= 2,079 (bei 21° C.). Diese Bestimmung ist nicht ohne Schwierigkeit, da die Mineralstückchen im Wasser zerfallen und nur schwierig zur vollständigen Benetzung zu bringen sind; auch die spätere Bestimmung des absoluten Gewichts wegen des bereits bei geringen Temperatur-Erhöhungen eintretenden Gewichtsverlustes seine Schwierigkeit hat. Sicherer ist das spec. Gew. des geglühten Minerals zu bestimmen = 2,466 (bei 18½ C.). Noch ist zu bemerken, daß Kohlensäure in unserm Allophan nicht vorhanden ist, demnach der Kalk nur an Kieselsäure gebunden seyn kann.

(Schluß im nächsten Heft.)

IV. Ueber die angeblichen Dunstbläschen in der Atmosphäre; von J. Kober in Dresden.

Es ist eine Haupteigenschaft der tropfbaren Flüssigkeiten, der sie ja auch ihren Namen verdanken, daß sie sich selbst überlassen, die Kugelform annehmen, d. h. Tropfen bilden. Wir sehen das Wasser des Regens, wie des Springbrunnens in der Luft, das Quecksilber auf Holz, Glas etc. sowie in feinsten Zertheilung auf der Oberfläche, das Oel im Wasser, das Kautschuk u. a. Stoffe in der Pflanzenzelle, das Fett in der Milch usw. Kugel-, d. h. Tropfengestalt annehmen.

Um diese Tropfengestalt zu erlangen, werden sogar erhebliche Widerstände überwunden. So löst sich z. B., wie Plateau ¹⁾ zeigt, eine künstlich dargestellte, cylindrische Wasserfläche sofort in einzelne Tropfen auf.

Man beobachtet zuweilen Blasen, deren Wand aus tropfbarer, deren Inhalt aus elastischer Flüssigkeit besteht, aber wohl nur in folgenden beiden Fällen:

1) Bei gewaltsamer Eintreibung der Luft in Flüssigkeit, die, wenn die Bläschen einige Dauer haben sollen, klebrig zäh seyn muß. Dahin gehören die Seifenblasen, die Blasen

1) Pogg. Ann. Bd. 132, S. 654.

hinter rasch fallenden Regentropfen, im schäumend fließenden Wasser, im perlenden Wein und Bier.

2; Beim Aufsteigen von Luft in Flüssigkeiten, in denen dieselbe aufgelöst war oder sich erst bildet, z. B. in erwärmtem Wasser (vor dem Kochen), in den kohlensauern Getränken, in den gährenden Flüssigkeiten. In kochenden Flüssigkeiten vertritt der elastische Wasserdampf die Stelle des Gases; man findet aber stets, daß diese Blasen an der Oberfläche sofort zerplatzen, ausser wenn sie durch die Klebrigkeit der Flüssigkeit daran gehindert werden.

Hier erscheinen die Gase in Kugelform offenbar in Folge des von allen Seiten gleichen Drucks der tropfbar Flüssigkeit.

In verschiedenen Fällen kann man auch die Tropfen während, oder wenigstens kurz nach ihrer Bildung aus feinertheilter, gasiger Materie beobachten, z. B. am sublimirten Quecksilber und Schwefel ¹⁾, an dem Wasserbeschlag des kalten Glases, an der angehauchten Fensterscheibe etc. In all diesen Fällen erhält man unzweifelhafte Tropfen.

Der Uebergang des Wasserdampfes der Luft in tropfbar flüssiges Wasser läßt sich *a priori* wohl nur so denken, daß einzelne Wassermoleculé einander näher kommen, als der Gaszustand erlaubt und daher ein tropfbares Aggregat, den Anfang eines Tropfens bilden. Der frei gewordene Raum wird durch andere Moleculé erfüllt, unter denen die dem Aggregate am nächsten gekommenen, gleichfalls von demselben angezogen werden und so dasselbe vergrößern und wegen der Gleichmäfsigkeit der Anziehung eine Kugel bilden. Je mehr Moleculé vorhanden sind, d. h. je wärmer die gesättigte Luft ist, desto gröfser müssen die Dunstkörperchen werden.

Diese müssen natürlich von Anfang an, vermöge ihrer gröfseren specifischen Schwere, Neigung zum Falle zeigen, der Widerstand der Luft erlaubt aber nur ein sehr langsames Fallen, so lange die Aggregate sehr klein sind. Endlich werden sie aber doch in niedere Luftschichten gelang-

1) Waller im *Philosophical Magazine*, XXVIII, p. 100.

gen und, falls diese trockener sind, wieder verdunsten, falls sie aber verhältnißmäfsig dampfreich sind, statt zu verdunsten, sich vergrößern und endlich Regen bilden.

So bilden sich die fallenden Wasserkügelchen in der Luft, ganz analog den steigenden Luftkügelchen im Sodawasser.

Im aufsteigenden Luftstrome werden sie natürlich mit der Luft aufwärts steigen, in kräftigem Winde ungefähr horizontal fortziehen, in ruhiger Luft dagegen sinken. Daher regnet es bei ruhiger Luft leichter, als wenn der Wind weht.

Es kann gegenwärtig als ausgemacht vorausgesetzt werden, dafs alle Dunstkörperchen der Atmosphäre sich aus elastischem Wasserdampfe bilden, der in kühlerer Luft in tropfbaren Zustand übergeht. Die Ursache der Abkühlung kann eine Zufuhr kälterer Luft oder Wärmestrahlung oder Luftverdünnung oder Ableitung der Wärme durch kühlere Gegenstände seyn; im letzten Falle dürften sich jedoch schwerlich freischwebende Dunstkörperchen bilden.

Nehmen wir im Verfolge der ersten der genannten Ursachen, die wohl am häufigsten die Dunstbildung veranlaßt, der Einfachheit wegen zuerst an, eine kältere untere Luftschicht berühre mit *ebener* Begrenzungsfläche eine obere wärmere, deren Thaupunkt über der Temperatur der unteren Schicht liege, so werden die Wassermolecüle, die durch die Gränzebene herabdringen, sich zu tropfbarem Wasser vereinigen müssen; sie könnten nun entweder einzelne Tröpfchen (die oben erwähnten Aggregate) bilden oder ein ebenes horizontales Wasserhäutchen, das sich aber sofort, wie aus dem oben angeführten Plateau'schen Versuche zu schliessen ist, in einzelne Tröpfchen auflösen müßte. Wir sehen in der That die Auflösung von Wasserhäutchen im Grofsen an Springbrunnen oder Gartenspritzen, an denen durch künstliche Vorrichtungen der Wasserstrahl gezwungen war, sich in eine Fläche auszubreiten. Nehmen wir dagegen an, dafs die ungleichen Luftschichten unregelmäfsig durch einander wirbeln, so werden sich an den Gränzflächen cylin-

drische, konische oder unregelmäßige Tröpfchenschichten oder Wasserhäutchen bilden, welche letztere aber schon im Entstehen sich in Tröpfchen auflösen müssen.

Dies gilt sowohl von Luftströmen im Großen, als auch von dem beschränkten über heißem Wasser aufsteigenden Strome.

Wenn die Ursache der Abkühlung Wärmeausstrahlung ist, so kann die Tröpfchenbildung in völlig ruhiger Luft vor sich gehen. Dann werden aber wegen der Gleichmäßigkeit der Abkühlung innerhalb der ganzen Luftmasse die Verdichtungsmittelpunkte zahlreicher und daher die gebildeten Dunstkörperchen kleiner seyn. Es wird Nebel entstehen. Ich setze hier voraus ¹⁾, daß die Luft ebenso wie andere Körper Wärme ausstrahlt, sowohl nach dem Welt- raume, als nach kühleren Luftschichten oder dem kühleren Erdboden.

Wenn warme feuchte Luft an kalten Berggipfeln vorbeizieht, entstehen in Folge der Wärmeausstrahlung die Nebel oder Wolken, die an den Berggipfeln zu haften scheinen; weil hier die Temperaturunterschiede bedeutender sind, so geht die Dunstbildung rascher und kräftiger vor sich, die Tröpfchen werden größer und erscheinen dem Reisenden als wirklicher Regen, dem Thalbewohner dagegen als Wolke.

Die durch erkältende Luftverdünnung entstehenden Nebel, wie man sie unter dem Recipienten der Luftpumpe beobachtet, dürften in der freien Natur eine untergeordnete Rolle spielen; indessen haben sie wohl ihren Antheil an den über dem heißen aufsteigenden Luftstrome in der Region der Windstillen entstandenen Wolken, sowie in den Gränzschichten rasch aneinander vorbeiziehender Luftströme.

Wenn nach E. E. Schmid ²⁾ Hagel und Schlossen in den kleinen Wirbelstürmen, Wind- und Wasserhosen gebildet werden, so ist nichts einfacher, als durch solche Wirbel sämtliche Hagelwetter zu erklären. Wenn die Gegen-

¹⁾ Wells, über den Thau.

²⁾ Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1860, S. 540 u. 541.

sätze neben oder übereinander vorbeizieher Luftströme sehr schroff sind, so ist die Bildung solcher Wirbel, die sich auch aufwärts bewegen können, mit horizontaler, verticaler oder beliebig geneigter Axe sehr wahrscheinlich. Die Tropfen oder Graupelkörner werden rasch im Kreise herumgeschleudert, ebenso wie die beigemengten Rufs- und Staubkörner ¹⁾. Die rasche Wirbelbewegung und die starke Luftverdünnung in der Axe der Wirbel ²⁾ erklären die nöthige Kälte, die längere Dauer dieser Bewegung, zumal wenn der Wirbel aufwärts fortschreitet, die Zusammenkittung der Körner, die dann beim endlichen Fall noch größer werden. Auch dafs ein Hagelfall sich nur über einen schmalen Streifen erstreckt, erklärt sich bequem durch den Vergleich mit der auf die Erdoberfläche fortschreitenden Staub- oder Windhose.

Wenn sonach die Entstehung von Wassertröpfchen in der Atmosphäre wohl erklärlich ist, so ist die von Dunstbläschen höchst unwahrscheinlich, ja geradezu undenkbar. Die Gründe, die die Physiker zum Glauben an letztere bewogen haben, verdienen daher um so sorgfältigere Prüfung, weil eine so unwahrscheinliche Annahme nur durch zwingende Gründe aufrecht erhalten werden kann.

Die Idee kugelliger Bläschen, die aus Luft (oder Feuer) mit einem dünnen Wasserhäutchen bestehen, ist von Halley und Leibnitz ausgegangen.

Halley ³⁾ denkt sich die Entstehung so, dafs die Luft, die jedem Wassertheilchen innewohnt, da ja bekanntlich (wie die Erfahrung unter der Luftpumpe zeigt) das Wasser Luft enthält, aus mehreren sich vereinigenden Wassertheilchen zusammenfliefst und durch die (Condensations-) Wärme so ausgedehnt wird, *ut tota bulla sit specificè levior aëre*

1) Walter, *Philosophical Magazine* XXIX, p. 105.

2) In der Havanna wurden während des Wirbelsturmes die Fensterscheiben durch den stärkeren, nicht schnell genug ausgeglichenen Druck der Zimmerluft nach außen zersprengt.

3) *Physica* p. 135 u. 148. (In Kämtz, *Meteorologie* I, 365 sind irrtümlich die Aufsätze Halley's in den *Philosophical Transactions*, XVI, 368 u. XVIII, 183 citirt).

externo«. — Aber erstens enthält das Wasser nicht so viel Luft, wie hier nöthig wäre, zweitens ist die Condensationswärme nicht groß genug, um diese Luft so stark zu verdünnen, und drittens glaubt man in der neueren Zeit bewiesen zu haben ¹⁾, daß die Luft aus dem Bläschen bald ausgepreßt werden müßte.

Anders ist die Ansicht von Albert Linnemann, der die Substanz der Dunstkörperchen für löcherig und höhlenreich erklärt.

Leibnitz, bei dem überhaupt die Blasen eine große Rolle spielen, äußert sich folgendermaßen ²⁾: *„Principio ex fluidi aestuatione et fusione per lucem seu calorem ortae sunt bullae innumerabiles... Nam quoties subtilia perrumpere per densa conantur, formantur densa in cavas quasdam bullas... Idem ex officinis vitrariis constat... Haec jam bullae sunt semina rerum... Tota aqua innumerabilium bullarum congeries, aer nil nisi aqua subtilis est.“* Es ist wohl nicht nöthig, über diese philosophische Auffassung ein Wort zu verlieren.

Seit Leibnitz haben sich die Physiker gewöhnt, die Dunstbläschen mit den Seifenblasen oder den aus heißen oder übersättigten Flüssigkeiten aufsteigenden Blasen zu vergleichen, ohne nur auf die Frage einzugehen, wie solche Bläschen in der Atmosphäre entstehen können. Man findet bloß hin und wieder ³⁾ die Redensart, daß das Wasser sich, wie am kalten Glase, an erkaltete Lufttheilchen niederschläge und dieselben umhülle. Ich kann mir keine Vorstellung machen, wie sich ein tropfbarer Körper an einem luftförmigen soll niederschlagen können; es ist wohl z. B. klar, daß Staub an einem Wasser- oder Quecksilbertropfen ankleben kann, aber nicht an Luftkugeln, die innerhalb der elastisch-flüssigen Luft nicht existiren und nur unter dem Drucke einer tropfbaren Flüssigkeit entstehen können. Und ist es

1) Reuben Phillips im *Philosophical Magazine*, Ser. IV. Vol. V. p. 28.

2) *Physica generalis*, 11 — 13.

3) Z. B. Berger in Pogg. Ann. 118, p. 466.

denkbar, daß so äußerst kleine kalte Lufttheilchen sich isolirt in großer Zahl in die wärmere Luft herabsenken, zumal in Kugelgestalt, so daß an ihnen niedergeschlagener Wasserdampf die Nebelbläschen bilden könnte? Trotz der schlechten Wärmeleitung könnten so kleine Lufttheilchen nicht eine so niedrige Temperatur behalten, daß sich an ihnen genug Wasser niederschläge, um sie zur Kugelgestalt zu zwingen, zumal da durch die Condensation des Wasserdampfes Wärme erzeugt wird.

Der Niederschlag des Wassers an einem Körper läßt sich überhaupt nur durch die Anziehung (Adhäsion etc.) erklären, die nur denkbar ist, wenn eine größere Zahl Molecüle eng vereinigt sind und gemeinschaftlich wirken. Die weit entfernten, auseinander strebenden Molecüle eines Gases können eine solche Anziehung nimmermehr ausüben, zumal da die Anziehung nach allen Seiten in gleicher Stärke geschehen müßte.

Nun wollen wir die Beweise prüfen, die man zur Begründung der Bläschentheorie vorgebracht hat.

Die erste Frage ist, ob Jemand diese Bläschen gesehen habe. Diefs haben versucht Wolff, Kratzenstein, Saussure und Waller, sowie einige Andere, die nur die Versuche der genannten Physiker wiederholten.

Wolff¹⁾ beobachtet durch das Mikroskop den Dampf des kochenden Wassers im Sonnenstrahle im dunklen Zimmer und auf einer Tasse mit schwarzem heißem Kaffee in der Sonne: »So wird man sehen, daß die Dünste rund sind und weiß aussehen. Es ist aber aus dem Jäschte des braunen Bieres bekannt, daß er dadurch weiß aussieht, weil er aus kleinen Bläschen besteht.« Man sieht, auf was für fehlerhafte Ansichten sich die Annahme der Bläschenform stützte.

Kratzenstein und Saussure wiederholen diese Versuche, und namentlich Saussure behauptet, daß aus dem heißen Kaffee Bläschen aufsteigen und theils in die Luft

1) Nützliche Versuche etc. von Christian Wolff. Halle 1738 (1. Aufl. 1722). II. Theil, §. 84.

gehen, theils auf die Oberfläche fallen und sich mit anderen zu dem unzweifelhaft aus Bläschen bestehenden Schaume vereinigen. Auf verkühlendem, gut gekochtem, von Luft und luftbildenden Stoffen (auch von Zucker) freiem Kaffee habe ich nie einen Schaum erhalten. Die beobachteten Bläschen sind wahrscheinlich so zu erklären, daß Luft- oder Dampfbläschen aus der Tiefe der Flüssigkeit mit solcher Kraft aufsteigen, daß sie, wie im frischen Sodawasser, sich an der Oberfläche loszureißen und in die Luft zu erheben vermochten. Cornelius ¹⁾ bemerkt über die Dunstkörperchen, die dem schwarzen Kaffee entströmen: »Man sieht mit freiem Auge gröfsere und kleinere einzeln schwebende Bläschen, die zum Theil ein buntes Farbenspiel gewähren, während andere als weifsliche Kügelchen erscheinen.« Daß ausser etwa in den heifsen oder stark gashaltigen Quellen, in der Natur etwas Aehnliches vorkommen könne, wird wohl Niemand behaupten wollen.

Saussure ²⁾ hat die Nebel auf den Alpen mit dem Mikroskope vor einer dunklen Schildpattfläche beobachtet. Er sagt darüber: »Ist die Wolke dick, so darf ich nicht lange warten, ich sehe die runden und *weissen* Theilchen vorbeifahren, einige so schnell wie der Blitz, andere langsamer, einige rollen über die Schildpattfläche weg, andere stofsen schief an dieselbe und springen davon ab, wie ein Ball an der Mauer... Man sieht auch, wie sich kleine Wassertröpfchen auf diese Fläche setzen, die man an ihrem *schweren Gange* und ihrer *Durchsichtigkeit* leicht erkennen kann... Auch sieht man sie mit blofsem Auge in der Luft schwimmen und so leicht dahinfliegen, daß man wohl einsieht, sie müssen inwendig leer seyn«. Aber einfache Bläschen sowohl, wie Tropfen, erscheinen in Ruhe oder langsamer Bewegung (»mit *schwerem Gange*«) durchsichtig und nur an den Rändern oder einzelnen spiegelnden Stellen weifs, die rasch bewegten Tropfen aber des fallenden Regens wie der Gartenspritze vor dunklem Hintergrunde nicht

1) Meteorologie, Halle 1863.

2) Hygrometrie § 206.

mehr und nicht weniger weiß als die Bläschen; daher beweist diese Beobachtung nichts. Uebrigens scheint Saussure vorauszusetzen, daß der schwerere Körper sich langsamer bewegen müsse, als der leichtere.

Dieselbe Wahrnehmung hat, wie es scheint, Cornelius gemacht; er bemerkt noch, daß die Nebelkörperchen (die er für Bläschen hält) sich auf der schwarzen Fläche in Form von Halbkugeln niedergeschlagen haben. Leider hat er versäumt, diese Halbkugeln, was so leicht gewesen wäre, unter dem Mikroskope verdunsten zu lassen, wobei sich herausgestellt haben würde, daß sie nicht plötzlich verschwinden (zerplatzen), sondern kleiner und kleiner und endlich unsichtbar werden.

Läßt man die Dunstkörperchen des Kochfläschchens über eine benetzte Glasplatte streichen, auf welche dieselbe zum Theil adhäriren, so ist auf dem Wasser keine Spur von Luftbläschen zu sehen.

Waller hat unter Anwendung der Saussure'schen Methode keinen Beweis für die Bläschenform finden können und erklärt, daß es sehr mißlich sey, aus dieser Art von Beobachtungen etwas über die Natur der Nebelkörperchen entscheiden zu wollen. Er sagt¹⁾ über die auf dem St. Bernhard beobachteten Nebelkörperchen; *„I have endeavoured to ascertain their vesicular structure, but have been unable to do so from direct observations. It is frequently a most difficult point in microscopic investigation, to decide upon the existence of a thin transparent membrane. It is still more so to pronounce upon the vesicular or spherular structure of globules in constant agitation; and I believe that if minute spherules and vesicles could be mixed together, we do not possess any means at present of distinguishing them.“* Etwas räthselhaft und von Clausius als Gegenbeweis ausgebeutet, ist die Bemerkung Waller's *„sometimes, when the agitation of air is slight, two of the largest globules may be seen floating towards each other, and afterwards disappear suddenly.“*

1) *Phil. Mag. Vol. XXVIII, p. 99 (anno 1846).*

Man darf nicht vergessen, daß man im vorigen Jahrhundert noch nicht so scharf, wie seit Dalton's Zeiten, zwischen Dunst und elastischem Dampf unterschied und daß die meisten Beobachter in dem Wahne befangen waren, daß der Wasserdunst sich in Bläschenform von der Wasseroberfläche abhebe.

Uebrigens giebt Saussure¹⁾ zu, daß der Wasserdampf der Luft unter Umständen direct Tropfen bilde²⁾. Wer einmal eine Gebirgsreise gemacht hat, ist mit diesen soliden Tröpfchen hinlänglich bekannt; häufig, wenn es auf der Höhe regnet, bleiben die Thäler trocken³⁾ (weil die fallenden Tropfen unterwegs verdunsten): der Regen auf der Höhe erscheint dem Thalbewohner als Wolke oder Nebel.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die directe Beobachtung keinen Beweis für die Bläschenform geliefert hat.

Den zweiten und in früheren Zeiten wichtigsten Grund für die Bläschenform fand man in dem Aufsteigen der Dunstkörperchen in der Luft, indem man von der Annahme ausging, daß die aufsteigenden Dunstkörperchen specifisch leichter als die Luft seyn müßten.

Um diese specifische Schwere drehen sich alle Abhandlungen über die Dünste zu Ende des 17. und im 18. Jahrhundert. So sagt Erasmus Francisci⁴⁾: »Die Dünste steigen, bis sie der Luft an Gewicht gleich werden. Die rechte Hauptursache aber, bedünkt mich, hänge von der natürlichen Wärme und Porosität oder Lockerheit ihrer Materie, nämlich der Dünste ab: Mäßen, auch Albertus Linemanus, weiland Professor Matheseos zu Königsberg, in Preußen, sagt, weil ihre Substanz löchericht ist und viele Höhlen hat.«

Nach Halley muß die eingeschlossene Luft so warm seyn, *ut tota bulla sit specificè levior aëre externo*.

Leibnitz⁵⁾ äußert darüber: die Luft in den Bläschen

1) Hygrometrie § 200.

2) Kämtz I, 396.

3) Kämtz I, 402; III, 152.

4) Der Luftkreis, Nürnberg 1680.

5) *De elevatione vaporum*.

— *„quales in liquoribus spumescentibus“* — sey leichter, weil wärmer, als die äufsere Luft.

Wolff¹⁾ sagt: „Ich könnte erweisen, dafs die wenige Luft in den Bläselein der Dünste so sehr ausgebreitet sey“ (nämlich durch die Wärme, die das Verdunsten bewirkt), „als erfordert wird, sie von leichterer Art zu machen, dafs die ganzen Dünste leichter sind als die Luft, darinnen sie aufsteigen. Allein *da man siehet*, dafs sie in der That so leichte sind“ usw. Es folgt dann die Berechnung des specifischen Gewichts der Dunstbläschen, aus welcher Rechnung Wolff und Kratzenstein folgern, dafs sie leichter, Hamberger und Desaguliers, dafs sie schwerer als die Luft seyn müssen. Die Frage ist immer, ob die Bläschen mit Luft oder mit „Feuer“ erfüllt sind.

Selbst Saussure²⁾ sagt noch: „Wenn es einmal erwiesen ist, dafs die Wolken aus Wasserbläschen bestehen, so ist dadurch auch dargethan, dafs diese Bläschen eigenthümlich so leicht, als die Luft und manchmal noch leichter sind.“

In entgegengesetztem Sinne äussert sich Des Cartes³⁾, dafs nämlich die Dunstkörperchen durch die Sonnenwärme ebenso seitwärts und aufwärts gestofsen werden, wie der Staub durch den Fufs, woraus sich ergibt, dafs sie ebenso wenig leichter als die Luft zu seyn brauchen, wie die Staubkörnchen.

Auch Leibnitz⁴⁾ kommt zu der Einsicht, dafs, wenigstens um in der Luft *schweben* zu können, die Dunstkörperchen nicht specifisch leichter zu seyn brauchen, als die Luft: *„Fieri potest, ut vapores . . . in aëre suspensi maneant, eo modo quo pulvisculi in aëre sustentur, quia aër, ut omne fluidum, aliquem habet gradum tenacitatis seu nexus partium, ut vi aliqua quantulacunque opus sit ad perrumpendum . . . idem ergo bullulis guttisque admodum exiguis*

1) Nützliche Versuche II, § 84.

2) Hygrometrie § 208.

3) *Principia philosophiae, Meteora.*

4) *De elevatione vaporum.*

contingit. Sed si plures guttulae concurrunt . . . et quia superficies crescunt tantum ut quadrata, pondera autem ut cubi diametrorum . . . usw.

Klarer noch bespricht die Sache Hamberger¹⁾. Er sagt nämlich über die Seifenblasen: »*Experientia et ratio monstrant, tales vesiculas aëre adhuc esse specificè graviores, semper enim in aëre tranquille descendunt*«. Und weiter (Sch. II), wo von den Dunstbläschen die Rede ist: »*Concedo quidem, corpus, cujus cavum igne foret repletum, crusta vero ex aqueis constaret particulis . . ., fore aëre levius, ast nego, tale corpus physice generari posse*.

Auch Desaguliers²⁾ schreibt der Wärme und daher größeren Elasticität der aus der Lunge in die Seifenblasen getriebenen Luft das Aufsteigen zu und bestreitet die Existenz von Dunstbläschen.

Am erschöpfendsten beleuchtet jedoch Georg Wolfgang Kraft³⁾ die (dem Leser bereits bekannten) Gründe, die sich gegen Halley und Leibnitz geltend machen lassen.

Diese spezifische Leichtigkeit der Dunstkörperchen konnte man nur so lange zur Entscheidung der Frage für wesentlich halten, als man den aufsteigenden Luftstrom nicht kannte. Es scheint, daß nur Kratzenstein (nächst der oben citirten Bemerkung von Cartesius) von demselben eine wenigleich verworrene Vorstellung hat. Kratzenstein⁴⁾ sagt nämlich: Die Dünste, welche vom Wasser aufsteigen, werden . . . durch die über dem Wasser von der Wärme ausgebreitete und in die Höhe steigende Luft mit fortgenommen«. Dagegen heißt es in § 39: »Die Dünste werden nicht mit den aufsteigenden Feuertheilchen als durch einen Strom fortgerissen, weil die Feuertheilchen sich stets von dem wärmeren gegen den kälteren Ort, also vom heißen Wassergefäß *seitwärts* bewegen«.

1) *Elementa physices, Jenae 1750 (Ed. IV, §. 477, Sch. I)*.

2) *Cours de physique expér., traduit de l'anglais, Paris 1751, T. II, X*.

3) *De vaporum et halituum generatione et elevatione. Tubingae 1745*.

4) Ueber das Aufsteigen der Dünste § 71.

Seit Saussure's Zeiten hat wohl Niemand mehr die geringere specifischere Schwere für ein nothwendiges Erforderniß gehalten. Es ist aber wohl zu beachten, daß Alle, die damals die Dunstkörperchen für Bläschen hielten, die geringe specifische Schwere als wesentlichste Stütze ihrer Ansicht betrachteten.

Der *dritte* und in der Neuzeit fast einzig urgirte Grund ist aus dem optischen Verhalten der Dunstkörperchen hergenommen.

Kratzenstein ist der Erste, der daraus, daß die Dünste nicht wie die Regentropfen einen Regenbogen bilden, schließt, daß sie Bläschen seyn müssen. Da sie nämlich »wegen der gleichen Kraft, womit sie unter sich zusammenhängen, in der Luft eine kugelrunde Gestalt erhalten« und, weil sie keinen Regenbogen bilden, keine Tröpfchen seyn können, *so müssen sie Bläschen seyn*. Das Licht sey offenbar viel feiner, als die Dunstkörperchen, daher sey die Größe der Tropfen unwesentlich, es müßten also die Dunstkügelchen ebenso wie der Regen einen Regenbogen bilden. Dem widerstreite aber die Erfahrung. Kratzenstein beruft sich auf seine Beobachtung, daß im Sonnenstrahle im dunkeln Zimmer die Tropfen des Springbrunnens einen Regenbogen bilden, nicht aber die Dünste des kochenden Wassers.

Man muß sich wundern, daß Niemand untersucht hat, wie der Regenbogen durch die Größenverschiedenheit der Tropfen modificirt werde, wie insbesondere der feine Wasserstaub sich in dieser Hinsicht verhalte. Solchen Wasserstaub erhält man durch den einfachen Zerstäubungsapparat, der jetzt zum Bespritzen der Zimmerpflanzen gebräuchlich ist. Derselbe liefert gleichzeitig dreierlei Tropfen, erstens einzelne große, deutlich als Tropfen erkennbare, zweitens kleine, die anfangs durch einander wirbeln, bald aber parallel niederfallen, und drittens ganz feine, die nur nebelartige Wolken bilden und endlich eher zu steigen, als zu fallen scheinen. In den Tröpfchen der letzten Art sieht man selbst im dunkeln Zimmer fast keine Spur eines Regenbogens; die zweite Art giebt einen Bogen (blau und orange),

der deutlich auf etwa ein Meter Entfernung sichtbar ist, weit deutlicher jedoch, wo die Tropfen parallel fallen, als da, wo sie sich unregelmäßig bewegen, während die einzelnen großen Tropfen mitten in dem matten Bogen der kleineren in lebhafter Farbe aufleuchten. Wie soll man hier nach in den offenbar noch viel kleineren Tröpfchen, die sich aus dem Dampfe des Kochfläschchens bilden, einen Regenbogen sehen? Dafs auch die feinsten Tröpfchen des Wasserstaubes bedeutend gröfser sind, als die in der Luft sich bildenden Dunstkörperchen, sieht man sofort unterm Mikroskop, wenn man die genannten Tröpfchen auf ein Glasplättchen fallen läfst und zur Vergleichung auf dasselbe haucht.

Bravais¹⁾ geht zur Erklärung des »weissen Regenbogens« mit allen Meteorologen« von der Annahme aus, dafs das flüssige Wasser in der Atmosphäre in zwei Zuständen existire, nämlich in Bläschen mit sehr dünnen Wänden und in vollen Kügelchen. »Es ist nämlich²⁾ unzweifelhaft, dafs die nicht hohen Wolken, die Cumuli... Wasser im Bläschenzustand enthalten. Denn diese Wolken geben niemals zu einem Regenbogen Anlafs, und überdies, wenn sie vor der Sonnenscheibe vorübergehen, schwächen sie allmählich deren Licht und löschen es endlich ganz aus, ohne die Schärfe ihres Umrisses zu verletzen; *dies könnte nicht mit vollen Tropfen geschehen*, weil sie die Sonnenstrahlen zerstreuen würden«. — Leider spricht sich Bravais nicht über die Natur der übrigen Wolken aus; auf Seite 565 sagt er selbst über den Regenbogen, den Kämtz³⁾ am 9. Sept. 1833 in einer »Wolke« sah, mit einem Halbmesser von ungefähr 41 Grad, »nach innen schwach blau, nach aufsen röthlich« (also ähnlich dem oben beschriebenen Bogen im zerstäubten Wasser): »Dieser Umstand, sowie die scheinbare Gröfse des Durchmessers, setzen diesen Bogen in die Kategorie der gewöhnlichen Regenbogen«. Danach

1) Pogg. Ann., Ergänzungsbd. II (73) S. 562.

2) Dasselbst S. 568.

3) Meteorologie III, S. 109.

müßte doch diese Wolke (so wie der Nebel Scoresby's am 23. Juli 1821) aus wirklichen Tropfen bestanden haben. Dasselbe sagt Bravais von den farbigen Bogen, die Scoresby 1817 und 1820 »auf einer sehr niedrigen Wolke« gesehen hat.

Wenn nun, nach Bravais Ansicht, gewisse Wolkenarten aus vollen Tropfen bestehen, so müßten doch diese immer, auch auf grössere Entfernungen, den Regenbogen zeigen, was bekanntlich nicht geschieht.

Die übrigen Beobachtungen des weissen Regenbogens, die Bravais aufführt, stimmen darin überein, daß der Bogen einen etwas kleineren Durchmesser zeigt, als der gewöhnliche Regenbogen (was Kämtz der Schwierigkeit der Messung zuschreibt), und daß sie nur »auf niedrigen Nebeln«, »kurz nach Sonnenaufgang« und zwar in *sehr geringer Entfernung* beobachtet wurden. Hier liegt der Gedanke nahe, daß man das Phänomen nur deshalb so selten sieht, weil selten ein Beobachter so nahe an eine Wolke oder einen *scharf begränzten Nebel* herankommt, in grösserer Entfernung aber die ganze Erscheinung wegen allzugroßer Lichtschwäche oder Zerstreuung verschwindet.

Daß der Bogen weifs oder gelblich erscheint, statt wie in den Tröpfchen des Wasserstaubes blau und orange, kann sich auch daraus erklären, daß das gelbrothe Licht der aufgehenden Sonne zu wenig blaue Strahlen enthält. Denn bei niedrigem Stande der Sonne verschwindet das Blau fast ganz auch im gewöhnlichen Regenbogen¹⁾.

Da der weisse Regenbogen *immer*²⁾ von der sogenannten Glorie (Gegensonne, Brockengespenst) begleitet ist, so liegt auf der Hand, daß beide dieselbe Ursache haben. Nun sieht man aber diese Glorie eben auch häufig auf dem Thau des Grases usw., der doch offenbar aus Tropfen besteht³⁾.

Bravais spricht (S. 567) die Ansicht aus, die auch von

1) Kämtz III, 158.

2) Bravais in Pogg. Ann. Ergänzungsbd. II (37) S. 563.

3) Kämtz III, 105.

Clausius ¹⁾ adoptirt wird, dafs, wenn der Nebel aus Tröpfchen bestände, die gröfsere Zahl derselben, *bei hinreichender Dicke der Nebelschicht*, die Kleinheit der Tropfen ausgleichen müsse. — Aber der Regenbogen erscheint uns in vollem Glanze, auch mit dem Nebenbogen, selbst wenn wir durch ihn hindurch und unter ihm terrestrische Gegenstände deutlich erkennen, ja selbst der blane Himmel ist neben und unter dem Regenbogen bisweilen (z. B. am 14. Juni 1871) so klar zu sehen, dafs man kaum glauben möchte, dafs die Luft fallende Tropfen enthalte, und dennoch zeigt der Bogen die Farben in lebhaftestem Glanze. Die farbigen Strahlen, die von weiter rückwärts befindlichen Tropfen ausgehen, können demnach die Erscheinung nicht wesentlich verstärken.

Da selbstverständlicher Weise das Licht unterwegs geschwächt wird und daher die von Tropfen ausgehenden Lichtstrahlen nicht auf jede Entfernung unserm Auge sichtbar bleiben können, ebensowenig wie das Licht sehr entfernter Sterne, so giebt es eine Gränze, über die hinaus wir keinen Regenbogen mehr wahrnehmen. Diese Gränze ist von der Gröfse der Tropfen abhängig: je kleiner die Tropfen, desto eher wird der Bogen unsichtbar und zwar in rasch wachsender Progression; der in künstlich feinerstäubtem Wasser entstandene Bogen ist nur auf wenige Schritte sichtbar, der farbige Bogen, den Kämtz u. A. »in dichten Nebeln« beobachteten, war höchsten 80 Meter entfernt. (Ich möchte daraus folgern, dafs die Tropfen dieses Nebels gröfser waren, als die des künstlich zerstäubten Wassers). Den gewöhnlichen Regenbogen sehen wir auf Entfernung von 1000 bis 1600 Meter. Nach Bravais Ansicht müfsten wir ihn aber in jeder beliebigen, auch meilenweiten Entfernung wahrnehmen können.

Die farbigen Strahlen, die aus dem Innern einer Wolke oder eines Nebels kommen, werden theils bei ihrem doppelten Durchgange durch den Nebel zerstreut und liefern

1) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 547.

daher weisses Licht, theils machen sie wegen zu grosser Entfernung gar keinen Lichteindruck.

Auch der Schall ist nicht auf jede Entfernung hörbar und zahlreiche schwache Töne nicht so weit, wie ein einziger starker. Man hört von einer entfernten Musik ein wirres Geräusch oder einzelne Posauentöne.

Ich bin überzeugt, dass auch die Bewegung der Tropfen auf den Regenbogen Einfluss übt. Unregelmässig durcheinander wirbelnde Tröpfchen geben einen matteren Bogen, als dieselben Tröpfchen, wenn sie parallel niederfallen. Einige andere Umstände, die die Bildung des Regenbogens in Wolken und Nebeln erschweren, sollen später besprochen werden.

Der andere von Bravais angeführte Grund gegen die Solidität der Dunstkörperchen ist durch Brücke wiederlegt worden.

Brücke¹⁾ tröpfelte nämlich eine weingeistige Lösung von Mastix in Wasser, das heftig umgeschüttelt wurde. Dadurch entsteht eine trübe Flüssigkeit, die im auffallenden Lichte himmelblau erscheint. »Sieht man durch eine Schicht (dieser Flüssigkeit) hindurch, so erblickt man alle beleuchteten Gegenstände *vollkommen deutlich und scharf begränzt*, nur schwach gelblich gefärbt. Sieht man durch ein solches Medium nach einer Flamme und macht die Schicht immer dicker oder das Medium durch Hinzufügen von mehr Mastixlösung trüber, so erscheint die Flamme immer röther und verliert immer mehr an ihrer Lichtintensität, aber sie erscheint noch immer *vollkommen scharf begränzt*, so dass man sehr deutlich wahrnehmen kann, wie zuletzt die lichtärmeren Theile der Flamme ganz verschwinden und nur diejenigen noch sichtbar bleiben, welche rothe und orange-farbene Strahlen in grösserer Menge enthalten«. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass die im Wasser schwebenden Tröpfchen äusserst klein, selbst bei den stärksten Vergrösserungen meist kaum sichtbar sind.

Es ergiebt sich daraus, dass die Umrisse der Gestirne

1) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 382.

nicht merklich gestört werden, wenn nur die Tröpfchen klein genug sind. Je größer die Tröpfchen, desto deutlicher wird die Störung: die »Mastixmilch«; die aus weit größeren Kügelchen besteht, zeigte die Farben weit schwächer und die Umrisse der Körper minder deutlicher. (Es gilt, so viel ich weiß, als ausgemacht, daß z. B. das persische Hochland mit seiner dunstarmen Atmosphäre zu astronomischen Beobachtungen sich besser eignet, als unsere Gegend selbst beim klarsten Himmel).

Bravais macht zur Erklärung des weißen Regenbogens die Hypothese, daß die Wände der Dunstbläschen sich mehr und mehr verdicken; so würde der Bogen durch Brechung und Spiegelung in den dicken Wänden gebildet. Auf diese Hypothese gründet er eine Rechnung, durch welche er die Erscheinung erklärt. Natürlich gewinnt dadurch die Hypothese keine Sicherheit, sondern nur Möglichkeit, und bedarf zu ihrer Bestätigung noch anderer Beweismittel, die aber vollständig fehlen. Man denkt bei solchen Rechnungen unwillkürlich an die Newton'schen Arbeiten über das Licht, die auch die wirklichen Erscheinungen meistentheils erklärten und doch auf einer völlig falschen Hypothese beruhten.

Gegen Potter¹⁾, der den weißen Bogen aus der Kleinheit der Tröpfchen erklärt, bemerkt Bravais, »daß diese Ansicht den schwachen Glanz des weißen Bogens nicht erklärt«, wohl mit Unrecht, da die Intensität mit der Größe der Tropfen zunimmt. (Gleichwohl scheint auch Potter's Ansicht nicht die richtige zu seyn): Nach Bravais »bleibt nur noch durch Erfahrung zu beweisen, daß volle Tropfen, wie klein auch ihr Durchmesser seyn möge, nicht solche weiße Bogen erzeugen können.« Der Mondregenbogen erscheint nach Kämtz²⁾ meist nur weiß oder gelb, obwohl er in vollen Tropfen entsteht.

Einen sehr gewichtigen Einwand gegen die Tropfenform der feinsten Dunstkörperchen erhebt Clausius³⁾. Er be-

1) *Cambridge Transactions* VI.

2) *Meteorologie* III. 152.

3) *Pogg. Ann.* 76, 161.

weist nämlich, dafs, vorausgesetzt, dafs der Verlust, den das directe Sonnenlicht nach Bouguer und Lambert beim Durchgange durch die Atmosphäre erleidet, der Brechung und Zerstreuung durch solide Kugeln zuzuschreiben sey, das Licht der Sonne und Sterne mit sehr allmählig abnehmender Stärke über eine grofse Kreisfläche ausgebreitet erscheinen müfste, so dafs man diese Gestirne nie mit scharfen Rändern begrenzt sehen würde. Selbst wenn nur die Hälfte jenes Lichtverlustes der Reflexion etc. an Wasserkügelchen zugeschrieben werde, müfsten uns die Gestirne ganz auffallend, undeutlich begrenzt erscheinen. Clausius nimmt daher zur Erklärung des reflectirten Lichts des blauen Himmels zartwandige Bläschen an, aus denen er dann auch die blaue Farbe des heiteren Himmels, sowie die rothe der Morgen- und Abendröthe erklärt.

Er weist zugleich nach, dafs die Reflexion nicht von festen Körpern, noch von solchen herrühren kann, deren Brechungsverhältnifs nahezu Eins ist, als Sauerstoff und Stickstoff.

Die verdienstvolle Arbeit scheint mir aber von einer irrthümlichen Voraussetzung auszugehen, nämlich von der dafs der Lichtverlust in der Atmosphäre ganz (oder wenigstens zur Hälfte) von der Reflexion und Zerstreuung herrühren müsse. Sie *anerkennt keine Absorption*. Wir verstehen aber unter Absorption die Schwächung des Lichts, die in der Luft vor sich geht, ganz unabhängig von den festen oder tropfbaren Körperchen: die sich in derselben befinden. Dafs' eine solche Absorption existirt, unterliegt keinem Zweifel. Ohne dieselbe würde ein farbiges Gas eine Unmöglichkeit seyn, da doch die Farbe des Chlorgases nur durch Absorption farbiger Lichtstrahlen erklärlich ist¹⁾. Der Umstand, dafs verschiedene Körper die strahlende Wärme (schwächer oder) stärker durchlassen, als das Licht, zeigt uns gleichfalls, dafs das Licht auch ohne Reflexion etc. geschwächt wird. Auch im Weltraume findet eine Lichtabsorption statt, da nach Olbers und Struve die Licht-

1) Vergl. Morren in Pogg. Ann. Bd. 137, S. 165.

eindrücke von den kleinsten und fernsten Sternen stärker, als nach dem Quadrate der Entfernung abnehmen. Wenn man glaubt, daß der Aether die Bewegung der Planeten und Kometen durch seinen Widerstand verzögert, so läßt sich wohl auch denken, daß er durch seinen Trägheitswiderstand die Schwingungsamplitude der Lichtstrahlen verkleinere; man hat daher gar nicht nöthig, zu lichtschwächenden »Dunstkörperchen« des Weltraums seine Zuflucht zu nehmen.

Die Lichtabsorption durch die Atmosphäre suchten Saussure und Bouguer zu messen. Bouguer findet aus Beobachtungen der Intensität des Mondlichts in verschiedenen Zenithabständen, daß das senkrechte Licht durch den Einfluß der Atmosphäre auf 0,8148 seiner Intensität reducirt werde. Lambert, Leslie, Ritchie, J. Herschel und Kämtz¹⁾ suchten durch das Thermometer (Actinometer) die Lichtabsorption zu messen, indem sie, wie es scheint, für Licht und strahlende Wärme gleiches Verhalten voraussetzten. Fast übereinstimmend geben sie die Gröfse des Wärmeverlustes auf etwa ein Drittel an, die gesammte zur Erdoberfläche gelangende Wärme auf 0,76 bis 0,59 der an der Gränze der Atmosphäre vorhandenen²⁾. Da man weiß, daß Licht und Wärme von verschiedenen Stoffen in verschiedenem Maafse absorbirt werden, so geben alle diese Versuche keine befriedigende Grundlage, um eine Rechnung darauf zu gründen; und die von Saussure und Bouguer sind nicht genau genug.

Wenn nun auch ein Theil dieses Wärmeverlustes den festen oder tropfbaren Körpern der Atmosphäre zuzuschreiben ist, so hat man doch für die Gröfse dieses Antheils keinen hinlänglichen Anhalt. Wenn ein nur einigermaafsen beträchtlicher Theil derselben den Dunstkörperchen zufiele,

1) Meteorologie III, 1—24.

2) Auch die neueren Messungen*) von Pouillet, Quetelet und Alt-haus ergeben ungefähr dieselben Zahlen.

*) E. E. Schmid, Lehrbuch der Meteorologie §. 185—188.

so müßten diese so viel Wärme aufnehmen, daß sie ihre Tropfbarkeit nicht beibehalten können.

Ob Luft oder Wasserdampf, Licht- oder Wärmestrahlen stärker absorbiren, ist meines Wissens noch nicht ermittelt. So viel scheint aber ausgemacht, daß Clausius mit Unrecht die Gesamtmasse des unterwegs verschwundenen Lichts auf Rechnung der Dunstkörperchen setzt.

Um zu ermitteln, welcher Antheil an der Lichtzerstörung den festen oder tropfbaren Körpern der Atmosphäre zukommt, dürfte der richtigste Weg seyn (wie aus der Arbeit von Clausius zu folgern ist), die Lichtstärke des blauen Himmels mit der der directen Sonnenstrahlen zu vergleichen.

Die Arbeit von Clausius spricht sogar gewissermaßen für die Existenz solider Dunstkügelchen. Aehnlich, wie nach derselben die Sonne unserm Auge erscheinen müßte, wenn die Atmosphäre solide Tröpfchen enthielte, erscheint sie in der That hinter leichtem niedrig gehendem Gewölk oder hinter dem condensirten Wasserdampfe einer Locomotive, ja auch beim Durchgange durch den Nebel.

In Folge der überzeugenden Thatsachen, die Brücke¹⁾ anführt, drängt sich Clausius²⁾ der Gedanke auf, ob etwa »sehr kleine Körperchen nicht mehr nach den gewöhnlichen Brechungs- und Reflexionsgesetzen wirken«. Offenbar ist kein Grund zu denken, warum in kleinen Kugeln das Licht anders gebrochen und reflectirt werden sollte, als in großen, außer, wenn die Kugeln so klein werden, daß Interferenzen eintreten. Nun meint Clausius, die Dunstkörperchen, die nach Kämtz³⁾ einen Durchmesser von 0,011 bis 0,054^m zeigen, seyen zu groß, um Interferenzen zu ermöglichen; an der angeführten Stelle spricht aber Kämtz nur von denjenigen Dunstkörperchen, welche die Höfe um Sonne und Mond hervorbringen, also Verdunklung des Himmels oder Wolken erzeugen, auch die Schärfe der Umrisse der Gestirne beeinträchtigen und als Vorboten des Regens gelten.

1) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 382.

2) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 554.

3) Meteorologie III, 99.

Offenbar können diese Körperchen (Tröpfchen) ihre Gröfse, wie jedes Ding in der Welt, nur allmählich erlangt haben, und so leuchtet ein, dafs sie gerade am reinen blauen Himmel kleiner als in der Wolke seyn müssen. Aus den Angaben von Kämtz geht nur hervor, dafs sie jene Gröfse erreichen müssen, wenn sie sichtbare Höfe bilden sollen.

Von dem schwachen durch sehr kleine Dunstkügelchen zerstreuten Lichte in der Atmosphäre dürfte, ähnlich wie von sehr kleinen oder entfernten Sternen, nur ein sehr geringer Theil in unser Auge gelangen, der dann nicht im Stande seyn würde, die scharfen Umrisse der Gestirne merklich zu stören.

Clausius leitet ferner die Morgen- und Abendröthe her aus dem Durchgange des Lichts durch Dunstbläschen. Die unzweifelhafte Thatsache, dafs feste Körperchen dieselbe Röthung hervorbringen, dafs die Sonne hinter Staub, Höhenrauch, Scirocco usw. ebenso geröthet erscheint, wie am Morgen- und Abendhimmel, zeigt hinlänglich, dafs diese Deduction als Beweis für die Dunstbläschen nicht Stich hält. Zudem hat Lommel ¹⁾ gezeigt, dafs sich die Röthe vollkommen durch Beugung des Lichts, also auch unter Annahme solider Tropfen erklären läfst.

Um die Entstehung der Tropfen aus den angeblichen Bläschen zu erklären, hat man nur zwei Vermuthungen. Entweder verdicken sich die Wände allmählich, wie Bravais annimmt; dann müfste aber in jedem Tropfen ein Luftbläschen bleiben, das zumal bei feinem Regen auf spiegelnder Wasserfläche nicht unbemerkt bleiben könnte. An eine Aufsaugung dieser Luft ist nicht zu denken: es wäre die äufserste Sonderbarkeit, wenn bei der unbedingten Freiheit der Luft- und Wassermolecüle in der Atmosphäre ein Wasserhäutchen erst Luft (so zu sagen) einfangen sollte, um sie dann mit Gewalt wieder auszupressen, zumal da diefs oft, z. B. über dem aufsteigenden Luftstrome (in der Windstillenregion) und an kalten Berggipfeln in sehr kurzer Zeit geschehen müfste. Bravais selbst folgert aus seiner

1) Pogg. Ann. Bd. 135, S. 109.

Hypothese, daß dem eigentlichen Regenbogen ein weißer in hohlen Tropfen gebildeter Bogen vorausgehen müsse, den wohl Niemand gesehen hat.

Oder die Tropfen müßten entstehen durch Vereinigung mehrerer Bläschen. Aus zusammenfließenden Bläschen pflegt aber kein Tropfen zu entstehen, sondern ein größeres Bläschen oder ein Schaum, und wenn man auch zugesteht, daß durch raschen Zusammenstoß zwei Bläschen zugleich zerspringen und so ein Tröpfchen bilden können, so ist es doch unwahrscheinlich, daß dieser Vorgang sich so oft wiederholte, wie es zur Bildung eines Regens nöthig wäre. Und die Bläschen, die den Tropfen vergrößern sollen, würden sich in Bläschenform an den Tropfen anlegen und nicht sofort zerplatzen, sondern an dem fallenden Tropfen einen schaumigen Schweif bilden.

Ich glaube hiermit dargethan zu haben, daß alle die Gründe, die man für die Bläschenform vorgebracht hat, nicht stichhaltig sind und daß daher die Annahme der Bläschen, bei ihrer großen inneren Unwahrscheinlichkeit, völlig zu verwerfen ist.

Noch einen besonderen treffenden Grund gegen die Möglichkeit der Dunstbläschen entnimmt Waller¹⁾ dem Umstande, daß die Dunstkörperchen die Fähigkeit besitzen, zu krystallisiren, was eine ruhige Ablagerung der Theile erfordert, die schwerlich denkbar wäre, wenn die in ihnen enthaltene Luft im Momente der Krystallisation entweichen müßte. *„It will be seen below that the globules of vapour possess the power of depositing themselves in a crystalline form, which requires a tranquil deposition of particles, such as could scarcely be deemed possible, if the air contained in each had to escape at the moment of its crystallization.“*

Ich glaube auch, man hat übersehen, daß Blasen erfahrungsmäßig nicht durch Verdunstung (unbegrenzte Verdünnung ihrer Wände), sondern durch plötzliches Zerplatzen verschwinden, wobei die Flüssigkeit, die die Wand des

1) *Philosophical Magazine* t. XXVIII, p. 100

Poggendorff's Annal. Bd. CXLIV.

Bläschens bildete, nothwendig Tropfengestalt annimmt. Da nun eine Wolke in steter Auflösung und Neubildung begriffen ist, indem fortwährend Dunstkörperchen neu entstehen und vergehen, so würden, falls die Wolke aus Bläschen bestände, durch das massenhafte Zerplatzen derselben zahllose feine Tröpfchen entstehen, so daß die Wolke an der Seite, wo sie sich auflöst, immer von einer Tröpfchenschicht umhüllt seyn müßte. In dieser Tröpfchenschicht müßte, wenn Kratzenstein's Ansicht richtig wäre, gelegentlich ein wirklicher Regenbogen entstehen, so daß letzterer an Wolken häufig gesehen werden müßte.

Versuchen wir nun, uns über die Entstehung und Beschaffenheit der Dunstkörperchen eine Ansicht zu bilden, die an bekannte physikalische Vorgänge anschließt und den Erscheinungen entspricht.

1) *Die Wasserdünste der Atmosphäre bestehen sämtlich aus größeren oder kleineren soliden Tröpfchen.*

Wir nehmen an, daß nicht, wie durch plötzlichen Zauber, um ein größeres »Luftkügelchen« eine zusammenhängende Wasserhülle sich niederschlägt, sondern daß sich anfangs einzelne wenige Wassermoleculé einander nähern und durch ihre Anziehung auf benachbarte allmählich ein Tröpfchen bilden, das natürlich anfangs und unter günstigen Verhältnissen längere Zeit so klein ist, daß es selbst unter unsern stärksten Vergrößerungen unsichtbar bleibt. Diese Tröpfchen entsprechen den feinsten Niederschlägen in den Brücke'schen Versuchen. Ihnen ist die blaue Farbe des Himmels zuzuschreiben¹⁾: je höher der Beobachtungspunkt und je trockner die Luft über demselben, je weniger sie also Dunstkügelchen enthält, desto dunkler wird der Himmel; daher erscheint derselbe in dem trocknen aufsteigenden Luftstromen des persischen Hochlands fast schwarz.

Die Bildung solcher Tröpfchen hat Waller²⁾ an verschiedenen Substanzen verfolgt. *„I have endeavoured to*

1) Auch feine feste Körperchen können zu dieser blauen Farbe beitragen.

2) *Phil. Mag. t. XXVIII, p. 100.*

fix the globules of water on glas and other substances, so as to be enabled to submit them to microscopic inspection, but from their volatile nature and other causes have not succeeded. However it is easy to do so with almost any other volatile substance; and I have examined several in this way without detecting the slightest appearance of a vesicular structure. Mercury is deposited under the form of globular particles, with a metallic lustre, whose diameter is $\frac{1}{500}$ th. of a millimetre, in which I have never detected any internal cavity by the most careful examination. Flour of sulphur is found to consist of solid globules, several of which adhere together; when acted upon by a gentle solvent, their external portion is dissolved, and their remains a regular octahedron. Bei diesen Versuchen wurde das Quecksilber in einem Gefäße bis 90° C. erhitzt und dann der Abkühlung überlassen. Eine Glasplatte wurde in 4 Zoll, beim zweiten Versuche in 8 Zoll Höhe darüber gedeckt; beim dritten Versuche nahm Waller »a common Daguerreotype plate«; in allen drei Versuchen war der Erfolg derselbe.

In ähnlicher Weise wird der Wasserdampf an festen Körpern in Tröpfchen niedergeschlagen, deren allmähliges Verdunsten sich an der angehauchten Fensterscheibe mikroskopisch beobachten läßt.

Nebel und Wolken sind Gemenge aus Tröpfchen, die, was alle Beobachter bestätigen, sowohl in verschiedenen Wolken, als auch innerhalb derselben Wolke von ungleicher Gröfse sind. Die Verschiedenheit im Aussehen der Wolken rührt theils von ihrer Dichtigkeit, theils von der Gröfse der Tropfen, theils von weiter unten zu besprechenden Umständen her. Großtropfige Wolken verwischen die Umriss der Gestirne stärker als feintropfige. So erschienen in den Brücke'schen Versuchen durch die aus größeren Tropfen bestehende Mastixmilch die Umriss merklich undeutlich, durch die feintropfige Mastixlösung völlig scharf. Um Höfe um Sonne und Mond zu bilden, müssen die Tropfen eine bestimmte Gröfse erlangt haben.

Man täuscht sich leicht über die Gröfse der Tropfen, weil sie, wie die Sonnenstäubchen, in heller Beleuchtung gröfser erscheinen als sie sind.

Wenn sich die farbigen Lichteindrücke der Tropfen im Auge zu einem Regenbogen vereinigen sollen, so ist eine gewisse Winkel- oder Bogendistanz derselben erforderlich. Gröfse Regentropfen, die der Natur der Sache nach weiter von einander abstehen müssen, geben daher erst in weit gröfserer Ferne, als die einander sehr nahen Tröpfchen des Wasserstaubes, einen Bogen und dieser verschwindet zuletzt immer, wenn nur die Entfernung zu einer bestimmten Gröfse angewachsen ist.

Die Gröfsenverschiedenheit der Tropfen innerhalb einer Nebelmasse und ihre unregelmäßige Bewegung, sowie die Interferenzen, denen die aus sehr kleinen Tropfen sehr nahe aneinander austretenden farbigen Lichtstrahlen unzweifelhaft ausgesetzt sind, verstärken die Lichtzerstreuung und erschweren die Bildung des Regenbogens.

2) *Die innerhalb der Atmosphäre schwebenden Wassertropfchen überziehen sich mit einer mehr oder minder feinen Luftschicht, die nach verschiedenen Zuständen der Atmosphäre verschieden seyn mag. Diese Hülle ist dem Zusammenfließen der Tröpfchen, sowie der Bildung des Regenbogens hinderlich.*

Es ist eine bekannte Thatsache, dafs Platinmohr und -schwamm, klare Holzkohle usw., Gase in so grofser Menge absorbiren, dafs man kaum annehmen kann, dafs letztere ihre Gasform beibehalten. Ebenso absorbirt die Ackerkrume¹⁾ grofse Quantitäten von Wasserdampf, Ammoniak usw. Die neuere botanische Physiologie²⁾ beweist, dafs die Pflanze ihre Nahrung nicht sowohl aus den im Wasser des Bodens gelösten, sondern aus den an den Körnchen der Ackerkrume, sey es durch Adhäsion, sey es durch che-

1) Liebig, Naturgesetze des Feldbaues 1865, S. 68 ff. Liebig, chemische Briefe (Neuere Auflage) 38, 39.

2) Julius Sachs, Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen (§ 52, 52^b mit den Abbildungen auf S. 184 bis 186).

mische Affinität verdichteten Stoffen entnehmen: bei starker (800facher) Vergrößerung beobachtet man, daß die Haut der Wurzelfäserchen sich dicht an die Körnchen des Bodens anschmiegt. Diese Absorption der Gase (und flüssigen Stoffe) erklärt man sich, gewiß mit Recht, so, daß jedes Körnchen des feinzertheilten festen Körpers mit einer Gasatmosphäre sich umhüllt und dieselbe mit beträchtlicher Kraft festhält.

Es ist außer Zweifel, daß die in der Luft schwebenden Kohletheilchen aus der Atmosphäre Wasser absorbiren. Durch dasselbe wird der Ruß der Schornsteine bei feuchter Luft bald zum Niederfallen gebracht. Sehr feiner Rauch erscheint blau, so lange die Rauchkörperchen trocken sind, mehr und mehr graubraun, je mehr sie Wasser aufgesogen haben; daher die alltägliche Erfahrung, daß der Rauch aus dem feuchten Vorderrande der Cigarre graubraun erscheint, dagegen der aus dem brennenden Ende blau, welcher Unterschied selbst da deutlich sichtbar ist, wo beide durcheinander wirbeln.

Derselben Absorption ist wahrscheinlich die regenwidrige Wirkung des Höhenrauchs zuzuschreiben¹⁾. Die Witterung pflegt aus drei Ursachen beim Höhenrauch trocken zu seyn: 1) weil bei trockner Luft die Moore angebrannt worden, 2) weil, wenn die Luft trocken ist, der Höhenrauch länger in der Luft bleibt und sich über eine größere Fläche verbreitet, also länger und von zahlreicheren Beobachtern gesehen wird, 3) weil in Folge der Wasserabsorption durch den Höhenrauch die Luft in der That trockner wird.

Dem wird auch nicht widersprochen durch den von Prestel²⁾ gelieferten Nachweis, daß häufig das Moorbrennen durch Regen und Gewitter unterbrochen wird. Der Regen muß sogar durch den über der brennenden Fläche aufsteigenden Luftstrom begünstigt werden und daher an Ort und Stelle des Brandes relativ häufig seyn. Aber bald

1) Kämtz III, 209 bis 217.

2) Petermann's geogr. Mittheilungen 1858, S. 109.

nach seinem Entstehen durch Regen niedergeschlagener Rauch kann in entfernteren Gegenden keinen Höhenrauch bilden, letzterer wird also nur bei trockener Witterung erscheinen. — Die Aufsaugung von Wasserdampf durch den Rauch kann natürlich den Regen nur erschweren, nicht absolut verhindern.

Es scheint mir eine fehlerhafte Auffassung, daß die Luft in die »Poren« der Körper eindringe; wenigstens an der Ackerkrume überzeugt man sich, daß die Gasschicht um die feineren Körnchen eine Hülle, eine Atmosphäre, bildet. Sehr fein zertheilte Körper absorbiren mehr, weil sie mehr Oberfläche darbieten.

Wenn man in ein hohes Glas voll Wasser Zuckerstückchen wirft (also Zuckerwasser macht), so steigt die im Zucker enthaltene Luft in Blasen auf, welche an der Oberfläche sofort zerplatzen. Beobachtet man die Stelle, wo eine Blase zerplatzte, so zeigt sich, daß ein zarter geschlängelter Faden von Zuckerlösung sich in das Wasser niedersenkt. Bei genauer Aufmerksamkeit bemerkt man auch, daß ein solcher Faden jedem aufsteigenden Bläschen anhängt und nachfolgt, wie der Schweif einem Kometen; daß dieß keine Augentäuschung ist, ergiebt sich leicht daraus, daß dieser Faden sich endlich auch schlängelt und herabsinkt. Offenbar nimmt das Luftbläschen aus dem Zucker eine Hülle von concentrirter Zuckerlösung mit, die allmählich durch den Widerstand des Wassers abgestreift wird, aber an der Oberfläche noch beträchtlich genug ist, um einen sichtbaren Faden zu bilden.

Auch Tropfen überziehen sich mit einer ähnlichen Atmosphäre, die gleichfalls ziemlich fest anhaftet. Die Quecksilbertröpfchen auf einem Brett oder Teller vereinigen sich nicht von selbst, sie können sich dicht aneinander anlegen, ja einander abplatteln, ähnlich (obgleich in weit niederem Grade) wie die Bläschen im Wasser- oder Seifenschaume, ohne zusammenzufließen: man muß einige Gewalt anwenden, um sie zur Vereinigung zu zwingen. Dasselbe beob-

achtete Waller¹⁾, wie am Quecksilber, auch an den Schwefelblumen. Ebendasselbe bemerkt J. Plateau²⁾ über die klassisch gewordenen Oelkugeln: „Um solchergestalt zwei Kugeln (unter mit Spiritus versetztem Wasser) zu vereinigen, genügt es nicht, sie mit einander in Berührung zu bringen; sie können sich lange Zeit berühren, ohne zu einer einzigen zusammenzufließen; man würde sagen, sie wären mit einem, ihrer Vereinigung sich widersetzenden Häutchen umgeben. Man muß also das (mit Oel benetzte und in die eine Kugel gesteckte) Ende des Metalldrahts auch in die zweite Kugel bringen, wie wenn man die Scheidewand durchbrechen wollte, die beide Massen trennt. Als dann geschieht die Vereinigung sogleich“.

Wir sehen also, daß an den Tröpfchen, wie an den Krümchen der Ackererde, ein dünner Ueberzug eines fremden Stoffes haftet, eine Art Atmosphäre bildet, die dem Zusammenfließen hinderlich ist. Ob dies nun eine Folge derselben Adhäsion³⁾ ist, vermöge deren sich das Glas mit der bekannten oft nur mit großer Mühe entfernbaren Luftschicht überzieht, oder Folge einer Art von chemischer Verwandtschaft, vermöge deren verschiedene Gase mit ungleicher Kraft angezogen werden, kommt hier nicht in Betracht.

Denken wir uns nun in ruhiger oder sanft bewegter, zwar gesättigter, aber wegen niederer Temperatur dampf- armer Luft Wassertröpfchen gebildet, so behalten diese Zeit, sich, ehe sie sich mit andern vereinigen, mit einer dünnen Luftschicht zu überziehen. Die Nebel und langsam gebildeten Wolken werden daher aus solchen mit Luft überzogenen Wassertröpfchen bestehen. Diese Luftatmosphäre ist nebenbei dem Entweichen der Wärme des Tröpfchens hinderlich und befähigt dasselbe, sich längere Zeit auch in starker Kälte tropfbarflüssig zu erhalten.

Diese Gashülle kann auch die optischen Erscheinungen modificiren, eine Einwirkung, die mit Verkleinerung der

1) *Phil. Mag.* t. XXVIII, p. 100 ff.

2) *Pogg. Ann.*, Ergänzungsbd. II, Bd. 73, S. 254 Anm.

3) *Kämtz* I, 395.

Tropfen zunimmt. Daher wird zwar das schwache Licht kleiner Tropfen, nicht aber das intensive z. B. beim Regenbogen zurückstrahlende Licht grösser Tropfen merklich beeinflusst werden.

Nach Quincke¹⁾ beträgt der Radius der Wirkungssphäre der die Capillaritätserscheinungen verursachenden Molecularkräfte — also muthmaßlich die Dicke unserer Lufthülle — etwa ein Zehntel der mittleren Lichtwelle.

3) Solche gasumhüllte Tröpfchen bilden häufig zusammenhängende Conglomerate oder Complexe²⁾, die durch gegenseitige Annäherung und Anziehung entstehen und sich mit dem Schaume vergleichen lassen, nur dafs umgekehrt das Wasser den Inhalt und die Luft die Hülle bildet.

Wenn man ein wenig Oel mit Wasser schüttelt, so entsteht eine milchige Flüssigkeit, indem sehr zahlreiche Oeltropfen von verschiedener Gröfse in dem Wasser schweben. Man kann tagelang das Gemisch stehen lassen, ohne dafs die kleineren der (specifisch leichteren) Oeltröpfchen auf die Oberfläche steigen, selbst nach Wochen bleibt die Flüssigkeit durch die feinsten Tröpfchen getrübt. Unterm Mikroskop zeigt sich, dafs an den grösseren Tropfen oft kleinere anhaften, dafs, so zu sagen, zusammengesetzte Tropfen entstanden sind. Eben solche Complexe erwähnt Brücke bei Mittheilung seiner schönen Versuche. Er sagt³⁾ nämlich in Bezug auf die Niederschläge des Thonerdehydrats, die in feinsten Zertheilung die blaue Farbe sehr schön zeigen: »Aber immer zerstreuen sie das Licht unverhältnismäfsig stark, da es nie gelingt, die Trübung gleichmäfsig zu vertheilen, sondern sich immer Kugeln und unregelmäfsige Ballen bilden«. Dasselbe bemerkt Waller⁴⁾ über die Schwefelblumen: *Flour of sulphur is found to consist of solid globules, several of which adhere together*. Noch deutlicher über die Quecksilbertröpfchen: *From the manner*

1) Pogg. Ann. Bd. 137, S. 413.

2) Berger in Pogg. Ann. Bd. 118, S. 467.

3) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 334.

4) Phil. Mag. t. XXVIII, p. 100 ff.

in which they are deposited, they appear to exert an influence over each other, as they are frequently found in groups of three or four or more«. Rofs (*Microscopical Society* Dec. 1843) glaubte darin eine hexagonale Anordnung zu erkennen, was Waller bestreitet.

Bei den unregelmäßigen Bewegungen der luftumhüllten Nebeltröpfchen durch einander, werden häufig einzelne einander so nahe kommen, daß sie sich in Folge gegenseitiger Anziehung vereinigen, wie die Bläschen auf der Kaffeasse. Während sie bei heftiger Bewegung zu einem Tröpfchen zusammenfließen mögen, werden sie sich, wenn die Annäherung langsam genug ist, an einander legen, ein zusammengesetztes Tröpfchen bilden. Solche Kugeln, aus luftumhüllten Tröpfchen gebildet, müssen auch im Ruhezustand weiß aussehen. Das durchgehende und reflectirte Licht wird in solchen Nebelmassen offenbar »unverhältnißmäßig stark« zerstreut, stärker als in regelrechten Tropfen.

4) Dem Fallen der Dunstkörperchen sind nicht bloß aufsteigende Luftströmungen hinderlich, sondern auch Adhäsionsverhältnisse.

Lamont, in seinen interessanten Untersuchungen über die Dalton'sche Dampftheorie¹⁾, zeigt durch entscheidende Versuche, daß die Wasserdämpfe nur sehr langsam sich in ruhiger Luft ausbreiten, daß sie auf die Luft einen erheblichen Druck ausüben und dieselbe von der Wasseroberfläche zurücktreiben. Schon Halley²⁾ erwähnt der Dampfschicht, »Fleece of Vapour«, die bei ruhiger Luft die Wasseroberfläche von der Luft trenne und die Verdunstung ganz bedeutend vermindere. Dasselbe scheint Leibnitz im Sinne zu haben, wenn er (wie oben bemerkt) sagt: »Aër, ut omne fluidum, aliquem habet gradum tenacitatis seu nexus partium, ut vi aliqua quantulacunque opus sit ad perrumpendum«. Allgemein bekannt ist, daß durch Kochen des Wassers die Luft über der Wasseroberfläche völlig aus dem Kochfläschchen ausgetrieben werden kann.

1) Pogg. Ann. Bd. 118, S. 177.

2) Phil. Trans. t. XVIII, p. 183.

Dies lässt sich nur so erklären, dass die Wassermoleküle nicht widerstandslos zwischen die Lufttheilchen eindringen, sondern dass sie auf dieselbe einen Druck ausüben, sie vor sich herschieben. Das auf'strebende Wasser-(Dampf)theilchen wird also durch den Trägheitswiderstand der mitzuschleppenden Lufttheilchen aufgehalten.

Dasselbe geschieht an Tröpfchen: so wie die Luft dem steigenden Wasserdampfe Widerstand leistet, so auch dem fallenden Wassertropfen. Wir haben oben gesehen, dass das Luftbläschen im Zuckerwasser eine Quantität Zuckerlösung mit aufwärts führt und durch dieselbe offenbar im Steigen behindert wird. So wird jedes bewegte Tröpfchen durch die mitgeschleppte Lufthülle in der Bewegung gehemmt.

Ohne solchen Widerstand könnten nicht feine Quecksilbertröpfchen auf Wasser schwimmen, noch erdige Körperchen oder Oeltröpfchen oder Luftbläschen im Wasser, noch die Stäubchen in ruhiger Luft, noch die Salniakkristalle auf der Oberfläche der Salzsäure¹⁾. Eine Erschütterung ist oft hinreichend, diesen Widerstand zu brechen: ein Stoss an das Gefäß bringt die Luftblasen zum Steigen, die Salniakkristalle zum Fallen, ein Donnerschlag hat plötzliche Verstärkung des Regens zur Folge. Man kann sich dies so vorstellen, dass durch die Erschütterung die adhären den Theilchen von einander gerissen oder in dem widerstehenden Medium Lücken gebildet werden, die das Fallen der Körperchen einleiten.

Der Widerstand in der Atmosphäre scheint nicht zu allen Zeiten gleich groß zu sein, je nach Zuständen der Luft, die der näheren Ergründung wohl noch entgegen sehen.

Dass sich über dem heißen Wasser des Kochfläschchens deutliche Dunstkörperchen, Nebel, bilden in Luft, aber nicht in Wasserdampf²⁾, führt auf den Gedanken, dass beim Kochen des Wassers unter verschiedenen Gasen die Nebel

1) Waller im *Phil. Mag.* t. XXVIII, p. 100.

2) Vgl. Pogg. Ann. Bd. 118, S. 457.

um so schwächer erschienen, je stärker das Gas vom Wasser resorbirt wird. Ich habe mich bemüht, dies durch den Versuch nachzuweisen. Die Nebel zeigten sich im Wasserstoff ungefähr ebenso wie in atmosphärischer Luft, in Kohlensäure aber sehr schwach. (In wie weit hiebei Beobachtungsfehler influirt haben, dürfte sich bei Wiederholung dieser Versuche durch geschicktere Hände entscheiden lassen.) Es scheint, daß stark resorbirende Medien der Bewegung der Tröpfchen zu wenig Widerstand entgegensetzen, so daß diese sich niederschlagen, ehe sie dem Auge sichtbar werden.

Diese Verhältnisse können auch beim Entstehen des Regens von Einfluß seyn. Regen mag häufig oder gewöhnlich durch Vereinigung bisher getrennter Dunstkörperchen entstehen, ähnlich wie nach Waller ¹⁾ die Hagelkörner durch Zusammenkitten einzelner Eisklumpchen (Graupeln) gebildet werden. Besondere, die Adhäsionsverhältnisse, modificirende Zustände der Luft werden diese Vereinigung begünstigen. Oft will aus schweren Wolken kein Regen kommen; sind erst einige Tropfen gefallen und haben so den Widerstand überwunden und einen Weg gebahnt, so folgt der Regen reichlicher. Waller ²⁾ erinnert, nach meinem Urtheile recht glücklich, an das plötzliche Zusammenfließen der Fettkügelchen beim Buttern; sowie dieses sich schnell über die ganze Masse verbreitet, so erfasset der einmal entstandene Regen in kurzer Zeit die ganze Wolke.

1) *Phil. Mag. t. XIX, p. 105.*

2) *Phil. Mag. t. XXVIII, p. 105.*