XI. Ueber den Einfluss der Oberflächenbegrenzung der Flüssigkeit und der Schwere des Dampfes auf die Verdampfung; von Eug. Blasius.

Hr. Stefan¹⁾ hat die Analogien, welche zwischen gewissen Problemen über die Verdampfung von verschiedenen begrenzten Flüssigkeiten und Problemen der Wärmeleitung und der Electrostatik vorhanden sind — Analogien, welche der gleiche Bau der bezüglichen Differentialgleichungen bedingt — benutzt, um die Rechnungen, welche für einige Aufgaben der letzteren Art vorliegen, auf die ersteren anzuwenden. Von besonderem Interesse ist namentlich das so gewonnene Resultat, dass die Verdampfung von kreisförmig oder elliptisch begrenzten Becken nicht proportional der Oberfläche ist. Ferner gaben die Rechnungen Stefan's Aufschluss über die von verschiedenen Theilen der Flüssigkeit stattfindende Verdampfung. Hr. Winkelmann²⁾ hat einige Ergebnisse dieser Theorie experimentell geprüft und kommt zu folgendem Schlusse: „Die Versuche ergeben daher keine numerische Uebereinstimmung mit der Theorie Stefan's; die Ursache hierfür liegt aber wahrscheinlich nicht in einem Mangel der Theorie, sondern in der Unvollkommenheit der Versuche, die nur dann eine völlige Uebereinstimmung liefern können, wenn die Stromlinien keine Verzerrung erleiden. Eine solche Verzerrung ist aber schon durch die Einführung eines Körpers in den von den Strömungslinien beanspruchten Raum nothwendig gegeben, ganz abgesehen davon, dass auch Luftströmungen, wenn auch nur sehr schwacher Natur, hier in einem bestimmten Sinne mitgewirkt haben können. Jedenfalls ist durch die vorliegenden Versuche das allgemeine Resultat Stefan's, nach welchem die Verdampfung an verschiedenen Stellen der Oberfläche verschieden und am Rande beträchtlich grösser als in der Mitte ist, vollkommen bestätigt.“

Dieses allgemeine Resultat ist begreiflicher Weise nicht

1) J. Stefan, Wied. Ann. 17. p. 550. 1882.

2) A. Winkelmann, Wied. Ann. 35. p. 401. 1888.

abhängig von den zu Grunde gelegten Differentialgleichungen, und da eine ganze Reihe von anderen Vorgängen in qualitativer Weise sich ähnlich vollzieht, so mag zuerst eine elementare Ueberlegung gegeben werden, welche es gestattet, wenigstens den Verlauf einiger besonders auffallender Erscheinungen zu verstehen. Sei eine Ebene von unendlicher Ausdehnung gedacht, aus welcher gleichmässig überall eine Abgabe von Substanz von der einen Seite zur anderen stattfindet. Sei diese Ebene ferner in congruente Stücke, etwa Rechtecke, eingetheilt, dann wird jedes Prisma, welches senkrecht über einem solchen Stücke errichtet wird, ebensoviel von dieser Substanz aufnehmen, wie seine Nachbarn, und jedes Prisma gibt an seine Nachbarn ebenso viel ab, als es von ihnen wieder empfängt. Anders verhält es sich in der Nähe einer Begrenzungslinie, wenn die Ebene nicht mehr als unbegrenzt vorausgesetzt wird. Die Prismen am Rande werden dann auf der einen Seite keine Nachbarn mehr haben, die direct auf die Substanz stossen, und der Raum, welcher sich dort an Stelle der Nachbarn befindet, wird zwar den Randprismen Substanz entziehen, aber nicht in dem gleichen Maasse ersetzen können. Mit einem Worte, das directe Absatzgebiet für die Randtheile ist ein grösseres, als für die Mitteltheile. Es ist eine oft beobachtete Thatsache, dass ein fester Körper, etwa ein Krystall, der in Lösung geht, vorzugsweise zuerst an den Kanten angegriffen wird, dass ferner Krystalle an den scharfen Kanten häufig besonders schnell wachsen, sodass man schon besondere, dem Krystallbau zu-

Fig. 1.

kommende Wachstumsrichtungen angenommen hat. Beide Thatsachen und viele andere haben denselben Grund. Wenn ASB (Fig. 1) den Grundriss eines Keiles von Substanz vorstellt, die sich entweder löst oder auf Kosten der umgebenden Lauge wächst, so ist ein Theilchen bei M gewissermaassen rings von Concurrenten umgeben, während den Theilchen bei S der ganze von SN und SN_1 begrenzte Winkelraum zugute kommt. Diese Dar-

stellung ist natürlich nur eine Umschreibung der Erklärung, welche Hr. Lehmann für solche Vorgänge gibt: Eine der Niveauflächen der Concentration muss die Oberfläche des sich lösenden oder wachsenden Körpers sein, eine andere ist eine Kugel, welche um den Körper in solcher Entfernung liegt, dass sich kein Einfluss des Körpers bemerkbar macht. Daraus kann man allgemein auf die Dichtigkeit der Strömungslinien an den hervorstehenden Theilen des Körpers schliessen.

Auch für Probleme ganz anderer Art, wie Wärmeleitung und Verdampfung, gelten natürlich dieselben Ueberlegungen.

Um die stärkere Verdampfung am Rande und namentlich an den Ecken schnell zu demonstrieren, kann man folgendes Verfahren anwenden. Aus einem Stücke Carton, etwa von der Dicke einer Visitenkarte, wird irgend eine Figur ausgeschnitten, deren Dimensionen einige Centimeter betragen. Man presst den Carton gegen eine kalte Scheibe (die Versuche wurden im Winter gemacht), haucht aus einiger Entfernung gegen die Karte und nimmt sie schnell weg. Auf der Scheibe befindet sich dann die scharf gezeichnete Figur. Die Verdampfung geht nun sehr schnell vor sich, und während die Figur sich verkleinert, runden sich die Ecken mit grosser Schnelligkeit ab. Bei Versuchen mit verschiedenen geformten Figuren, namentlich aber mit Kreisen, die doch eigentlich hätten Kreise bleiben sollen, zeigte sich übrigens noch ein anderes auffallendes Verhalten. Figuren, die sowohl nach rechts und links, wie nach oben und unten symmetrisch waren, blieben nach rechts und links symmetrisch, verloren aber die andere Symmetrie, und zwar wurde beispielsweise aus dem Kreise ein Oval, das in der Richtung seiner (einzigen) verticalen Symmetrieaxe verkürzt war. Am oberen Rande findet die Verdampfung schneller statt, als an den übrigen. Die Temperaturunterschiede würden dieses Verhalten kaum erklären. Die Erscheinung illustriert dagegen eine andere Schlussfolgerung Stefan's. In der Nähe kalter Fenster findet nämlich, auch wenn die Fenster geschlossen sind, eine ziemlich starke Strömung der Luft von oben nach unten statt, und Stefan bemerkt: „Bewegt sich ein Luftstrom über eine Wasserfläche, so wird er nur an-

fänglich, nachdem er über die Grenze derselben getreten ist, grössere Mengen Wasserdampf aufnehmen, bei seinem weiteren Fortschreiten aber die Verdunstung nicht mehr viel fördern können.“

Auf ganz anderem Wege wurden die folgenden Resultate gewonnen, die auf einen Einfluss der Schwere des Dampfes auf die behandelten Probleme der Verdampfung Bezug haben. Es wurde nämlich die sinnreiche Töpler'sche Schlierenmethode angewandt. Die alten Versuche Töpler's selbst sind geeignet, auf diese Verhältnisse hinzuweisen. Töpler¹⁾ untersuchte auch im besonderen die Diffusion der Dämpfe und beschreibt speciell die Erscheinungen beim Verdunsten von Aether folgendermaassen: „Wegen des hohen specifischen Gewichtes der Aetherdämpfe fliessen dieselben seitlich über den Rand des mit Aether gefüllten Gefässes, etwa wie in Fig. 2 verzeichnet. Ueber dem Gefässe bildet sich eine ruhige glänzende Dunsthülle, welche gegen den

Fig. 2.

Rand hin gekrümmt ist. Die Höhe dieses Dunstspiegels über dem Gefässrande scheint ganz unabhängig von der Gestalt des Gefässes und der Verdunstungsfläche zu sein.“ Die bezügliche Figur ist nebenstehend copirt. Bei einer Wiederholung der Töpler'schen Versuche fand ich seine Beobachtungen vollständig bestätigt.

Bei Bewegung der Luft bewegt sich auch der einem Wasserfall in vieler Beziehung ähnliche Dampfstrom an dem Rande des Gefässes und man hat vermuthlich ein Bild, welches eine Niveaufläche der Concentration sehr angenähert darstellt. Dasselbe steht nun ganz im Widerspruch mit der Stefan'schen Theorie, nach der die Niveauflächen über der Flüssigkeit nicht wie hier im grossen ganzen eben, sondern ellipsoidische Flächen sind. Die Rechnung Stefan's bezieht sich auf den Fall, dass sich die Flüssigkeitsoberfläche in einer für die Dämpfe undurchlässige Ebene fortsetzt. Durch Anwendung einer solchen fällt allerdings der Dampfstrom

1) A. Töpler, Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode. Bonn 1864.

weg und die Dunsthülle dehnt sich dafür seitlich aus; von einer Annäherung an die elliptische Form ist aber auch nichts zu sehen. Aus den seitlichen Strömen wird jeder, der die Erscheinung sieht, mit Töpler schliessen, dass die Schwere bei dem ganzen Vorgange eine sehr erhebliche Rolle spielt. Was hingegen sonst die Deutung der Erscheinung anlangt, so ist dieselbe weniger einfach. Dass man wirklich streng genommen den Umriss einer Niveaufläche der Concentration sieht, lässt sich bei dem complicirten Gange, den die Lichtstrahlen durch das System der Niveauflächen nehmen, schwerlich behaupten. In Bezug auf die Grösse der Abweichung dieser Fläche von der theoretisch geforderten könnte die Methode also möglicherweise täuschen. Daher mag ein anderer Versuch erwähnt werden, der den Einfluss der Schwere noch besser erkennen lässt. Es wurde eine Glasröhre, die mit Aether angefüllt war, nach der Schlierenmethode beobachtet, wenn das offene Ende nach oben und wenn es nach unten gekehrt war. Damit in letzterem Falle der Aether nicht ausläuft, wurde ein Docht in der Röhre angebracht. Wäre nur die Diffusion im Spiele, so müsste das Bild in beiden Fällen dasselbe sein. Es erschien nun eher, als wenn die Schwere allein maassgebend sei. In einem Falle war in der Verlängerung der Röhre ein Cylinder zu sehen, der sich mehr als einen halben Decimeter ganz deutlich verfolgen liess und bei Bewegungen der Luft vollständig wie ein herunterhängender Faden hin und her bewegte. Dieser Cylinder, den man wohl ohne Widerspruch als Beweis eines Dampfstromes ansehen kann, war im Falle, dass die Oeffnung der Röhre oben war, nicht nach oben gekehrt, sondern umgeklappt, und lief nun an den Röhrenwänden herunter. Wenige Millimeter über der Mündung der Röhre war gar nichts zu sehen. Die Erscheinungen, die bei alleiniger Berücksichtigung der Diffusion ganz gleich sein sollten, waren also in Wirklichkeit völlig verschieden. Man wird dieses Verhalten einiger Dämpfe auch leicht verstehen, wenn man daran denkt, dass man Kohlensäure aus einem Gefäss in das andere giessen kann. Von Aetherdämpfen speciell ist das Gleiche bekannt.¹⁾

1) Roscoe-Schorlemmer, Lehrb. d. Chem. 3. p. 294.

Nach diesen Versuchen ist wohl zu schliessen, dass das wirkliche Verhalten der Dämpfe sich noch viel weiter von der Theorie entfernt, wenn diese nur auf die Diffusion Rücksicht nimmt, als es die Abweichungen der Versuche Winkelmann's von den Resultaten Stefan's erwarten liessen, und als einen Hauptgrund dieser Abweichungen wird man den Einfluss der Schwere ansehen. Bei anderen Versuchen, so z. B. wenn der schwerere Dampf in einem Cylinder von unten nach oben diffundirt, kommt dieser Einfluss nicht in Betracht.

Zum Schlusse möchte ich noch Hrn. Sohneke meinen Dank sagen, der mir gestattete, einige der Versuche in seinem Institute anzustellen, und gleichfalls Hrn. Winkelmann danken, der mir verschiedentlich auf meine bezüglichen Fragen in liebenswürdiger und anregender Weise Auskunft gab.

Phys. Inst. der Univ. Berlin, im Mai 1890.