V. *Untersuchungen über den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre in den Alpen; von Dr. Hermann und Adolph Schlaginweit in München.*

Wegen der größeren specifischen Schwere der Kohlensäure erwarteten ältere Physiker, daß ihre größte Menge in den unteren Schichten der Atmosphäre verweile. Die Entdeckung Horace v. Saussure's, daß auch die Luft auf dem Montblanc das Kalkwasser trübte, war daher eine nicht weniger neue als unerwartete Thatsache. Doch wir wollen hier die ersten Versuche über diesen Gegenstand übergehen, und zunächst an jene anknüpfen, welche Theodor von Saussure (der Sohn) im Jahre 1830 veröffentlichte. Eins der interessantesten Resultate derselben war, daß die Kohlensäure mit der absoluten Höhe zunimmt. Schon Saussure selbst hat diese Erscheinung, sowie die meisten anderen Schwankungen im Kohlensäuregehalt mit der Zersetzung dieses Gases durch die Pflanzen in Verbindung gebracht. Bei der Wichtigkeit, welche diese Fragen gegenwärtig für die Pflanzenphysiologie erlangt haben, war es uns um so interessanter, ähnliche Versuche anzustellen. Unsere Expedition auf die Gletscher und die Hochregionen der östlichen Alpen, wobei wir 24 Tage in einer Höhe von 2500 Metern beständig wohnten, machte es uns möglich anthrakometrische Experimente in sehr bedeutenden Höhen auszuführen. Der höchste bis jetzt untersuchte Punkt war Saussure's *Sommét de la Dôle* bei Genf 1600 Met. über dem Meere.

Bevor wir jedoch auf dieselben näher eingehen, sey es uns erlaubt, die Methode unserer Untersuchungen auseinander zu setzen. Der Apparat war so eingerichtet, daß die Menge der gefundenen Kohlensäure aus Wägungen berechnet wurde. Wir hatten nämlich eine Flasche von bekanntem Volumen, diese wurde mit Wasser gefüllt, und lief durch einen Heber aus. In directem Verhältniß zum Ausströmen des Wassers auf der einen Seite, stand das Einströmen der

Luft auf der andern; wir konnten uns demnach genaue Rechenschaft über die Quantität der analysirten Luft geben, je nachdem wir die Flasche ein oder mehrere Male entleerten. Ehe die Luft in die Flasche eintrat, wurde sie ihrer Kohlensäure und ihres Wassers beraubt; es waren nämlich an der Einströmungsöffnung des Aspirators fünf Röhrchen gebunden in folgender Ordnung: Eine Chlorcalciumröhre, 3 Kaliröhren, und wieder eine Chlorcalciumröhre. Die erste Chlorcalciumröhre, nämlich jene, welche am weitesten von der Flasche entfernt war, diente dazu die atmosphärische Feuchtigkeit zu absorbiren; das Kali der drei folgenden verband sich mit der Kohlensäure, und die letzte Chlorcalciumröhre endlich war mehr der Vorsicht wegen angebracht. Sie sollte das Kali vor Zunahme durch Feuchtigkeitsabsorption von der Flasche aus schützen, wenn bei Unterbrechungen des Ausströmens Luft aus der Flasche aufsteigen sollte. — Die Kaliröhren hatten 1 Centimeter Durchmesser auf 9 bis 10 Ct. Länge am nicht ausgezogenen Theile. Sie enthielten 5 bis 7 Grm. Kali. Die Chlorcalciumröhren waren bedeutend größer. — Alle Theile unseres Apparates waren durch Caoutchouc-Röhren luftdicht verbunden. Es verursacht dieses allerdings in jenen Höhen manche Schwierigkeiten; auch der luftdichte Verschluss des Aspirators brauchte wegen der Erschütterungen im Transporte bei jedem Versuche Ausbesserungen. Dieses und das öftere Füllen der Flasche verlängerte jedes Experiment so sehr, daß wir im allgemeinen 3 Stunden als die Dauer desselben bezeichnen müssen. Uebrigens können wir mit der Transportabilität und der Genauigkeit des Apparates sehr zufrieden seyn. Das Princip, welches wir bei der Anlage desselben befolgten, ist dasselbe, welches in der neueren analytischen Chemie in verschiedenen Formen Anwendung gefunden hat. Die älteren Versuche, um auch diese kurz zu berühren, gründeten sich auf die Absorption der Kohlensäure durch Flüssigkeiten, durch Aetzammoniak ¹⁾, Kalkwasser und au-

1) So Humboldt's Anthrakometer; Gilbert Annalen 1797, III, S. 77, Tafel I, Fig. 7.

dern; die Volumverminderung einer abgesperrten Luftmenge gab dann den Gehalt derselben an Kohlensäure. Später gab man Apparaten den Vorzug, welche statt der Ablesungen Wägungen möglich machten. Saussure's Anthrakometer beruhte auf der Gewichtsbestimmung des Niederschlags von kohlensaurem Baryt; sein Apparat hat zwar die Bedingung der Genauigkeit erfüllt, allein er war sehr groß und unbequem. Man mußte ihn ein volles Jahr vor dem Versuche einrichten, und die zu analysirende Luft 2 Monate lang mit dem Barytwasser in Berührung lassen ¹⁾. —

Nachdem wir uns von der Genauigkeit unseres Apparates durch Versuche in München im Universitätslaboratorium des Hrn. Professor Pettenkofer, mit Benutzung einer sehr genauen Oertling'schen Waage angestellt, überzeugt hatten, mußte unsere vorzüglichste Sorge darauf gerichtet seyn, möglichst vergleichbare Untersuchungen anzustellen. Von der Nothwendigkeit solcher Vorsichtsmaßregeln werden wir uns am Besten überzeugen, wenn wir einige jener Gesetze anführen, welche Saussure durch eine Reihe von Beobachtungen über die Schwankungen des Kohlensäuregehalts der Atmosphäre erhalten hat. Er fand nämlich auf seinem Landgute zu Chambeisy einen mittleren Kohlensäuregehalt von 4,60 auf 10000 Raumtheile Luft. Die Variationen dieser Größe waren abhängig von der größeren oder geringeren Feuchtigkeit des Bodens, und von der senkrechten Erhebung; erstere brachte eine Verminderung, die zweite eine Vermehrung der Kohlensäure hervor. Uebereinstimmend mit dem letzteren war auch, daß heftige Winde, besonders in der Richtung von oben nach unten den Kohlensäuregehalt vergrößerten. Die Verminderung dieses Gases durch eine feuchte Oberfläche erhielt eine sehr auffallende Bestätigung in den vergleichenden Versuchen zu Chambeisy und über dem Spiegel des Genfersees. Dieselben Resultate lieferten auch qualitative Untersuchungen von Professor Vogel in München, über der Nordsee und dem Canal von Dieppe. Saussure's Versuche haben

1) Gilbert, Annal. Bd. 54, S. 226.

ferner nachgewiesen, daß sich bei analytischen Prüfungen der Luft auf Kohlensäure an einem und demselben Orte Variationen ergeben, die nicht unbedeutend genannt zu werden verdienen. Er hat demnach bei allen Experimenten, welche die Differenz zweier Punkte zu prüfen hatten, correspondirende Beobachtungen eingeleitet. Für unsere Stationen war dieß nicht möglich. In einer Höhe, die sich über 2500 oder 3000 Meter erhebt, ist der Beobachter von so vielen kleinen Störungen abhängig, daß man kaum ein einziges Mal den Moment des Experimentes mit Sicherheit vorausbestimmen konnte. Auch konnte man in diesen abgelegenen Orten bei Niemanden die Uebung finden, welche die Handhabung eines genauen Apparates erfordert. Wir zogen es daher vor, unser Anthrakometer an Tagen zu benutzen, an welchen wir die möglichste Uebereinstimmung der meteorologischen Verhältnisse voraussetzen durften. Wir haben deshalb auch alle Beobachtungen zu gleicher Tageszeit, nämlich zwischen 2 und 4 Uhr begonnen. Als besonders glücklich dürfen wir in dieser Beziehung die Experimente auf der Spitze der Rachen, auf der Johannishütte zweiter Versuch, dem Pasterzengletscher und in Heiligenblut bezeichnen. Allen ging eine Reihe von mehreren schönen Tagen vorher. Störungen waren zu befürchten in Lienz, wo es am vorhergehenden Tag geregnet, und beim ersten Versuch auf der Johannishütte. Wir werden auf die wahrscheinliche Gröfse dieser Fehler später zurückkommen. — Wegen der großen Wichtigkeit aller Nebenumstände dürfte eine kleine topographische und meteorologische Exposition unserer Stationen nicht überflüssig seyn. — Wir stellten 6 Versuche an fünf verschiedenen Punkten an; diese reihen sich nach ihrer Höhe in folgender Ordnung aneinander.

1. *Lienz*. Das Anthrakometer war aufserhalb des Städtchens, also ganz im Freien aufgestellt. Das freie Ende der Röhrrchen befand sich 1 Meter über dem Boden. Am Abend vorher hatte es heftig geregnet, am Tage des Experimentes war es wieder ganz heiter; wir begannen am 18. August 3 Nachmittags. Die Flasche wurde 3 Mal entleert, mithin

4997 C. Ct. Luft der Analyse unterworfen. — Lienz liegt in dem weiten ebenen Thale am Zusammenfluß der Isel und Drau (im Pusterthal) an der östlichen Gränze Tyrols. Höhe = 751,8 Meter (2310,7 P. Fufs).

2. *Heiligenblut* im Möllthale. In geradliniger Entfernung nicht ganz 4 geographische Meilen von Lienz gelegen. Es ist der nordöstliche und höchste bewohnte Ort Kärnthens. Seine Höhe beträgt 1307,7 Met. (4025,6 P. Fufs). Unser Instrument befand sich außer dem Bereich der Wohnungen auf dem freien Hügel, welcher die Kirche trägt. Das Wetter der vorhergehenden Tage war heiter und fast windstill. Allein gegen das Ende des Experimentes, am 9. September 4 Uhr Nachmittags, begann es leicht zu regnen; da wir beim Fallen der ersten Tropfen gerade das zweimalige Entleeren der Flasche beendet, mithin 3331 C. Ct. Luft der Analyse unterworfen hatten, unterliessen wir diesmal das dritte Füllen des Aspirators. Wir müssen hier anticipirend für die erhaltenen Resultate bemerken, daß Heiligenblut eine verhältnißmäßig üppige Vegetation besitzt; Getreide gedeiht noch, und es giebt sogar mehrere Laubbäume, wenn auch in geringer Anzahl; die Gränze des Holzes liegt im Möllthal beiläufig 700 Meter Höhe.

3. und 4. *Pasterze* und *Johannishütte*. Die Johannishütte liegt in einer Höhe von 2461,3 Meter (7577,3 P. F.), an der Mitte des Pasterzengletschers; etwa 40 Meter über der mittleren Höhe des Gletschers. Der letztere nimmt jenes große Hochthal ein, welches das Stromgebiet der Möll schließt. Da wir auf der Johannishütte den größten Theil unseres Gletscheraufenthaltes von 1848 zubrachten, konnten wir zwei anthrakometrische Versuche anstellen, am 20. August und am 6. September. Das erstere Experiment führen wir nicht unter den vollkommen komparablen auf, weil das Wetter etwas trüb und regnerisch gewesen. Aber der Versuch vom 6. Sept. wurde nach einer Reihe ganz günstiger Tage ausgeführt. Wir werden bei der Mittheilung der Resultate auf die große Uebereinstimmung und die Gründe davon zurückkommen. Bei beiden Versuchen, so-

wie auch bei jenem auf dem Gletscher selbst, strömten 4997 C. Ct. Luft durch die Röhren. — Als wir das Anthrakometer am Gletscher aufstellten, wählten wir einen Punkt in der Nähe des dritten Pfahles unserer Bewegungssignale; 203 Meter vom Ufer entfernt. Seitlicher Einfluß war um so weniger zu befürchten, da die äußere Oeffnung des Röhrenapparates nur 4 Ctm. über dem Eise sich befand.

5. *Gipfel der Rachern.* Die Rachern ist der höchste Punkt einer schönen Gebirgsgruppe, welche sich am linken Ufer der Pasterze, nahe an ihrem Ende bis zu 3365,8 Meter (10361,6 P. F.) erhebt. Ihr Gipfel ist ein ganz isolirter, frei von Schnee. Die Vegetation ist für unsern Fall als Null zu betrachten, obgleich es uns andererseits vom größten Interesse war, in dieser Erhebung außer einigen Flechten noch das sporadische Auftreten einiger Phanerogamen zu entdecken. Wir verweilten auf ihrem Gipfel am 4. September von 12 Uhr Mittags bis 5 Uhr Abends; das Anthrakometer wurde um 2 Uhr in Gang gesetzt. Da uns der mitgebrachte Wasservorrath nicht reichte, kamen wir in die unangenehme Lage, beinahe eine Stunde weit um Wasser schicken zu müssen. Wir benutzten hier 5905 C. Ct. Luft zur Analyse. — Die meteorologischen Nebenumstände für jeden einzelnen Versuch glauben wir am besten in folgende Tabelle zusammen zu fassen.

Meteorologische Bemerkungen.

Num.	Datum	Zeit des Anfangs	Station	Höhe in Metern	Bar. red. in M.M.	Luft. im Schatt.	Befeucht. Therm.	Wind	Zustand d. Atmosph.
I.	18. Aug.	3 Uhr	Lienz	751,8	701,4	20,6	14,3	NV.	17. Abends, heftiger Gewitterregen, Nebel in der Nähe.
II.	20. Aug.	3 Uhr	Johannishütte (1)	2461,3	570,7	7,0	5,5	SO.	
III.	4. Sept.	2 Uhr	Rachern	3365,8	512,8	4,9	1,6	NV.	Außerst rein wolkenlos.
IV.	6. Sept.	12 Uhr	Johannishütte (2)	2478,0	571,7	12,5	8,3	NV.	Kleine Cirri.
V.	6. Sept.	3 Uhr	Pastertze	2448,6	568,9	2,5	1,4	O.	Einige Wolken im Westen.
VI.	9. Sept.	3 Uhr	Heiligenblut	1307,7	654,0	19,4	16,6	(NV?) SV.	Leichter Regen.

Die römischen Nummern geben hier die Reihenfolge der Experimente. Barometerstand ¹⁾ und Temperatur der Luft dienen hier nicht nur zur nähern Charakteristik, wie die übrigen Spalten, sondern wie wir sehen werden, auch zur Berechnung des Volumens aus dem gefundenen Gewichte der Kohlensäure. Der Psychrometerstand ist nicht in Rechnung zu ziehen; da alle Luft, welche in den Aspirator trat, im ersten Chlorcalciumröhrchen schon getrocknet war. Der Gehalt der Kohlensäure bezieht sich demnach immer auf 10,000 Theile „trockener“ Luft. —

Wir kommen jetzt zu den Resultaten selbst. Wie schon gesagt, wurden sie berechnet aus der Differenz des Gewichtes vor und nach dem Versuche. Wir müssen jedoch vor Allem bemerken, daß die Röhrchen nicht unmittelbar nach jedem Versuche gewogen wurden; sondern es geschah dies ehe wir München verließen, am 3., 4., 5. August und das zweite Mal am 28., 29. und 30. October. Die Röhrchen wurden während des Transportes an ihren fein ausgezogenen Enden durch lange genau anschließende Papierpfropfe verschlossen, und, in Baumwolle gehüllt, in eigene Kapseln verpackt. Wir hofften auf diese Weise alle Zunahme durch Feuchtigkeit zu vermeiden, ließen jedoch zur Vorsicht drei Röhrchen unbenutzt. Leider fanden wir, daß auch diese etwas zugenommen hatten; allein als wir die Resultate der übrigen Röhren berechneten, fand sich, daß dieser kleine

1) Bemerkung zur Barometerspalte. Die Höhenbestimmungen wurden theils mit einem Hypsometer nach Gintl und Mohrstadt angestellt, theils mit einem Heberbarometer von A. Greiner in München. Das letztere enthielt außer der bekannten Buntens'schen Versicherung eine andere sehr vortheilhafte Einrichtung, deren Angabe wir der Güte des Herrn Professor Steinheil verdanken. Sie besteht in einer Durchsicht im Holzfutteral, und in einer kreisförmigen Anlage der Millimeterscala, wodurch ein Ablesen auf der Kuppe möglichst frei von Parallaxe bezweckt wurde. Die korrespondirenden Angaben besitzen wir aus Klagenfurt, durch die Gefälligkeit des Herrn von Prettnner. Die Bestimmung der Höhe von Klagenfurt und Vergleichung des dortigen Barometers hat Herr Director Kreil in Prag im Jahre 1847 ausgeführt. Unsere beiden Instrumente sind mit dem Normalbarometer der Königlichen Academie zu München verglichen.

Uebelstand die gegenseitigen Verhältnisse in der ersten Decimale (genauer rechnete auch Saussure nicht) noch keineswegs zu verwirren vermochte. Wir glaubten daher am Besten zu thun, diesen ohnehin kleinen Fehler ganz zu vernachlässigen. Wägungen an Ort und Stelle hätten uns allerdings vor dieser Unannehmlichkeit bewahrt; jedoch Jedermann wird zugeben, dafs die Waage ein Instrument ist, welches man unter solchen Umständen nicht handhaben kann. Sehr beruhigend für uns war es, das Verhältnifs der drei Röhrchen desselben Versuches untereinander fast gar nicht gestört zu sehen. Es war immer nahezu wie 5:2:1; indem nämlich das Röhrchen zunächst der Einströmungsöffnung des Apparates bei weitem am meisten Kohlensäure absorbirte. Wäre die Zunahme *nach* den Versuchen eine unregelmässige und sehr verschiedene für die einzelnen Röhren gewesen, so hätte dieser gegenseitige Quotient unmöglich eine solche Regelmässigkeit behalten können. Die zur Berechnung angewandten Formeln waren: 1. Ausdehnung des destillirten Wassers bei $+ 23^{\circ}$ Cels. = 1,0021746 zur Berechnung des Rauminhaltes der Flasche. Marchands Tafeln 118, S. 38. 2. Das specifische Gewicht der Kohlensäure ist nach Regnault Ann. Bd. 65, S. 418 zu 1,52910 (atmosphärische Luft als Einheit). 3. Ihr absolutes Gewicht zu 1,9870 Grm. für 1000 C. Ct. angenommen worden. 4. Für die Ausdehnung der Kohlensäure zwischen 0° und 100° Cels. wurde 0,3719 (Regnault a. a. O. S. 418.) angenommen. 5. Die Correction des Volumens, abhängig vom atmosphärischen Druck, wurde nach dem Mariotte'schen Gesetze berechnet. Alle Berechnungen wurden mit Logarithmen ausgeführt. — Die Werthe für die erhaltene Kohlensäure sind in der Tabelle Nr. 2. zusammengestellt, wobei die Spalte 3 den Gehalt für 10,000 Raumtheile, Spalte 4 für 10,000 Gewichtstheile angiebt. Bei der Darstellung des gegenseitigen Verhältnisses der Volumina wurde Lienz als Einheit angenommen.

Absoluter und relativer Gehalt an Kohlensäure.

Num.	Ort der Beobacht.	Rauminhalt.	Gewichtsinhalt	Verhältnisse.
I.	Lienz	4,2	6,4	1
II.	Johannh. (1)	4,8	7,3	1,15
III.	Rachern	5,8	8,7	1,36
IV.	Johannh. (2)	4,7	7,2	1,13
V.	Pasterze	3,2	4,9	0,76
VI.	Heiligenblut	4,1	6,1	0,98

Wenn wir jetzt die Resultate unserer Untersuchungen discutiren wollen, so müssen wir vor allem die Zunahme der Kohlensäure nach der Höhe berücksichtigen. Gleich in den ersten beiden Versuchen finden wir zwar eine Erscheinung, welche diesem Gesetze zu widersprechen scheint; die Differenz zwischen Lienz und Heiligenblut ist nicht nur sehr klein, sondern ist sogar negativ. Allein ich muß zugleich auf einen Umstand aufmerksam machen, den wir schon früher erwähnt, nämlich daß es in Lienz in der Nacht vor dem Versuche heftig, aber kurze Zeit, geregnet, ein Umstand, der nach Saussure stets eine Zunahme der Kohlensäure bewirkt. Wir müssen daher Heiligenblut und Lienz gleich setzen. Und dennoch beträgt die Differenz ihrer Höhe 556 Meter. Diese Anomalie wird aufhören uns zu befremden, wenn wir die beiden Localitäten mit einander vergleichen. Wir befinden uns in Heiligenblut nicht auf einem Berge von 1308 Meter, nicht einmal auf einem Abhang, wir haben hier noch viele Cerealien und Cultur, die wenigstens den Individuen nach sehr wohl mit Lienz verglichen werden kann. Da nun die Verminderung der Vegetation sicher ein Hauptagens ist, welches zur Vermehrung der Kohlensäure beiträgt, so ist wenigstens von dieser Seite her auch gar keine erhebliche Differenz zu erwarten.

Unsere meteorologischen und pflanzengeographischen Studien in den Alpen, haben uns fast in jeder Beziehung, wie wir glauben, zu dem Satze berechtigt, daß Orte von gleicher absoluter Höhe unter ungleichen topographischen Verhältnissen, fast nichts mit einander gemein haben, als den

Luftdruck. — Temperatur der Luft, sowohl im Mittel als in den Extremen, Wärme der Quellen, Feuchtigkeitszustand, die Erscheinungen der Vegetation; alles kann bei gleicher Höhe Differenzen bieten, die unglaublich sind, und nur davon abhängen, ob die vorliegende Erhebung durch ein Alpenthal oder durch einen Gipfel repräsentirt ist. — Es ist unnöglich hier näher darauf einzugehen; als einziges von vielen Beispielen will ich anführen, dafs im Oetzthale auf der Nordseite der Centralalpen über 1600 Meter noch Getreide gebaut wird, während in geringer Entfernung davon, auf den Abhängen der nördlichen Kalkalpen die mittlere Baumgränze nicht mehr diese Höhe erreicht ¹⁾. Es mußte uns sehr befriedigen, als die Berechnungen auch dieser Versuche die Gültigkeit unserer Ansicht zu bestätigen schienen. Wir sehen also, dafs bei antherakometrischen Versuchen nur Gipfel oder isolirte Erhebungen auf Abhängen comparable Resultate liefern können. Strenge genommen könnte auch die Johannishütte in die Kategorie der nicht ganz comparablen Stationen gezogen werden. Doch glauben wir, dafs die sparsame Vegetation und ihre ohnehin bedeutende absolute Höhe hinreichen werden, diesen Mangel für unseren Fall zu compensiren. Schreiten wir daher zur Vergleichung der 3 Punkte Heiligenblut, Johannishütte und Rachen, so kann uns ein auffallendes Zunehmen des Kohlensäuregehalts mit der Höhe nicht entgehen. Die Johannishütte ist uns hier eine sehr wichtige Mittelstation; denn die früheren Versuche blieben unter 1600 Meter, und a priori wäre es kaum zu entscheiden gewesen, ob die ohnehin sparsame Vegetation in Höhen von 2400 M. und darüber noch einen merklichen Einfluß ausüben könnte. Unser Versuch scheint es zu bejahen. — Hätten wir Heiligenblut und die Rachen allein gehabt, so könnten wir nicht wissen, ob die Differenz der Kohlensäure, welche wir zwischen den beiden Punkten bemerkten, nicht schon auf der Hälfte der Höhendistanz einträte, um sodann keine weiteren Veränderungen

¹⁾ Vergl. unsere bot. Excursion in den baierischen Voralpen. Flora. Regensburg. Juli 1848. Tab. I, 12, Tab. III, 13.

mehr zu erleiden. Wir kommen hier überhaupt auf die interessante Frage, in wiefern diese Zunahme nach oben eine Begränzung finde. Wir glauben, daß unser Experiment auf den Rachern einige Anhaltspunkte zur Beurtheilung dieses Gegenstandes biete. Es werden uns nämlich die zwei Versuche auf der Johannishütte Gelegenheit geben zu zeigen, daß Schwankungen in größerer Höhe ohnehin nur unbedeutend sind. Wollen wir aber einen extremen Fall auf den Rachern setzen, so haben wir alle Ursache unser Resultat als ein Minimum zu betrachten, da wir absichtlich das Experiment erst nach einer Reihe ganz schöner Tage anstellten. Vergleichen wir nun die dort gefundene Gröfse mit jenem, was Boussingault, Saussure und Watson als Maximum in der Ebene gefunden haben, (nämlich 5 bis 6) so finden wir eine auffallende Uebereinstimmung. Ginge nun die Zunahme der Kohlensäure von dem Racherngipfel aufwärts noch lange in einem Verhältnifs fort, wie wir es von Heiligenblut bis hieher kennen gelernt haben, so müfste bei gewaltsamen Revolutionen der ganzen Atmosphäre, welche aber das Maximum der Ebene bedingen, dieser Kohlensäuregehalt ungleich höher gesteigert werden; besonders wenn wir bedenken, wie verschwindend klein die Luftsäule zwischen unserer Erhebung in dem Dorfe im Vergleich zur ganzen Atmosphäre wird. Wir können daher annehmen, daß die Kohlensäurezunahme wirklich gewisse Schranken habe, und daß wir mit 3500 bis 4000 Meter die untere Gränze dieses constanten Maximums erreicht haben. — Wir haben jetzt noch auf unseren Satz zurückzukommen: daß die Schwankungen in großen Höhen sehr gering seyen. Wir haben dafür nur einen einzigen experimentellen Beweis, der aber nicht unwichtig ist; nämlich die zwei Experimente auf der Johannishütte; auf ihre so verschiedenen Nebenbedingungen haben wir schon früher aufmerksam gemacht. Hier müssen wir noch besonders hervorheben, daß ihre Differenz nur ein Hunderttausendtel beträgt, während in den Stationen der Ebene Abweichungen von 4 oder 5 nach früheren Beobachtern zu den aller-

gewöhnlichsten gehören. — Wir haben bisher die geringere Menge von Kohlensäure am Gletscher unberücksichtigt gelassen. Diese Abnahme ist eine Erscheinung, für welche sich Analogien in manchen anderen Beobachtungen finden lassen. Jedoch müssen wir gestehen, daß es uns vor dem Experimente nicht ganz nothwendig schien, gerade dies Resultat zu erhalten; denn es ist auffallend wie schwer es oft ist von vorn herein den Werth verschiedener kleiner Einflüsse richtig zu beurtheilen, die uns nach dem Versuche in ihrer Nothwendigkeit und ihrem innigen Zusammenhang klar entgegen treten. So werden wir hier den Grund dieser Erscheinung am besten in einer Absorption der Kohlensäure durch das Gletscherwasser suchen. Die ganze Oberfläche des Gletschers ist nämlich an schönen Tagen mit größeren und kleineren Wasserrieseln überdeckt; die größeren erhalten sich theilweise auch während der Nacht, wenn die Temperatur nicht sehr tief unter Null fällt. Bedenken wir, daß diese Wassermasse bei ihrer geringen Tiefe, bei ihrem Laufe über die Unebenheiten des Eises eine so große Oberfläche der Berührung mit der Atmosphäre darbietet, wie wir sie bei keiner anderen Art von Wasseransammlungen wieder finden, so kann uns eine merkliche Absorption der Kohlensäure nicht überraschen. Ich erinnere an die angeführten Versuche über großen Wasserflächen von Saussure und Vogel. Der erstere erhielt eine Differenz von nur $\frac{0,23}{10,000}$, wie von $\frac{1,2}{10,000}$. Doch glauben wir nicht, daß in der größeren Beweglichkeit des Gletscherwassers der einzige Grund dafür gesucht werden müsse. Es fehlen in der Atmosphäre unmittelbar am Gletscher auch die Bedingungen des lebhaften Austausches der Luftschichten; nämlich der aufsteigende Luftstrom; ein Phänomen dessen Wichtigkeit für die Mischung der Atmosphäre vielleicht nirgends so klar wird, als gerade am Gletscher. Die Temperatur der Luft unmittelbar am Eise, das heißt höchstens 1 Decimeter über demselben, fanden wir nämlich ziemlich regelmäßig, selbst an sonst sehr verschiedenen Tagen, we-

nige Decimalen über $+ 2^{\circ}$ C. Der erkältende Einfluß des Gletschers macht sich so sehr geltend, daß die Temperatur der Luft bis auf eine bedeutende Höhe (wir fanden dieselbe bei einem Experimente bis zu 60 Meter zunehmend) immer wächst; erst dann folgt sie dem regelmäßigen Gesetze der Erkaltung mit der Erhöhung ¹⁾. Es wird daher hier über dem Gletscher fast gar kein aufsteigender Luftstrom stattfinden können. Ganz anders verhält sich dieses am Ufer des Gletschers. Die Unterlage erwärmt sich bedeutend durch die directe Besonnung; der Contrast zwischen den anderen sehr kühlen Luftschichten wird daher sehr groß, und es entsteht ein ungemein heftiger aufsteigender Luftstrom, der nach physikalischen Gesetzen eine beständige Mischung der Atmosphäre herbeiführen muß, weil sonst bei ausschließlichem Aufsteigen ein leerer Raum entstehen müßte, was im Freien undenkbar ist. Alex. v. Humboldt hat vorzüglich auf die Bedeutung dieses Stromes im Haushalte der Atmosphären aufmerksam gemacht, und gezeigt, daß selbst größere Objecte, Insekten, Pflanzentheile und ähnliche Gegenstände, denen wir so häufig auf den höchsten Firnen auf den schneebedeckten Gipfeln begegnen, vorzüglich diesem Umstande ihre Dislocation verdanken. Bedenken wir, daß die Mehrzahl der Luftströmungen, nämlich der Winde, in einer der Erdoberfläche fast parallelen Richtung gehen, so muß uns die Wichtigkeit des aufsteigenden Luftstromes schon theoretisch sehr groß erscheinen. Practisch dürfte diese Ansicht eine nicht unbedeutende Unterstützung darin finden, daß unser Antherometer am Gletscher den Mangel an Mischung mit dem Mangel an Erwärmung der Unterlage zusammenfallend darstellte. Wären die Winde allein die mischenden Ursachen (in einzelnen Fällen bringen sie allerdings bedeutende Veränderungen hervor); was müßte geschehen, wenn, wie öfters der Fall ist, mehrere Tage, ja Wochen, Windstille einträte.

1) Wir dürfen diese rein meteorologischen Verhältnisse hier nur flüchtig andeuten, hoffen jedoch später eine ausführliche Zusammenstellung dieser Phänomene veröffentlichen zu können.

Es sind also auch hier nicht die gewaltigen Revolutionen, sondern stetige, wenn auch langsam wirkende Gesetze, wie die Diffusion der Gase und die aufsteigenden Luftströmungen, welche, wie so oft in der Natur, die grössten Wirkungen hervorbringen.

Wir haben die Resultate aller Stationen graphisch darzustellen gesucht (Taf. II, Fig. 6.); einige Worte werden hinreichen sie zu erläutern. Wir haben nämlich als Abscissen für beide Curven die Distanzen unserer Beobachtungen gewählt. Als Ordinaten gelten in der ersten derselben, Höhendifferenzen, in der zweiten, Unterschiede im Kohlensäuregehalt. Da die Reihe der Beobachtung ein willkürliches Moment ist, so hat allerdings keine der Curven eine absolute Geltung, unter sich jedoch werden sie, da bei beiden die Abscissen unverändert sind, als ganz comparabel gelten können.

Versuchen wir nun die bisher abgeleiteten Folgerungen kurz zusammenzufassen, so können wir sagen:

1. Bei anthrakometrischen Versuchen liefern nur *freie* Erhebungen comparable Resultate. Die Höhe hat keinen absoluten Einfluss; in Thälern bringt sie keine Wirkung hervor.
2. Wir finden bis zu einer Höhe von 3365,8 Meter eine progressive Zunahme, glauben aber dort der Gränze eines constanten Maximums nahe gekommen zu seyn.
3. In grossen Höhen sind die Schwankungen geringer als an tieferen Orten.
4. Die unmittelbare Gletscheratmosphäre ist ärmer an Kohlensäure als die Umgebung.
5. Ausser den Winden im gewöhnlichen Sinne, hat vorzüglich der aufsteigende Luftstrom einen bedeutenden Einfluss auf die gleichmässige Vertheilung der Kohlensäure. Wir müssen uns dagegen verwahren, als ob wir zum Schlusse Axiome aus verhältnissmässig wenigen Daten aufstellen wollten. Es geschah nur, um uns die wichtigen Consequenzen nicht zu verhehlen, welche sich von selbst aus diesen Beobachtungen ergeben. Sie machen auf Geltung nur so lange Anspruch, bis es durch weitere Untersuchungen gestattet seyn wird, sie zu modificiren.

Anhang.**Literatur der Originalarbeiten.**

1774. Bergmann in Gehler's phys. Wörterbuch, Bd. II. p. 396.
(Erste Entdeckung der Kohlensäure in der Atmosphäre.)
- 1779—1796. Horace Ben. de Saussure, *Voyages dans les Alpes*. Vol. IV. p. 200, §. 2010. (Entdeckung der Kohlensäure in der Luft am Montblanc, 1787.)
1797. Alex. von Humboldt, Versuche über die Zerlegung des Luftkreises. Braunschweig. (Bericht darüber in Gilbert's Annal. Bd. III. S. 77—90. Von L. A. v. Arnim.)
1801. Fourcroy. *Système des connaissances chimiques*. Paris, Vol. I, p. 158. (Approximative Angaben.)
- 1813—1818. Thénard. *Traité de Chimie élémentaire théorique et pratique*. Paris, Vol. I, (5me edit. p. 303.) Methode, die Kohlensäure durch Wägungen (des Barytniederschlags) zu bestimmen.
1816. Theodor de Saussure. Ueber den verschiedenen Gehalt der atmosphärischen Luft an Kohlensäure. Gilb. Bd. 54, S. 217—231. (Vergleich zwischen Winter und Sommer.)
1820. Prof. A. Vogel in München. Vorläufige Nachricht über die Natur der Seeluft. Gilbert, Bd. 66, S. 93—99. (Versuche an der Nordsee. Geringere Menge der Kohlensäure über dem Meere. S. 96.)
1822. Prof. A. Vogel. Vergleichende Versuche und Bemerkungen über die Bestandtheile der Seeluft. Gilbert, Bd. 72, S. 277—288. (Dasselbe Resultat nach Untersuchungen am Kanal.)
1830. Theodor de Saussure. *Memoire sur les variations de l'acide carbonique*. Geneve; und Poggend. Ann. Bd. XIX, S. 391. (Die vollständigste Reihe aller bisher angestellten Beobachtungen.)
1832. Brunner in Bern. Beschreibung einer Methode, die Menge der in der Atmosphäre enthaltenen Kohlensäure zu bestimmen. Poggendorff, Neue Folge, Bd. 24. Alte Folge Bd. 100, S. 305.
1834. Henry Hough Watson. *Report of the forth meeting of the brit. assoc. for the advanc. of science*, p. 583 und Erdmann's Journal. Bd. VI. S. 75—78. (Experimente 1832 und 1833 zu Bolton. Mittlerer Gehalt $\frac{5,300}{10,000}$ für Stadt-, 4,135 für Landluft.)
1835. Boussingault. *Recherches sur la composition de l'atmosphère*. 2me Memoire. *Compt. rend. hebdomad. I.* p. 36. (Er fand 6,7 bis 8,0 als Maximum.)
1843. Lewy de Copenhague. *Recherches sur la composition de l'air*. *Compt. rend. seance*. 7. Aug. 1843. S. 235—248. (Anomale Erscheinungen durch vulkanische Einwirkung auf Guadeloupe, im Jahr 1842.)