebelstände blieben die meisten der angestellten Versuche, und insbesondere alle diejenigen erfolglos, welche mit Röhren von nur 0,001—0,002 M. M. im Durchmesser angestellt wurden. Diese letztern hielten einen Druck von 3—4 Atmosphären Tage lang aus. Als Grund davon liessen sich zwar in den meisten Fällen,

wenigstens theilweise, die Unterbrechungen in der Flüssigkeit, die nachträglich beobachtet wurden, ansehen. Allein sie waren doch nicht immer vorhanden, und in diesem Falle blieb die Ursache des colossalen Widerstandes unaufgeklärt.

Die Versuche ergeben also, dass Röhren, deren Durchmesser nicht unter 0,003 M.M. sinkt, rücksichtlich der Capillarkraft sich dem gewöhnlichen Gesetze fügen. Ob sich feinere Capillarröhren, wie aus den soeben erwähnten That- sachen hervorzugehen scheint, anders verhalten und ob in denselben mit Abnahme des Durchmessers die Capillarkraft in steigender Progression zunehme, bleibt experimentell vorerst noch unentschieden.

Die Frage, ob sich die Capillarröhre wie eine Pumpe verhalte und ob unter dem Meniscus die Flüssigkeit nur so hoch steige, als es der äussere Luftdruck verlangt, konnte auf zwei Wegen entschieden werden. Entweder musste bei gewöhnlichem Luftdrucke der grösste Theil der Wassersäule durch Quecksilber ersetzt, oder es mussten die Versuche bei vermindertem Luftdrucke (unter der Luftpumpe) angestellt werden. Anfänglich wurde der erste Weg versucht, aber der bedeutenden Schwierigkeiten wegen bald verlassen. Eine mit einem beweglichen Gelenk versehene Röhre, welche horizontal gelegt und aufgerichtet werden konnte, enthielt etwa 26 Zoll Quecksilber und über demselben Wasser; auf das obere Ende wurde eine fein ausgezogene Capillarröhre von weniger als 0,003 M.M. Weite eingekittet. War die weite Röhre über dem Quecksilber bis in ihr capillares Ende mit Wasser gefüllt, so wurde die Quecksilbersäule allmählich in senkrechte Lage gebracht und somit das unter dem capillaren Meniscus befindliche Gewicht auf mehr als eine Atmosphäre gesteigert.

Die schwer zu überwindende Aufgabe bestand darin, den Raum über dem Quecksilber bis zum capillaren Meniscus mit Wasser zu füllen ohne die geringste Unterbrech-

ung durch Luft. Aber wenn auch diess gelang, so wurden doch immer, wie die Untersuchung mit starken Lupen zeigte, in dem feinen Capillarröhrenende einige Luftbläschen ausgeschieden, und in Folge dessen trat ein Zerreißen der Wassersäule und ein Sinken des Quecksilbers ein. Es ist überflüssig, auf die Methode näher einzutreten, da die Versuche ein Resultat nicht ergaben. Das Zerreißen der Wassersäule unter dem Capillarröhrchen mochte ebenso wohl durch die Luftausscheidung veranlasst werden, als man darin eine Analogie mit dem Vorgange in einer Wasserpumpe finden konnte.

Es wurde daher der andere Weg betreten, welcher durch Anwendung der Luftpumpe die Capillarröhren auf eine mässige Länge reduzirte und den Versuch somit sehr vereinfachte. Es war die Frage, ob bei dem verminderten Luftdrucke die Flüssigkeit in der Capillarröhre ebenso hoch steige als beim Druck einer vollen Atmosphäre, oder ob sie wie in einer Pumpe nur eine dem Auftriebe entsprechende Höhe erreiche. Die ersten Versuche wurden mit concentrirter Schwefelsäure angestellt; wegen der grossen Unbeweglichkeit der Flüssigkeitssäule ergaben sie zunächst keine deutlichen Resultate.

Günstiger erwies sich das Wasser. In einer Capillarröhre, deren Weite zwischen 0,22 und 0,18 M.M. variirte und deren dünneres Ende nach oben gerichtet war, stieg das Wasser bei gewöhnlichem Luftdruck bis zu einer Höhe von 160 M.M. Beim Auspumpen der Luft sank das Barometer der Luftpumpe rasch auf 4, 5—5 M.M. und während es die letzten 20 M.M. zurücklegte, sank auch die Flüssigkeit in der Capillarröhre von 160 auf 60 M.M. Es wurde nun zu wiederholten Malen etwas Luft zugelassen und hierauf wieder ausgepumpt. Die Flüssigkeitssäule in der Capillarröhre stieg jedesmal bis zur ursprünglichen Höhe und sank beim Auspumpen wieder auf das bezeichnete, dem Barometer-

stande annähernd entsprechende Niveau. Die Länge der capillaren Wassersäule betrug z. B. bei einer Quecksilberhöhe von 8—9 M.M. 110—120 M.M. und nahm in der Folge, während allmählich Luft von aussen eindrang, in nahezu entsprechendem Verhältnisse zu.

Diese Thatsachen, welche unverkennbar auf einen unmittelbaren oder mittelbaren Zusammenhang zwischen Steighöhe und Luftdruck hindeuteten, schienen die Vermuthung zu bestätigen, dass unter dem concaven Meniscus der Capillarröhre die Flüssigkeit auf gleiche Weise sich erhebe wie unter dem Kolben der Pumpe. Allein fortgesetzte Versuche mit Capillarröhren von verschiedener Weite, bei verschiedener Temperatur, mit verschiedenen Flüssigkeiten und mit verschiedenen Modificationen der Einrichtung bewiesen die Unrichtigkeit dieser Erklärung. Sie zeigten zwar alle, dass bei Flüssigkeiten, die der Verdunstung fähig sind, mit der Zu- und Abnahme des Luftdruckes die Steighöhe in der Capillarröhre wechselt, dass diese Höhe aber nicht die nämliche ist, wie der Luftdruck, wenn derselbe in eine Flüssigkeitssäule übertragen wird.

Was die Methode der Operation betrifft, so wurden die Versuche in folgender Art ausgeführt.

Eine Glasröhre von c. 350 M.M. Länge und 15 M.M. Weite, welche unten mit einem Ansatz versehen war, mittelst dessen sie unmittelbar auf den Teller der Luftpumpe aufgesteckt werden konnte, diente als Recipient. In diese Röhre wurde ein Reagensgläschen mit etwas destillirtem Wasser, in welches die zu prüfenden Capillarröhren getaucht wurden, eingelassen und je nach Bedürfniss auf verschiedene Höhen eingestellt, was vermöge der schwachen Reibung, die durch zwei aufgekittete Korklamellen hervorgerufen wurde, leicht zu bewerkstelligen war. Die Recipientenröhre konnte oben durch einen Kautschukpfropfen hermetisch verschlossen werden, und eine Stricknadel, welche

sich in demselben auf und ab bewegen liess, diente zur Befestigung der Capillarröhrchen bei jenen Versuchen, wo dieselben erst nach dem Auspumpen der Luft in das Wasser eingetaucht wurden. Wo diess nicht der Fall, wurden die Röhrchen einfach durch eine federnde Korklamelle gesteckt. Dadurch wurden sie in beliebiger Höhe und ungefähr in der Mitte des Recipienten festgehalten, somit vor der Berührung mit dessen Wandung und vor dem Einfließen condensirter Wasserdämpfe während der Dauer des Versuches möglichst geschützt.

Bezüglich der weitem Vorsichtsmassregeln bemerke ich noch, dass zu jedem Versuch die Capillarröhren frisch angefertigt wurden. Wenn dieselben nur einige Tage alt sind, so werden sie wegen der an ihrer Oberfläche verdichteten Luftschichte unbrauchbar, indem bei vermindertem Luftdrucke diese Luft sich ablöst und kleine Blasen bildet, die die Wassersäule unterbrechen. Alte Capillarröhren können nur dadurch brauchbar gemacht werden, dass man längere Zeit luftfreies Wasser durchzieht oder dass man sie mit Alkohol und Aether reinigt. Frisch gezogene Röhren bedürfen dieser Reinigungsmittel nicht. — Eine andere wichtige Regel besteht darin, dass man zu den Versuchen nur frisch ausgekochtes Wasser verwendet, weil sonst ebenfalls beim Entleeren der Luftpumpe sich Luftbläschen in der capillaren Wassersäule ausscheiden und das Gelingen vereiteln. — Eine Capillarröhre, in welcher mehrere Glasbläschen das Wasser unterbrechen, wird, besonders wenn sie sehr eng ist, am besten entfernt und durch eine frische ersetzt.

Ehe die Versuche und deren Ergebnisse näher dargelegt werden, dürfte es zweckmässig sein, die möglichen Ursachen, welche auf das Sinken der Flüssigkeit in der Capillarröhre beim Auspumpen der Luft Einfluss haben könnten, zu prüfen, weil von dem Resultat dieser Prüfung

die später mitzutheilenden Versuche wesentlich bedingt wurden.

Das Nächstliegende ist die Annahme, es möchte der Rückschlag der aus der Capillarröhre langsamer ausströmenden Luft das Niveau der Flüssigkeit in derselben herabdrücken. Da nämlich beim Auspumpen die Luft aus dem Recipienten schneller abfließt als aus der Capillarröhre, so muss die vermehrte Spannung in der letztern einen entsprechenden Druck ausüben. Doch lässt schon a priori die Berücksichtigung der wirkenden Kraft und der in Bewegung zu setzenden Masse nur einen sehr geringen Effekt erwarten; und die experimentellen Thatsachen beweisen, dass derselbe ganz vernachlässigt werden kann.

In einem bestimmten Falle z. B. betrug die Steighöhe des Wassers in der Capillarröhre 151 M.M.; das leere Ende der letztern ragte noch um 116 M.M. vor; die Temperatur war 6° C. Beim Auspumpen blieb das Niveau in der Capillarröhre unbeweglich, bis der Barometerstand unter 8 M.M. zurückgieng. Wurde in den bis auf 20 M.M. Barometerstand ausgepumpten Recipienten plötzlich Luft eingelassen, so stieg jenes ebenso plötzlich um 1 M.M. und sank dann langsam (in 1—2 Minuten) auf seinen frühern Stand. Wurde darauf die Verbindung zwischen dem luft erfüllten Recipienten und dem entleerten Hohlraum der Luftpumpe durch Drehen des Hahns plötzlich hergestellt, so fiel das Niveau in der Capillarröhre rasch um etwa $\frac{3}{4}$ MM., um dann wieder langsam auf die ursprünglichen 151 M.M. sich zu erheben.

Soeben wurde erwähnt, dass das Niveau sich nicht regte, bis das Barometer unter 8 M.M. hinabgieng; dann sank es aber auch bei langsamem Pumpen fortwährend. Wenn nun die Spannungsdifferenzen zwischen der Capillarröhre und dem Recipienten, welche bei einer plötzlichen Aenderung des Barometerstandes von 20 auf 760 M.M. oder von

760 auf etwa 50 M.M. eintreten, bloss die Erhebung und Senkung des Niveau's um 1 und $\frac{3}{4}$ M.M. bedingen, so ist es ganz gewiss, dass das langsame Sinken des Barometers um 1 und 2 M.M. nur eine unendlich kleine, für den Beobachter gänzlich unbemerkbare Verschiebung zur Folge hat.

Dass die Ursache des Sinkens nicht im Rückstoss der ausströmenden Luft zu suchen sei, geht ferner auch aus denjenigen Versuchen hervor, bei welchen die Capillarröhre erst nach vorhergegangenem Auspumpen und nach längerem Verweilen in dem verdünnten Raume des Recipienten eingetaucht wurde. Das Wasser stieg in diesem Falle nur bis zu jener Höhe, bei welcher es sonst nach dem Sinken stehen blieb, und erreichte erst nach dem Einlassen von Luft das dem Durchmesser der Capillarröhre entsprechende Niveau, welches beispielsweise um 30, 50 oder 100 MM. höher lag. Bei abermaligem Auspumpen sank es genau auf jene ursprüngliche Steighöhe zurück und nicht unter dieselbe; die ausströmende Luft hatte also keinen sichtbaren Effekt.

Man könnte ferner, wenn man das Steigen in Capillarröhren mit Laplace von dem Moleculardruck der oberflächlichen Flüssigkeitsschichten ableitet, die Vermuthung hegen, dass eine Modification der die Flüssigkeit bedeckenden Gase diesen Moleculardruck veränderte. Obgleich diess schon desswegen unwahrscheinlich ist, weil in der Theorie von Laplace die berührenden Gase keine Berücksichtigung finden, so musste doch die Möglichkeit ins Auge gefasst werden. Denn es ist sicher, dass bei unsern Versuchen das Wasser im Recipienten an atmosphärische Luft, die viel Wasserdampf enthält, das Wasser in der Capillarröhre dagegen bloss an Wasserdampf grenzt. Folgende Thatsache beweist aber, dass der Contact verschiedener Gase keinen Einfluss auf die Steighöhe bei der Capillarröhre hat. Diese letztere bleibt die nämliche, wenn man das Wasser, in welchem die Capillarröhre steht, mit einer Oelschicht be-

deckt, wenn man also den Einfluss der Gase auf der einen Seite ganz eliminirt.

Es bleibt jetzt nur noch eine äussere Ursache übrig, welche das Sinken der Flüssigkeit in der Capillarröhre bewirken kann, nämlich die Spannung der durch die Verdunstung gebildeten Dämpfe. Wenn dieselbe zur Erklärung der Erscheinungen nicht ausreichen sollte, so müssten noch innere Ursachen aufgesucht werden.

Unter der Luftpumpe findet sowohl an der Oberfläche des Wassers im Reagensgläschen als am Meniscus der Capillarröhre eine lebhafte Verdunstung statt. Die am erstern Ort gebildeten Dämpfe vertheilen sich sogleich in dem Recipienten, während die hier gebildeten langsamer aus der engen Capillarröhre entweichen und daher einen grössern Druck ausüben. Diese Differenz in der Spannkraft der Dämpfe wird zwar nur gering sein; bei einer Temperatur von 10° C. kann sie im höchsten Grad einer Quecksilbersäule von 9 M.M. gleich kommen. Man möchte nun aus dem vorhin erwähnten geringen Effekt, den eine sehr grosse Differenz des Luftdruckes zur Folge hat, den Schluss ziehen, dass ein so unbedeutender Unterschied in der Dampfspannung ebenfalls zu vernachlässigen sei. Diess wäre jedoch unrichtig; es können die beiden Fälle überhaupt nicht mit einander verglichen werden, da die Differenz des Luftdruckes nur einmal und momentan, die Differenz der Dampfspannung dagegen dauernd wirkt.

Beiläufig mag hier bemerkt werden, dass die Verdunstung des Wassers in den Capillarröhren sehr lebhaft ist. Sie ist selbst, wie die später mitzutheilenden Versuche zeigen werden, viel lebhafter, als an einer ebenen Wasseroberfläche von gleicher Grösse. Dagegen kommt es in den Capillarröhren unter der Luftpumpe nie zum Kochen, selbst dann nicht, wenn in dem Reagensgläschen in Folge der

lebhaften Verdunstung Eisbildung an der Oberfläche und heftiges Aufwallen unter derselben eintritt.

Um nun zu ermitteln, welchen Antheil die Spannkraft der entwickelten Dämpfe an dem Sinken des capillaren Niveaus unter der Luftpumpe habe, stellten wir verschiedene Versuche an. Vor Allem aus waren einerseits bei gleicher Verdunstung Capillarröhren mit leeren Enden von ungleicher Länge und Weite, anderseits bei gleicher Beschaffenheit der Capillarröhren Flüssigkeiten mit ungleich lebhafter Verdunstung zu vergleichen.

Aus einem engen und langen Röhrenende, das sich über dem capillaren Meniscus befindet, muss der Dampf langsamer abfliessen als aus einem weiten und kurzen Ende. Dort muss er demnach *ceteris paribus* eine grössere Spannkraft erreichen und das Niveau der Flüssigkeit tiefer hinabdrücken als hier. Diess wird ohne Ausnahme durch die Thatsachen bestätigt. Besonders interessant sind die Versuche, bei welchen die nämliche Capillarröhre ein ungleich langes Ende über dem Meniscus hatte. Ich theile einige derselben mit.

1) Weite der Capillarröhre 0,212 M.M. Temperatur 4° C. Die Luftpumpe wurde bis auf 3,5 M.M. Barometerstand entleert und dann die Capillarröhre eingetaucht. Das Wasser stieg 98 M.M. hoch; nach dem Einlassen von Luft auf 141 M.M. Auspumpen auf einen Barometerstand von 3,5 M.M. hatte wieder ein Sinken auf 98 M.M. zur Folge. Differenz 43 M.M. Die Capillarröhre über der Wasseroberfläche des Reagensgläschens war 251 M.M. lang und das leere Ende über dem Niveau hatte bei dem Drucke einer Atmosphäre eine Länge von 110 M.M., bei dem Barometerstand von 3,5 M.M. eine Länge von 208 M.M.

Die Capillarröhre wurde dann um 108 M.M. verkürzt, so dass das leere Ende über dem Meniscus bloss 2 M.M. lang war. Beim Auspumpen auf einen Barometerstand von

3,5 M.M. sank das Niveau in 15 Minuten bloss um $1\frac{1}{2}$ M.M.

2) Weite der Capillarröhre 0,215 M.M. Temperatur 15° C. Beobachtete Steighöhe beim Druck einer Atmosphäre 136 M.M. Rasches Auspumpen auf einen Barometerstand von 4 M.M. machte auf 32 M.M. fallen; Differenz 104 M.M. Das leere Ende über dem capillaren Niveau war ungefähr 100 M.M. lang.

Die Capillarröhre abgebrochen, so dass die 127 M.M. lange Wassersäule in derselben bis ans Ende reichte. Langsames und rasches Pumpen liess dieselbe während 5 Minuten ganz unbeweglich.

3) Weite der Capillarröhre 0,194 M.M. Temperatur 15° C. Beobachtete Steighöhe bei einer Atmosphäre 150 M.M. Die Capillarröhre abgebrochen, so dass die 149 M.M. lange Wassersäule bis oben reichte. Ausgepumpt bis auf einen Barometerstand von 6 M.M.; das Niveau der Capillarröhre rührte sich nicht. Während längern Pumpens erniedrigte es sich äusserst langsam, so dass es nach 15 Minuten 3 M.M. unter dem obern Rand sich befand. Dann fieng es an rasch zu sinken bis auf 110 M.M. Höhe; ein zweites Mal auf 89 M.M. Höhe. Differenz von der normalen Steighöhe 40 und 61 M.M.; Barometerstand 6 M.M.

Die Capillarröhre wurde noch einmal etwas verkürzt, so dass die 145 M.M. lange Wassersäule bis ans Ende reichte. Die Entleerung der Luftpumpe auf einen Barometerstand von 5—6 M.M. bewirkte zuerst keine Veränderung. Dieser Barometerstand wurde durch unterbrochenes Pumpen während 20 Minuten unterhalten. Das Niveau sank während dieser Zeit um 5 M.M., und zwar anfänglich in etwa 6 Minuten, zuletzt in etwa 3 Minuten um je 1 M.M. Dann beobachtete man ein langsames Niedergehen, das immer schneller wurde, bis die Wasserhöhe in der Capillar-

röhre bloss noch 10 M.M. betrug. Differenz von der normalen Steighöhe 140 M.M.

Von der Röhre wurde abermals ein kurzes Stück abgebrochen. Die bis zur Spitze reichende Wassersäule hatte eine Länge von 138 M.M. Die Luftpumpe wurde auf einen Barometerstand von 4,5 M.M. entleert und durch periodisches Pumpen auf diesem Stande erhalten, so dass nach 8 bis 10 Kolbenzügen Ruhe von 3 bis 4 Minuten eintrat. Nach jedesmaligem Pumpen und der darauf folgenden Ruhezeit sank das Niveau um 1 M.M., so dass es nach 30 bis 35 Minuten 9 M.M. tiefer stand als anfänglich. Sodann trat bei abermaligem Pumpen erst langsames, dann immer schnelleres Sinken ein, so dass das Niveau auf 0 (d. h. auf gleicher Höhe mit dem Wasser in dem Reagensgläschen) stand. Differenz gegenüber der normalen Steighöhe 150 M.M. Nachdem etwas Luft eingelassen worden und das Wasser auf eine Höhe von 106 M.M. gestiegen war, gieng es bei abermaligem Pumpen wieder auf Null herunter.

4) Weite der Capillarröhre 0,198 M.M. Temperatur 6° C. Beobachtete Steighöhe bei 1 Atmosphäre 151 M.M.; leeres Ende über dem capillaren Niveau 116 M.M. Steighöhe bei 8 M.M. Barometerhöhe 23 M.M.; Differenz 128 M.M.; leeres Ende über dem capillaren Niveau 244 M.M.

Capillarröhre so abgebrochen, dass die 149 M.M. hohe Wassersäule bis ans obere Ende reichte. Ausgepumpt und der Barometerstand fortwährend auf 4 bis 5 M.M. erhalten. Das Niveau erniedrigte sich äusserst langsam; es bedurfte $\frac{5}{4}$ Stunden, um 5 M.M. abwärts zurückzulegen. Erst jetzt fieng es an langsam, dann immer rascher zu sinken.

Es wäre überflüssig, noch andere Versuche anzuführen. Bei allen zeigte sich die nämliche Erscheinung, dass in einer Capillarröhre, in welcher das Wasser bis zum obern Rand hinaufreichte, beim Entleeren der Luftpumpe anfangs gar keine Veränderung, dann aber ein so langsames Sinken

eintrat, dass in 6 bis 25 Minuten kaum der erste Millimeter zurückgelegt wurde. Diese für das Auge nicht unmittelbar wahrnehmbare Bewegung dauert nach Umständen längere oder kürzere Zeit an; sie wird zunächst dadurch bedingt, dass zeitweise eine grössere Menge Wasser verdunstet, als durch die Capillarität ersetzt werden kann. Das Steigen in den engen Capillarröhren geht nämlich im untern Theil ausserordentlich schnell, zu oberst aber sehr langsam vor sich. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass wenn in einem Zeitmoment durch raschere Verdunstung das capillare Niveau sich etwas gesenkt hat, es diese Stellung behält, wenn auch nachher die Verdunstung wieder abnimmt und der Barometerstand unter der Luftpumpe steigt. Dieses Factum gehört einer ganzen Kategorie von capillaren Erscheinungen an, welche dadurch charakterisirt ist, dass das Niveau der Flüssigkeit ein gewisses Beharrungsvermögen besitzt und dass zur Aenderung desselben die Umstände, die sonst einen andern naheliegenden Stand bedingen, nicht ausreichen, sondern dass dafür ein grösserer oder kleinerer Kraftüberschuss erforderlich ist.

Das dem Auge sichtbare Sinken in der abgebrochenen Capillarröhre tritt je nach den Umständen früher oder später ein. Bei einer Temperatur von 15° C. genügte dafür schon ein leeres Röhrenende, das 15 mal länger war als sein Durchmesser (Versuch 3). Bei einer Temperatur von 6° C. musste es 25 mal so lang sein (Versuch 4). Dieses Sinken beginnt ferner um so früher, je mehr die Wassersäule der normalen Länge gleichkommt. Beim dritten Versuch hatte nach mehrmaligem Abbrechen der Capillarröhre die Wassersäule 8 Procent weniger als die normale Länge. Das leere Ende musste 45 mal so lang werden als sein Durchmesser, um das sichtbare Sinken zu veranlassen, während bei normaler Länge der Wassersäule die 15 malige Länge dazu genügt hatte.

Die andere Frage war die, wie sich Flüssigkeiten mit ungleich lebhafter Verdunstung unter der Luftpumpe verhalten. Die Versuche gaben die Antwort, dass nicht verdunstende Flüssigkeiten (concentrirte Schwefelsäure, fette Oele) in den Capillarröhren unbeweglich bleiben, und dass die übrigen um so schneller und tiefer sinken, je energischer die Verdampfung eintritt. Wenn man mit der nämlichen Flüssigkeit, nämlich mit destillirtem Wasser operirt, so beobachtet man, unter übrigens gleichen Umständen, ein um so bedeutenderes Fallen des Niveau, je höher die Temperatur und je tiefer der Barometerstand ist. Diess ergibt sich aus einer Menge von Thatsachen. Doch lassen sich die einzelnen Factoren nicht genau in Ziffern angeben, da es schwer ist, ganz gleiche Bedingungen herzustellen.

Es mögen hier einige Beispiele folgen, welche wenigstens im Allgemeinen einen Begriff von den Erscheinungen geben.

Temperatur.	Barometer.	Steighöhe.	Steighöhe bei 1 Atmosph.	Differenz.	Weite der Capillarröhre.
3° C.	2,4	88	141	53	0,212
3°	3	97	141	44	0,212
3,7°	3,4	69	129	60	0,241
3,7°	4,5	96	129	33	0,241
6,3°	1,7	87	187	100	0,162
7,5°	2	28	128	100	0,233
7,5°	2,3	14	48	34	0,625
7,5°	1	3	48	45	0,625
7,2°	5	34	55	21	0,550
7,2°	1	14	55	41	0,550
8°	9	70	75	5	0,400
8°	6,5	63	75	12	0,400
8°	3,5	44	75	31	0,400
8°	1,5	18	75	57	0,400
15°	4	10	150	140	0,190
16°	4	0	150	150	0,190

Es machen diese Angaben, wie schon gesagt, keinen Anspruch darauf, genau vergleichbare Ziffern zu geben, da die Steighöhe noch von einigen Factoren abhängt, die in der Tabelle durch keine Zahlenwerthe angegeben werden konnten. Es gehört hieher ausser der Länge und Weite des leeren Capillarröhrenendes noch der Umstand, ob langlangsam oder rasches Pumpen vorausgieng und ob in dem Gasgemenge, welches den Barometerstand bedingt, mehr oder weniger Wasserdampf enthalten ist. Diese Punkte werden später erörtert werden.

Was den Einfluss des Barometerstandes betrifft, so ist es bekannt, dass die Verdunstung des Wassers mit Abnahme des Luftdruckes zunimmt; die Verhältnisse der Progression sind nicht ermittelt. Aus einigen Versuchen, die wir zu andern Zwecke anstellten, ergab sich, dass die Verdunstungsmengen bei sehr niedrigen Barometerständen ungemein rasch zunehmen. Bei 8° C. war die Verdunstung äusserst langsam, solange das Barometer über 6 bis 7 M.M. stand, so dass während längerer Zeit eine Erniedrigung der Wassersäule in einer unten geschlossenen Capillarröhre nicht bemerkbar wurde. Als das Barometer auf 1 bis 1,5 M.M. gesunken war, so verdunsteten in einer Röhre von 0,120 M.M. Durchmesser 7 M.M. während 5 Minuten.

Uebereinstimmend mit der soeben erwähnten Thatsache, beobachteten wir bei allen Versuchen, dass das Sinken des Niveau's in den Capillarröhren erst bei einem sehr niedrigen Barometerstand beginnt. Pumpt man z. B. auf 10 M.M. Quecksilberhöhe aus, und erhält man diese Verdünnung während längerer Zeit, so bleibt die capillare Wassersäule vollkommen unbeweglich. Die Verdunstung ist so gering, dass sie ein Sinken derselben nicht zur Folge hat. Wird die Luftpumpe dagegen stärker entleert, so tritt ein bestimmter Grad der Verdünnung ein, bei welchem die Er-

niedrigung sichtbar wird. Einige Beispiele mögen diess anschaulich machen.

Barometerst.b. Beginn d. Sink.	Temperatur.	Durchmesser der Röhre.	Leeres Röhrenende.	Steighöhe.
12 M.M.	15°	0,215	lang	normal
5	15°	0,190	6 M.M.	N—7 M.M.
6	15,5°	0,190	5 M.M.	N—10 M.M.
8	8°	0,172	lang	normal
9	8°	0,233	lang	normal
5	6,5°	0,162	13 M.M.	normal
4	6°	0,198	5 M.M.	N—7 M.M.
5	5°	0,183	lang	normal
4,5	4°	0,241	lang	normal

In der letzten Columne ist die Steighöhe angegeben, bei welcher das Sinken anfängt. Bei längerem leeren Röhrenende ist es die normale Höhe (N). In den abgebrochenen Röhren mit kurzem leeren Ende ist sie geringer (N—7 M.M. etc.). Je mehr von der normalen Steighöhe mangelt, um so grösser muss die Kraft sein, welche das Sinken hervorbringt, um so höher also die Temperatur oder um so niedriger der Barometerstand. — In dem ersten Beispiel war bei 13 M.M. Quecksilberhöhe die Wassersäule der Capillarröhre noch ganz unverändert. Ein schwacher Kolbenzug, der das Barometer auf 12 M.M. erniedrigte, bewirkte ein ziemlich rasches Sinken um 4—6 M.M. So wie das Barometer wieder auf 13 M.M. hinaufgieng, nahm auch das capillare Niveau seinen ursprünglichen Stand wieder ein. Diess Experiment wurde mit dem nämlichen Erfolg mehrmals wiederholt.

Wenn man die Capillarröhre erst nach Entleerung der Luftpumpe eintaucht, so erhält man den soeben erwähnten entsprechende Resultate. Hat nämlich die Verdünnung der Luft einen gewissen Grad nicht erreicht, so steigt nach

dem Eintauchen das Wasser in der Capillarröhre auf die nämliche Höhe wie bei dem Druck einer ganzen Atmosphäre. Eine Röhre von 0,198 M.M. Durchmesser wurde bei einem Barometerstand von 6,5 M.M. und einer Temperatur von 6° C. in Wasser gebracht. Das Niveau stieg 151 M.M. hoch; bei einer Atmosphäre gieng es nicht höher. Es behauptete auch diesen Stand, als während längerer Zeit bei langsamem Pumpen das Barometer auf 6,5 M.M. erhalten blieb. Dagegen sank es, als durch Erwärmen des Recipienten mittelst der Hand die Temperatur etwas erhöht wurde. Eintauchen bei 5 M.M. Barometerhöhe bewirkte bloss eine Steighöhe von etwas über 100 M.M.

Der Einfluss der Wärme giebt sich bei allen Versuchen deutlich kund, indem unter übrigens gleichen Verhältnissen bei höherer Temperatur das Sinken des Niveaus theils früher beginnt, theils einen tiefern Grad erreicht. Auch bei gewöhnlichem Luftdruck hat die Wärme auf die Steighöhe in den Capillarröhren Einfluss, wiewohl er lange nicht so in die Augen springt wie bei den Versuchen unter der Luftpumpe. Doch kann man bei drei leicht herzustellenden Temperaturgraden nämlich bei Null, bei $15-20^{\circ}$ und in der Nähe des Siedepunktes deutliche Verschiedenheiten beobachten.

Der Zusammenhang zwischen Verdunstung und Steighöhe zeigt sich auch sehr auffallend, wenn man andere Flüssigkeiten mit Wasser vergleicht. Bei Alcohol und Aether beginnt das Sinken des capillaren Niveaus bei einem höhern Barometerstand und bei einem niedrigeren Temperaturgrad.

Alcohol von $96-97^{\circ}$ Grad stieg bei 5° C. und bei dem Druck einer Atmosphäre in einer Röhre von 0,105 M.M. Durchmesser auf 107 M.M. Das leere Ende über diesem Niveau war 173 M.M. lang. Als bei langsamem Pumpen das Barometer auf 16 M.M. hinabgieng, so fieng das Niveau an rasch zu sinken, und hatte noch eine Höhe von 12 M.M.

(Differenz 95 M.M.) bei 9 M.M. Barometerhöhe, also bei einem Druck und einer Temperatur, bei welcher eine Wassersäule noch unbeweglich ist.

In einer andern Röhre von 0,112 M.M. Weite stieg der Alcohol bei einer Temperatur von $6,4^{\circ}$ C. auf 100 M.M. Das leere Ende über diesem Stand hatte eine Länge von 100 M.M. Bei langsamem Pumpen begann das Sinken, als der Barometerstand auf 20 M.M. sich erniedrigt hatte, und als derselbe bei 8,5 M.M. angelangt war, so stand der Alcohol bloss noch 11 M.M. hoch in der Capillarröhre. Als das Pumpen eingestellt wurde, so stieg das Niveau mit dem Barometer, und erreichte seine normale Höhe, sobald der Barometerstand 20 M.M. betrug.

Die nämliche Capillarröhre wurde, nachdem sie entleert und wieder in den Recipienten gebracht worden war, erst eingetaucht, nachdem die Luftpumpe evacuirt und der Barometerstand während einiger Zeit auf 8—9 M.M. erhalten worden war. Das Niveau stieg langsam auf 12 M.M. Der Barometerstand wurde dann auf 8, 6 und 4 M.M. erniedrigt und längere Zeit auf diesem Stande erhalten; das capillare Niveau gieng nicht unter 11 M.M. — Die gleiche Röhre wurde noch einmal entleert und dann erst eingetaucht, nachdem bis auf einen Barometerstand von 4 M.M. ausgepumpt worden war. Das Niveau erhob sich jetzt allmählich auf 11 M.M.

Aether stieg bei $9,5^{\circ}$ C. und dem Druck einer Atmosphäre in einer Röhre von 0,217 M.M. Durchmesser auf 47 M.M. Das leere Ende über diesem Niveau war über 100 M.M. lang. Bei sehr langsamem Pumpen fieng das Sinken schon an, als der Barometerstand noch 270 M.M. betrug. — Das Herabdrücken des capillaren Niveau's durch die Spannkraft der Aetherdämpfe kann man auch bei gewöhnlichem Luftdrucke beobachten, wenn man eine Capillarröhre das eine Mal mit offenem, das andere Mal mit bei-

nahe oder gänzlich geschlossenem Ende zu den Versuchen anwendet. Eine Capillarröhre von 0,177 M.M. Durchmesser wurde bei 16° C. in eine ziemlich feine (doch noch offene) Spitze ausgezogen und in Aether gestellt; die Steighöhe war 53 M.M. Dann wurde die Spitze abgebrochen; das Niveau stand jetzt 55 M.M. hoch. Diess wurde mit dem gleichen Erfolge wiederholt. Eine andere Röhre, in gleicher Weise behandelt, zeigte die Steighöhen 43 und 45 M.M. — In einer Capillarröhre, in welcher bei offenem Ende das Niveau 50 M.M. hoch stand, sank dasselbe, nachdem das Ende mit Wachs verklebt worden, auf 47 M.M.

Alle bis jetzt erwähnten Thatsachen beweisen, dass die Steighöhe in den Capillarröhren bei vermindertem Luftdrucke desswegen sich erniedrigt, weil die Verdunstung lebhafter wird. Es bleibt aber noch zweifelhaft, ob es die Spannkraft der Dämpfe allein sei, welche das capillare Niveau herunterdrückt, oder ob vielleicht innere Ursachen mitwirken. Um diess zu ermitteln, wurde eine Reihe fernerer Beobachtungen angestellt, welche in einer folgenden Mittheilung dargelegt werden sollen.

Historische Classe.

Sitzung vom 22. März 1866.

Herr Kluckhohn hielt einen Vortrag:

„Beiträge zur Geschichte der Bayerischen Geschichtschreibung im 15. und 16. Jahrhundert“ oder

„Drei Vorläufer Aventins, Ebram von Wildenberg, Veit Arnpeckh u. Ulrich Futrer“.

Herr Rockinger hielt einen Vortrag:

„Ueber Recht und Rechtspflege in Bayern im 13. Jahrhundert“, näher

„Ueber die grösseren Landfriedens-Urkunden, welche im Laufe dieses Jahrhunderts in Bayern zu Stande kamen“.

Beide Abhandlungen werden in den Denkschriften der Classe veröffentlicht werden.
