

		$\frac{k}{c \cdot d}$
bei der Temperatur	30°,5	66,80
	33 ,9	65,34
	41 ,0	65,77
	41 ,8	66,76
	44 ,0	65,13
Mittel	38°,2	65,96.

Während die frühere Untersuchung gab

bei der Temperatur 51°,3 64,66.

Diese beiden Werthe, reducirt auf dieselbe Temperatur, werden sehr nahe identisch, wenn man annimmt, dafs der Temperatur-Coëfficient für  $k$  denselben Werth habe für die Wärme wie für die Electricität.

## II. Ueber das Gefrieren des Wassers und über die Bildung des Hagels; von L. Dufour,

Prof. der Physik an der Akademie zu Lausanne.

(Aus der *Bibl. univ. Aer.* 1861 vom Hrn. Verf. übersandt.)

I. **W**ie bekannt gefriert das Wasser bisweilen bei ungewöhnlich niedrigen Temperaturen. Schon im verflossenen Jahrhundert gewährte man, dafs es, bei langsamer Erkaltung und grosfer Ruhe, erst einige Grade unterhalb 0° den starren Zustand annimmt. Gegenwärtig erlangt man dieses Resultat durch verschiedene mehr oder weniger einfache Mittel. Zuweilen giebt die blofse Erkaltung des gewöhnlichen Wassers inmitten einer grosfen Windstille und an freier Luft eine ausnahmsweise Erkaltung; allein dies ein sehr seltener Fall, gewissermassen ein Zufall, auf den man nicht sicher rechnen kann. Besser gelangt man zum Ziel, wenn man luftfreies Wasser in der verdünnten Luft der Luftpumpe bei völliger Ruhe erkalten läfst. Zuweilen

erlangt man auch die Temperatur-Erniedrigung, wenn man kochendes Wasser in einer Eprouvette mit einer Oelschicht übergießt und erkalten läßt. Allein diese Mittel sind unsicher, und die beiden letzteren scheitern sehr oft, ungeachtet aller Vorsichtsmaßregeln und einer scheinbar absoluten Ruhe. Endlich weiß man, daß das Wasser in Haarröhrchen auch unter  $0^{\circ}$  sinkt, ohne zu gefrieren.

Die wässerigen Salzlösungen bieten im Allgemeinen dieselbe Eigenschaft dar, und einige zeigen sie sogar in einem viel hervorstechenderen Grade. In einer neueren Arbeit über diese Fragen <sup>1)</sup> habe ich als solche bezeichnet: die Lösungen von Citronsäure, Milchzucker, Traubenzucker, Dextrin usw.

Die Erscheinungen der Uebersättigung beim schwefelsauren Natron zeigen eine offenbare Analogie mit der Thatsache beim Wasser. Dieselben Ursachen, welche die Krystallisation des Salzes hervorrufen, bewirken auch und viel leichter das Gefrieren des Wassers. Erschütterungen, Umrühren der Flüssigkeit, Berühren mit einem starren Körper usw. sind die Hauptursachen zu der Gestehung. Die Berührung der übersättigten Lösung des Salzes mit einem Krystall von schwefelsaurem Natron, oder des unter  $0^{\circ}$  erkalteten Wassers mit einem Eistückchen bewirkt sicher die Erstarrung der benachbarten Theile, und darauf der entfernteren.

Der Einfluß des Contacts mit einem starren Körper und besonders eines gewissen starren Körpers äußert sich auffallend bei den Krystallisationen und Solidificationen. Die Krystalle bilden sich zunächst an den Unregelmäßigkeiten, Rauheiten der Gefäßwände, an in der Flüssigkeit gespannten Fäden und besonders an schon gebildeten Krystallen. In einer übersättigten Lösung, die erkaltet, sieht man die starre Substanz nicht überall gleichzeitig den flüssigen Zustand verlassen, sondern blos an einigen Punkten,

1) *Recherches sur la congélation de quelques dissolutions aqueuses* (Bullet. de la soc. Vaudoise d. Sc. nat. No. 47 et Archiv. d. Sc. de la Bibl. univ. IX (1860) p. 253).

wo die Krystalle wachsen und sich häufen. Diese Punkte sind gleichsam die Attractionscentra für die gelöste Substanz; die mit ihnen in Berührung kommenden Theilchen der Lösung treten die starre Substanz leichter ab als die entfernteren, welche überall von gleichfalls flüssigen Theilchen umgeben sind.

2. Es schien mir interessant zu untersuchen, wie sich das Wasser aufser allem soliden Contact und bei fortgesetzter Erkaltung unter  $0^{\circ}$  verhalten würde. Ich war neugierig zu sehen, in welchem Theile der Flüssigkeit und auf welche Weise die Erstarrung beginnen würde. Um das Wasser aufser aller Berührung mit Starrem zu setzen, muß man es offenbar in ein flüssiges Mittel von gleicher Dichtigkeit bringen; und damit das Wasser sich isolirt erhalte, muß dieses Mittel aus einer oder mehren Flüssigkeiten gebildet seyn, die keine wässerige Gemische zu bilden im Stande sind. Mit einem Wort: man muß für das Wasser die eigenthümlichen Bedingungen des berühmten Plateau'schen Versuchs herstellen, bei welchem eine Oelkugel frei in einem gehörig mit Wasser verdünnten Alkohol schwimmt.

Ich kenne keine einzige Flüssigkeit, welche in ihrem Innern Wasser in Gleichgewicht halten könnte; allein es ist möglich Gemenge zu bilden, welche dieses leisten. Das Chloroform, schwerer als Wasser, läßt sich gut mit leichteren Oelen vermischen. In einem nach gehörigen Verhältnissen bereiteten Gemische dieser beiden Flüssigkeiten bleibt das Wasser frei schwimmen und nimmt die Gestalt einer vollkommenen Kugel an, die innitten des Gemisches sehr deutlich zu sehen ist. Man kann auf diese Weise sehr grofse und sehr kleine Kugeln erhalten.

Für den besonderen Zweck, den ich vorhatte, war es wichtig das Gemisch bis unter  $0^{\circ}$  erkalten zu können, ohne dafs es sich merklich veränderte. Süßmandelöl gesteht erst bei einer ziemlich niedrigen Temperatur, und es schien mir zweckmäßiger als andere zu seyn; es wird jedoch, wenn die Erkaltung bedeutend ist, ein wenig opalescirend, was zwar ein Uebelstand, aber doch kein absolutes Hinderniß

ist. Das Chloroform (wenigstens das von mir benutzte) wird bei  $-10^{\circ}$  oder  $-15^{\circ}$  C. auch ein wenig opalescirend. Steinöl kann ebenfalls zur Darstellung eines Gemisches angewandt werden; es ist viel flüssiger als das Mandelöl und verändert sich bei der Erkaltung nur sehr wenig. Unglücklicherweise hat aber das Gemisch von Chloroform und Steinöl eine zu große Leichtflüssigkeit. Die Wasserkugeln bilden sich zwar sehr gut in seinem Innern, sind aber zu beweglich, und gelangen sehr bald an die Wände des Gefäßes. Dort überwiegt die Adhäsion des Wassers zum Glase und die Kugel breitet sich längs der soliden Wand aus.

Die Umstände, die bis jetzt am günstigsten zu seyn schienen, sind folgende: Nachdem man die Eprouvette, die zum Versuche dienen soll, inwendig vollkommen getrocknet hat, schüttet man etwas Mandelöl hinein und führt es längs der ganzen Wand herum, damit sich dieselbe mit einer Schicht davon überziehe; darauf gießt man ein Gemisch von ungefähr gleichen Theilen Mandelöl und Steinöl hinein, und fügt unter Umrühren soviel Chloroform hinzu bis das Gemisch beinahe die Dichte des Wassers hat. Klar ist, daß wenn man die Dichtigkeiten der angewandten Flüssigkeiten bestimmt, man durch Rechnung sehr leicht festsetzen kann, in welchem Verhältniß jede von ihnen angewandt werden muß. Noch leichter und einfacher ist aber das Probiren und das Untersuchen des Gemisches, indem man ein Wassertröpfchen hineinfallen läßt, das entweder schwimmt oder zu Boden sinkt, je nachdem das Chloroform oder die Oele im Ueberschuß sind.

In Wirklichkeit hält sich das Gemisch nicht lange homogen, bald bildet sich nach unten eine an Chloroform reichere Schicht, und nach oben eine an Oel reichere. Die Wasserkugeln schwimmen alsdann zwischen diesen beiden Gränzen in derjenigen Zone, deren Dichtigkeit der ibrigen gleich ist.

Das zu diesen Versuchen anzuwendende Wasser erfordert keine Vorbereitung, d. h. es kann Luft enthalten, braucht weder destillirt noch gekocht zu seyn.

3. Bringt man die so zubereitete Eprouvette in eine Kältemischung und stellt ein Thermometer hinein, mit seinem Behälter seitwärts in die Zone der Wasserkugeln, so sieht man bald die Temperatur unter  $0^{\circ}$  sinken, ohne daß das Wasser geseht. Sehr selten gefriert eine Kugel bei  $0^{\circ}$ , gewöhnlich sinkt die Temperatur auf  $-4^{\circ}$ ,  $-8^{\circ}$ ,  $-12^{\circ}$ , während der flüssige Zustand sich erhält. Auf diese sehr einfache und sehr sichere Weise verwirklicht man also das Sinken der Temperatur des Wassers bis unter den gewöhnlichen Frostpunkt desselben <sup>1)</sup>).

4. Die Erstarrung tritt bei starker Temperatur-Erniedrigung mehr oder weniger rasch ein; von  $-8^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$  an gefrieren die Kügelchen successive, ohne daß es leicht wäre die Ursache zu erkennen, welche die Aenderung des Aggregatzustandes und die Bildung einer Eiskugel bedingte. Die kleinsten Kugeln halten sich im Allgemeinen am längsten; zu wiederholten Malen habe ich sie noch bei  $-18^{\circ}$  C. und  $-20^{\circ}$  C. flüssig gesehen.

Die Volumenveränderung, welche das Gefrieren begleitet, zeigt sich bei diesen Versuchen sehr niedrig. Da das Eis weniger dicht ist, so steigen die erstarrten Kügelchen sogleich an die Oberfläche des flüssigen Mittels.

Sobald die Wasserkügelchen auf mehre Grade unter  $0^{\circ}$  gelangt sind, können verschiedene Einflüsse ihre Erstarrung hervorrufen. Allein diese Einflüsse wirken sehr verschiedenartig und oft gar nicht, ohne daß es leicht wäre anzugeben, wovon dieß Beharren des flüssigen Zustandes herrühre.

Stöße, Umrühren mit einem Stabe, Hineinschütten von Sand, Krystallen und dergleichen bringen bekanntlich das im Vacuo erkaltete Wasser oder eine kalte und übersättigte Lösung von schwefelsaurem Natron sehr rasch zum

1) Es ist natürlich zu glauben, daß dieselbe Methode auch bei anderen Flüssigkeiten als Wasser gestatten werde, den flüssigen Zustand unterhalb des gewöhnlichen Gefrierpunktes aufrecht zu erhalten. Ich werde hierüber künftig neue Versuche veröffentlichen. In der That kann man bei verschiedenen Körpern die Erstarrung bis zu merkwürdig niedrigen Temperaturen verhindern.

Krystallisiren. Dieselben Umstände wirken viel weniger sicher auf die Wasserkügelchen des obigen Versuches. Wenn man einen Glasstab in das Gemenge steckt und die erkalteten Kügelchen umrührt, so erfolgt zuweilen Erstarung; allein oft kann man auch die wässerige Masse verschieben und heftig entalten, ohne dafs eine Zustandsveränderung eintritt. Wenn während dieser Entaltung die Gefrierung plötzlich eintritt, erhält man ein mehr oder weniger abgeplattetes, ellipsoïdisches Eisstück, das einer batavischen Glastbräue ähnelt usw. Die Berührung mit einem Eisen- oder Kupferstabe schien mir insgemein wirksamer zur Hervorrufung der Gefrierung als die mit einem Glasstab. Der Unterschied ist indess nicht bedeutend, Platinschwamm wirkt nicht speciell und anders als irgend ein Metall. Bringt man pulverförmige Substanzen, z. B. Salze, mit den erkalteten Kügelchen in Berührung, so erfolgt die Gefrierung nicht immer. Ich habe manchmal Krystalle von Chlornatrium, schwefelsaurem Kali, Salpeter, salpetersaurem Natron, Eisenvitriol, Zucker usw. in die Kügelchen gebracht oder durch Kugeln von 5<sup>mm</sup> Durchmesser und von  $-8^{\circ}$  C. fallen lassen, ohne eine Gefrierung zu bewirken. Eine Berührung mit Eis ruft dagegen immer und sogleich die Zustandsveränderung hervor.

Es war interessant die Wirkung der Elektrizität zu versuchen; ich brachte daher Kügelchen bald in die Bahn eines Stroms, bald in die Bahn eines Funkens statischer Elektrizität. Mehrmals ging der Strom einer Säule aus zwei Bunsen'schen Elementen durch Kügelchen von  $-7^{\circ}$ , ohne je eine Erstarrung hervorzurufen; der Contact von Metalldrähten (der übrigens für sich allein diesen Effect hätte bewirken können) bewirkte nicht die Zustandsveränderung. Bei Anwendung eines Gefäßes mit weiter Oeffnung konnte ich den Funken einer Leidener Flasche durch die Wasserkügelchen leiten: zuweilen erfolgte Gefrierung, aber selten. Der mächtigere Strom einer Ruhmkorff'schen Inductionsmaschine war wirksamer; die Funken mochten durch die Kügelchen oder neben ihnen überspringen, immer fand

eine plötzliche Gefrierung statt. Aus den verschiedenen mit Elektrizität angestellten Versuchen bin ich zu glauben geneigt, daß die Elektrizität allein und als spezifische Ursache nicht die Zustandsveränderung hervorruft, und die mit einer kräftigen Entladung erhaltenen Resultate scheinen mir mehr von einer mechanischen Erschütterung herzuführen.

5. Ich komme nun zur etwas detaillirten Untersuchung eines wichtigen Falles für den zweiten Theil dieser Untersuchung.

Wenn in einem Gemisch unter  $0^{\circ}$  ein Kügelchen bereits gefroren ist, so kann man es mittelst eines Glasstabes mit anderen Kügelchen in Berührung bringen, die sich noch im flüssigen Zustand befinden: die Effecte sind dann verschieden je nach der Temperatur und der Dimension der Kügelchen. Gesetzt zuvörderst, man habe Kugeln von 3 bis 5<sup>mm</sup> Durchmesser und  $-6$  bis  $-7^{\circ}$  Temperatur. Der Contact der gefrorenen Kugel mit der noch flüssigen ruft sogleich die Erstarrung dieser letzteren hervor, welche sich in eine Eiskugel verwandelt, die entweder von der ersten isolirt bleibt oder ihr durch Contact in einem Punkte der Oberfläche schwach adhärirt. Auf diese Weise kann man successiv alle in einem Gemische schwimmenden flüssigen Kugeln in isolirte milchweiße starre verwandeln, die einigermaßen wie gewisse Graupeln aussehen. Wenn die Temperatur etwas weniger niedrig ist,  $-3^{\circ}$  bis  $-4^{\circ}$  C., so sind die Resultate etwas anders. Das vom starren Kügelchen berührte flüssige gefriert, haftet aber dem erstern an. Die Flüssigkeit, welche eine große Adhäsion zu dem Eise besitzt, sucht sich auf dem starren Kügelchen auszubreiten und erstarrt in dem Momente selber. Das zweite Kügelchen breitet sich also partiell über das erste aus, eine Hervorragung, eine mehr oder weniger dicke Kruste bildend. Man begreift, daß die verschiedenartigsten Formen erhalten werden können, je nach der Temperatur und der Größe des zweiten Kügelchens; und wenn diese beiden ersten so vereinigt und zum Theil verwachsenen Kügelchen ein drittes, viertes usw. unter ähnlichen Umständen berühren,

so können sich Eisstücke von den wunderlichsten Gestalten und von unregelmäßig abgerundeten Umrissen bilden. Bald sind es Agglomerationen, worin man zusammengescheifste Kügelchen erkennt, bald homogene Stücke; deren unregelmäßig genarbte und wellige Oberfläche die Art der Bildung verräth.

Ein letzter Fall endlich tritt ein, wenn die Temperatur nahe an  $0^{\circ}$  ist,  $-2^{\circ}$  oder  $1^{\circ}$  C. Die noch flüssigen Kugeln, mit einer schon erstarrten in Contact gesetzt, gefrieren nicht sogleich in ihrer ganzen Masse, sondern fließen auf dem sie berührenden Stück herum, es umbüllend mit einer mehr oder weniger dicken, bald vollständigen, bald unvollständigen Schicht, die ihrerseits gefriert. Der Contact mit einem dritten, vierten Kügelchen führt ähnliche Resultate herbei. Das Eisstück wächst durch mehr oder weniger vollständige Schichten und kann somit sein Volum bedeutend vergrößern. Da es schwierig ist, die Temperatur so lange auf  $-2^{\circ}$  bis  $-1^{\circ}$  zu halten, als zur Bildung etwas voluminöser Stücke erforderlich ist, so habe ich dasselbe Resultat mit einem Gemisch von  $-6^{\circ}$  erzielt; ich fügte successiv kleine Mengen Wasser hinzu und setzte sie sogleich, ehe sie bis  $-6^{\circ}$  erkaltet waren, mit der schon starren Kugel in Contact, welche ein Kern für neue Schichten war. Solchergestalt bildete ich, zu zweien Malen, Kugeln, die sich beim Wachsen nur wenig entfalteten. Die erste hatte ein Volum von fast 4 Kubikcentimeter und wog  $3^{\text{gr}},8$ ; die zweite war von 7 Kubikcentimeter und wog fast 6 Grm. Zerbrochen konnte man bei sorgfältiger Untersuchung die Schichten nicht deutlich unterscheiden, die man jedoch successiv hatte hinzuzufügen gesehen: sie waren indess wahrzunehmen. Es hatten sich auch im Innern unregelmäßige Räume gebildet, erfüllt mit dem umgebenden Mittel (Oel und Chloroform); die wässerigen Schichten hatten sich also nicht immer genau über einander gelegt.

Man begreift leicht, daß die drei Fälle, welche eben beschrieben wurden, in Wirklichkeit nicht durch scharfe Grenzen geschieden sind. Je nach der Temperatur, von  $0^{\circ}$

bis fast  $-8^{\circ}$ , geht man unmerklich vom dritten zum ersten über, und so begreift man leicht die Mannigfaltigkeit der möglichen Resultate. Wenn die Kugelchen sehr klein sind, so finden sich dieselben Phasen zwischen näher an  $0^{\circ}$  liegende Gränzen eingeschlossen, und schon bei  $-3^{\circ}$  erhält man, wenn man sich ihnen nähert, Agglomerationen, wo jedes besonders gefriert, jedoch an die andern anschweift. Sind die Kugeln sehr groß, so verhält es sich umgekehrt. Kugeln von  $10^{\text{mm}}$  Durchmesser gefrieren nicht zu einer vollständigen Masse, selbst nicht bei  $-8^{\circ}$  und  $-10^{\circ}$ ; es bildet sich eine äußere Eisschicht, und das Innere bleibt wässerig. Ich verweile nicht bei der Ursache dieser, von den Dimensionen abhängigen Unterschiede. Es ist nämlich klar, daß die bei der Erstarrung entwickelte latente Wärme bei den kleinen Kugeln rasch von den umgebenden kalten Mitteln absorbirt, die Kugel also gänzlich gefrieren wird, daß sie dagegen bei großen Kugeln nicht vollständig absorbirt wird und ein Theil der Kugel flüssig bleibt vermöge der Wärme, welche der gefrierende Theil entwickelt.

6. Es ist natürlich zu glauben, daß die Umstände der obigen Versuche günstig seyn müssen für die Phänomene der Uebersättigung in erkalteten Lösungen. Ich untersuchte in dieser Beziehung Lösungen von salpetersaurem Kali, chloresurem Kali und schwefelsaurem Natron, aber ohne Erfolg. Das Salz setzte sich immer inmitten der Kugelchen und während der Erkaltung ab. Lösungen von Citronensäure, Traubenzucker, Milchzucker und dergleichen behalten, wie man weiß, viel leichter als Wasser den flüssigen Zustand während der Erkaltung unter  $0^{\circ}$ , wenn diese Erkaltung in einem gewöhnlichen Glase an freier Luft geschieht. In einem Gemisch von Chloroform und Oel in den sphärischen Zustand versetzt, zeigten diese Lösungen keinen größeren Widerstand gegen die Erstarrung als reines Wasser. Es schien mir, als stellte sich ihre Gefrierung häufiger freiwillig ein, und als bewirkte der Contact mit dem Glasstab ihren Uebergang in den starren Zustand gewöhnlicher und leichter.

## II.

7. Die vorhin beschriebenen Versuche geben Resultate, die vielleicht nicht ohne einige Beziehung sind zu einem der am wenigsten begriffenen meteorologischen Phänomene, nämlich der Bildung des Hagels. Die Eiskügelchen, welche man unter den angegebenen Umständen erhält, haben unstreitig eine Analogie mit den Hagelkörnern. Bei Anstellung dieser Versuche wird man unvermeidlich von dieser wenigstens äußerlichen und scheinbaren Analogie ergriffen, und es ist gewifs der Mühe werth, zu untersuchen, ob diese Aehnlichkeit eine gründliche Prüfung bestehe.

Man ist einigermaßen berechtigt, diese Aehnlichkeit zu verfolgen, wenn man bedenkt, wie wenig genügend die Theorien sind, welche man bisher zur Erklärung des Hagels aufgestellt hat. Die berühmte Volta'sche Theorie wird ungeachtet ihrer offenbaren Unhaltbarkeit noch oft als gut citirt. Die sinnreichen Abänderungen, welche Peltier<sup>1)</sup>, unter Beibehaltung der Grundidee von zwei über einander liegenden Wolkenschichten, mit ihr vorgenommen hat, sind schwerlich annehmbar, und stoßen sich jedenfalls an den gewichtigen Einwurf von Lecoc<sup>2)</sup>, welcher die Bildung von Hagelwolken aus der Nähe *gesehen* hat, und durchaus die Rolle zweier Wolkenschichten läugnet. Verschiedene Physiker haben die Idee behauptet, der Hagel könne sich durch die aus rascher Verdunstung der Wassertropfen entstehenden Erkaltung bilden. Leopold v. Buch, Schübler, Ideler haben sie ihren Erklärungen zum Grunde gelegt<sup>3)</sup>; allein auch gegen diese Theorie erheben sich verschiedene Einwürfe, und gegenwärtig hat sie vielleicht nicht mehr Asehen als die von Volta. Ohne ein kritisches Studium der verschiedenen Hagel-Theorien zu unternehmen (was mein Zweck hier nicht ist) kann man, scheint mir, behaupten, dafs jedenfalls noch viele Unsicherheiten hin-

1) Peltier, *Observations et recherches expérimentales sur les trombes*, 1840, p. 109.

2) Lecoc, *Compt. rend. de l'acad. d. sciences*, 1836, T. I, p. 324.

3) Abhandl. d. Berlin Acad. 1814. Pogg. Ann. Bd. XVII, S. 425. Siehe Kämtz, Lehrb. d. Meteorologie Bd II, S. 532.

sichtlich dieser Theorien vorhanden sind, und dafs es weder überflüssig noch annafsend ist, wenigstens Elemente einer neuen Erklärung aufzusuchen.

8. In einer Theorie, welche das fragliche Phänomen vollständig und genügend erklären wollte, könnte man vielleicht zwei Theile unterscheiden. Der erste hätte zum Gegenstand: die Gesamtheit der atmosphärischen Umstände, welche in der heifsen Jahreszeit die Bildung einer grofsen Masse Eis veranlassen, den Antheil der Luftbewegungen, den Antheil der Elektrizität, kurz die Ursache der unlängbaren Temperatur-Erniedrigung. Der zweite Theil bezöge sich auf die Thatsache des Gefrierens selbst, auf die ausnahmsweisen Umstände, welche Hagel liefern, mit seinem seltsamen Aussehen, seiner Form, Gröfse und Beschaffenheit. Dieser zweite Theil würde nachweisen, wie das aus den atmosphärischen Dünsten entspringende Wasser, abgesehen von der Ursache, die es erkaltete, zu dieser ungewöhnlichen Form des Gefrierens Anlafs geben könne.

Der erste Theil ist wahrscheinlich der schwierigere. Er berührt die grofsen Probleme von den Bewegungen der Atmosphäre, von den oft so plötzlichen Veränderungen ihrer Temperatur, von der Rolle, welche die Elektrizität spielt, usw. Wenn man auch die Ursachen in allgemeiner Weise und in grofsen Maafsstabe kennen mag, so ist es doch beim gegenwärtigen Zustand der Meteorologie schwierig, in besonderen Fällen die Effecte zu verfolgen und sie in etwas genauer Weise zu erkennen. Verlassen wir für jetzt den ersten Theil des Problems und betrachten nur den zweiten, fragen wir, ob nicht die Gefrierung des Wassers, welche den Hagel veranlafst, der bei den obigen Versuchen ähnlich sey.

9. Die ungewöhnliche Temperatur-Erniedrigung des Wassers unter  $0^{\circ}$  konnte erlangt werden, indem man dasselbe von aller festen Wand sonderte, in einer Flüssigkeit schweben liefs. Das bläschen oder wahrscheinlicher kugelförmige <sup>1)</sup> Wasser, welches in der Luft schwebt, so wie

1) Bekanntlich befindet sich diese Frage in der Schwebe bei den Mete-

die fertig gebildeten Regentropfen, könnten sie nicht ein ähnliches Phänomen darbieten? Diefs scheint auf den ersten Blick wahrscheinlich, und wenn auch directe Versuche nicht wohl möglich sind, so giebt es doch zahlreiche Beobachtungen, welche diefs zu beweisen trachten. Nicht selten sieht man einen sehr feuchten Nebel, d. h. einen Nebel, dessen flüssige Tröpfchen sich niederschlagen und die Oberfläche der Körper benässen, obwohl das Thermometer unter  $0^{\circ}$  steht. Während einiger Tage des verflossenen Januars (1861) war die Stadt Lausanne zwei Abende hintereinander, besonders zwischen 6 und 8 Uhr, in einen dicken Nebel eingehüllt, aus welchem sich ein wahrer, obwohl sehr feiner Regen niederschlug, den man in unzweideutigster Weise auf den Händen und im Gesicht empfand. Das war also Wasser und kein Eis, und dennoch stand das Thermometer zwischen  $-3^{\circ}$  und  $-4^{\circ}$  C.

Wenn in den oberen Regionen der Atmosphäre die Temperatur durch die Ankuft kalter Luftströme beträchtlich sinkt, wenn zugleich andere, mit Dampf beladene Ströme anlangen, so kann es geschehen, dafs unter ausnahmsweisen Umständen, die sich nicht genau angeben lassen, Wassertropfen oder Kügelchen in ein unter  $0^{\circ}$  befindliches Medium getaucht werden und dennoch flüssig bleiben <sup>1)</sup>. Wenn zugleich die Atmosphäre in starker Bewegung ist, und das ist bei Hagelwettern immer der Fall, so können diese flüs-

rologien. Lange hat man seit Halley, de Saussure u. A. angenommen, dafs das Wasser in den Nebeln und Wolken sich im Bläschenzustand befinde (Siehe Kämtz, Lehrb. d. Meteorologie Bd. II, S. 108). Neuere Arbeiten haben mit sehr sprechenden Gründen die *kuglige* Beschaffenheit vertheidigt. Wie dem auch seyn mag: der Kugelzustand verwirklicht sich jedesmal vor dem Fall des Regens, und das in diesen Zustand gelangte Wasser ist es, welches ich betrachte.

- 1) Man kann versuchen, einen Luftstrom in die bis unter  $0^{\circ}$  erkalteten und in einem Gemisch von Chloroform und Oel schwebenden Wassertropfen zu lassen. Ich habe diesen Versuch mehrmals ausgeführt. Luftblasen gelangten in die Kügelchen bei  $-5^{\circ}$ , *durchdrangen* sie und stiegen dann wieder in die Höhe. Aber es erfolgte keine Erstarrung.

sigen Kügelchen sehr wohl eine mehr oder weniger lange Zeit in der Luft schweben bleiben, ohne niederzufallen. Wenn man sich nun in einer heftig bewegten und unter  $0^{\circ}$  erkalteten Luft mehr oder weniger voluminöse Wasserkügelchen, wahrscheinlich auch Schneeflocken vorstellt, so ist leicht einzusehen, dafs die verschiedenen Fälle der oben beschriebenen Versuche (siehe §. 5) sich einstellen. Einige Kügelchen gefrieren, wie zuweilen die in einem Gemisch von Chloroform und Oel schwimmenden mit einem Male gefrieren; sie werden dann die Kerne, um welche die anderen noch flüssigen Kügelchen sich anreihen, und so geben sie zu den verschiedenen Resultaten Anlaf, welche wir direct durch den Versuch verwirklichen konnten. Wenn die Temperatur viel unter  $0^{\circ}$  ist, so gefrieren die isolirten Kügelchen ohne zusammenzuschweifen. Eine starre Kugel stost auf eine noch flüssige, bewirkt deren Erstarrung und so bildet sich eine Menge isolirter Körner, die gesondert von einander niederfallen. So hat man gewisse Fälle von Graupeln und kleinem Hagel, die häufiger sind im Frühling und Herbst, d. h. in den Jahreszeiten, in denen eine bedeutende Erkaltung der Atmosphäre möglich ist als im Sommer.

Wenn die Temperatur der Luft, in welcher die unter  $0^{\circ}$  wässerig gebliebenen Kügelchen schwimmen, weniger niedrig ist, so werden sich die zwei letzten Fälle des §. 5 erzeugen können. Ein ursprünglich starres Kügelchen, welches auf andere noch flüssige stost, wird von ihnen eingehüllt, und so bilden sich jene mehr oder weniger zahlreichen und unregelmasigen Schichten, aus welchen die Schlossen so oft zusammengesetzt sind. Ein noch kleineres Kügelchen kann ganz gefrieren und sich dem Kerne anschweifen, während ein anderes groseres sich zum Theil ausbreiten und eine vollständige Schicht bilden wird, ehe es ganz erstarrt ist. So können sich die wunderlichsten Schlossen bilden, wie sie uns von vielen Beobachtern beschrieben werden. Oft hat man Schlossen gesehen, bestehend aus einem Aggregat von kleinen Körnern; man hat deren gesehen mit Vor-

springen, mit Hörnern und Narben, hat sie als unregelmäßige Sterne gesehen<sup>1)</sup> usw. Alle diese seltsamen Formen

1) Beobachtungen über die unendlich mannichfaltigen Formen der Hagelkörner findet man bei verschiedenen Verfassern. Leopold v. Buch hält das Daseyn von Schichten und einem opalescirenden Kern für sehr allgemein. Kämtz sah Schlossen mit einem schneeigen Kern, eingehüllt von Schichten eines vollkommen klaren Eises; einige waren dreiseitige Kugelsectoren, andere glichen plan-convexen Linsen. Adanson spricht auch von plan-convexen Linsen, auf deren convexen Seite kleine abgerundete Vorsprünge sichtbar waren. Péron sah Schlossen von verlängerter Form, welche unregelmäßigen Prismen ähnelten, (Kämtz, Lehrbuch Bd. II, S. 497.)

Arago spricht von einer Hagelart, die darin von den Grampeln abweicht, daß die Körner klar sind, ohne einen schneeigen Kern. Er glaubt, daß sie von Wassertropfen herrühren, die beim Durchfallen der tieferen und kälteren Luftschichten gefroren (*Annuaire pour 1828*).

Volney sammelte bei dem berühmten Gewitter vom 13. Juli 1788 unter anderen ein Hagelkorn von 5 Unzen; seine Gestalt war sehr unregelmäßig. Drei Hörner, dick wie ein Daum und fast eben so lang, ragten aus dem Kern hervor, der sie vereinigte (Citirt von Peltier, *Observations etc.* p. 103.)

Am 23. Aug. 1850 verwüstete ein Hagelwetter das *Vaudtland*. die Schlossen hatten mannichfache und seltsame Gestalten. Bei *Saint-Cergues* fielen Schlossen wie Haselnüsse mit Vorsprüngen an den Rändern. Bei *Muids*: runde, längliche und platte Schlossen, alle mit Rauheiten auf ihrer Oberfläche; bei den größeren erkannte man einen runden Kern, rings an welchem mehrere Wasserschichten gefroren waren. Bei *Bassins*: gewisse Schlossen hielten fast anderthalb Kubikzoll und bestanden aus anderen stark zusammengefrorenen Körnern, durchsichtig an den Seiten und versehen mit merkwürdigen Vorsprüngen. Sie waren von abgeplatteter Gestalt und zeigten mehre Kerne von verhärtetem Schnee. Bei *Bérolle*: Platte, konische, mit Spitzen besetzte Schlossen; einige waren krystallinisch, andere zu zehn und zwölf zusammengeballt. Bei *Vuarrens* las Hr. Pastor Curchod zwei stark zusammenhaftende Schlossen auf; und es waren nicht die einzigen der Art. Bei *Moudon* waren die Schlossen meistens nicht einfach, sondern mehre waren durch Eis mit einander verkittet. Bei *Granges* waren die kleinen Schlossen kugelförmig, allein die größeren glichen abgestumpften Kegeln, waren aus mehren kleinen coagulirten Hagelkörnern zusammengesetzt und Puddingsteinen ähnlich. Bei *Puyerne* glichen die Schlossen einer Agglomeration von Schneekugeln, deren jede für sich in Wasser getaucht worden (R. Blanchet, Ueber das Gewitter von 23. Aug. 1850, *Annuaire météorologique de France*, 1852).

lassen sich, wie man gesehen, in dem Gemisch von Chloroform und Oel erhalten, und man begreift, dafs sie sich bilden, wenn die bewegte Luft schon gefrorene Kügelchen mit andern, die es noch nicht sind und ohne Zweifel an Gröfse variiren, auf tausendfache Weise durch einander mengt.

Die Wasserkügelchen, die unmittelbar aus der Verdichtung des Wasserdampfs entspringen, sind wahrscheinlich ziemlich klein, und wenn sie bis unter  $0^{\circ}$  erkaltet werden, müssen sie wohl oft, indem sie sich einander nähern, Agglomerationen bilden, worin jedes für sich gefroren ist, und folglich mit blofsem Auge oder mittelst Vergrößerungsgläser erkennbar bleibt. Zahlreiche Beispiele von so gebildeten Hagelkörnern sind von den Beobachtern nachgewiesen.

10. Welche Ursachen rufen die ersten Erstarrungen inmitten dieser bewegten und bis unter  $0^{\circ}$  erkalteten Kügelchen hervor? Es ist schwer, darauf mit Sicherheit zu antworten; allein es kann sehr wohl seyn, dafs die von elektrischen Entladungen bewirkten Erschütterungen, sowie der Durchgang der Elektrizität selbst, hier eine wichtige Rolle spielt. Wenn feine Schneeflocken in der Luft schwimmen, so veranlassen sie sicher das Gefrieren der Kügelchen, welche sie auf ihrem Wege treffen, und in sie eindringend, werden sie somit das Centrum von Hagelkörnern. Dieser Fall ist sehr wahrscheinlich; man begreift sogar, dafs er sehr häufig ist; er erklärt vielleicht, weshalb das Centrum

Muncke glaubt, dafs die Schlossen über  $1\frac{1}{2}$  bis  $1\frac{3}{4}$  Zoll Durchmesser immer das Resultat einer Agglomeration sind (N. Gehler's VVörterb. Bd. V, S. 32)

Montignot sammelte am 11. Juli 1753 zu Toul Schlossen von drei Zoll Durchmesser. Es waren Vereinigungen von kleineren Körnern (Arago, *Annuaire* 1828, p. 184).

Musschenbroek erwähnt Schlossen wie Hühnereier, gebildet durch Vereinigung kleinerer Körner. Crookshank sammelte in Nordamerika Körner von 13 bis 15 Zoll im Umfang, gebildet aus einer Menge kleiner Körner.

Dr. Waller sagt bei seinen wichtigen mikroskopischen Beobachtungen des Hagels, dafs er, wenn er recht achtsam war, oft sehr kleine Kugeln erkannte, die zur Bildung von Schlossen verkittet waren (*Phil. Mag.* 1846, u. *Archives*, 1846, T. III, p. 30.)

der Hagelkörner oft aus einem verhärteten und geknäulten Stück Schnee besteht<sup>1)</sup>. (Ich habe mehrmals Schnee in ein in einem Gemisch von Chloroform und Oel erkalteten Wasserkügelchen gebracht; er drang sogleich in das Kügelchen ein; dieses gefror herum und liefs in seinem Innern das fremde Stück erblicken.)

Wenn leichte Körper, durch Wirbel emporgehoben, in der Luft schweben und in die Region der Hagelbildung gelangen, so kann vielleicht der Contact derselben mit den Wassertröpfchen eine Ursache zur Erstarrung werden und solchergestalt der fremde Körper die Mitte eines Hagelkorns einnehmen. Dieser gewifs nicht unnögliche Fall würde die seltsamen Beobachtungen der Auffindung von Hagelkörnern mit Spreu im Innern erklären<sup>2)</sup>.

Mehre Physiker erwähnen den Fall, dafs meteorischer Staub in Hagelkörnern gefunden worden<sup>3)</sup>. Ist das Factum

1) Deluc hält das Daseyn des Schneekerns für allgemein. Er sagt: »Le noyau neigeux que chaque grain renferme etc.« (*Modifications de l'atmosphère, pt. IV, §. 714.*)

»Obgleich die Schlossen von mannigfaltiger Form sind, so zeigen sie doch häufig in der Mitte einen weifsen porösen Kern« (*Denison Olmsted, Bibl. univ. 1830, T. XLIV, p. 367.*) — »Es fallen bisweilen grofse Schlossen mit schneeigem Kern, die aus concentrischen, abwechselnd klaren und trüben Schichten gebildet sind.« (*Arago, Annuaire 1828.*)

Kämtz sah bei dem Gewitter vom 11. Juni 1827 viele Schlossen mit einem runden und trüben Graupelkern von einer Linie Durchmesser, ganz umhüllt von Eis. Der gesammte Durchmesser der Schlossen betrug 2 bis 4 Linien. (Kämtz, Lehrb. Bd. II, S. 496.)

2) Schlossen, welche Spreu enthielten, werden angeführt von *Maternus Cilano* (*Hamburger Magazin* Bd. XVII, S. 80), *Scheuchzer*, (*Breslau. Samml. IX, S. 90*) und *Fromond* (Kämtz, Lehrb. Bd. II, S. 501.) — Im Jahre 1755 fiel auf Island Hagel, wo jedes Korn etwas Sand oder vulkanische Asche einschlofs (*Muncke, N. Gehler's VVörterb. Bd. V, S. 37.*)

3) Im J. 1821 fielen in Irland Hagelkörner mit einem metallischen Kern, die *Pictet* für Schwefelkies erkannte (*Gilbert's Ann. Bd. LXXII, S. 436.*) — Aehnliches trug sich in Sibirien zu. Schwefeleisen wurde am 20. Oct. 1826 zu *Sterlitamansk*, Gouvernement *Orenburg*, in Hagelkörnern gefunden, und vom Prof. *John* und dem Dr. v. *Eversmann* *Poggendorff's Annal. Bd. CXIV.*

richtig, so begreift es sich auch, denn Körperchen von meteorischer Natur, welche in die Atmosphäre gerathen, müssen gerade durch die Region der Hagelbildung gehen. Der Contact mit der starren Substanz wird das Gefrieren einiger Kügelchen veranlassen und so werden sich Hagelkörner bilden können, die einen Körper kosmischen Ursprungs in ihrer Mitte haben.

11. Wenn man versucht, Hagelkörner in einem Gemisch von Chloroform und Oel künstlich zu bilden, so geschieht es immer, daß die Wasserschichten einander nicht genau überdecken; ein Theil des flüssigen Mediums wird in diese unregelmäßigen Höhlungen des Eises eingeschlossen. Geschieht ähnliches, wenn Luft das umgebende Mittel ist, so kann man erwarten, Hagelkörner zu finden, welche Höhlungen, d. h. Luft, im Innern einschließen. Wirklich scheint mir dieses theils direct, theils indirect aus gewissen Beobachtungen hervorzugehen. Verschiedene Beobachter berichten nämlich, daß Hagelkörner weniger rasch niederfielen und weniger stark aufschlugen, als man es erwarten mußte, wenn sie compacte Eisstücke gewesen wären: andere bezeichnen Hagelkörner als weniger schwer wie ähnliche Eisstücke; und in einigen Fällen endlich sah man leere Höhlungen<sup>1)</sup>.

Was die concentrischen Schichten betrifft, so sind sie gewiß in den künstlichen Hagelkörnern, deren Bildung ich

gesehen (Pogg. Ann. Bd. VI. S. 30). — G. Rose bezweifelt indeß, daß dies metallische Product in einem Hagelkorn gefunden worden sey. (Ebendasselbst, Bd. XXVIII (1833) S. 576.)

1) Unter den Hagelkörnern, welche am 23. August 1850 zu Moudon fielen, werden von Hrn. Vuilleumier mehre als gebildet aus schwammigem, gräulichem Eise beschrieben. »Sie waren im Verhältniß zu ihrem Volum nicht schwer« (R. Blanchet, *Annuaire météorolog.* 1852.)

In einigen Hagelkernen glaubt Kämtz Luftblasen wahrgenommen zu haben (Lehrb. Bd. II. S. 497.)

Dr. Waller behauptet bei seinen mikroskopischen Studien der Hagelkörner, immer viel Luft in denselben gesehen zu haben, oft sogar mehr als Eis (*Phil. Magaz. Aug.* 1846 und *Archives.* 1846, T. III, p. 30).

beschrieb, weniger deutlich als in den meisten natürlichen. Allein dieser Unterschied kann leicht aus der Verschiedenheit der Mittel entspringen, innerhalb welcher ihre Bildung stattfand. In der Luft verdichtet das Hagelkorn wahrscheinlich continuirlich Wasserdampf an seiner Oberfläche; dieser Wasserdampf gefriert und sucht den Kern mit einer Reifschicht zu umgeben, welche ohne Zweifel bei verlängerter Bildung sich vergrößern würde <sup>1)</sup>. Diese dem Reif analoge und mehr oder weniger deutliche Schicht muß die Eishüllen, welche aus den flüssigen, unter 0° befindlichen Kügelchen entstehen, trennen; sie muß die Zusammensetzung aus concentrischen Schichten sichtbar machen.

Es scheint mir sogar gewiß, daß die Verdichtung des Wasserdampfs an der Oberfläche der Hagelkörner immer eine Rolle bei der Vergrößerung und Bildung dieser spielt; allein diese Rolle muß mehr oder weniger bedeutend seyn, je nach den hygrometrischen und thermometrischen Zuständen der Luft. Die Verdichtung einerseits und die Fällung als eisige Kugelschichten unter 0° andrerseits wären demnach die beiden Hauptursachen zur Bildung und Vergrößerung der Hagelkörner. Ihre relative Wichtigkeit kann offenbar, je nach dem Zustand der Atmosphäre, von einem Gewitter zum andern sehr variiren und so können die Ha-

1) Arago sagt, daß bisweilen große Hagelkörner mit Schneekern fallen, die aus concentrischen, abwechselnd klaren und undurchsichtigen Schichten bestehen (*Annuaire pour 1828*).

Wie mir scheint, kommen die Berichte der meisten Beobachter darin überein, daß diese Beschaffenheit der Hagelkörner die allgemünste von allen ist. Die Schichten sind zwar in der von Arago angeführten Abwechslung nicht immer ganz deutlich; allein es ist doch der gewöhnliche Typus eines Hagelkorns. Man begreift nämlich, daß wenn die Gefrierung der bis unter 0° erkalteten Wasserkügelchen eine Hauptrolle bei dieser Bildung spielt, die Verdichtung des Wasserdampfs der Luft auch in der unendlichen Mehrheit von Fällen erfolgen muß. Diese Verdichtung wird abhängen vom Zustand der atmosphärischen Schichten, welche die Hagelkörner während ihrer Bildung und während ihres Falls durchschneiden. Sie wird nach Umständen sehr verschieden seyn, bald stärker, wo denn das Hagelkorn milchig und wenig compact erscheint, bald schwächer, wo es homogener und härter ist.

gelkörner in Kennzeichen und Ansehen verschieden genug seyn.

Etwas zahlreiche und wohl angestellte Messungen der Temperatur von Hagelkörnern wären von wahren Interesse. Unglücklicherweise hat man diesen Gesichtspunkt bei den Beobachtungen vernachlässigt. Dr. Waller, welcher sich damit beschäftigte <sup>1)</sup>, sagt, daß die Hagelkörner — 3 bis — 4° C. besitzen. Diese Zahlen bestätigen die obigen Betrachtungen über die Umstände bei Bildung des Hagels. Es ist übrigens zu bemerken, daß Hagelfälle beobachtet wurden, als die Temperatur der Luft am Boden unter 0° war, z. B. — 6°,2 am 2. Januar 1803; 0° am 20. Februar 1783; — 0°,4 am 26. Mai 1783 <sup>2)</sup>.

12. Nach dieser Darlegung einiger theoretischen Ansichten über die Hagelbildung, bleiben noch die allgemeinen Umstände beim Auftreten eines Hagelwetters zu untersuchen. Ich beabsichtige nicht, bei diesem Theil der Theorie zu verweilen, da ich ihn für den schwierigeren halte, weil er die verwickeltsten Fragen der Meteorologie berührt. Ich werde mir bloß einige Bemerkungen erlauben.

Damit sich die in obigen Zeilen vorausgesetzten Umstände verwirklichen, sind unter anderen zwei Bedingungen wesentlich. Erstens eine Senkung der Temperatur der Luft bis unter 0° und zweitens ein Schwebenbleiben der Wasserkügelchen in dieser Luft während einer gewissen Zeit.

Man weiß, von welcher Ursache Volta die zum Gefrieren des Wassers nöthige Kälte ableitet. Durch einen seltsamen physikalischen Widerspruch läßt er die Sonne indirect diese Temperatursenkung hervorrufen. Peltier nimmt an, die durch elektrischen Einfluß vermehrte Verdampfung bewirke diese große Erkaltung der Wolken. Allein man kann bemerken, daß die Luft bei einem Hagelwetter immer heftig beunruhigt und durch einander gemengt wird, und man begreift, daß diese Bewegung obere und kältere

1) Dr. Waller, Mikroskop. Beobachtungen am Hagel, (*Archives T. III, p. 30.*)

2) *Gilb. Ann.* Bd. XIII, S. 371; *Pogg. Ann.* 1829, Bd. XVII, S. 443 und 444.

Schichten der Atmosphäre in tiefere herabbringen könnte, wo sie eine reichliche Verdichtung und darauf eine Gefrierung hervorrufen. Viele Beobachtungen scheinen zu zeigen, daß bei Hagelwettern die Vertheilung der Wärme in der Atmosphäre eine ganz andere ist als im Mittel und bei ruhiger Luft. Die Abnahme der Temperatur nach der Höhe ist dann sehr rasch, und es ist keineswegs nöthig sich sehr zu erheben, um 0° zu erreichen. Es ist übrigens eine allgemeine Beobachtung, daß bei Hagelwettern sich selbst am Boden die Temperatur stark erniedrigt. Man kann offenbar dem bloßen, wenn auch reichlichen Niederfallen des Hagels nicht die Erkaltung einer ungeheuren Luftmasse um mehr Grade zuschreiben. Vielmehr ist die Bildung und das Niederfallen des Hagels Folge einer bedeutenden und mehr oder weniger plötzlichen Erkaltung einer ganzen Region der Atmosphäre. Diese primitive Erkaltung der Luft rührt ohne Zweifel von oberen Strömen her<sup>1)</sup>.

1) Diese wichtige Frage der Erkaltung hat bei den Meteorologen zu den mannigfaltigsten Ansichten und Erörterungen Anlaß gegeben. Man hat eins ums andere alle physikalische Thatsachen angerufen, wo man Wärme absorbiert sieht, um ihnen einen Antheil bei der Hagelbildung zu gewähren, besonders die Kälte einer aussergewöhnlichen, durch Luftströme, durch Elektrizität, durch ungemaine Trockenheit der atmosphärischen Regionen usw. unterstützten Verdunstung.

Es ist indess, allgemeine Beobachtung, daß bei Hagelwettern sehr heftige Strömungen in der Atmosphäre vorhanden sind, daß sich sehr kalte Winde fühlbar machen und auf dem Schauplatz der Hagelbildung selbst einstellen. Diese, aus oberen Regionen herstammenden kalten Winde führen ohne Zweifel eine zum Gefrieren des Wassers hinreichende Kälte herbei.

Hr. Lecoc sah, auf dem Puy-de-Dome, starke Regengüsse aus den Wolken entweichen, dann den Wind sehr kalt und sehr heftig werden und darauf Hagel sich bilden. Später hörte dieser kalte Wind auf, es fiel kein Hagel mehr, wohl aber viel Wasser (Lecoc, *Compt. rend.* 1836, I, p. 324). — Die hier vertheidigte Meinung, daß die Erkaltung aus den oberen Schichten der Atmosphäre herstamme, steht in Einklang mit zahlreichen von Kämtz (Vorlesungen über Meteorologie S. 453) citirten Thatsachen, welche beweisen, daß der Hagel auf den Bergen häufig Regen in der Ebene ist. Wenn die Erkaltung ausnahmsweise die unteren Schichten der Atmosphäre erreicht, kann der

Können die erkalteten Kügelchen und die in Bildung begriffenen Hagelkörner lange genug in der Atmosphäre schweben bleiben, um sich zu vergrößern, wie es vorhin vorausgesetzt wurde? Die Antwort darauf scheint mir eine bejahende seyn zu müssen, wenn man sich erinnert, wie außerordentlich bewegt die Luft ist in den Hagelwolken und während des Hagelns. Diese heftige Bewegung ist eine stets beobachtete Thatsache<sup>1)</sup>. Alle, welche Gewitterwol-

gebildete Hagel bis zur Ebene gelangen. Die Bildung desselben geschieht ohne Zweifel recht häufig in den oberen Regionen, aber er schmilzt ehe er den Boden der Ebene erreicht, und fällt starr nur auf die Berge. In den Schweizer Alpen hagelt es oft in der Höhe, während in den Thälern bloß große Regentropfen niederfallen (Siehe die Beobachtung von O. Heer in Kämtz's *Vorlesungen* S. 452.)

Die Gestalt der Hagelwolken, welche nach unten zerrissen sind und wie Trauben herabhängen, entspringt vielleicht oft von der Heftigkeit des oberen Windes, welcher die Erkaltung herbeiführt (Kämtz, Lehrbuch Bd II, S. 540).

Muncke erwähnt eines Hagelfalls zu Hannover, wo die Temperatur der Luft, welche vorher 31° war, nachher nur noch 5° war. Die von Hrn. R. Blanchet über das Hagelwetter vom 23. Aug. 1850 im Kanton Waadt gesammelten Documente weisen diese Erkaltung der Luft nicht bloß an den Orten nach, wo der Hagel fiel, sondern auch an einigen benachbarten Orten. Zu Rolle fiel kein Hagel, aber die Luft war gegen vier Uhr *außerordentlich kalt*. Der herrschende Wind kam vom Jura; das ist ein kalter Wind, und Hr. Blanchet betrachtet dieses Herabstürzen der oberen Luftschichten vom *Joran* als die Hauptursache des Hagelwetters. (Blanchet, a. a. O.)

Der Beweis, daß bei Hagelwettern die Wärmevertheilung vollständig gestört ist, in dem Maasse als man sich in der Atmosphäre erhebt, wird durch eine große Zahl von Thatsachen geliefert (Kämtz's Lehrbuch Bd II, S. 535 und *Vorlesungen* S. 458).

Die Hagelfälle und die Erkaltung der Luft sind für gewöhnlich in sehr enge Gränzen eingeschlossen. Ein langer und schmaler Streif wird verwüstet und stark erkaltet, während die Nachbarschaft kaum Regen und Wind hat und die Luft daselbst sehr heiß bleibt. Welche Meinung man auch über die Hagelbildung annehmen möge, so scheint mir doch diese ungemein örtliche Beschränkung einer der schwierigsten und dunkelsten Punkte der Meteorologie zu seyn.

- 1) Ich glaube nicht, daß es Beispiele von Hagelfällen giebt, die von keiner Aufregung begleitet waren. Im Gegentheil ist diese Aufregung fast immer außerordentlich und der Hagel fällt inmitten eines heftigen Win-

ken vor und während der Hagelbildung beobachtet haben, sprechen von ihren raschen Bewegungen, von ihrem Zerreißen und von dem Daseyn von Strömen in verschiedenen Richtungen. Hr. Lecoc, welcher sich während der Hagelbildung nahe bei der Gewitterwolke befand, sah gewissermaßen dieses Schweben: »*Der Wind war sehr kalt und heftig geworden.*« Die fertig gebildeten Hagelkörner wurden von dem Luftstrome fortgeführt; sie flogen vor dem Beobachter, der auf dem *Puy-de-Dome* stand, horizontal hinweg; »*erst eine halbe Lieue weiter*« fielen sie auf den Boden.

Ein heftiger Wind ist, selbst am Boden, wo seine Gewalt weniger groß ist als in den oberen Regionen, im Stande mechanische Wirkungen auszuüben, die ganz der Fortführung der Hagelkörner vergleichbar sind. Man sieht Baumzweige, Blätter, Kies usw. weit weggerissen von einem heftigen Winde und es scheint mir, daß die Beispiele, wo solide Körper von einem sehr raschen Luftstrom emporgehoben und mehr oder weniger lange schwebend erhalten wurden, häufig und verschiedenartig genug sind, um das Schweben der Hagelkörner erklären zu können. Es ist besonders dieser Punkt der Hageltheorie, bei dem man oft

des. — »Die Hagelwetter, wenn sie heftig sind, sind charakterisirt durch das Zusammentreffen aller gewöhnlichen Elemente der Gewitter. Die Wolken sind sehr schwarz; sie sind in starker Bewegung und fliegen rasch durch die Lüfte oder, häufiger noch, stürzen sich aufeinander; sie sind begleitet von heftigen Winden, Blitzen und Donnern.« (Denison Olmsted, a. a. O. S 366). — Bei fast allen Hagelwettern herrschen heftige Winde und die Wolken werden nach allen Richtungen getrieben (Kämtz, Lehrb. II. 519). — Gewitter vom 30. Aug 1850. *Saint-Cergues*: Der Wind weht heftig aus WSW. — *Arzier*: Während der ganzen Dauer des Hagels gingen die Wolken in allen Richtungen und bekämpften einander stark. — *Cossonay*: Der Wind wehte dermaßen, daß dicke Bäume abgebrochen; eine ungeheure Pappel fiel auf ein Wachthaus. — *Moudon*: Der Wind brach aus und schien von allen Seiten zu kommen. Die Geschwindigkeit der Hagelkörner war außerordentlich; sie schoben sich in die Fensterläden, zertrümmerten die Scheiben und schlugen noch heftig auf den Boden der Zimmer usw. (R. Blanchet, a. a. O.)

die Elektrizität hat zu Hülfe nehmen wollen. Diese ist aber keineswegs unentbehrlich: die mechanische Gewalt des Windes, wie sie uns durch eine große Zahl von Thatsachen dargethan wird, ist genügend, um das längere Schweben und die horizontale Fortführung der Hagelkörner zu erklären.

Die Hagelkörner wachsen ohne Zweifel desto mehr, als die Bewegung der Luft sie länger schwebend hält in demselben kalten Luftstrom, der die Wasserkügelchen enthält. Die Körner werden desto voluminöser als sie länger vor dem Niederfallen subsistiren. Eine Gewitterwolke, die über eine Gegend hinstreicht, könnte wohl in dem Maasse als sie vorrückt, immer größere und größere Hagelkörner fallen lassen. Das Gewitter vom 28. Juli 1835, welches Hr. Lecoc so wohl studirt hat, kam vom Ocean, und gab anfangs im Dep. Charente - inférieure kleine Hagelkörner, dann im Dep. Haute-Vienne größere, und später in Clermont noch größere<sup>1)</sup>.

13. Bei den Hagelwettern äußert sich die Elektrizität gewöhnlich durch Blitze und Donner. Viele Beobachter geben an, daß sie dann in großer Menge vorhanden sey. Es scheint ziemlich natürlich, sie eine wesentliche Rolle bei der Bildung des Hagels spielen zu lassen, und man weiß, daß dies die Basis der Theorien von Volta und Peltier ist. Ohne einen möglichen, vielleicht wichtigen Einfluß der Elektrizität bei dieser atmosphärischen Erscheinung läugnen zu wollen, scheint es mir doch schwierig, ihn beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntniß genau festzusetzen. Wie existirt, die Elektrizität in den Gewitterwolken? Wie wirkt sie auf die isolirten Kügelchen in der Luft, wie auf die Hagelkörner? Auf diese capitalen Fragen ist eine genaue

1) Am 11. Jan. 1827 sah Kämtz nach jedem einzelnen Schauer das Eis der Hagelkörner immer beträchtlicher werden. Eine gewisse, von Hrn. R. Blanchet angeführte Zahl von Beobachtern sagt, daß die Hagelkörner beim zweiten Schauer größer waren als beim ersten, größer bei Ende eines Schauers als bei Anfang. Es gab jedoch einige Beobachtungen im entgegengesetzten Sinn.

Antwort nicht möglich. Die Meteorologie, schon so verwickelt und schwierig in ihren verschiedenen Gebieten, ist es hier noch mehr. Die Umstände, unter welchen wir die Eigenschaften der Elektrizität in den Laboratorien zwischen festen oder flüssigen Körpern studiren, sind nicht die der Gewitter, und, wie mir scheint, ist es zu gefährlich, aus den ersteren auf die zweiten zu schliessen. Man geräth zu sehr in Hypothesen, wenn man die Wirkungsweise der Elektrizität bei dem in Rede stehenden grossen Phänomen analysiren und detailliren will. Ich läugne nicht den Einfluss, den sie haben kann auf das Schweben, das Zusammenstossen und selbst die Bildung der Hagelkörner, vielleicht auch auf die Erzeugung der Vorsprünge, mit welchen deren Oberfläche so oft besetzt ist; allein ich will diese Ursache bei den gegenwärtigen Untersuchungen lieber ausschliessen, als sie auf eine unsichere und zweifelhafte Weise einführen.

14. Ich habe festzustellen gesucht, dafs die verschiedenen Kennzeichen der Hagelkörner (Gestalt, Ansehen, Beschaffenheit) und die Hauptumstände der Hagelfälle sich auf eine genügende Weise aus den im ersten Theil dieser Arbeit beschriebenen Thatsachen erklären lassen. Die vorstehenden Entwicklungen machen keinen Anspruch auf eine Hageltheorie, die allen Einzelheiten entsprechen könnte. Das Phänomen ist zu verwickelt und scheint mir zu sehr noch dunkle Fragen in der Meteorologie zu berühren, als dafs ich glauben könnte, es vollständig erklärt zu haben. Ich hatte keinen anderen Zweck, als einige wesentliche physikalische Thatsachen nachzuweisen, die wahrscheinlich bei den Hagelwettern vorkommen. Die ungemene Mannigfaltigkeit, welche die Natur in der Combination dieser Thatsachen darbietet, genügt vielleicht, alle Wunderlichkeiten der einzelnen Fälle zu erklären.

15. Ich fasse die wesentlichen Theile dieses Studiums in folgenden Schlüssen zusammen:

1. Wenn Wasser innerhalb eines flüssigen Mittels, aufser allem soliden Contact, in Schweben gehalten wird, so ge-

friert es nur selten bei  $0^{\circ}$ ; es bleibt flüssig bis  $-5^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$  und sogar bis  $-20^{\circ}$ .

2. Die Erstarrung geschieht unter Einfluss verschiedener und ungleich wirksamer Ursachen: Bewegung, Berührung mit festen Körpern, usw.

3. Unter gehörigen Umständen kann man die Erstarrung bei einer Temperatur unter  $0^{\circ}$  bewerkstelligen und solide Kügelchen erhalten, welche eine große Analogie mit den Hagelkörnern besitzen.

4. Der Hagel bildet sich wahrscheinlich, wenn die in einer bewegten Luft schwebenden Wasserkügelchen nicht eher gefrieren als bis sie unter  $0^{\circ}$  erkaltet sind. Die Verdichtung und Gefrierung des Wasserdampfs an ihrer Oberfläche trägt zu ihrer Vergrößerung bei.

5. Die Hauptkennzeichen der Hagelkörner (Ansehen, Gestalt, Beschaffenheit, usw.) lassen sich schicklich erklären, wenn man den oben bezeichneten Ursprung voraussetzt.

---

III. *Ueber eine Methode, zu untersuchen, ob das  
Polarisationsazimut eines gebrochenen Strahls durch  
die Bewegung des brechenden Körpers geändert  
werde; Prüfung dieser Methode;  
von Hrn. H. Fizeau.*

(*Ann. de chim. et de phys. S. III, T. LVIII, p. 129.*)

---

Das Daseyn des Lichtäthers scheint gegenwärtig so wohl festgestellt, und die Rolle, welche dieses überall verbreitete Medium in der Natur spielen kann, scheint so bedeutend seyn zu müssen, dass man sich wundern muss über die noch kleine Anzahl bekannter Erscheinungen, in welchen es sich mit Sicherheit verräth. Es lässt sich indess vorausschen, dass die größten Fortschritte der physikalischen Wissenschaften die wahrscheinliche Folge von Ent-