

Ueber den

Verdampfungsprocess.

Von

K. K. PROF. DR. VICTOR PIERRE.

Vortrag, gehalten am 23. Februar 1881.

Die mannigfachen Anwendungen der Eigenschaften des Wasserdampfes spielen eine so hervorragende Rolle in dem Leben der Gegenwart, dass man vielleicht nicht mit Unrecht das neunzehnte Jahrhundert als jenes der Herrschaft des Dampfes bezeichnet hat. Nichtsdestoweniger aber begegnet man nicht selten irrigen oder wenigstens sehr unklaren Vorstellungen von dem Wesen und den Eigenschaften der Dämpfe, die sogar im gewöhnlichen Sprachgebrauche ihren Ausdruck finden. So spricht man z. B. von den „Dampfwolken“ welche über heißen Quellen u. dgl. sich erheben, von den mächtigen „Dampfballen“, welche der Schlot einer sich in Bewegung setzenden Locomotive auswirft u. s. w., und doch ist dasjenige, was man in solchen Fällen als „Dampf“ bezeichnet, wohl Dampf gewesen, aber in der Form, in der es in die Erscheinung tritt, längst kein Dampf mehr, sondern tropfbar flüssiges Wasser, welches aus dem Dampfe durch Abkühlung entstanden ist, und in äusserst fein zertheiltem Zustande als Wasserstaub gerade ebenso in der Luft schwebt, wie die feinen Theilchen einer Menge fester, organischer sowohl als anor-

ganischer Körper in der Luft schweben, von der Sonne beleuchtet, als „Sonnenstäubchen“ sichtbar und von Luftströmungen oft meilenweit fortgeführt werden. Auch Nebel und Wolken sind nichts Anderes, als derartiger in der Luft schwebender „Wasserstaub“, sie unterscheiden sich von den eben genannten „Dampfwolken“ in keinem wesentlichen Punkte und sind ebenso wenig „Dämpfe“ als diese. So glaubt man ferner noch hin und wieder, dass der Thau vom Himmel falle und die Luft abkühle, dass der Reif die Pflanzen erfrieren mache, während gerade umgekehrt die Pflanzen früher unter den Gefrierpunkt des Wassers abgekühlt und erfroren sind, wenn sich Reif an ihnen absetzen soll u. dgl. m.

Es dürfte deshalb nicht ohne Interesse sein, das Entstehen und die Eigenthümlichkeiten der Dämpfe überhaupt einer näheren Besprechung zu unterziehen.

Wiewohl verschiedene, mit der Dampfbildung im Zusammenhange stehende Erscheinungen schon im vorigen Jahrhunderte mehr oder weniger richtig erkannt und gedeutet wurden und insbesondere Wallerius, Eriksen, Pictet, Deluc und der Engländer Watt, dem man die ersten grossen Fortschritte in der Construction der Dampfmaschine verdankt, in dieser Richtung sich verdient gemacht hatten, beginnt die genauere wissenschaftliche Erkenntniss des Wesens und der Eigenschaften der

Dämpfe erst mit dem Anfange des laufenden Jahrhunderts sich Bahn zu brechen, indem die darauf bezüglichen classischen Untersuchungen des Engländer Dalton erst im Jahre 1801 veröffentlicht wurden. Ja selbst in unseren Tagen bleibt, trotzdem uns die neuere, oder mechanische Wärmetheorie mehrere bisher unbekannte, aber in praktischer Hinsicht höchst wichtige Gesetze kennen gelehrt hat, dennoch gar Manches zu thun übrig, um uns volle Einsicht in das Wesen und Verhalten der Dämpfe zu verschaffen.

Wenden wir uns zunächst der Frage zu: wie und unter welchen Umständen entsteht Dampf? so können wir sogleich bemerken, dass die erste Bedingung hierzu die Zuführung von Wärme ist, dass aber nicht alle Körper in Dampfform gebracht werden können, weil wir entweder nicht im Stande sind, alle erforderlichen Bedingungen herbeizuführen, in der Regel nicht die erforderlich hohe Temperatur zu erzeugen vermögen, oder aber weil der betreffende Stoff ein solcher ist, der bei Einwirkung von Wärme eine chemische Veränderung erleidet oder sich zersetzt, wie dies z. B. bei den Fettarten, Holz, Wachs u. dgl. der Fall ist. Körper, welche in Dampfform gebracht werden können, nennt man überhaupt flüchtige Körper und unterscheidet dieselben je nach der Leichtigkeit, mit welcher sie verdampfen, als leicht- oder schwerflüchtige.

Der Uebergang in die Dampfform kann entweder in der Weise erfolgen, dass sich der Vorgang nur auf die freie Oberfläche des Körpers beschränkt, oder in der ganzen Masse, d. h. auch im Innern desselben sich vollzieht.

Das erstere ist der Fall, wenn man eine tropfbare Flüssigkeit, wie Wasser, Weingeist, Benzin u. a. m. in einem offenen Gefässe frei an der Luft stehen lässt. Man wird bemerken, dass die genannten Flüssigkeiten unter diesen Umständen allmählig verschwinden und zwar am schnellsten das Benzin, etwas weniger schnell der Weingeist, am langsamsten das Wasser. Diese drei Körper sind also nicht in gleichem Grade flüchtig. Dass die Flüssigkeiten nicht vom Gefässe eingesogen werden, ist leicht einzusehen, dass aber ihr allmähliges Verschwinden davon herrühre, dass sich an der Oberfläche der genannten Stoffe fortwährend Moleküle losreißen und, in den ausdehnbar flüssigen oder luftförmigen Zustand übergegangen, sich in der Luft ebenso verbreiten oder diffundiren, wie jeder andere gasförmige Stoff, hat erst Dalton in entscheidender Weise nachgewiesen.

Abgesehen von den älteren Ansichten, nach welchen man unter Anderm auch glaubte, dass Wasser und andere Flüssigkeiten sich einfach in gewöhnliche atmosphärische Luft verwandelten und selbst der berühmte Reformator der Naturwissenschaften, Baco von Verulam, die im siedenden

Wasser aufsteigenden Dampfblasen einfach für gewöhnliche Luftblasen hielt, erklärte später Leroi (1750) den erwähnten Vorgang durch die Annahme, dass die Flüssigkeiten von der atmosphärischen Luft in derselben Weise aufgelöst werden, wie etwa Kochsalz, Zucker u. dgl. vom Wasser aufgelöst werden. Diese Erklärung hatte etwas Bestechendes und wiewohl bereits Wallerius (im Jahre 1785) und Pictet (im Jahre 1786) durch einen, wie man glauben sollte, entscheidenden Versuch das Irrige dieser Erklärungsweise nachgewiesen hatten, erhielt sich dieselbe dennoch bis zum Beginne des laufenden Jahrhunderts aufrecht. Die letztgenannten Forscher brachten nämlich Wasser oder eine andere geeignete Flüssigkeit unter den Recipienten einer Luftpumpe und evacuirten denselben. Während doch dabei das vermeintliche Lösungsmittel, die Luft, entfernt wurde, verflüchtigten sich die angewendeten Flüssigkeiten nur noch viel stärker und rascher als in der Luft. Diese kann daher nicht nur kein Lösungsmittel sein, sondern wirkt sogar aus später noch zu erwähnenden Gründen hindernd auf den Vorgang ein.

Für die eben geschilderte Art des Ueberganges eines Körpers in den luftförmigen Zustand findet man häufig die Bezeichnung „Verdunstung“ angewendet, richtiger wäre, wenn man schon das neutrale Fremdwort „Evaporation“ vermeiden wollte, die Bezeichnung „Verflüchtigung“, weil das Wort

„Dunst“ seiner Bedeutung nach mindestens sehr unklar ist.

Nicht blos tropfbar flüssige, auch feste Körper können auf diese Weise in die Dampfform übergehen, so z. B. Kampher, Moschus, überhaupt alle stark riechenden Körper. Ein Stückchen Kampher, das man frei an der Luft liegen lässt, wird immer kleiner und verschwindet endlich vollständig, während in dem Raume, in welchem diese Substanz sich befindet, ein immer stärkerer Kamphergeruch bemerkbar wird. Die an der Oberfläche des Stückchens entstandenen Kampherdämpfe verbreiten sich nämlich in der Luft ebenso wie irgend ein anderes Gas und veranlassen beim Athmungsprocesse, mit derselben eingesogen, die ihnen eigenthümliche Geruchswahrnehmung.

Auch das Eis verflüchtigt sich noch bei Temperaturen tief unter dem Gefrierpunkte des Wassers (0° R.). Man kann dies leicht an scharfkantigen Eisstücken beobachten, welche bei anhaltender, strenger Winterkälte längere Zeit im Freien liegen bleiben. Sie verlieren dabei ihre scharfen Kanten, die sich immer mehr und mehr abrunden und kleine Stückchen Eis verschwinden allmählig, ohne etwa vorher zu schmelzen, ebenso, wenn auch nicht so schnell, als das oben erwähnte Kampherstückchen. Die Möglichkeit, nasse Wäsche auch im Winter bei Temperaturen unter 0° R. durch Aufhängen im Freien trocknen zu können, beruht auf der allmä-

ligen Verdampfung des in den Poren der Wäschstücke entstandenen Eises.

Aber nicht alle Körper besitzen die Fähigkeit, an ihrer Oberfläche fortwährend Dämpfe zu entwickeln. Setzen wir irgend ein fettes Oel, z. B. Olivenöl, Mandelöl u. dgl., ebenso wie früher das Wasser oder das Benzin in einem offenen Gefäße der Luft aus, so wird es selbst nach Monaten und Jahren nicht verschwunden sein. Es wird sich zwar in Folge der Einwirkung des Sauerstoffes der Luft insofern verändern, als es ranzig werden wird, aber zu einer Verflüchtigung kommt es nicht. Ebenso verhalten sich die meisten festen Körper, wie bei gewöhnlichen Temperaturen die Metalle, Glas u. a. m.

Bringt man eine flüchtige Substanz, wie etwa Wasser, Weingeist u. dgl., in ein fest verschlossenes Gefäß (eine gut verkorkte Flasche z. B.), so vermindert sich ihr Volum nicht und es hat den Anschein, als habe sie die Fähigkeit, in Dampfform überzugehen, verloren. Dies ist jedoch nicht der Fall, die Dampfbildung an ihrer Oberfläche dauert aber in diesem Falle nur so lange, bis sich eine gewisse Menge Dampf gebildet und in der abgesperrten Luft des Gefäßes gleichförmig verbreitet hat. Man sagt deshalb, die Luft dieses Gefäßes sei mit dem Dampfe der Flüssigkeit gesättigt. Entfernt man aber das Gemenge von Luft und Dampf, indem man es entweder mit Hilfe einer Luftpumpe aussaugt, oder auch nur reine, dampffreie Luft in

einem anhaltenden Strome durchstreichen lässt und dadurch die Luft über der Flüssigkeit fortwährend erneuert, so bilden sich auch fortwährend neue Dämpfe, und zwar so lange, als man mit dem Entfernen der mit Dampf bereits gesättigten Luft fortfährt; daher kommt es auch, dass Wasser in bewegter Luft rascher sich verflüchtigt als in ruhiger.

Um die Gesetze der Dampfbildung und die Eigenschaften der Dämpfe zu studiren, bediente sich Dalton eines sehr einfachen Verfahrens, indem er eine hinreichende Menge der Flüssigkeit, deren Dämpfe er untersuchen wollte, in den luftleeren Raum einer Torricelli'schen Röhre*) brachte. Ein Theil der Flüssigkeit verwandelt sich dabei

*) Füllt man eine an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre von etwa 80 Centimeter Länge mit Quecksilber, verschliesst das offene Ende der Röhre mit dem Finger, kehrt sie dann um und stellt sie in einem mit Quecksilber gefüllten Gefässe so auf, dass das mit dem Finger verschlossene Ende unter dem Quecksilber sich befindet, so bemerkt man, sobald man den Finger unter dem Quecksilber von dem offenen Ende entfernt, dass das Quecksilber in der Röhre zwar anfänglich etwas herabsinkt, endlich aber stehen bleibt und eine Säule von etwa 75 bis 76 Centimeter Höhe sich in der Röhre schwebend erhält, während über dieser Säule ein luftleerer Raum in der Röhre sich bildet, den man nach seinem Entdecker das Torricelli'sche Vacuum und die Vorrichtung selbst eine Torricelli'sche Röhre nennt; in weiterer Vervollkommnung wird dieselbe zum Barometer.

fast augenblicklich in Dampf und das Quecksilber sinkt in der Röhre um so tiefer herab, je flüchtiger die angewendete Flüssigkeit ist, ein Zeichen, dass der aus ihr entstandene Dampf einen Druck auf das Quecksilber in der Röhre ausübt, gerade so wie es der Fall gewesen wäre, wenn man Luft oder ein anderes Gas in das Torricelli'sche Vacuum gebracht hätte. Die Dämpfe besitzen also so wie jeder luftförmige Körper eine gewisse Spannkraft, d. h. sie vermögen auf jede Flächeneinheit (z. B. Quadratcentimeter) der sie begrenzenden Wände einen Druck von einer solchen Grösse auszuüben, wie ihn ein bestimmtes, auf diese Flächeneinheit gelegtes Gewicht ausüben würde. Je grösser dieses Gewicht sein müsste, um auf die Fläche ebenso stark zu drücken wie der Dampf oder das Gas, um so grösser ist die Spannkraft desselben. Während aber, wenn atmosphärische Luft oder ein anderes Gas in dem Raume oberhalb des Quecksilbers enthalten gewesen wäre, jede Verkleinerung dieses Raumes (etwa durch Neigen oder tieferes Einsenken der Röhre) eine Vergrösserung der ursprünglichen Spannkraft zur Folge hätte, ist dies nicht so, wenn derselbe Raum mit dem Dampfe einer Flüssigkeit erfüllt ist. In diesem Falle bewirkt eine Raumverminderung keine Erhöhung der Spannkraft des vorhandenen Dampfes, aber ein Theil desselben verwandelt sich wieder in tropfbare Flüssigkeit oder condensirt sich, so dass der übrig bleibende

Dampf die ursprüngliche Spannkraft unverändert beibehält und nur in dem Masse als der mit Dampf erfüllte Raum kleiner und kleiner wird, mehr und mehr Dampf sich condensirt. Die Spannkraft des Dampfes ist also unter diesen Umständen keiner weiteren Vergrößerung mehr fähig, sie erscheint daher als Spannkraftsmaximum oder als Maximalspannung des Dampfes. Dabei wurde jedoch stillschweigend vorausgesetzt, dass sich die Temperatur während des Versuches nicht geändert habe. Wird aber die Röhre erwärmt, so bildet sich, so lange noch genug tropfbare Flüssigkeit vorhanden ist, aus ihr neuer Dampf, der sich zu dem bereits vorhandenen hinzugesellt und die Quecksilbersäule in der Röhre tiefer und tiefer herabdrückt, was darauf hinweist, dass die Spannkraft des Dampfes zugenommen hat; sie bleibt aber stets die grösstmögliche, welche der Dampf bei der jedesmal in dem Dampfraume herrschenden Temperatur besitzen kann. Die Maximalspannung des Dampfes ist sonach für verschiedene Temperaturen verschieden gross und wächst mit zunehmender Temperatur in rasch ansteigender Progression. Solcher Dampf, welcher die grösste seiner Temperatur entsprechende Spannkraft besitzt, wird „gesättigter“ Dampf genannt.

Ist aber bei fortgesetzter Erwärmung alle vorhandene Flüssigkeit endlich völlig verdampft, so

kann zwar bei noch weiter gehender Temperatursteigerung keine weitere Dampf-Erzeugung mehr stattfinden, nichtsdestoweniger aber nimmt die Spannkraft des bereits vorhandenen Dampfes auch jetzt noch zu, aber bei gleich grosser Temperatur-Erhöhung weit weniger stark als in dem Falle, wenn noch tropfbare Flüssigkeit vorhanden wäre, sie ist auch nicht mehr die grösstmögliche, welche der Dampf vermöge der ihm ertheilten höheren Temperatur haben könnte; solcher Dampf, dessen Spannung kleiner ist, als die seiner Temperatur entsprechende Maximalspannung, heisst „überhitzter oder ungesättigter“ Dampf. Ueberhitzter Dampf verhält sich gerade so wie jedes wirkliche Gas, d. h. eine Verminderung seines Volums bewirkt bei constant bleibender Temperatur eine Spannkraftszunahme, aber nur so lange, bis diese Zunahme die Grenze erreicht hat, welche der Temperatur des Dampfes als Maximalspannung entspricht; von diesem Augenblicke an ist der Dampf nicht mehr überhitzt und bewirkt jede weitere Volumsverminderung eine theilweise Condensation desselben zu tropfbarer Flüssigkeit.

Was würde aber geschehen, wenn wir die Temperatur in einem mit bereits gesättigtem Dampfe erfüllten Raume erniedrigen würden? Da bei niedrigeren Temperaturen die grösste Spannung, welche der Dampf erreichen kann, eine

kleinere ist als bei höheren, so ist leicht einzusehen, dass bei einer bestimmten Temperatur gesättigter Dampf nicht mehr gänzlich als Dampf fortbestehen kann, wenn die Temperatur sinkt, es muss ein Theil des vorhandenen Dampfes sich condensiren, d. h. in tropfbare Flüssigkeit sich umwandeln, so dass der übrig bleibende Rest gerade die der erniedrigten Temperatur entsprechende Maximalspannung besitzt.

Auf dieser Eigenschaft der Dämpfe beruhen ebensowohl einige technische Processe, als auch eine Reihe von Vorgängen in der Natur durch sie ihre Erklärung findet. Beim Destillationsprocesse z. B. wird eine Flüssigkeit durch Erhitzung zum Verdampfen gebracht, die entstandenen Dämpfe haben die der höheren Temperatur des Destillationsgefässes (gewöhnlich Destillir-Blase genannt) entsprechende Maximalspannung und werden, indem sie durch ein von kaltem Wasser oder einer Kältemischung umgebenes mehrfach gewundenes Rohr (die Kühlschlange genannt) hindurch streichen und dadurch abgekühlt werden, theilweise wieder zu tropfbarer Flüssigkeit condensirt, die aus dem Kühlrohre abläuft und aufgefangen wird. Da flüchtigere Stoffe bei derselben Temperatur viel stärker verdampfen als weniger flüchtige, kann man durch Destillation erstere aus einem Gemenge mit letzteren abscheiden; so wird in den Brennereien der flüchtige Alkohol aus der Maische, die ein Gemenge von Alkohol, Wasser und

festen Stoffen ist, durch Destillation abgeschieden. Auch das Brunnen- oder Flusswasser kann auf diese Weise von den in ihm aufgelösten, nicht flüchtigen Stoffen getrennt und dadurch ungeniessbares Wasser, wie z. B. das Meerwasser, trinkbar gemacht werden.

Die Entstehung von Thau, Nebel, Regen, Reif und Schnee beruht auf der durch Temperatur-Erniedrigung bedingten Condensation des in der Atmosphäre nie fehlenden Wasserdampfes.

An der Oberfläche des Meeres, der Seen, Flüsse u. s. w. bildet sich fortwährend Wasserdampf in grösserer oder geringerer Menge, je nachdem die Temperatur höher oder niedriger ist. Indem sich aber der entstandene Dampf in dem Masse als er entsteht auch wieder in den weiten Luftocan verbreitet, erlangt er in der Regel nicht die seiner Temperatur entsprechende Maximalspannung, er ist somit ungesättigt oder überhitzt. Tritt aber eine Temperatur-Erniedrigung ein, indem z. B. die warme, solchen überhitzten Wasserdampf enthaltende Luft wärmerer Zonen der Erde in kältere Zonen abströmt, so kann, so bald die Temperatur in diesen Gegenden niedriger ist als jene, bei welcher die thatsächlich vorhandene Spannkraft des der zuströmenden warmen Luft beigemengten Wasserdampfes bereits zur Maximalspannung würde, nicht mehr aller Dampf als solcher fortbestehen, weshalb ein Theil desselben in Gestalt äusserst kleiner, mit freiem Auge nicht erkennbarer Wassertröpfchen sich ausscheidet, die

wegen ihres äusserst geringen Gewichtes in der Luft schweben bleiben, und wenn der Vorgang in den an die Erde grenzenden Luftschichten vor sich geht, die Erscheinung des „Nebels“, wenn er aber in den oberen Schichten der Atmosphäre erfolgt, jene der „Wolken“ hervorbringt. Auf dieselbe Weise entstehen auch die sogenannten „Dampfwolken“ über heissen Quellen, Gefässen, in denen Wasser siedet, beim Ausströmen des Dampfes aus einem Dampfkessel in die äussere kältere Luft u. s. w. Erfolgt die Abkühlung des der Luft beigemengten Wasserdampfes dadurch, dass er mit einem Körper von niedrigerer Temperatur in Berührung kommt, so condensirt sich, sobald seine Spannung grösser ist, als die bei der Temperatur des betreffenden Körpers mögliche Maximalspannung, ein Theil des Dampfes an der kalten Körperoberfläche in Gestalt kleiner, allmählig zusammenfliessender und dadurch sich vergrössernder Wassertropfchen und bildet dasjenige, was man im gewöhnlichen Leben „Thau“ nennt. *)

Geht bei diesem und dem ebenzuvor erwähnten Vorgange die Condensation des Wasserdampfes bei Temperaturen vor sich, die niedriger sind als der Schmelzpunkt des Eises, so scheidet sich das Wasser nicht in tropfbar flüssigem, sondern in

*) Bevor man diese Verhältnisse richtig erkannt hatte, glaubte man gerade umgekehrt, dass der Thau die niedrige Temperatur des Körpers, an dem er auftritt, erst erzeugt habe.

festem Zustande als Eis ab, und gibt dadurch Veranlassung zur Entstehung von Reif, Schnee und Hagel.

Das Eintreten der Thau- und Wolkenbildung hängt demnach nicht von der absoluten Menge des in Dampfform in der Luft enthaltenen Wassers, sondern von dem Verhältnisse ab, in welchem die thatsächliche Spannung des (ungesättigten) Dampfes zu dem seiner Temperatur entsprechenden Spannkraftsmaximum steht, und je näher jene an diesem Maximum liegt, eine um so geringere Temperatur-Erniedrigung reicht hin, eine theilweise Condensation des Dampfes einzuleiten.*)

Wiewohl zur Herbst- und Winterszeit die absolute Menge des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes immer eine viel geringere ist als im Sommer, ist doch die Luft zu jenen Zeiten feuchter und sind Nebel- und Wolkenbildungen viel häufiger als im Sommer.

Die grösste Spannung, welche der Wasserdampf bei der niedrigen Temperatur eines Winter-

*) Der Verhältnissquotient aus der thatsächlichen Spannung des atmosphärischen Wasserdampfes in die seiner Temperatur entsprechende Maximalspannung wird als „Feuchtigkeitsgrad“ der Luft bezeichnet; die Luft erscheint daher um so feuchter, je näher jener Quotient der Einheit, d. h. je näher die thatsächliche Spannung des Wasserdampfes dem seiner Temperatur entsprechenden Spannkraftsmaximum kommt.

tages erreichen kann, ist immer nur sehr klein im Vergleiche mit jener eines warmen Sommertages; bei -4° R. z. B. mehr als siebenmal kleiner als bei $+20^{\circ}$ R. und wenn die Luft bei ersterer Temperatur eine sechsmal geringere Menge Wasserdampf aufgenommen hat als sie bei $+20^{\circ}$ R. aufnehmen könnte, so ist bereits die Grenze erreicht, bei welcher die Ausscheidung von tropfbar flüssigem Wasser beginnt. *)

Führt man einer flüchtigen Flüssigkeit immer mehr und mehr Wärme zu, so nimmt anfänglich mit zunehmender Temperatur nur die Dampf-Erzeugung an ihrer Oberfläche zu, endlich aber tritt ein Moment ein, bei welchem die zugeführte Wärme keine weitere Temperatur-Erhöhung mehr

*) Wird eine Volumsänderung des gesättigten, trockenen, d. h. nicht mehr mit der Flüssigkeit, aus der er entstanden ist, in Berührung stehenden Dampfes in der Art vorgenommen, dass ihm dabei weder Wärme zugeführt, noch entzogen werden kann, ein Vorgang, den man einen „adiabatischen“ nennt, so erhitzt sich der Dampf bei einer Verkleinerung seines Volumens so bedeutend, dass nicht nur keine Condensation zu tropfbarer Flüssigkeit, sondern im Gegentheile eine Ueberhitzung desselben erfolgt, während bei einer adiabatischen Volumsvergrößerung eine so bedeutende Abkühlung eintritt, dass ein Theil des Dampfes condensirt wird. Dieses früher ganz unbekannte, aber für die Beurtheilung der mechanischen Leistungen des Wasserdampfes höchst wichtige Verhalten ist ein von Hirn auch experimentell bestätigtes Ergebniss der Untersuchungen der neueren oder mechanischen Wärmetheorie.

bewirkt, dafür aber erfolgt von jetzt ab die Dampf-Erzeugung nicht mehr allein an der Oberfläche, sondern auch im Inneren der Flüssigkeit, es bilden sich daselbst Dampfblasen, welche, in der Flüssigkeit aufsteigend, diese in eine wallende Bewegung versetzen, welche man das „Sieden“ nennt.

Wenn man das Feuer unter einem Gefässe, in welchem Wasser siedet, noch so sehr verstärkt, wird das Wasser nicht mehr heisser, als es bereits war, es wird nur eine viel grössere Menge Dampf in derselben Zeit erzeugt, das Sieden wird lebhafter und stürmischer.

Die einer siedenden Flüssigkeit zugeführte und ausschliesslich nur zur Erzeugung von Dampf verwendete Wärme wird, weil sie weder durch das Gefühl, noch durch das Thermometer wahrnehmbar, aber doch nicht verloren ist, als die latente oder gebundene Wärme des Dampfes, mitunter auch schlechtweg als „Dampfwärme“ bezeichnet.

Was geschieht aber mit dieser Wärme? Damit eine Dampfblase sich bilden könne, muss einmal die Cohäsion der Flüssigkeit, d. h. die zwischen ihren Molekülen bestehende und diese zusammenhaltende Anziehungskraft, überdies auch noch ein auf die Oberfläche der Flüssigkeit wirkender äusserer Druck überwunden und die hiezu erforderliche Arbeit von der zugeführten Wärme geleistet werden, und insofern sie blos zu diesem Zwecke verbraucht wird,

erscheint sie eben als gebundene oder latent gewordene Wärme.

Der auf die Flüssigkeitsoberfläche wirkende äussere Druck rührt beim Sieden in freier Luft von der Spannkraft der letzteren her und beträgt für jeden Quadratcentimeter Oberfläche im runden Durchschnitte ein Kilogramm. Ein Druck von dieser Grösse wird „Druck oder Spannung von einer Atmosphäre“ oft auch schlechtweg „eine Atmosphäre“ genannt. Die Temperatur, bei welcher eine Flüssigkeit unter dem Drucke von einer Atmosphäre siedet, heisst ihre „(normale) Siedetemperatur“; sie ist für verschiedene Flüssigkeiten verschieden hoch und für flüchtigere derartige Substanzen, deren leichte Beweglichkeit und Dünnflüssigkeit allein schon auf eine geringere Grösse der Anziehungskraft zwischen ihren Molekülen schliessen lässt, immer auch niedriger als für schwerer flüchtige, die durch ihre mehr oder weniger grosse Dick- oder Zähflüssigkeit einen grösseren Grad von Cohäsion ihrer Moleküle erkennen lassen.

So siedet z. B. Schwefeläther schon bei $+ 28^{\circ}$ R., wasserfreier Alkohol bei $+ 63^{\circ}$ R., Terpentinöl bei $+ 234^{\circ}$ R. und Quecksilber bei $+ 288^{\circ}$ R., während die normale Siedetemperatur des Wassers $+ 80^{\circ}$ R. ist. Die Siedetemperatur einer Flüssigkeit ist aber keineswegs constant, sondern nimmt mit dem äusseren Drucke zu und ab. Da der Druck der atmosphärischen Luft mit der Erhebung des Beob-

achters über die Erdoberfläche abnimmt, ist auch die Temperatur, bei welcher das Wasser zu sieden beginnt, auf der Höhe eines Berges niedriger als unten im Thale.

In einer Höhe von 6000 W. F. über der Meeresfläche ist die Siedetemperatur des Wassers schon um mehr als 1° R. und bei 10.000 Fuss Erhebung sogar schon um mehr als 8° R. niedriger als an dem Meeresniveau.

Da überdies der Luftdruck selbst an einem und demselben Orte der Erdoberfläche nicht unveränderlich ist, kann auch die Temperatur, bei der Wasser in einem offenen Gefässe siedet, nicht immer dieselbe sein, sie ist bei geringerem Luftdrucke (bei welchem das Barometer tiefer steht) niedriger als bei grösserem Luftdrucke (d. h. höherem Barometerstande).

Wird eine Flüssigkeit nicht in einem offenen, sondern in einem vollkommen verschlossenen Gefässe erhitzt, so dass die sich entwickelnden Dämpfe nicht entweichen können, und daher bei fortgesetzter Erwärmung einen fortwährend, u. zw. sehr rasch zunehmenden Druck auf die Oberfläche der Flüssigkeit ausüben, so kann diese weit über ihre normale Siedetemperatur erbitzt werden, ohne zu sieden. Auf dieser Thatsache beruht der Digestor von Papin, gewöhnlich Papin'scher Topf genannt. Man versteht darunter ein starkwandiges Gefäss aus Kupfer oder Eisen hergestellt, das mit einem

genau schliessenden und durch Schrauben festgehaltenen Deckel verschlossen ist. Weil das Gefäss bei fortwährend zunehmendem Drucke des Dampfes gegen seine Wände endlich bersten müsste, hat bereits Papin durch eine Vorrichtung, das sogenannte „Sicherheitsventil“, dieser Eventualität zu begegnen gewusst. Es ist dies nichts weiter, als eine an dem Deckel angebrachte, nach aussen sich öffnende Klappe, welche von oben her durch ein Gewicht belastet wird. Sobald der Druck des Dampfes auf die Klappe von unten her ebenso gross geworden ist als der Druck jenes Gewichtes von oben her, kann keine weitere Zunahme der Dampfspannung eintreten, denn indem sich, sobald jene Grenze überschritten wird, die Klappe hebt, kann aller sich weiter entwickelnde Dampf durch die geöffnete Klappe frei ausströmen und seine Spannung nicht mehr zunehmen.

An jedem Dampfkessel muss wenigstens ein solches Sicherheitsventil angebracht sein, um Kessel-Explosionen, die durch zu starke Dampfspannungen entstehen könnten, möglichst hintanzuhalten. *)

*) Aus den in neuester Zeit von Herrn Freih. v. Burg angestellten Untersuchungen geht jedoch hervor, dass die gewöhnlich vorkommenden Grössen der Sicherheitsventile viel zu gering sind, um den Dampf in demselben Masse als er sich bildet, frei ausströmen zu lassen; die Grösse, welche man ihnen geben müsste, um diesen Zweck sicher zu erreichen, wäre aber wieder eine so bedeutende, dass sie praktisch unanwendbar wird, weshalb die Sicherheit,

Umgekehrt wird auch, wenn man den Druck des Dampfes auf eine hermetisch in ein Gefäss eingeschlossene Flüssigkeit vermindert, die Siede-Temperatur der letzteren erniedrigt.

Bringt man ein Glas Wasser von mittlerer Temperatur (etwa 12 bis 15° R.) unter den Recipienten einer Luftpumpe, so beginnt, sobald der Druck der Luft im Recipienten durch die Wirkung der Luftpumpe auf eine gewisse Grenze herabgesunken ist, das Wasser trotz seiner verhältnissmässig niedrigen Temperatur dennoch zu sieden und siedet so lange fort, als man die Luftpumpe wirken lässt und der Druck im Recipienten dadurch vermindert wird. Hört die Pumpe auf zu wirken, so hört auch das Sieden auf, sobald der Druck des Dampfes die grösste Spannung erreicht hat, die unter der im Raume herrschenden Temperatur möglich ist.

Sehr frappant zeigt sich der Einfluss einer Druckverminderung auf das Sieden des Wassers bei folgendem Versuche. Einen Glaskolben füllt man etwa bis zu zwei Dritteln seines Fassungsraumes mit Wasser und bringt dasselbe zu lebhaftem Sieden. Die reichlich entstehenden Wasserdämpfe verdrängen allmähig die im Kolben vorhanden gewesene Luft, und wenn diese nach längerem Sieden vollständig ausgetrieben und durch Dampf ersetzt ist, verschliesst man rasch den Hals des Kolbens mit welche die üblichen Ventile gewähren, jedenfalls nur eine sehr bedingte ist.

einem genau schliessenden Korkstöpsel. Hierauf kehrt man den Kolben um, so dass der Hals nach abwärts gerichtet und der Raum über dem Wasser nur mehr mit Dampf erfüllt ist. Trotzdem der Kolben von der Feuerung entfernt wurde, siedet das Wasser noch eine Weile fort, und hört erst dann auf zu siedern, wenn Wasser und Dampf so weit abgekühlt sind, dass die Spannung des Dampfes die der Temperatur des Wassers entsprechende Maximalspannung ist. Giesst man aber jetzt kaltes Wasser von aussen über den Kolben, so beginnt das in ihm enthaltene Wasser augenblicklich wieder lebhaft zu siedern. Die schnelle und starke Abkühlung vermindert nämlich die Spannung des Dampfes so bedeutend, dass das immer noch ziemlich warme Wasser unter diesem verminderten Drucke zu siedern vermag. Wenn nach längerer Zeit die Abkühlung schon so stark vorgeschritten ist, dass das Aufgiessen von mässig kaltem Wasser kein Sieden mehr hervorruft, kann man dies dennoch bewirken, wenn man den oberen Theil des Kolbens durch Auflegen von Eis sehr stark abkühlt.

Auch die Industrie macht von dieser Thatsache Anwendung. Das Eindicken des Zuckersaftes in den Zuckerfabriken wird, um die durch eine zu starke Erhitzung des Saftes bedingte Zersetzung des Zuckers (das Anbrennen) zu verhüten, gegenwärtig nicht mehr in offenen, dem vollen Luftdrucke ausgesetzten, sondern in hermetisch abgeschlossenen

Pfannen (Vacuumpfannen) bewerkstelligt, in denen durch eine Luftpumpe Luft und Dampf aus der Pfanne entfernt werden, wodurch der auf der Flüssigkeit lastende Druck verringert und das Eindampfen des Saftes schneller und bei niedriger Temperatur bewirkt wird.

Es wurde im Vorgehenden bemerkt, dass bei der Dampfbildung immer Wärme gebunden oder latent wird. Wenn man eine Flüssigkeit dadurch zum Verdampfen gebracht hat, dass man sie über ein Feuer setzte, so ist nicht schwer einzusehen, woher die erforderliche Wärme kommt.

Anders aber ist es, wenn eine Flüssigkeit verdampft, ohne dass man ihr Wärme von aussen her, durch eine besondere Wärmequelle zuführt, wie dies bei der Evaporation (Verdunstung) oder beim Sieden unter vermindertem Drucke der Fall ist.

Woher kommt jetzt die zur Dampfbildung erforderliche Wärme? Die Antwort ist nicht schwer.

Diese Wärme wird in erster Linie von der Flüssigkeit selbst und in zweiter von dem Gefässe und der die Flüssigkeit umgebenden Luft geliefert; da aber dadurch allen diesen Körpern Wärme entzogen wird, erniedrigt sich ihre Temperatur u. zw. um so stärker und rascher, je schneller und reichlicher die Dampfbildung vor sich geht. Nasse Gegenstände fühlen sich daher immer auch kalt an und die Kälte, die wir empfinden, wenn wir uns die Hände mit Wasser, Weingeist, Aether u. dgl. be-

feuchtet haben, rührt davon her, dass die verdampfenden Flüssigkeiten unserem Körper die zur Dampfbildung nöthige Wärme entziehen.

Da bei gewöhnlichem Luftdrucke Weingeist und Aether viel rascher und reichlicher verdampfen als das Wasser, ist auch die bei ihrer Verdampfung verbrauchte Wärmemenge viel grösser als bei jenem und die Abkühlung, welche sie bei ihrer Verflüchtigung erzeugen, auch eine viel bedeutendere.

Umwickelt man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle und beträufelt diese mit Schwefeläther, so sinkt nach kurzer Zeit die Temperatur des Quecksilbers im Thermometer mehrere Grade unter den Nullpunkt, während die Wolle sich mit Reif beschlägt.

Die gegenwärtig fabrikmässig betriebene künstliche Eis-Erzeugung nach der Methode von Carré beruht auf der starken Wärmebindung bei der Verdampfung einer höchst flüchtigen Flüssigkeit, des flüssigen Ammoniaks nämlich.

Die bei der Entstehung des Dampfes gebundene Wärme wird sofort wieder frei, wenn der Dampf sich zu tropfbarer Flüssigkeit condensirt.

Die Wärmemenge, welche beim Verdampfen des Wassers gebunden wird, ist sehr gross. Um z. B. ein Kilogramm Wasser von der Temperatur von 80° R. (siedend heisses Wasser) vollständig in Dampf von 80° R. zu verwandeln, braucht man so viel Wärme, dass man damit mehr als 5 Kilogramm

Wasser von 0° R. bis zu seiner Siedetemperatur (80° R.) erwärmen könnte. Soll sich der Dampf aber wieder condensiren, so muss er die ganze, zu seiner Erzeugung aufgewendete Wärme frei geben. Es vermag daher das vorhin erwähnte Eine Kilogramm Wasserdampf von 80° R., wenn es durch kaltes Wasser hindurchgeleitet und dadurch zu tropfbarem Wasser condensirt wird, auch wieder etwa fünf Kilogramm eiskaltes Wasser blos durch die Abgabe seiner latenten Wärme bis 80° R. zu erwärmen. Auf der grossen Menge Wärme, die bei der Condensation des Wasserdampfes frei wird, beruht die Wirksamkeit der sogenannten Dampfheizung. Indem der in einem Dampfkessel erzeugte Wasserdampf durch kupferne Röhren in die verschiedenen Räumlichkeiten eines Gebäudes geleitet wird und sich in denselben condensirt, gibt er seine gebundene Wärme an die Röhrenwände und von diesen an die angrenzende Luft ab, während das entstandene Wasser gesammelt und in geeigneter Weise abgeleitet wird.

Wenn eine Dampfmaschine zeitweilig ausser Thätigkeit tritt, wie dies z. B. beim längeren Anhalten eines Bahnzuges auf einer Station der Fall ist, würde der mittlerweile im Kessel erzeugte Dampf nutzlos durch das Sicherheitsventil entweichen und das zu seiner Erzeugung aufgewendete Brennmaterial verschwendet sein. Um dies zu vermeiden leitet man bei stillstehender Maschine den Kessel dampf in das zur Nachfüllung (Speisung) des Kessels

bestimmte, in einem besonderen Reservoir befindliche Wasser (Speisewasser); der in dieses eintretende und sich dabei mit einem eigenthümlich polternden oder klopfenden Geräusche condensirende Dampf erwärmt dasselbe in kurzer Zeit so stark, dass es beim Speisen des Kessels schon mit einer ziemlich hohen Temperatur in diesen gelangt, so dass das zu seiner Erzeugung aufgewendete Brennmaterial nicht unnütz verloren geht.

So wie an heissen Sommertagen das Aufspritzen von Wasser angenehme Kühle in der Umgebung verbreitet, weil das verdampfende Wasser eine grosse Menge Wärme bindet und der Luft entzieht, so bewirkt umgekehrt ein bei sehr kaltem Winterwetter sich einstellender reichlicher Schneefall ein „Nachlassen der Kälte“, weil die gebundene Wärme des atmosphärischen Wasserdampfes bei dessen Condensation zu tropfbar flüssigem Wasser und dem Erstarren des letzteren zu Eis frei wird und, an die Luft übergehend, diese erwärmt.

Es muss gewiss in hohem Grade auffallen, dass, trotzdem der Verdampfungsprocess überhaupt und insbesondere jener des Wassers eine so wichtige Rolle im Haushalte der Menschen sowohl als auch im Leben der Natur spielt, und trotzdem man diese Wichtigkeit schon frühzeitig einsehen musste und auch eingesehen hat, eine richtige Erkenntniss dieses Processes und seiner Gesetze erst seit verhältnissmässig kurzer Zeit möglich geworden, zum

Theile sogar erst eine Errungenschaft der neuesten Zeit ist. Es dürfte darin wohl ein Beweis liegen, wie schwer es mitunter ist, über manche sogar sehr gewöhnliche Naturerscheinungen in exacter Weise Rechenschaft geben und dem Spruche Baco's „Non fingendum aut excogitandum, sed inveniendum, quid natura ferat vel faciat“ gerecht werden zu können.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1881

Band/Volume: [21](#)

Autor(en)/Author(s): Pierre Victor

Artikel/Article: [Ueber den Verdampfungsprocess. 387-415](#)