4. *Bemerkungen zur Leidenfrost'schen Erscheinung; von J. Stark.*

I.

Um nachzuweisen, dass der Leidenfrost'sche Tropfen von seiner Unterlage durch eine Schicht seines eigenen Dampfes getrennt sei, zeigten Church¹⁾ und Berger²⁾, dass nicht die Flüssigkeit des Tropfens, wohl aber ihr Dampf auf die Unterlage chemisch wirken könne. Poggendorff³⁾ glaubte gefunden zu haben, dass ein electricer Strom von dem Leidenfrost'schen Tropfen zu einer diesen tragenden Metallplatte nicht übergehen könne, dass also jener von dieser electricisch isolirt sei. Buff⁴⁾ jedoch wies nach, dass electriche Ströme, wenn auch bedeutend geschwächt, vom Tropfen zu seiner Unterlage übergehen können, und gab in einer späteren Abhandlung⁵⁾ der Meinung Ausdruck, es sei möglich, dass die electriche Leitung zwischen dem Tropfen und seiner Unterlage von dem dazwischen gelagerten Dampfe vermittelt werde. Tyndall⁶⁾ meinte, dass die Isolation des Tropfens von seiner Unterlage dadurch erwiesen werde, dass man zwischen einem im sphäroidalen Zustand befindlichen Tintentropfen und einer ihn tragenden erhitzten Silberplatte durchsehen könne. In Liebig's Jahresbericht⁷⁾ wurde dagegen geltend gemacht, dass trotz dieser Thatsache der undurchsichtige Tropfen durch schnelle auf- und niedergehende Oscillationen periodisch mit der Unterlage in Berührung kommen könne.

Das Facit der erwähnten Untersuchungen und Meinungen dürfte in folgendem Satze ausgesprochen sein. *Der Leidenfrost'sche Tropfen ist von seiner Unterlage durch eine Schicht*

1) Church, Phil. Mag. (4) 7. p. 275. 1854.

2) Berger, Pogg. Ann. 119. p. 604—610. 1863.

3) J. C. Poggendorff, Pogg. Ann. 22. p. 538—541. 1841.

4) H. Buff, Ann. d. Chem. u. Pharm. 77. p. 1—47. 1851.

5) H. Buff, Phil. Mag. (4) 10. p. 350—353. 1855.

6) Tyndall, Phil. Mag. (4) 10. p. 353—354. 1855.

7) Liebig's Jahresbericht für 1855. p. 5.

seines eigenen Dampfes getrennt, führt aber gegen diese Dampfschicht mehr oder minder grosse Oscillationen aus, die sich unter Umständen bis unmittelbar an die Unterlage erstrecken.

Zum Nachweis dieser Oscillationen verfuhr der Verfasser folgendermaassen. Von dem einen Pol einer kleinen Accumulatorenbatterie von ungefähr 8 Volt Spannung wurde die Leitung zu einer erhitzten Messing- oder Silberplatte geführt, von dem anderen Pol durch ein Telephon zu einem dünnen Kupferdraht, der in den auf der Platte liegenden Leidenfrost'schen Tropfen tauchte. Dieser bestand aus sehr schwach angesäuertem oder aus natürlichem Wasser oder aus einer Chlorzink- oder Kupfersulfatlösung. Das Telephon zeigte beim Schliessen des Stromes folgendes Verhalten.

Oscillirte der Tropfen parallel der Platte hin und her oder traten an ihm die bekannten sternförmigen Figuren auf, dann war im Telephon ein Geräusch zu hören. Wenn die Platte stark erhitzt, also der Tropfen weit von dem Punkte entfernt war, wo Benetzung eintritt, dann war das Geräusch im Telephon nur schwach. Lag der Tropfen ruhig und war er weit vom Benetzungspunkt entfernt, dann war das Telephon so gut wie stumm. Näherte er sich dagegen nach Entfernung der Flamme dem Benetzungspunkt, so rief ein Oscilliren des Tropfens ein lautes Knattern im Telephon hervor. Selbst wenn er in diesem Falle ruhig lag, sprach das Telephon deutlich an, es wurde in ihm zuerst etwa 20 Secunden lang ein feines, immer stärker anwachsendes Zischen laut, dieses ging dann häufig in einen Ton über, dieser wurde immer höher und endigte bald mit einem lauten Knack, und gleichzeitig war auch der Tropfen auf der Platte zerflossen.

Die vorbergehenden Erscheinungen traten dann auf, wenn der Leidenfrost'sche Tropfen aus Wasser bestand; wurde statt dessen eine Lösung von Chlorzink oder Kupfersulfat verwendet, dann tönte das Telephon sehr laut und zwar auch bei hohen Temperaturen. Natürlich war in diesem Falle der Siedepunkt und damit auch der Benetzungspunkt des Tropfens ein höherer.

Die Stromschwankungen, die bei der beschriebenen Versuchsanordnung das Telephon anzeigt, rühren offenbar daher, dass der Widerstand variirt, den der electriche Strom

zwischen dem Tropfen und der Platte zu überwinden hat. Hält man sich das vor Augen, dann versteht man folgende, auf die obigen Beobachtungen sich gründenden Sätze.

Der Leidenfrost'sche Tropfen oscillirt im allgemeinen gegen die Dampfschicht auf und nieder, die ihn von seiner Unterlage trennt. Die Dicke dieser Dampfschicht wächst mit zunehmender Erhitzung; bei grosser Dicke vermögen die Oscillationen des Tropfens den Durchgang des electricen Stromes periodisch nicht mehr so gut zu begünstigen als bei geringer Dicke. In der Nähe des Benetzungspunktes führen die Oscillationen des Tropfens bis zu rasch vorübergehenden Benetzungen der Platte, bis schliesslich dauernde Benetzung eintritt.

II.

Die sphäroidale Form des Leidenfrost'schen Tropfens ist offenbar eine Wirkung der Oberflächenspannung der Tropfenflüssigkeit. Aber diese Rolle, welche die Oberflächenspannung bei der Leidenfrost'schen Erscheinung spielt, ist nicht so einfach, wie es scheinen möchte, auch ist sie nicht die einzige.

An der unteren Seite des Leidenfrost'schen Tropfens ist die Temperatur zweifellos höher, als an der oberen. Wie der Verfasser in der vorhergehenden Abhandlung ¹⁾ darlegte, hat jene Temperaturdifferenz zur Folge, dass an der unteren Tropfen-seite die Oberflächenspannung niedriger ist, als an der oberen. Es lässt sich also die Form des Tropfens nicht auf Grund eines einzigen Werthes der Oberflächenspannung berechnen. Würde der Tropfen vollständig frei schweben, so würde er bei gleichförmiger Oberflächenspannung Kugelgestalt haben; wäre bei der gleichen Voraussetzung die Oberflächenspannung auf einer Seite von ihm niedriger als auf der entgegengesetzten, so würde an der niedriger gespannten Stelle behufs Gewinnung oberflächlichen Gleichgewichtes eine Steigerung der Krümmung, also eine Ausbauchung erfolgen. In Wirklichkeit ruht der Leidenfrost'sche Tropfen gerade auf der niedriger gespannten Seite. Die Ausbauchung nach unten kann also nur in sehr geringem Maasse in Erscheinung treten, wird aber immerhin beim Schwanken der Oberflächenspannung sich in kleinen auf- und niedergehenden Oscillationen der unteren Tropfenfläche äussern.

1) Vgl. oben p. 288—291.

Die Oberflächenspannung tritt bei der Leidenfrost'schen Erscheinung noch in einer anderen Wirkung zu Tage.

Jedem, der die Leidenfrost'sche Erscheinung genauer beobachtet hat, ist wohl die ungemein rasche mehr oder minder regelmässige Wirbelbewegung am Leidenfrost'schen Tropfen aufgefallen. Besonders schön ausgebildet tritt sie an kleineren Tropfen auf. Es strömt in diesen die Flüssigkeit an der unteren Tropfenfläche centrifugal nach dem Rande, steigt hier rasch empor, strömt an der oberen Fläche centripetal nach der Mitte und steigt hier in den Tropfen zum Ausgangspunkt zurück, um von neuem ihren Kreislauf zu beginnen.

Es liegt am nächsten, wie schon Berger¹⁾ gethan hat, die Ursache dieser Wirbelbewegung in den Gewichts differenzen verschieden stark erwärmter Partien der Flüssigkeit zu suchen. Doch lässt sich aus dieser Ursache allein wohl kaum die grosse Geschwindigkeit der Wirbelbewegung erklären. Es ist vielmehr deren Grund in erster Linie in einem anderen Vorgange zu suchen.

Wie bekannt, können in einer flüssigen Oberfläche keine Spannungsdifferenzen bestehen, ohne dass sofort eine Ausbreitung der schwächer gespannten Partie durch die stärker gespannte erfolgt. *Demgemäss wird am Leidenfrost'schen Tropfen beständig die untere höher erwärmte und darum niedriger gespannte Fläche durch die obere höher gespannte ausgebreitet und so die beschriebene Wirbelbewegung hervorgebracht, und da die betreffende Temperatur- und somit die Spannungsdifferenz stationär ist, so ist auch jene Ausbreitung stationär.* Der Leidenfrost'sche Tropfen stellt also einen interessanten Fall einer stationären Ausbreitbewegung dar.

Die Gewichts differenz verschieden stark erwärmter Flüssigkeitspartien wirkt bezüglich der Wirbelbewegung in dem gleichen Sinn wie die Ausbreitung. Dass jedoch die Wirkung der letzten stärker ist, geht aus folgendem Versuch hervor, in dem beide Ursachen in entgegengesetztem Sinne wirken. Hält man über einen Tropfen Wasser, der auf gepulvertem Schwefel oder auf kaltem Russ liegt, einen glühenden Körper, so ist in dem Tropfen infolge der eintretenden Ausbreitung eine Wirbel-

1) Berger, Pogg. Ann. 119. p. 625. 629. 1863.

bewegung wahrzunehmen, die entgegengesetzt zu derjenigen im Leidenfrost'schen Tropfen und zur Wirkung der Gewichtsdifferenz erfolgt.

Dass in der That an dem Leidenfrost'schen Tropfen eine Ausbreitung erfolgt, lässt sich auf folgende Weise zeigen. Hat man in der Flüssigkeit, etwa in dem Wasser, das auf die erhitzte Platte gebracht wird, feine Kaolin- oder noch besser Russtheilchen suspendirt, so erfolgt sofort nach Bildung des Leidenfrost'schen Tropfens eine Ausscheidung von einer sehr grossen Zahl suspendirter Theilchen. Diese sammeln sich zu einem feinen Häutchen und nehmen, wie es in der Ordnung ist, an der oberen Tropfenfläche gegenüber dem Ausbreitencentrum Stellung. Wie der Verfasser in der vorhergehenden Abhandlung¹⁾ gezeigt hat, ist die bezeichnete Abscheidung der festen Theilchen eine Begleiterscheinung einer Ausbreitung.

Die an dem Leidenfrost'schen Tropfen auftretende stationäre Ausbreit- und Wirbelbewegung übt auf den Verlauf der Erscheinung einen gewissen nicht zu unterschätzenden Einfluss aus. Durch die Ausbreitung der bis zum Siedepunkt erhitzten Flüssigkeit an der unteren Tropfenfläche wird an der Oberfläche des Tropfens beständig ein Ausgleich der Temperatur bewirkt, und so die Flüssigkeit gezwungen, nur an der Oberfläche zu verdampfen; jener Ausgleich verhindert nämlich, dass von unten her in das Innere der Flüssigkeit eine den Siedepunkt erreichende oder überschreitende Erwärmung eindringt. Dampfblasen, die sich unter Umständen im Innern oder an der unteren Fläche bilden, werden durch die Wirbelbewegung in der Regel am Aufsteigen gehindert und gezwungen nach unten oder seitlich zu entweichen. *Die charakterisirte Ausbreitung* ist also aus diesem und dem obigen Grunde *mit unter die Ursachen zu rechnen, welche einem Sieden im Innern des Leidenfrost'schen Tropfens vorbeugen.*

München, Phys. Inst. d. Univ., im Februar 1898.

1) Vgl. oben p. 301—305.

(Eingegangen 22. April 1898.)