

5. Heller: Münchner medicinische Wochenschrift 1899.
6. Puppe: Deutsche med. Wochenschrift 1894.
7. Verhandlungen der deutschen pathologischen Gesellschaft. 2. Tagung 1899. S. 351—367.
8. Verhandlungen der deutschen pathologischen Gesellschaft. 3. Tagung 1900.

XI.

Zur Ursache der Einwirkung verdichteter und verdünnter Luft auf den Thierkörper.

(Aus dem pneumatischen Institute des Krankenhauses der jüdischen Gemeinde in Berlin. Dirigirender Arzt: Prof. Dr. Lazarus.)

Von

Dr. E. Aron, Assistenzarzt.

(Mit einer Kurve im Text.)

Obwohl die physiologischen Arbeiten über die Einwirkung verdichteter und verdünnter Luft auf den Thierkörper, seitdem diesem Gegenstande Beachtung geschenkt wird, Legionen geworden sind, harren noch heutigen Tages viele einschlägige Fragen einer definitiven Beantwortung. Trotz allen Fleisses, der von den verschiedensten Forschern aufgewendet worden ist, ist bisher noch keine volle Einigkeit darüber erzielt worden, wie in allerletzter Linie die verdichtete Luft einerseits und die verdünnte Luft andererseits auf den Organismus einwirkt, mit anderen Worten, wodurch die Aenderung der Athmung z. B., welche unter verändertem Luftdrucke wohl allseitig anerkannt ist, bedingt wird. Relativ einfach liegen die Verhältnisse noch bei der Luftcompression, während bei der Luftverdünnung viel complicirtere Umstände in Betracht zu ziehen sind. Wir wollen daher zunächst die einfachere Frage studiren, nämlich die, worauf die Aenderung der Athmung in verdichteter Luft zurückzuführen ist. Haben wir diese beantwortet, so wird es vielleicht möglich sein, auch zu der complicirteren, zu der der Luftverdünnung, überzugehen und auch diese eventuell zu lösen.

Bevor wir unsere eigenen Ansichten auseinandersetzen wollen, dürfte es angebracht sein, die bisher herrschenden Anschauungen in Kürze zu recapituliren und zu kritisiren. Zur Erklärung der veränderten Athemmechanik in verdichteter Luft hat wohl am meisten Anhänger der von Vivenot'sche Erklärungsversuch gefunden, welcher bekanntlich besagt, dass die in dem Darmcanale befindlichen Darmgase unter erhöhtem Drucke, dem Mariotte'schen Gesetze entsprechend, comprimirt werden, so dass sie nunmehr ein kleineres Volumen einnehmen. Hand in Hand damit gehe ein Tiefertreten des Zwerchfelles mit consecutiver Lungenerweiterung. Ausser anderen Dingen hat man mit Recht eingeworfen, dass auch Thiere, welche keine Darmgase besitzen, in verdichteter Luft eine Aenderung ihrer Athmung aufweisen. Bei diesen kann also die von Vivenot'sche Lehre keine Anwendung finden. Dass bei den Thierspezies mit Darmgasen diese bei der Luftcompression eine gewisse Rolle spielen werden, soll hiermit natürlich nicht bestritten werden. Dieses Moment allein reicht aber nicht aus, um uns ein volles Verständniss für die mannigfachen Veränderungen des Thierkörpers zu geben, welche wir bei ihm kennen. Dafür, dass diese Compression der Darmgase nicht ganz gering sein kann, spricht auch der Umstand, dass von Vivenot beim Menschen eine messbare Abnahme des Leibesumfanges in verdichteter Luft gefunden hat. Panum hat sich dieser Ansicht angeschlossen. Obwohl die Druckänderung auf jeden Theil der Körperoberfläche gleichmässig einwirke, so sei doch der Effekt der Druckänderung auf die verschiedenen Organe kein gleichartiger, da diese Organe verschiedene Consistenz besitzen; ganz besonders treffe das für das elastische, leicht dehnbare Lungengewebe zu. Panum hat bekanntlich ein sehr anschauliches Schema construirt, welches diese Verhältnisse sehr gut illustriert. Da ich auf dasselbe noch später zurückgreifen werde, möchte ich das Panum'sche Schema etwas ausführlicher erörtern.

Er bediente sich einer Flasche, deren Boden er durch eine Gummimembran ersetzte. Die Flasche ist mit einem durchbohrten Gummipfropfen verschlossen, durch welchen ein Glasrohr gesteckt wird. Dieses Glasrohr endet in der Flasche in einem Gummisacke, der vermittelst des Rohres mit der äusseren Luft frei communicirt. Ausserdem findet sich in der Flasche

eine zweite, allseitig geschlossene Gummiblase, welche die mit Luft gefüllten Därme darstellen soll. Die Flasche ist bis zum Korken mit Wasser gefüllt und repräsentirt die Bauch- und Brusthöhle. Der Gummiboden entspricht den musculösen Wandungen jener Höhlen, die mit dem Glasrohr verbundene Gummiblase der Lunge, das Glasrohr der Trachea. Wird dieses Schema in verdichtete Luft gebracht, so bläht sich die mit der Aussenluft communicirende Gummiblase auf; der Boden wird eingezogen; die allseitig geschlossene Gummiblase hingegen verkleinert sich. Hieraus folgert Panum: dass die Verkleinerung des Volums der Darmgase in comprimirter Luft das Primäre, die Ursache sei, und dass das Zwerchfell erst consecutiv, dieser Compression entsprechend, tiefer trete. Hand in Hand damit gehe eine stärkere Entfaltung der Lunge, genau so, wo dies an unserem Schema beobachtet wird.

Wir haben schon oben gegen diese Theorie einige Bedenken geltend gemacht, welche zwar die Richtigkeit dieser Ueberlegungen nicht bestreiten, jedoch darauf hindeuten, dass diese Theorie nicht in Anwendung kommen kann in allen jenen Fällen, in denen der Thierkörper keine Darmgase besitzt.

Simonoff meint, dass die comprimirte Luft dadurch in einseitiger Weise einwirke, dass die Bronchien sich beim Herabtreten des Zwerchfells erweitern. In Folge dieser Erweiterung des Bronchialbaumes verringert sich die Reibung der Luft bei ihrem Eintritte. Es vermindern sich also in comprimirter Luft die Widerstände für den Lufteintritt.

Auch Knauthé constatirt die Einseitigkeit der Druckwirkung in verdichteter Luft, indem der erhöhte Luftdruck zunächst nur die oberflächlichen Körpertheile, also die Körperoberfläche und die Lunge treffe; ein Ausgleich erfolge erst allmählich. Die mechanische Einwirkung der verdichteten Luft ist nach Knauthé also nur die Wirkung des Druckausgleiches. Ein derartiger allmählicher Druckausgleich, wie ihn Knauthé besonders annimmt, ist von Heinrich Jacobson als allen bekannten, physikalischen Erfahrungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Luftdruckes widersprechend bezeichnet und zurückgewiesen worden.

Bliden¹⁾ glaubt, dass die Vermehrung der Lungen-capacität in comprimirter Luft nicht auf einer Aufblähung,

¹⁾ Bliden, Beiträge zur physiologischen Wirkung des Aufenthalts in comprimirter Luft. Inaug.-Diss. 1881, S. 8.

Volumenzunahme der Lungen beruhen könne, da nach ihm innerhalb und ausserhalb des Thorax derselbe Atmosphärendruck herrscht. Aus unseren späteren Betrachtungen, hoffe ich, wird ersichtlich sein, dass die Dinge doch wesentlich anders liegen, wenn wir von dem Inhalte der Pleurahöhle ausgehen. Bliden kommt also zu dem Schlusse, dass die Vermehrung der Lungencapazität als Folge einer Compressibilität der Gewebe durch den erhöhten Druck entstehe. Solche Compressibilität irgend eines Gewebes durch einen erhöhten Druck, der gleichzeitig allseitig einwirkt, dürfte jedoch kaum physikalisch haltbar sein.

von Liebig geht von einem anderen Gedanken aus. Er erklärt die mechanische Einwirkung der verdichteten Luft damit, dass in Folge der vermehrten Dichtigkeit der Atmosphäre die Expiration erschwert werde. Das dichtere Medium setze der effectvollen Expiration einen grösseren Widerstand entgegen. Die Einathmung hingegen werde durch das dichtere Medium direct unterstützt. Daher verkürze sich die Inspirationsphase, während die Expirationsphase verlängert werde.

Auf den chemischen Effect der comprimirten Luft greift besonders Hoffmann zurück. Der erhöhte Sauerstoffgehalt der comprimirten Luft erleichtere die Sauerstoffaufnahme des Blutes. Das Blutplasma absorbire etwas mehr Sauerstoff. Daher werde die Inspiration weniger tief, da das Sauerstoffbedürfniss des Körpers dadurch leichter gedeckt werde. Hinsichtlich der mechanischen Wirkung comprimirter Luft schliesst er sich Knauth an.

J. Lange macht für die Erleichterung der Athmung und die vergrösserte Lungencapazität in verdichteter Luft eine verstärkte Muskelkraft verantwortlich, welche eine Folge der gesteigerten Sauerstoffaufnahme sei. Die Ergebnisse der Untersuchungen A. Loewy's sprechen nicht für die Richtigkeit dieser Anschauungen. Loewy meint den experimentellen Beweis erbracht zu haben: „dass eine Compression der Inspirationsluft bis auf fast 2 Atmosphären Druck ohne Einfluss auf Quantität und Qualität des respiratorischen Stoffwechsels ist“.

Die Theorien über die Ursache der Einwirkung comprimirter Luft sind also sehr zahlreich, obwohl ich noch nicht einmal alle Theorien erörtert habe. Einen Theil derselben habe ich zurückweisen zu müssen geglaubt, andere, besonders die von Vivenot-

Panum'sche, als nicht erschöpfend gekennzeichnet. Am meisten für sich scheint mir noch die von Liebig'sche zu haben, doch war ich auch von ihr nicht vollkommen befriedigt und möchte mir in Folgendem gestatten, eine andere zu entwickeln, welche mir manches Bestechende zu haben scheint. Vielleicht dürfte dieselbe in der That den Ursachen der Wirkungen comprimierter Luft am nächsten kommen. Ich gehe hierbei von dem Pleura-räume aus. In demselben herrscht bekanntlich ein negativer Druck, welchen Donders¹⁾ an menschlichen Leichen in bekannter Weise bestimmt hat, während ich²⁾ selbst denselben am lebenden Menschen in directer Weise zu messen Gelegenheit gehabt habe. Ich möchte an dieser Stelle einen Theil der Curve vom intrapleuralem Drucke des lebenden, gesunden Menschen wiedergeben, welche ich mit einem Glycerin-Manometer erhalten habe. Die Reproduction dieser Curve musste leider 1900 aus äusseren Gründen unterbleiben. Die Lungen sind über ihre Elasticität ausgedehnt. Da dieser negative Druck nur wenige Millimeter Quecksilber beträgt, so enthält der Pleuraraum noch

¹⁾ Donders, Ztschr. f. ration. Med. No. 7. Bd. 3. 1853.

²⁾ Aron, dieses Arch. Bd. 126. 1891. u. Bd. 160. 1900. Placzek hat in seiner Arbeit „Eine neue Lungenprobe“ (Münchener med. Wochenschr. No. 7, 1902) behauptet, dass Donders den Pleuradruk beim Menschen direct gemessen hat und auf die bekannte Publikation Donders' (Zeitschrift für rat. Med. N. F. Bd. III, 1853) hingewiesen. In Folge meines Einspruches (Münch. med. Woch. No. 13, 1902) hat er diese Quelle preisgeben müssen. Wenn Pl. trotzdem seine Behauptung aufrecht erhalten will, so hätte man ja wohl erwarten dürfen, dass er klar und deutlich und einwandfrei angiebt, wo denn die betreffende Arbeit Donders' existirt, aus der hervorgeht, dass Donders in der That den Pleuradruk beim Menschen direct bestimmt hat. Statt dessen verweist Pl. (Münch. med. Wochenschr. No. 16, 1902) auf das bekannte Lehrbuch der Physiologie von Landois. Ich habe vergeblich die Donders'sche Arbeit gesucht, welche die Richtigkeit der Angabe von Landois und Placzek erhärtet. Donders selbst, ein gewiss einwandfreier Zeuge, sagt in seinem oben citirten Artikel (S. 304): „Die directe Bestimmung des Druckes in der Pleurahöhle liefert bis jetzt unüberwindliche Schwierigkeiten.“ Trotzdem schreibt Pl.: „Hiernach (nach Landois) ist wohl das Anrecht Donders' unbestreitbar.“ Die verbreiteten anderen Lehrbücher der Physiologie,

Luft¹⁾. Luftleer wäre derselbe erst (bei einem Atmosphärendruck von 760 mm Hg bei einem negativen intrapleuralem Drucke von 760. Wir haben also bei einem normalen Thierkörper in der Pleurahöhle ein gewisses, kleines Luftquantum allseitig abgeschlossen. Bringen wir den Thierkörper in verdichtete Luft, so muss sich natürlich dieses Quantum Luft in der Pleurahöhle dem Mariotte'schen Gesetze entsprechend verdichten; es muss ein kleineres Volum einnehmen. Sobald die Compression eintritt, welche mit steigen-



dem Drucke wächst, werden die den Pleuraraum umgebenden und abschliessenden Wände, so weit sie elastisch sind, dieser Verkleinerung entsprechend sich ausdehnen müssen. In aller-

welche ich eingesehen habe, berichten übereinstimmend, dass Donders den Pleuradruck beim Menschen derart bestimmt hat, dass er ein Manometer endständig in die Trachea einband und dann die Pleurahöhlen eröffnete; vergleiche das Handbuch der Physiologie von Hermann, Bd. IV, 2, S. 225, in welchem Rosenthal dieses Kapitel bearbeitet hat, desgleichen die Lehrbücher der Physiologie von Bernstein, Foster, Hermann, Munk, Steiner und nicht zu vergessen das Lehrbuch von Donders selber (S. 399 u. 400, 1856). Bevor also Pl. nicht in der Lage ist, die Arbeit von Donders namhaft zu machen, aus der er seine Behauptung als richtig erweisen kann, muss ich die Angabe desselben, dass Donders den Pleuradruck beim Menschen direct bestimmt hat, als unrichtig zurückweisen. Von einem Prioritätsstreit meinerseits, wie Pl. meint, kann also gar nicht die Rede sein, da ich ja behaupte, dass Donders überhaupt nicht den Pleuradruck beim Menschen direct gemessen hat.

¹⁾ Obwohl es mir fast überflüssig erscheint, möchte ich der Vollständigkeit wegen bemerken: Nehmen wir eine leere Flasche und verschliessen dieselbe mit einem doppelt perforirten Gummistopfen, durch welchen

erster Reihe kommt hierbei die sehr elastische und zarte Lunge in Betracht, welche sich natürlich bei Weitem am meisten entfalten muss. Der Brustkorb, welcher in Folge seiner festeren Rippen relativ unnachgiebig ist, wird diesem Zuge weniger folgen können. (Ist der Thorax verknöchert, wie dies im höheren Alter nicht eben selten zutrifft, so wird an ihm gar keine Einwirkung zu constatiren sein.) Das Zwerchfell als muskulöse, nicht sehr elastische, aber bewegliche Membran muss, da dasselbe der Unterflache der Lunge eng anliegt und ihren Bewegungen auf das Innigste folgt, nach abwärts gedrückt werden, sobald sich die Lungen stärker entfalten. Es muss also tiefer treten. Wir verstehen also, wenn wir von dem normalen Luftinhalte der Pleurahöhle ausgehen, wieso die comprimirt Luft auf den Thierkörper in einseitiger Weise, möchte ich sagen, einwirken kann, warum die Lunge stärker entfaltet wird, warum das Zwerchfell herabsteigt, warum der negative, intrapleurale Druck in verdichteter Luft stärker negativ wird.

Um diese meine Theorie auch experimentell zu stützen, wollen wir uns zunächst diese Verhältnisse an einem Schema vergegenwärtigen, welches mir hierzu sehr geeignet erscheint und mit dem oben beschriebenen Schema Panum's sehr grosse Aehnlichkeit besitzt. Die allseitig geschlossene Gummiblase, welche die Därme repräsentiren sollte, lassen wir fort. Die Gummiblase,

wir zwei Glasröhrchen stecken. Das eine Glasrohr wird mit einem Quecksilber-Manometer, das andere mit einer Luftpumpe verbunden. Saugen wir nun mit der Luftpumpe Luft aus der Flasche heraus, so zeigt unser Manometer sofort einen negativen Druck an, der mit dem Grade des Auspumpens von Luft wächst. Absolut luftleer wird die Flasche (bei einem Barometerstande von 760 mm Hg) erst sein, wenn unser Manometer einen Stand von -760 mm Hg anzeigt. Wählen wir statt der Flasche einen Gummiballon, dessen Inhalt wir gleichfalls mit einer Luftpumpe und einem Hg-Manometer in Verbindung setzen, so wird der Gummiballon gleichfalls erst dann absolut luftleer sein, sobald das Manometer einen Druck von -760 mm Hg anzeigt, wenn wir von einem Barometerstande von 760 mm Hg ausgehen. Uebertragen wir diese Deductionen auf Verhältnisse, wie sie im Thierkörper in der Pleurahöhle obwalten, so ergiebt sich wohl ohne Weiteres, dass die Pleurahöhle nicht absolut luftleer sein kann, da hier bekanntlich nur ein negativer Druck von wenigen Millimetern Hg herrscht.

welche der Lunge entspricht, haben wir so gross gewählt, dass sie fast den ganzen Inhalt der Flasche ausfüllt (sie bleibt etwa 1 cm weit von den Wandungen der Flasche ab, wenn wir sie nicht besonders entfalten). Stellen wir in dem abgeschlossenen Flaschenraume einen geringen, negativen Druck her, etwa wie derselbe in der Pleurahöhle herrscht, so entfaltet sich die Gummiblase stärker und liegt annähernd den Flaschenwänden an. Die Flasche wird nicht mit Wasser gefüllt, sondern es bleibt Luft in ihr. Um nun die Druckverhältnisse in der Flasche verfolgen zu können, verbinden wir den Luftinhalt derselben mit einem Wasser-Manometer und können an diesem genau verfolgen, was passirt, wenn wir unser Schema in comprimirt Luft bringen. Sobald die Luft comprimirt wird, wird die in der Flasche abgeschlossene Luft ein geringeres Volumen einnehmen, und die umgebenden Wände, so weit sie elastisch sind, werden conform dieser Verkleinerung sich stärker entfalten müssen. Vor allen Dingen bemerken wir eine Ausdehnung der Gummiblase, welche mit der äusseren Luft frei communicirt; auch der elastische Flaschenboden folgt der Volumenverkleinerung der in der Flasche abgeschlossenen Luft: er zieht sich ein. In folgender Tabelle sehen wir zahlenmässig, wie sich unser Schema in verdichteter Luft verhält. Bei unseren 3 mitgetheilten Versuchen besteht insofern ein Unterschied, als der Druck im Flaschenraum, von dem wir ausgingen, ein verschiedener war. Die Tabelle giebt hierüber genauere Auskunft. Beim Experimente am 17. April und 9. Mai 1902 entspricht der Druck in der Flasche etwa dem normalen intrapleuralem Druck beim Menschen.

Barometerdruck	9. April 1902		17. April 1902		9. Mai 1902	
	Druck im Flaschenraum	Gummiboden eingezogen	Druck im Flaschenraum	Gummiboden eingezogen	Druck im Flaschenraum	Gummiboden eingezogen
Atm.	cm H ₂ O	cm	cm H ₂ O	cm	cm H ₂ O	cm
1	0	0	— 4,6	1,1	— 6,0	1,2
1 $\frac{1}{4}$	— 1,2	0,5	— 6,4	1,2	— 8,0	1,35
1 $\frac{1}{2}$	— 2,4	1,0	— 8,2	1,3	— 10,0	1,5
1 $\frac{3}{4}$	— 1,3	0,5	— 6,4	1,2	— 8,0	1,35
1	0	0	— 4,6	1,1	— 6,0	1,2

Wir sehen also, dass der negative Druck im Flaschenraume mit steigendem Drucke stärker negativ wird, um mit abnehmendem Drucke wieder weniger stark negativ zu werden. Die mit der Aussenluft communicirende Gummibläse bläht sich in comprimierter Luft auf; der Gummiboden wird eingezogen.

Uebertragen wir diese Verhältnisse auf diejenigen, welche in der Natur im Thierkörper vorliegen, so werden wir ein Ansteigen des negativen intrapleurales Druckes in verdichteter Luft nach unserem Erklärungsversuche, meine ich, vollkommen verständlich finden. Bliden¹⁾ hat nach der Donders'schen Methode nicht den Nachweis führen können, dass in comprimierter Luft der negative intrapleurale Druck sich ändert; doch glaube ich, dass hieran die Versuchsanordnung die Schuld trägt, welche die Donders'sche Methode als solche mit bringt. Ich selbst habe durch directe Messung des intrapleurales Druckes an lebenden Kaninchen eine Zunahme des negativen Druckes eruiert und gebe die damals erhaltenen Zahlen²⁾ hier nochmals wieder. Wenn auch die Zahlen nicht ganz so exact ausgefallen sind, wie bei jenem rein physikalischen Experimente am todten Schema, so besagen sie dennoch im Principe das gleiche, wie jene. Wir werden natürlich berücksichtigen müssen, dass bei derartigen Versuchen am lebenden Thierkörper die Individualität des Versuchsobjectes mitspricht, welche bis zu einem gewissen Grade gewissermaassen störend auf die Gesetzmässigkeit des physikalischen Experimentes einwirken kann.

Barometerdruck	15. December 1894			5. Januar 1895			19. Januar 1895		
	Insp.	Exp.	Grösse der Resp.	Insp.	Exp.	Grösse der Resp.	Insp.	Exp.	Grösse der Resp.
Atm.	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg	mm Hg
1	— 3,21	— 1,43	1,78	— 4,81	— 2,16	2,65	— 6,10	— 0,59	5,51
1 $\frac{1}{4}$	— 3,88	— 2,08	1,80	— 5,96	— 3,35	2,61	— 6,67	— 2,79	3,88
1 $\frac{1}{2}$	— 4,94	— 3,73	1,21	— 7,36	— 6,15	1,21	— 8,59	— 2,93	5,66
1 $\frac{3}{4}$	— 5,00	— 3,89	1,11	— 6,71	— 5,01	1,70	— 6,02	— 0,81	5,21
1 $\frac{1}{2}$	— 4,41	— 2,18	2,23	— 5,54	— 2,32	3,22	— 6,04	— 1,11	4,93
1	— 3,22	— 1,57	1,65	— 4,71	— 1,89	2,82	— 4,88	— 1,01	3,87

¹⁾ Bliden, Beiträge zur physiologischen Wirkung des Aufenthaltes in comprimierter Luft. In.-Diss. 1881.

²⁾ Aron, Ueber die Einwirkung barometrisch verschiedener Luftarten auf den intrapleurales und den Blutdruck bei Kaninchen. Dieses Archiv, Bd. 143, 1896.

Alle diese Zahlen sind Mittelwerthe, berechnet aus 14 Einzelmessungen. Das eine geht wohl unzweideutig aus der mitgetheilten Tabelle hervor: Der negative intrapleurale Druck wird beim Kaninchen mit zunehmender Compression der umgebenden Atmosphäre stärker negativ und wird mit Nachlassen der Luftverdichtung wieder weniger stark negativ. Wächst der negative intrapleurale Druck, so besagt das, dass die Lunge stärker ausgedehnt ist. Sie befindet sich mehr in Inspirationsstellung. Ist aber die Lunge mehr entfaltet, so muss das Zwerchfell dieser Entfaltung entsprechend tiefer treten.

Vergleichen wir mit einander, was wir einerseits an unserem Schema und andererseits bei unseren Thierversuchen erhalten haben, so werden wir eine sehr schöne Harmonie der erhaltenen Thatsachen finden, welche für die Richtigkeit unserer Anschauungen sprechen dürfte. An unserem Schema haben wir die allseitig abgeschlossene und mit Luft gefüllte Gummiblase, welche die Därme repräsentiren soll, und welcher eine so grosse causale Bedeutung von Panum und von Vivenot beigelegt wurde, absichtlich fortgelassen und trotzdem zahlenmässig den Nachweis führen können, dass die Gummiblase, welche der Lunge entspricht, sich in verdichteter Luft stärker aufbläht, dass der negative Druck in der Flasche stärker negativ wird. Das besagt, dass auch ohne jene supponirte Wirkung der Darmgase eine Veränderung in dem charakterisirten Sinne eintritt. Aehnlich verhält es sich beim Thierkörper. Auch bei Kaninchen, welche bekanntlich so gut wie keine oder nur wenig Darmgase besitzen, haben wir alle jene Veränderungen in comprimierter Luft nachgewiesen. Wir haben aber auch gar nicht jene so oft citirten Darmgase nöthig, um den mechanischen Einfluss der verdichteten Luft auf den Thierkörper verständlich zu finden, wenn wir, wie ich dies gethan habe, von dem Luftinhalte der Pleurahöhle ausgehen, der bei Aenderung des Atmosphärendruckes sein Volumen gleichfalls ändern muss. Sind Darmgase vorhanden, so müssen diese in verdichteter Luft natürlich gleichfalls ein kleineres Volumen einnehmen, vorausgesetzt, dass sie nicht nach aussen entweichen, und dieser Umstand kann also die Wirkung comprimierter Luft auf die Lungen- und Zwerchfellstellung unterstützen und erhöhen.

Dass diese Veränderung des intrapleurale Drucks in verdichteter Luft auf die Herzthätigkeit von Einfluss sein muss, das ist nur natürlich. In wie hohem Maasse der intrapleurale Druck auf die Herzaction und die Blutströmung einzuwirken vermag, das hat Donders¹⁾, Zuntz²⁾, v. Liebig u. A. erwiesen. Auch ich³⁾ habe an Thierexperimenten in comprimierter Luft, welche gleichzeitig Blutdruck und Pleuradruk bestimmten, diesen Effect gezeigt. Auch bei Thierversuchen über den Pneumothorax, bei denen gleichfalls sowohl der Blut- wie der Pleuradruk verfolgt wurde, habe ich⁴⁾ diesen Zusammenhang eruiert. Ferner erinnere ich nur an den Valsalva'schen und Müller'schen Versuch, welche diese Verhältnisse, wenn sie auf das Aeusserste getrieben werden, wie Schreiber⁵⁾ graphisch dargestellt hat, in sehr schöner und prägnanter Weise illustriren. Ich glaube also, dass man in der That in ungezwungener Weise viele, um nicht zu sagen alle Beobachtungen, welche wir am Thierkörper in comprimierter Luft gemacht haben, erklären und verstehen kann als Folgen des geänderten Pleuradrucks. Vielleicht mögen hier noch bis zu einem gewissen Grade die Momente mit in Betracht kommen, auf welche von Liebig besonderen Werth legt, dass nämlich die verdichtete Luft als solche in Folge ihres dichteren Mediums der Ausathmung einen gewissen Widerstand entgegengesetzt, während andererseits dieses dichtere Medium die Einathmung unterstützt. So erklärt er eine Verlängerung der Expiration und eine Verkürzung der Inspiration.

¹⁾ Donders, Beiträge zum Mechanismus der Respiration und Circulation im gesunden und kranken Zustande. Zeitschr. f. rat. Med., N. F. III, 1853.

²⁾ Zuntz, Beiträge zur Kenntniss der Einwirkung der Athemmechanik auf den Kreislauf. Arch. f. Physiologie. 1878, XVII.

³⁾ Aron, Dieses Archiv, 1896, Bd. 143, S. 406/7. Ich möchte bei dieser Gelegenheit bemerken, dass in den Tabellen ein Druckfehler stehen geblieben ist. Die Werthe des gemessenen Blutdruckes sind cm Hg, nicht mm Hg.

⁴⁾ Aron, Die Mechanik und Therapie des Pneumothorax. Berlin, 1902. S. 26/27.

⁵⁾ Schreiber, Ueber den Einfluss der Athmung auf den Blutkreislauf. Arch. f. experiment. Pathol. u. Pharmacol., Bd. 12, 1880.

Natürlich fällt bei unserem todten Schema jeder etwaige, chemische und nervöse Effect, welcher der verdichteten Luft eventuell innewohnt, vollkommen fort. Ich glaube jedoch, dass besonders der chemische Einfluss, welchen comprimirt Luft in Folge ihres höheren Partiardruckes an Sauerstoff besitzen könnte, nur ein ganz minimaler sein kann, der kaum in Betracht kommt, da ja schon bei Athmung gewöhnlicher atmosphärischer Luft beim normalen Thierkörper das Blut mit Sauerstoff annähernd gesättigt wird, so dass es wirklich schwer verständlich ist, wie denn einem Plus an Sauerstoff noch eine besondere, eclatante Wirkung zuzuschreiben ist. Unter diesen Umständen dürfte doch ein Plus an Sauerstoff wohl nur als ein überflüssiger Luxus wirken. Was schliesslich noch den nervösen Effect betrifft, den Bliden in der verdichteten Luft sucht, so ist derselbe, wie Lazarus¹⁾ sagt, „zum mindesten sehr gewagt“ und dürfte kaum geeignet sein, unser Verständniss besonders zu fördern. Vielleicht ist es nicht ganz überflüssig zu bemerken, dass möglicher Weise, wenn die comprimirt Luft längere Zeit hinter einander einwirkt, nach und nach eine Anpassung des Thierkörpers an diese veränderten, äusseren Umstände dadurch eintritt, dass allmählich der erhöhte, negative, intrapleurale Druck sich wieder mehr der Norm nähert. Es dürfte kaum Schwierigkeiten bieten, dies zu verstehen. Der stärkere, negative Druck in der Pleurahöhle als solcher kann ja wohl, sei es aus den Blut-, sei es aus den Lymphbahnen, Gas ansaugen, so dass der intrapleurale Druck wieder sinkt. Dafür, dass diese Gasattraction keine zu intensive und rapide wird, dafür sorgt einerseits die Grösse der Druckänderung selbst und andererseits auch die Wandungen der Gefässe, welche einen Gasaustritt durch Diffusion wohl zulassen, aber nicht so ohne Weiteres einen solchen in Form von Luftblasen. Für die Möglichkeit eines solchen Gasaustausches sprechen die Ergebnisse von Experimenten Ewald's und Kobert's²⁾, wenn auch nur von diesen Autoren ein derartiger Gasaustritt bei extremsten Drucksteigerungen nachgewiesen worden ist.

Nachdem wir die Frage der Einwirkung verdichteter Luft auf den thierischen Organismus erörtert haben, wollen wir es

¹⁾ Lazarus, Pneumato-Therapie, 1898, S. 753.

²⁾ Ewald und Kobert, Ist die Lunge luftdicht? Pflüger's Archiv, Bd. 31, 1883.

unternehmen, die gleichen Betrachtungen auch über die Wirkung der verdünnten Luft auf den Thierkörper anzustellen. Bevor wir zu unserem eigenen Erklärungsversuche übergehen, möchten wir in Kürze die Theorien anderer Forscher recapituliren. Es ist eine noch keineswegs einheitlich gelöste Frage, worauf der Effect der Luftverdünnung basirt, ob derselbe einzig und allein ein chemischer Einfluss ist, da die verdünnte Luft weniger Sauerstoff enthält, oder ob derselbe ein rein mechanischer ist, indem das dünnere Medium als solches die Athmung tangirt, oder aber, ob beide Momente gleichzeitig in Betracht kommen, sowohl der chemische, wie auch der mechanische Einfluss der verdünnten Luft. P. Bert und A. Loewy stehen auf dem extrem chemischen Standpunkte. Sie halten den Beweis für erbracht, dass nur die O-Verarmung der Luft die Ursache für alle Veränderungen sei, welche wir in verdünnter Luft am Thierkörper nachweisen können. Wenn wir eine gesteigerte Lungenventilation in verdünnter Luft als erwiesen zugeben, so dürfte es kaum zulässig sein zu behaupten, dass in verdünnter Luft die Mechanik der Lungenathmung nicht geändert werde. Beide Dinge lassen sich kaum mit einander vereinbaren. Nur wenn sich die Mechanik der Athmung ändert, kann doch wohl die Lungenventilation (der nicht reducirten Werthe) wachsen. Dass noch eine Reihe anderer Momente eine geänderte Athemmechanik in verdünnter Luft erweisen, will ich nur nebenbei bemerken. Ich denke besonders an die Aenderung der Lungencapacität, der Athemcurve, des intrapleurales und intratrachealen Druckes, der phthysmographischen Athemnoth u. s. f. Alle diese Dinge sprechen eindeutig dafür, dass auch die Mechanik der Athmung in verdünnter Luft eine Aenderung erfährt. Waldenburg vertritt die entgegengesetzte Ansicht, indem er einen rein mechanischen Einfluss in der Luftverdünnung sucht. Eine vermittelnde Stellung nimmt von Liebig ein, der beide Momente verantwortlich macht. Lazarus und ich haben sich diesem hierin angeschlossen. Ich selbst habe experimentell diese Frage zu lösen versucht. Nach meinen Versuchen an Thieren¹⁾ und auch am Menschen²⁾ glaube ich den Beweis erbracht zu

¹⁾ Aron, Zur Ursache der Erkrankung in verdünnter Luft. Festschrift Lazarus, Berlin 1899.

²⁾ Aron, Zur Ursache der Erkrankung in verdünnter Luft. (Nach Versuchen am Menschen.) Zeitschr. f. klin. Med., Bd. 42, 1900.

haben, dass neben dem chemischen Effect noch eine mechanische Einwirkung in der verdünnten Atmosphäre zu suchen ist.

Eine sehr geistreiche und hochinteressante Theorie zur Erklärung dessen, was wir ganz allgemeinesprochen als Bergkrankheit bezeichnen, ist hier zu erwähnen, die Mosso's. Dieselbe besagt, dass unter vermindertem Luftdrucke das arterielle Blut einen beträchtlichen Theil seines Kohlensäuregehaltes verliert. Dieser Verlust des Blutes an Kohlensäure ruft früher pathologische Erscheinungen hervor, als der Mangel der verdünnten Luft an Sauerstoff. Mosso bezeichnet diesen Zustand als Akapnie. Ich will natürlich nicht bestreiten, dass das Blut in verdünnter Luft weniger Kohlensäure enthält, als unter Atmosphärendruck. Das Blut wird in verdünnter Luft entgast, ähnlich wie unter der Ludwig'schen Quecksilber-Luftpumpe. Diese Entgasung betrifft jedoch gleichzeitig auch die übrigen Blutgase. Der Mindergehalt des Blutes an Kohlensäure mag also bei dem Zustandekommen der Bergkrankheit eine gewisse Rolle spielen, nur meine ich, nicht die einzige. Dafür, dass die Akapnie in der That in der Aetiologie dieses krankhaften Zustandes mit in Betracht kommt, spricht die interessante Beobachtung A. Loewy's¹⁾, der nachgewiesen hat, dass die Beschwerden in verdünnter Luft nachlassen, wenn man den Kohlensäuregehalt der zu inspirirenden Luft erhöht. Die Kohlensäurezufuhr vertieft die Athmung, und es ist nicht ganz leicht zu entscheiden, ob die Vertiefung der Athmung als solche die Verbesserung des Allgemeinbefindens bedingt, was A. Loewy meint, oder ob diese Verbesserung durch die gesteigerte Kohlensäuremenge des Blutes hervorgerufen wird. Mosso hat nun zur Bekämpfung der Bergkrankheit, seiner Theorie getreu, die Einathmung einer kohlensäurereicheren Luft empfohlen. Mir persönlich scheint diese Therapie im höchsten Maasse unzuweckmässig zu sein. Die Bergkrankheit tritt bekanntlich bei einem bestimmten Grade der Luftverdünnung erst dann ein, wenn die Reservekräfte der Lunge erlahmen. So lange die Lunge durch tiefere oder frequentere Respirationen das Luft-

¹⁾ A. Loewy, Untersuchungen über die Respiration und Circulation bei Aenderung des Druckes und des Sauerstoffgehaltes der Luft. Berlin, 1895, S. 21.

deficit (qualitativ) ausgleichen kann, erfolgt keine Erkrankung. Erst wenn dieser Ausgleich nicht mehr möglich ist, wird der Organismus „bergkrank“. Gelingt es uns nun durch irgend einen Reiz, wie es Mosso will durch Kohlensäure, die Athemmuskulatur noch zu weiterer, ergiebigerer Thätigkeit anzuspannen, so mögen ja vorübergehend die schon erschöpften Muskeln mit Aufbietung ihrer letzten Kräfte nochmals zu erhöhter Arbeit angestachelt werden, ähnlich wie ein erschöpftes Pferd durch die Peitsche noch eine Strecke weiter angetrieben werden kann, bis auch die Peitsche nichts mehr nützt, und das Pferd todt hinfällt. Ganz ähnlich erscheint mir die Kohlensäuretherapie bei der Bergkrankheit. Hätten wir kein anderes Mittel, so würden wir natürlich zur Bekämpfung derselben auf die Kohlensäure-Einathmungen nicht verzichten wollen; denn schliesslich ist ein Mittel, das vorübergehend helfen kann, besser als gar kein Mittel. Stets müssen wir jedoch eingedenk bleiben, dass die Kohlensäure gewisse Gefahren in sich birgt, indem sie, zu oft oder zu lange angewendet, eine plötzliche Lähmung der überangestregten Athemmuskeln begünstigen kann. Wir besitzen aber nach meiner Ansicht, conform mit P. Bert und Lazarus, welche freilich von Mosso bestritten wird, für die Bergkrankheit ein besseres, ich möchte fast sagen causales und kraftschonendes Mittel; es ist dies die Einathmung reinen Sauerstoffs. Dieser vermag in idealster Weise einen Theil der Gefahren zu beseitigen, welche die verdünnte Luft in sich birgt. Dass die Zufuhr reinen Sauerstoffs in der That als Heilmittel bis zu einer gewissen Grenze zu wirken im Stande ist, beweist vor Allem der nicht zu verkennende, wohlthätige Einfluss desselben auf das subjective Allgemeinbefinden, wenn man in verdünnter Luft in der pneumatischen Kammer dieses Gas einathmet, wie dies P. Bert und ich oft genug praktisch erfahren haben. Desgleichen spricht hierfür die günstige Beeinflussung der Athmung als solcher durch Einathmung reinen Sauerstoffs in verdünnter Luft, welche ich bei Thieren und auch am Menschen habe nachweisen können. Die Athmung wird verlangsamt und wird oberflächlicher, und trotzdem wird das Allgemeinbefinden gebessert. Die Athemmuskeln werden also geschont und nicht, wie durch Kohlensäureinhalationen, zu noch tieferen Inspirationen

angeregt. Auch die frequente Pulszahl geht, wie P. Bert gezeigt hat, bedeutend herab, sobald der Sauerstoffgehalt der verdünnten Luft erhöht wird. Also auch die Herzaction wird geschont. Dass man trotz Mitnahme reinen Sauerstoffs nicht jede beliebige Höhe (bei Ballonfahrten und in pneumatischen Kammern) erreichen und überschreiten kann, das ist meine feste Ueberzeugung. Es bleibt eben trotz Sauerstoffathmung ein mechanischer Effect der verdünnten Atmosphäre bestehen, welcher schliesslich so gross werden kann, dass man gar nicht mehr zu athmen im Stande ist, auch wenn man noch so viel reinen Sauerstoff bei sich führt. Schliesslich wird man trotz Sauerstoffüberschusses in der auf das Aeusserste verdünnten Atmosphäre ersticken!

Nachdem wir nunmehr den chemischen Einfluss, welcher der verdünnten Luft innewohnt, wie ich meine, in ausreichender Weise erörtert haben, kommen wir zu dem zweiten Factor derselben, dem mechanischen Effect, und wollen ihn beleuchten. Pravaz betont schon die mechanische Einwirkung der verdünnten Atmosphäre auf die Athmung. Nach ihm können sich in verdünnter Luft die Lungen nur weniger entfalten, da die Lungen nur durch den Luftdruck als solchen sich ausdehnen. Ganz ähnlich erklärt auch von Liebig den mechanischen Einfluss der verdünnten Atmosphäre. Die Zusammenziehung der Lunge, die Expiration erfolge in dem dünneren Medium schneller und auch stärker, während gleichzeitig die Inspiration erschwert und verlangsamt werde. von Liebig trägt, was ich betonen möchte, auch dem chemischen Effect der verdünnten Luft voll Rechnung. A. Loewy¹⁾ erklärt die Aenderung der vitalen Lungencapacität in verdünnter Luft nach dem Vorgange Panum's und von Vivenot's durch die unter diesem verminderten, äusseren Drucke ausgedehnten Darmgase, welche der Contraction des Zwerchfells einen stärkeren Widerstand entgegensetzen. Wenn ich auch die Richtigkeit dieser Anschauung keineswegs bestreiten will, so kann doch dieser Umstand allein uns nicht die Veränderungen erklären, welche wir in verdünnter Luft an den Thierkörpern kennen gelernt haben. Einerseits werden die Darmgase, sobald sie unter

¹⁾ A. Loewy, a. a. O. S. 42.

verdünnter Luft sich stärker ausdehnen, auf dem natürlichen Wege nach aussen entweichen, und dann überhaupt nicht mehr in Frage kommen, und andererseits kennen wir ganze Thierclassen, welche, obwohl sie keine Darmgase besitzen, trotzdem unter vermindertem Luftdrucke eine Aenderung ihrer Athemmechanik aufweisen. Also dieser Erklärungsversuch trifft nur in bedingter Weise zu. Nicht unerwähnt will ich noch die Kرونекер'sche Ansicht lassen, welcher die Bergkrankheit aus Störungen des Kreislaufes ableitet. Obwohl ich eine Einwirkung der verdünnten Luft auf den Blutkreislauf zugebe und auch in Thierexperimenten¹⁾ nachgewiesen habe, so glaube ich doch, dass diese Kreislaufstörung die Folge der geänderten Lungenstellung ist, und nicht als die Ursache der Bergkrankheit angesehen werden darf. Ich habe in meinen schon erwähnten Experimenten an Kaninchen in prägnanter Weise die innigen Beziehungen des Blutdruckes und des intrapleurales Druckes gezeigt, und hoffe, dass ich in Folgendem den weiteren Nachweis erbringen werde, dass in der That die Aenderung des intrapleurales Druckes das Primäre, Causale sei, welche die Herzthätigkeit beeinflussen muss, da wir zur Genüge wissen, wie jede Athemphase, wie jede tiefe oder oberflächliche Athmung, mit einem Worte, jede Aenderung der Athmung direct auf die Herzthätigkeit einwirkt. Auch die nervösen Einflüsse (vasomotorische Nerven) werden bei dem Zustandekommen der Bergkrankheit gewiss Berücksichtigung verdienen, worauf Lazarus²⁾ in seinem sehr wichtigen Vortrage mit besonderem Nachdrucke hingewiesen hat.

Nunmehr können wir wohl zu unserem eigenen Erklärungsversuche übergehen, wie wir uns die Einwirkung der verdünnten Atmosphäre auf den Thierkörper vorstellen. Ich hoffe, dass es mir gelingen wird, diese Ansicht durch einige Untersuchungen zu stützen. Ich verhehle mir keineswegs, dass bei unseren Betrachtungen über den Einfluss der verdünnten Luft die Dinge viel

¹⁾ Aron: Ueber die Einwirkung barometrisch verschiedener Luftarten auf den intrapleurales und den Blutdruck bei Kaninchen. Dieses Archiv 1896. Bd. 143, S. 411.

²⁾ Lazarus: Bergfahrten und Luftfahrten in ihrem Einfluss auf den menschlichen Organismus. Berl. Klin. Wochenschr. 1895 No. 31.

complicirter liegen, und dass besonders unser Schema nicht entfernt das Gleiche zu leisten vermag, wie in comprimirter Luft. Wir werden also in der Deutung unserer Befunde bei Luftverdünnung sehr grosse Vorsicht beobachten müssen, da ja hierbei ausser dem mechanischen Effect der verdünnten Atmosphäre noch ein zweiter Factor in Frage kommt, der chemische, welcher gewiss nicht vernachlässigt und unterschätzt werden darf. An unserem toten Schema aber können wir natürlich von diesem chemischen Einfluss der verdünnten Luft garnichts verspüren und demonstriren. Unser Schema illustirt also nur den mechanischen Effect, den die Luftverdünnung als solche in sich birgt. Trotzdem denke ich, dürfte es nicht überflüssig sein, diese Verhältnisse unter verdünnter Luft an demselben zu studiren. Ich hoffe, dass es dadurch klarer werden wird, als dies bisher vielleicht der Fall gewesen ist, wie gross und bedeutungsvoll dieser Factor ist, und dass dieser Factor keineswegs geleugnet werden darf, wie dies von mancher Seite geschehen ist. Unsere Experimente in der pneumatischen Glocke lassen nur in gewissen Grenzen einen Vergleich mit den Untersuchungen im Hochgebirge zu, wie ich dies bereits früher einmal ausgeführt habe, da hier noch mancherlei andere Momente hinzukommen, welche nicht ganz unbedeutend sind. Beide Dinge so ohne Weiteres in eine Parallele zu stellen, ist daher unzulässig. Bringen wir unser Schema in der pneumatischen Glocke unter verdünnte Luft, so können wir an dem Manometer genau verfolgen, wie sich der Druck in dem abgeschlossenen Flaschenraume bei der Luftverdünnung verändert. Wir haben in dem Flaschenraume in den Experimenten verschiedene Drucke hergestellt und dann die Luft verdünnt. Die folgende Tabelle giebt unsere Resultate übersichtlich an.

Beim Versuch am 26. April gingen wir von einem negativen Drucke im Flaschenraume von 5 cm H_2O aus, annähernd so gross also, wie er in der Pleurahöhle des Menschen herrscht. Wir erkennen, dass der negative Druck in dem Flaschenraume mit zunehmender Luftverdünnung weniger negativ wird, um bei $\frac{1}{2}$ Atmosphäre sogar gleich 0 zu werden. Die vorher gut entfaltete Gummibläse wird hierbei kleiner und schliesslich ganz schlaff. Der Gummiboden, der Anfangs eingezogen war, wird flacher.

Wenn wir die Ursache für diese Veränderungen unseres Schemas in verdünnter Luft suchen, so werden wir sie unschwer in dem Verhalten des in dem Flaschenraume abgeschlossenen Luftquantums finden. Dieses Luftquantum wird in verdünnter Luft, dem Mariotte'schen Gesetze entsprechend, ein grösseres Volumen einnehmen müssen. Daher werden die Wandungen dieses abgeschlossenen Luftraumes, soweit sie elastisch sind, nach aussen gedrückt; der Gummiboden wird abgeflacht.

Barometerdruck Atm.	8. Mai 1902		26. April 1902		5. Mai 1902	
	Druck im Flaschenraum cm H ₂ O	Gummiboden vorgewölbt cm	Druck im Flaschenraum cm H ₂ O	Gummiboden eingezogen cm	Druck im Flaschenraum cm H ₂ O	Gummiboden eingezogen cm
1	0	0	— 5,0	1,1	— 6,0	1,2
$\frac{3}{4}$	+ 0,2	+ 0,1	— 2,5	0,9	— 3,4	1,0
$\frac{1}{2}$	+ 0,3	+ 0,2	0	0	0	0
$\frac{1}{4}$	+ 0,2	+ 0,1	— 2,5	0,9	— 3,4	1,0
1	0	0	— 5,0	1,1	— 6,0	1,2

Nachdem wir diese Verhältnisse an dem Schema studirt haben, wollen wir unsere diesbezüglichen Thierexperimente recapituliren. Wir werden hierbei wiederum nicht die gleiche Genauigkeit erwarten dürfen, wie wir sie in jenem rein physikalischen Experimente an unserem todtten Schema erhalten haben, da die Individualität des Thierkörpers hierbei mitspricht und die latenten Reservekräfte der Athemmuskeln, welche in Thätigkeit treten, gewissermassen störend einwirken. Trotzdem werden wir an den Zahlen, welche wir in der folgenden Tabelle

Barometerdruck Atm.	22. Dezember 1894			12. Januar 1895			2. Februar 1895		
	Inspir. mm Hg	Exp. mm Hg	Grösse der Respir. mm Hg	Inspir. mm Hg	Exp. mm Hg	Grösse der Respir. mm Hg	Inspir. mm Hg	Exp. mm Hg	Grösse der Respir. mm Hg
1	—8,44	—2,50	5,94	—4,22	—3,36	0,86	—4,37	—0,95	3,42
$\frac{3}{4}$	—7,60	—1,08	6,52	—4,10	—2,62	1,48	—3,38	+0,48	3,86
$\frac{1}{2}$	—3,98	—0,88	3,10	—3,45	—1,92	1,53	—1,78	+0,80	2,58
$\frac{1}{4}$	—	—	—	—3,55	—2,12	1,43	—2,11	+0,33	2,44
$\frac{1}{2}$	—7,53	—1,89	5,64	—4,37	—3,23	1,14	—3,93	—0,23	3,70
1	—8,06	—3,57	4,49	—5,45	—3,91	1,54	—3,69	—3,69	2,53

niedergelegt haben, erkennen, dass auch am Thierkörper in der Pleurahöhle die Druckkräfte in dem gleichen Sinne sich ändern, wie an dem Schema. Dann möchte ich noch bemerken, dass bei unseren Thierversuchen natürlich auch die chemische Veränderung der verdünnten Atmosphäre mit zum Ausdruck kommt.

Wir sehen also nach den mitgetheilten Zahlen der Thierexperimente, dass der negative intrapleurale Druck mit steigender Luftverdünnung geringer negativ¹⁾ wird. Diese Abnahme des intrapleuralen Druckes kann so gross werden, dass der expiratorische Werth desselben (vergl. Versuch am 2. Februar 1895) sogar positiv wird. Wenn wir uns nach der Ursache dieses gewiss bemerkenswerthen Factums fragen, so werden wir wohl wieder auf das in der Pleurahöhle des Thierkörpers abgeschlossene Luftquantum hingedrängt, welches in der verdünnten Atmosphäre ein grösseres Volum einnimmt. In dem Maasse, wie die Luft der Pleurahöhle sich ausdehnt, wird natürlich die elastische Lunge zusammengedrückt; sie wird mehr in die Expirationsstellung gebracht. Das Zwerchfell hingegen, das keine elastische, sondern eine musculöse, bewegliche Membran ist, wird natürlich weniger von dieser Veränderung betroffen, welche sich fast ausschliesslich an den sehr elastischen Lungen abspielt. Da das Zwerchfell der unteren Fläche der Lunge innig anliegt, so wird dasselbe bei der veränderten Lungenstellung dieser folgen und nach aufwärts steigen. Hier finden wir also

¹⁾ Heller, Mager und von Schrötter behaupten zwar in ihrem umfangreichen Werke „Luftdruckerkrankungen mit besonderer Berücksichtigung der sogenannten Caisson-Krankheit“, Wien, 1900, auf Seite 124: „Der negative intrapleurale Druck ist derselbe bei Luftverdünnung wie unter gewöhnlichem Barometerdruck und nimmt nicht ab, wie Aron meint.“ Ich weiss nicht, ob die Autoren meine diesbezügliche Arbeit (dieses Archiv Bd. 143, 1896) gelesen haben. Jedenfalls hätten sie sich davon überzeugen können, dass ich nicht eine einfache „Meinung“ geäussert habe, sondern dass ich durch Thierexperimente den Beweis für die Richtigkeit dieser Thatsache erbracht habe. Wenn Heller, Mager und von Schrötter die Resultate meiner Experimente bekämpfen, so hätten sie den etwas mühsamen Weg des Experimentes betreten müssen. Statt dessen negiren sie einfach durch Experimente gestützte Ergebnisse, die zu ihren Anschauungen nicht passen!

einen wesentlichen Unterschied von unserem Schema, bei dem der Flaschenboden gleichfalls von einer elastischen Gummimembran hergestellt war. Die Thoraxwandungen, welche viel weniger elastisch sind als die zarte Lunge, werden von dieser Druckänderung weniger intensiv betroffen.

Wirkt dieser veränderte Luftdruck längere Zeit ein, so dürfte in ähnlicher Weise, wie wir es bei der Luftcompression besprochen haben, eine allmähliche Anpassung an die veränderte, äussere Atmosphäre dadurch eintreten, dass durch Luftresorption nach und nach der geringe, renegative, intrapleurale Druck sich wieder mehr der Norm nähert, so dass dann eine mechanische Einwirkung der verdünnten Luft nur in beschränkter Weise auf den Thierkörper einwirkt. Das bezeichnen wir wohl mit dem Worte *Acclimatisation*. Ob überhaupt und in welcher Zeit ganz normale Verhältnisse in verdünnter Luft sich wiederherstellen, das ist wohl noch unbekannt.

Bei jenen Thierspecies, welche Darmgase besitzen, mag ja die Volumenveränderung derselben in verdünnter Luft, so weit sie nicht entweichen, gleichfalls in Betracht kommen. Dass bei dem geänderten intrapleuralem Drucke unter verdünnter Luft der Blutdruck und die Herzthätigkeit und auch die Chemie der Athmung geändert werden müssen, das scheint mir nur folgerichtig zu sein. Treibt man die Luftverdünnung immer weiter, so wird der Thierkörper schliesslich zu Grunde gehen müssen, wenn meine Ausführungen über die Aenderung des normalen Luftgehaltes der Pleurahöhle zutreffen. Schliesslich wird eben der Pleuradruck auf beiden Seiten ein positiver werden müssen. Dabei ist dann eine sufficiente Athmung nicht mehr möglich. Da dürfte es auch nichts nützen, wenn wir reinen Sauerstoff einathmen lassen und so das chemische Minus der verdünnten Atmosphäre ersetzen.

Meinem verehrten Chef, Herrn Professor Lazarus, gestatte ich mir auch an dieser Stelle meinen besten Dank für das freundliche Interesse auszusprechen, das derselbe auch dieser Arbeit entgegengebracht hat.