

## Zur Kritik der Verwendbarkeit der plethysmographischen Curve für psychologische Fragen.

Von  
ROBERT MÜLLER.

### I. Der Plethysmograph und die einzelne Volum- pulscurve.

1. Nachdem W. WUNDT im ersten Bande seiner damals erscheinenden Völkerpsychologie bestimmten Anschauungen über die Ausdruckserscheinungen von Gefühlen und Affecten am Circulations- und Respirationsapparat Ausdruck verliehen hatte, wobei er auch eingehend das Plethysmogramm berücksichtigte, (vgl. S. 40—44), veranlasste er im Winter 1899 im Institut für experimentelle Psychologie zu Leipzig eine Untersuchung darüber, bei der zum Ausgangspunkt der Einfluss gefühlsbetonter Sinnesreize auf den Gefäßapparat genommen wurde. Das Ergebnis derselben war zunächst, daß nach jener Einwirkung von („gefühlsbetonten“) Sinnesreizen ausgesprochene und ziemlich mannigfaltige Erscheinungen am Circulationsapparat auftreten, welche mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorwiegend als Gefäßreflexe aufgefaßt werden können. Da aber die Ergebnisse wesentlich von den Angaben der bisherigen Autoren differiren, bzw. zu Gesichtspunkten führten, die bisher von Seiten der Psychologen keine Berücksichtigung gefunden haben, so empfiehlt es sich vielmehr, auf diese Dinge einzugehen, als sich sofort an die Besprechung jener Erscheinungen zu wenden, da es ohne eine eingehende Erörterung des Wesens des Plethysmogramms unmöglich ist, eine einigermaßen sichere Grundlage für die weitere Untersuchung zu gewinnen.

Da die schließliche Aufgabe der Fragestellung eine psychologische ist, so war von selbst das Untersuchungsobject im

Menschen gegeben und damit waren selbstverständlich alle Wege directer Ermittlungen, die irgendwelche präparatorische oder vivisectorische Eingriffe voraussetzen, ausgeschlossen; der einzig mögliche Weg bestand darin, aus den Aenderungen der am Menschen gewinnbaren graphischen Aufzeichnungen der circulatorischen und respiratorischen Erscheinungen den physiologischen Charakter jener Processe zu erschliessen. Es erschien aber wünschenswerth, soweit irgend möglich die physiologischen Verhältnisse jener weiterhin als Ausdruckerscheinungen gedeuteten Vorgänge zu ermitteln. Da bei der Verwerthung der Curven für psychologisch gerichtete Schlussfolgerungen die Schwierigkeiten ganz ausserordentlich grosse sind, so mag jene vorläufig ganz ausgeschlossen bleiben, indem vorher eine ganze Reihe anderer Dinge zu bearbeiten ist. Bis jetzt scheinen mir aber die Grundlagen der Benutzung und Interpretation der plethysmographischen Curve von Seiten der Psychologen durchgängig unklare und unsichere zu sein. So schreibt z. B. WUNDT: „Auch kommt in Betracht, daß die plethysmographischen Curven überhaupt, da sie Superpositionen von Puls-, Gefäß- und eventuell Athmungswirkungen sind, eine ergänzende Untersuchung dieser Partialsymptome erfordern.“<sup>1</sup> Zur Gewinnung der plethysmographischen Curven, oder, wie wir sie von vornherein bezeichnen wollen, der Volumpulscurven, diene die von LEHMANN<sup>2</sup> angegebene Form des Plethysmographen.

2. Das Princip, auf dem der Plethysmograph beruht, ist eigentlich schon von POISEUILLE in die physiologische Technik eingeführt worden<sup>3</sup>; denn dieser hat bereits zur Untersuchung der Volumschwankungen und Formänderungen einer Arterie während einer vollständigen Pulsphase eine Vorrichtung benutzt, welche auf dem Princip der Flüssigkeitsverdrängung bei der pulsatorischen Volumschwankung beruht, nur daß er dasselbe auf die einzelne bloßgelegte Arterie überträgt. Der Apparat besteht aus einem etwa 30 mm langen und 15 mm breiten Kästchen, an dem eine graduirte Manometerröhre angebracht ist, in der das Wasser bei zunehmender Füllung steigt und bei abnehmender

---

<sup>1</sup> WUNDT. Völkerpsychologie. I. Erster Theil. S. 44 Anm.

<sup>2</sup> A. LEHMANN. Die körperlichen Aeufserungen psychischer Zustände. Uebersetzt von T. BENDIXEN. Erster Theil. S. 13—32.

<sup>3</sup> Vgl. LANDOIS. Arterienpuls. 1873. S. 31; CROU. Methodik. S. 153, Anm.

Blutfülle des Gefäßes sinkt. Das Kästchen besteht aus zwei aufeinanderpassenden Hälften; an den beiden gegenüberstehenden schmalen Seiten desselben befindet sich je eine runde Oeffnung, welche halb dem Bodenstück, halb dem Deckelstücke des Kästchens angehört. In diese wird die Arterie nach ihrer Freipräparierung eingelegt und sorgfältig sowohl die Ränder wie die Eintrittsstelle des Gefäßes abgedichtet. POISEUILLE füllte dann das Kästchen mit Wasser von der Manometerröhre aus so hoch, bis das Wasser im unteren Theile der Ansatzröhre steht. Da das Wasser aber namentlich die Contractionsfähigkeit der glatten Gefäßmuskulatur beeinflussen wird, so schlug LANDOIS (Arterienpuls S. 32) vor, anstatt dessen erwärmtes Blutserum oder defibrinirtes Blut zu benutzen. Die Flüssigkeit wird nun in dem Röhrchen in demselben Maasse steigen als die Arterie während der Herzsysteme sich ausdehnt, und die Raumvergrößerung des in dem Kästchen befindlichen Arterienstückes ist gleich dem Inhalte eines Cylinders vom lichten Querschnitte des Röhrchens mal der beobachteten Elevation der Flüssigkeit. Ist der cubische Inhalt des im Kästchen eingeschlossenen Arterienstückes bekannt, so kann man die Volumschwankung der Arterie als einen Bruchtheil des Gesamtvolums darstellen. Der cubische Inhalt des Arterienstückes läßt sich bestimmen, indem man nach dem Versuche dasselbe unterbindet, ausschneidet und nun durch Eintauchen in Oel das Gesamtvolum der Schlagader bestimmt oder nur das der eingeschlossenen Blutsäule.

Die von POISEUILLE angegebene Vorrichtung enthält in ihrem Constructionsprincip den wesentlichsten Grund, der eine genaue Ermittlung der thatsächlichen Verhältnisse ausschließt und der auch für den Plethysmographen gilt. Bereits VALENTIN<sup>1</sup> betonte die Fehlerquelle, daß die Schlagader nicht frei liegt, sondern unter dem Drucke des im Kästchen enthaltenen Wassers. Dieser Druck wird noch bedeutend gesteigert durch die im Seitenröhrchen anstehende Flüssigkeit, und dieser Druck ist außerdem ein variabler, in jedem Momente der Arterienausdehnung verschiedener, da ja die Flüssigkeit in dem Röhrchen in stetem Steigen und Fallen begriffen ist.

Wenn wir zunächst annehmen, daß das Wasser frei von

---

<sup>1</sup> VALENTIN. Lehrbuch d. Physiol. des Menschen. Braunschweig 1847. 2. Aufl., Bd. I, S. 450.

Eigenbewegungen bleibe, so müßte in jedem Zeittheilchen Gleichgewicht zwischen dem Gewichte der Wassersäule und dem Arteriendrucke vorhanden sein, und es wäre, wenn die Druckänderung eine stetige ist, leicht, auf rechnerischem Wege die Volumänderung des Gefäßes für einen bestimmten Flüssigkeitsdruck zu bestimmen. Von diesem könnte man dann zur Ermittlung der Gleichgewichtsverhältnisse bei variablem Druck übergehen. Thatsächlich liegen die Verhältnisse noch nicht einmal so günstig, vielmehr wird das Wasser, bezw. die Füllungsflüssigkeit des Kästchens und der Röhre durch die rhythmischen Druckänderungen der Arterie Eigenschwingungen aufweisen, die in der Phase mit dem Arterienpuls übereinstimmen, ihrer Form nach aber Pendelschwingungen sind, die überdies in ihrer Form durch die Reibung an der Wand des engen Manometerröhrchens verunstaltet sind, wie aus ihrer raschen Dämpfung nach Unterbindung der Arterie hervorgeht.

Weitere Bedenken treten dazu, die in der Natur und Wirkung des Eingriffs, welcher der Application des Apparates vorausgeht, ihren Grund haben. VALENTIN hat mit dem Apparate gearbeitet und beschreibt des Genaueren die Versuche und ihr Ergebniss; im Uebrigen hat der Apparat nur noch historisches Interesse, das eben in der ersten Anwendung des plethysmographischen Princips, der Beobachtung des Ablaufs der Flüssigkeitsverdrängung, besteht.

3. Der erste, der mittels der plethysmographischen Methode die Volumschwankungen der Extremitäten beobachtete, war, soweit ich weiß, PIÉGU.<sup>1</sup> Dann hat CHELIUS<sup>2</sup> dieselbe Methode angegeben. Er construirte einen blechernen mit Wasser angefüllten Behälter, welcher dazu diente, eine ganze Extremität aufzunehmen; ist das Glied eingeführt, so wird die Oeffnung um dasselbe völlig luftdicht verschlossen. Seitlich in der Wandung des Blechkastens befand sich ein Manometer, das mit Wasser angefüllt war und mit dem Wasser innerhalb des Behälters communicirte. CHELIUS argumentirte, daß die Wassersäule im Manometerrohre den Grad der Blutzufuhr in der eingeschlossenen Extremität anzeigen könne, deren Volum mit jedem Arterienpuls anschwellt. Da VIERORDT das Instrument als unbrauchbar verwarf, wurde es vergessen.

---

<sup>1</sup> PIÉGU. *Comptes rendus de l'acad. des sciences* 22, S. 682. 1846.

<sup>2</sup> CHELIUS. *Prager Vierteljahrsschrift* 21. 1850.

Darauf construirte FICK<sup>1</sup> 1869 den Apparat, unbekannt mit CHELIUS' Gedanken, aufs Neue, um messende Untersuchungen über die Geschwindigkeit des Blutstromes in der oberen Extremität des Menschen damit auszuführen. Er liefs durch einen in der U-förmigen Manometerröhre angebrachten Schwimmer zuerst den Puls auf eine Kymographiontrommel aufzeichnen und erhielt Curven, die den Sphygmogrammen ähnlich waren und ausgesprochene Dikrotie zeigten. Wurde der Vorderarm oder nur die Hand in das Instrument eingepafst, so wurden die Curven unregelmäßiger und dikrot, und die letzte der dikroten Erhebungen war relativ am stärksten, wenn die Hand allein zur Gewinnung der Curven gedient hatte. Wesentlich verschieden, aber immerhin hierhergehörig sind weiter die Apparate, welche HÉRISSON<sup>2</sup>, SCOTT ALISON<sup>3</sup> und NAUMANN<sup>4</sup> angegeben haben, bei denen ebenfalls die Bewegungen von Flüssigkeitssäulen zur Sichtbarmachung und Untersuchung des Pulses benutzt werden. Mit einem solchen Apparate entdeckte CHELIUS die Dikrotie und gewann ferner NAUMANN die in seinen „Beiträgen zur Lehre vom Puls“ mitgetheilten Beobachtungen.

Es ist eigentlich von vornherein erstaunlich, dafs beim Plethysmographen eine Fehlerquelle sich nicht in bemerkbarer Weise geltend macht, deren Existenz sicher zuzugeben ist, nämlich Complicationen von Seiten des venösen Abflusses und der Lymphbewegung. Der venöse Abflufs ist zunächst continuirlich bedingt durch das Verschieben der Blutsäule in den Venen durch das aus den Capillaren sich sammelnde Blut. Die Hauptfactoren für die venöse Blutbewegung sind aber die Muskelbewegungen und an einzelnen Stellen, wie in der Hohlhand (Ligamentum natatorium) der Schulterhöhle (LANGER'scher Achselbogen) und am Oberschenkel besondere Saugvorrichtungen, welche im Wesentlichen durch Muskelcontractionen, dann auch durch den Arterienpuls in Function treten. Der venöse Blutstrom wird weiterhin zu einem discontinuirlichen gemacht durch

---

<sup>1</sup> FICK. Untersuchungen aus d. physiolog. Laborator. der Züricher Hochschule. Wien 1869. S. 50—70.

<sup>2</sup> HÉRISSON cf. PIORRY. *Traité de diagnostic et de sémiologie*. S. 238. Paris 1837.

<sup>3</sup> SCOTT ALISON. *Philosophical Magazine and Journal of Science* 12, Nr. 80.

<sup>4</sup> NAUMANN. *Henle und Pfeuffer's Zeitschr. f. rationelle Medicin* 18. 1863. *Archiv für Heilkunde* S. 403. 1864.

die Venenklappen und diese Stromunterbrechung ist hauptsächlich von der Lage der Venenklappen, in geringem Grade vom Arterienpulse und der Respiration abhängig. Ebenso könnte die Lymphbewegung als Fehlerquelle sich im Plethysmogramm bemerkbar machen; thatsächlich aber fanden sich keine Anhaltspunkte dafür, und dies ist auch durchaus verständlich, wenn man bedenkt, um ein Wievielfaches die Triebkräfte der arteriellen Circulation die der Lymphbewegung übertreffen. Dafs thatsächlich zuerst eine Beeinflussung der venösen und Lymphcirculation eintritt, halte ich für wahrscheinlich, wenn auch nicht für bindend bewiesen. Das Vorwölben des Gummiärmels an dem proximalen Ende des benutzten Extremitätenabschnittes ist überdies als Fehlerquelle sehr störend. Es wurde versucht, durch einen starken Papperring, der dem Vorderarme angepaßt war, diesem Vorwölben zu begegnen. Der Arm wurde dann in der Ellenbeuge festgelegt und der Zwischenraum bis zum Blechärmel so fest wie möglich mit Watte ausgestopft, um ebensowohl diesem Vorgange wie weiterhin den Verschiebungen des Armes, welche sowohl passiv durch den Druck der Füllungsflüssigkeit, wie activ durch unwillkürliche Bewegungen der Versuchsperson eintreten können, entgegenzuwirken.

Bei der Darstellung des Arterienpulses mittels des Plethysmographen hat man nun mit eigenthümlichen Verhältnissen zu rechnen, die daher rühren, dafs der auf der Arterie lastende Druck ein veränderlicher ist, der sich eventuell weiterhin in einen constanten und variablen Theil zerlegen ließe. Der constante Factor, die mittlere Niveauhöhe, beeinflusst bei sonst gleichen äufseren Bedingungen die Gröfse der Pulswelle und es existirt ein Betrag dieser mittleren Niveauhöhe, bei der die Pulsationen ganz unterdrückt werden, nämlich wenn der Druck von aufsen gleich dem Maximum des Arteriendruckes bei der primären Pulswelle ist. Auf dieser Thatsache beruht die Construction des Sphygmomanometers, bei dem man annahm, dafs man dann den äufseren Druck direct dem Arteriendrucke gleichzusetzen berechtigt sei.

Der variable Factor wird dargestellt durch die Druckschwankung bei der einzelnen Pulsation. Da er relativ kleiner wird mit dem Wachsen des Constanten, so ergäbe sich die Consequenz, dafs man, um möglichst richtige Bilder zu erhalten, der mittleren Niveauhöhe einen gewissen numerischen Betrag er-

theilen müßte, der aber darin seine obere Grenze findet, daß er die Größe der Pulsation nicht wesentlich vermindern darf.

Hier ergibt sich nun weiter folgendes Bedenken: „Da der aufzeichnende Apparat eine Gleichgewichtslage haben muß, so ist nothwendig auch ein gewisser Druck erforderlich, um ihn in Bewegung zu setzen. Druckschwankungen im Inneren des Cylinders finden demgemäß bei der Aufzeichnung der Volumpulse auch immer statt. Bei der Anwendung eines Schwimmers betragen sie schon zufolge der Niveauschwankungen mehrere Millimeter Wasser, arbeitet man mit dem Tambour, so kann man die Niveauschwankung des Wassers beliebig größer oder kleiner machen, indem man die freie Oberfläche des Wassers in einem engeren oder weiteren Steigrohre anbringt. Dafür ist aber die Spannung der Membran eine wechselnde. Selbst bei einem äußerst empfindlichen Tambour sind diese Druckschwankungen nicht ganz unerheblich. So fand sich, daß die Druckschwankungen mehr als 10 mm H<sub>2</sub>O betragen, wenn die Schreibspitze Excursionen von 10 mm, die Membran von 0,3 mm ausführte. Der Druck, welcher auf die Oberfläche des Armes ausgeübt wird, muß aber noch bedeutender schwanken, da bei der schnellen Bewegung ziemlich langen Wassersäulen gewisse Beschleunigungen ertheilt werden müssen.“<sup>1</sup>

Wenn man die Druckänderung genauer betrachtet, so läßt sich noch Folgendes sagen: mit dem Steigen der Flüssigkeit wird die Luft im Steigrohr comprimirt und diese Compression gleicht sich in zwei Richtungen aus, einerseits durch die Lageänderung der Membran des Schreibtambours, wodurch weiterhin das Aufschreiben zu Stande kommt und andererseits durch die Lageänderung des Niveaus des Wassers im Steigrohre. Man könnte aus dem Luftraum der ganzen Anordnung und den Niveauschwankungen des Wassers im Wasserstandsrohre die Druckänderung bestimmen und man könnte wohl die Ausgleichung derselben aus diesen beiden Größen berechnen. Für uns genügt die Einsicht, daß der dämpfende Einfluß der Druckschwankung im Apparat sich darstellt als die Differenz aus der Ausgleichung durch Volumänderung der Schreibtrommel und der Druckänderung durch Erniedrigung des Niveaus in der Wasserstandsrohre. Machten wir die (übrigens unstatthafte) Annahme, daß

<sup>1</sup> v. KRIES. *Archiv f. Anatomie u. Physiol.*, physiol. Abth., S. 259. 1887.

die Schreibtrommel momentan und vollständig den Druckschwankungen des Luftraumes folgte, so würde der dämpfende Einfluss der Druckänderung überhaupt hinwegfallen. Aus dieser Ueberlegung ergibt sich als weitere Folgerung, dass, je kleiner der Luftraum ist, um so größer die relative Druckänderung sein wird.

Um nun den Einfluss des Luftraumes und der Wasserstandshöhe zu untersuchen, wurde systematisch eine größere Anzahl Versuche durchgeführt. Da mir nur zwei Wasserstandsröhren zur Verfügung standen, eine von 13 cm und eine von 25 cm Länge, so wurden diese Versuche in der Art ausgeführt, dass nach einander die Wasserstandshöhen von 0—25 cm untersucht wurden, so dass das Verhältniss der Wasserstandshöhe zum Luftraum variirte, die Summe der beiden aber im ersten Falle stets 13, im zweiten stets 25 cm war. Dabei ergab sich nun, dass die Pulscurven viel mehr von einander abweichend ausfielen, als sich von vornherein erwarten liess. Es ergab sich aber auch, dass die Veränderungen nicht sprungweise stattfanden, sondern in stetiger Abhängigkeit von der Wasserstandshöhe und der Grösse des Luftraumes, so dass diese Factoren als die wesentlichen aufweisbar waren, welche die Curvenform veränderten.

Aus diesen Versuchen wurde dann der Schluss gezogen, dass es wahrscheinlich überhaupt unmöglich sei, ein quantitatives Bild des Volumpulses zu erhalten, so dass es illusorisch sei, aus den Ordinatenwerthen der Curvenpunkte zunächst irgendwelche Folgerungen zu ziehen. Das einzig Erreichbare schien darin zu bestehen, dass die Bedingungen ermittelt wurden, wo man möglichst gleichmässige Curven erhält. Es erwies sich dann als das Bequemste und Zweckmässigste, bei einem Luftraume von etwa 7 cm Höhe im Wasserstandsrohre und einem Wasserstande von etwa 18 cm zu arbeiten. Wenn dieses Verhältniss eingehalten wurde, so war zu hoffen, dass die Curven derselben Versuchsperson, wenigstens von diesem rein technischen Gesichtspunkte aus, unter einander vergleichbar seien.

Man kann sich leicht subjectiv davon überzeugen, dass dieser Druck ein ziemlich beträchtlicher ist, was auch leicht verständlich ist, wenn man bedenkt, dass derselbe das Product aus der Oberfläche des Vorderarmes und der Wasserstandshöhe ist. Bei einer Wasserstandshöhe von 20 cm kann derselbe einen Betrag von 9—11 kg erreichen. Die Anwendung eines solchen Flüssigkeits-



volumens hat aber den Fehler zur Folge, daß durch den Rhythmus des Pulses das Wasser Eigenschwingungen ausführen wird. Hier liegen durchaus analoge Verhältnisse vor, wie sie bei der Discussion der Anwendung des POISEUILLE'schen Manometers zur Aufzeichnung der Pulsform seiner Zeit in Betracht kamen. Diese Eigenschwingungen werden pendelförmige sein, gedämpft durch die Reibung an der Wand des Wasserstandsrohres und durch die Druckschwankungen der Luft. Da man annehmen kann, daß der Arterienpuls der Flüssigkeitsmenge immer etwa gleiche Beschleunigungen ertheilen wird, so wird die lebendige Kraft dieser Eigenschwingungen von der Gröfse der Flüssigkeitsmenge, also von der Wasserstandshöhe abhängen, denn diese lebendige Kraft ist das Product aus dem Volum des Wassers mal dem specifischen Gewicht bei der Temperatur, bei welcher gearbeitet wurde, mal der Hälfte des Quadrates der Geschwindigkeit beim Passiren der Gleichgewichtslage. Da aber die Reibung an der Wand des Wasserstandsrohres nicht nur für die Dämpfung der Eigenschwingungen in Betracht kommt, sondern auch die Curvenform verändern könnte, so ist es unstatthaft, etwa durch ein enges Steigrohr die Flüssigkeitsmenge vermindern und die Reibung vermehren zu wollen; die Verringerung der Flüssigkeitsmenge auf diesem Wege hätte auch keinen wesentlichen Einfluß, da deren Betrag im Steigrohr gegenüber derjenigen in dem Cylinder, welcher den Arm umgiebt, sehr gering ist.<sup>1</sup>

Um nun die Druckschwankungen möglichst zu vermindern, wurde versucht, mit möglichst großem Luftraum und möglichst geringer Flüssigkeitsmenge die Volumpulse aufzuzeichnen. Die Luft füllte das Steigrohr ganz aus und bildete unterhalb desselben noch eine ziemlich große Blase. Weiter läßt sich nicht gehen, da dies der Grenzfall war, wo der Gummiärmel glatt und fest anlag und hier bedurfte es schon zur genügenden Aufzeichnung der Volumpulse Vergrößerungen, bei welchen die Möglichkeit der Eigenschwingungen der Schreibfeder keineswegs ausgeschlossen waren.

---

<sup>1</sup> Die Bedingung für das Fehlen der Eigenschwingungen läßt sich dahin aussprechen, daß in jedem Zeittheilchen Gleichgewicht zwischen den Kräften der Pulsbewegung und denen der Flüssigkeitsbewegung herrschen muß. Fehlt dieses Gleichgewicht, so wird die Flüssigkeit unabhängig von dem Arterienpuls Bewegungen ausführen.

Eine weitere Schwierigkeit hat v. KRIES hervorgehoben: „Nun ist es aber wohl ganz unmöglich, den Arm im Glaszylinder so zu befestigen, daß er nicht durch den steigenden Druck ein wenig hinausgetrieben wurde. Könnte man selbst die Haut vollständig unbeweglich mit dem Cylinder verbinden, so wäre immer noch der ganze Arm in dem fixirten Hautstücke wie in einer ziemlich lockeren Manschette beweglich. Selbst eine minimale Verschiebung, die hier stattfindet, kann aber, da sie eine sehr erhebliche Fläche betrifft, die Volumpulse schon sehr stark deformiren.“ v. KRIES hat sich durch Versuche davon überzeugt, daß diese Bedenken gegen die bisher geübten Methoden der Volumsphygmographie nicht bloße Phantasiegebilde sind; er verschloß einen Plethysmographencylinder, wie er zur Aufnahme von Hand und Unterarm verwendet wird, derart, daß er in die Gummimanschette statt eines Armes ein rundes Holzstück einsetzte. Der Cylinder wurde mit Wasser gefüllt, welchem gerade wie bei der Beobachtung der Volumpulse der Ausweg in ein Steigrohr von 9,4 mm Durchmesser offen stand. Er überzeugte sich, daß die Fixirung durch die Manschette selbst bei dem festen Holzcylinder nicht in ganz genügender Weise gelingt; man kann denselben stets in den Plethysmographen etwas hineindrängen, und wenn man ihn plötzlich losläßt, Eigenschwingungen im Steigrohre beobachten. Die Periode derselben ist natürlich je nach der Beschaffenheit der Manschette verschieden, aber keineswegs sehr kurz, sondern beträgt oft mehr als  $\frac{1}{3}$  Secunde.

Um weiterhin den Einfluß der Verhältnisse im Wasserstandsrohre durch das Experiment zu controliren, beobachtete v. KRIES die Volumpulse eines im Plethysmographen eingeschlossenen Armes unmittelbar nach einander in zwei Röhren von verschiedenem Querschnitt. „Die Erhebungen müßten sich (mittels Schwimmer aufgezeichnet) umgekehrt wie die Querschnitte verhalten. Sie thun das aber niemals, sondern fallen stets im engen Rohr relativ zu klein aus“ (S. 260). So erhielt v. KRIES z. B. bei Beobachtung der Volumpulse des ganzen Unterarmes und halben Oberarmes mittels zweier Ansatzröhren von bezw. 8 und 14,2 mm Durchmesser die Niveauschwankungen im engen Rohre weniger als doppelt so groß wie im weiteren, während das Verhältniß der Querschnitte 1:3,1 betrug. Als weiteren Beleg theilt v. KRIES einen Versuch mit, welcher recht

deutlich zeigt, wie sehr die Form der aufgezeichneten Volumpulscurven von kleinen Differenzen der Methode abhängt.

Die Versuche von v. KRIES zeigen, wie mißlich es um eine zuverlässige Gewinnung der Pulsform und Pulshöhe bestellt ist, wenn diese gleichzeitig mit nennenswerthen, langsameren Volumschwankungen des Armes, also mit wesentlichen Niveauschwankungen verbunden sind. Wenn also von psychologischen Autoren auf Grund des Plethysmogramms einhergehend mit den Volumschwankungen von langsamer Periodik bestimmte Aenderungen der Pulshöhe und eventuell der Pulsform angegeben werden, so kann man diesen Angaben von vornherein nur ein skeptisches non liquet gegenüberstellen, solange nicht bewiesen ist, daß diese Pulsänderungen in derselben Weise auch bei ganz anderen relativen Wasserstandsverhältnissen oder an gleichzeitig aufgenommenen Druckpulscurven unabhängig von den Volumänderungen des Vorderarmes nachgewiesen sind; sicherlich genügt die Volumpulscurvenreihe, sobald sie bedeutendere, länger dauernde Schwankungen des Armvolumens aufweist, nicht zur Statuirung solcher Behauptungen.

Eine ganze Reihe von Verhältnissen wird nun in den vorliegenden Versuchen durch die Luftübertragung auf den MAREY'schen Tambour geschaffen. Diese Verhältnisse bilden z. Th. den Inhalt einer größeren Anzahl von Arbeiten, welche sich mit der Leistung der Pulsschreiber überhaupt beschäftigen. Es genügt hier, auf die Arbeiten von v. FREY, FRÉDÉRICQ, HÜRTHLE, MAREY, KNOLL, GRUMMACH<sup>1</sup>, abgesehen von den älteren von MACH und DONDEES, hinzuweisen, da die vorliegenden Versuche zu dieser Frage nichts Neues ergeben haben. Es sei nur angeführt, daß weder der Hebel des MAREY'schen Tambours, noch ein Schwimmer in absolut treuer Weise den Bewegungen des Wasserniveaus folgen. „Der Schwimmer stellt sich vielmehr,

<sup>1</sup> Es seien nur angeführt: v. FREY. Die Ermittlung absoluter Werthe für die Leistung von Pulsschreibern. *Archiv f. Anat. u. Physiol.*, physiolog. Abth., S. 17—48 (besonders S. 42 ff.). 1893. Das Plateau des Kammerpulses. *Ebenda* S. 1—17. Der Tonograph mit Luftfüllung. *Physiolog. Centralbl.* 7, S. 453. Die Untersuchung des Pulses. 1892. — LÉON FRÉDÉRICQ. Das Plateau des Kammer- und Aortenpulses. *Physiolog. Centralbl.* 7, S. 39. *Travaux du laboratoire.* II. 1887—88. — K. HÜRTHLE. Beiträge zur Hämodynamik. VIII. Abhandlung: Kritik des Lufttransmissionsverfahrens. *Pflüger's Archiv* 53, S. 281. — W. TOWNSEND PORTER. Researches on the Filling of the Heart. *Journal of Physiol.* 13, S. 513.

wenn man ihn etwa bei festgestelltem Wasserniveau heruntergedrückt hat, mit einer nur sehr mäßigen Geschwindigkeit ein, da sein Gewicht, wenn er zur Registrirung brauchbar sein soll, sich unter einen gewissen Werth schliesslich doch nicht vermindern läßt. Der Tambour stellt sich weit schneller ein, ist aber auch nicht frei von Eigenschwingungen, welche namentlich bei stärkeren Bewegungen erheblich deformirend wirken“ (v. KRIES).

Zur Registrirung der Bewegung der Flüssigkeitssäule wurde in unseren Versuchen, wie schon aus dem vorhergehenden ersichtlich ist, Luftübertragung und ein MAREY'scher Tambour benutzt. Der Abstand des Drehpunktes von der festen Axe betrug bei diesem 3 mm. Als Schreibhebel dienten entweder schmale aus Strohhalmen geschnittene Strohstreifen mit Pergamentpapier-Schreibspitze oder leichte stumpfwinklig gebogene Glascapillaren. Es wurde auf berufstes Glanzpapier geschrieben, die Schreibung war eine tangentielle und Bogenschreibung. Die Vergrößerung war eine verschiedene, die größte Schreibfederlänge war 18 cm, woraus sich als Vergrößerung eine 60fache ergibt. Durchgängig bei allen Versuchen wurde auf die Verhältnisse der Kapselspannung, der Reibung an der Schreibfläche und der Eigenbewegungen des Registrirapparates geachtet, so daß es einigermaassen wahrscheinlich ist, daß grobe Versuchsfehler dieser Art ausgeschlossen sind.

Wie schwierig es ist, brauchbare Volumpulscurven zu erhalten, geht wohl aus den Mittheilungen FICK's hervor. Die Volumpulscurve der Hand, welche er 1886 abbildet, sieht ganz anders aus, als die, welche er 1869 mitgetheilt hat. Zur Aufzeichnung der älteren Curven diente der Schwimmer, bei den neueren der MAREY'sche Tambour; sicherlich ist die neuere Curve als die zuverlässigere zu betrachten, aber auch sie zeigt accidentelle Wellen, die von FICK auf die Unsicherheit der Befestigung der Hand im Plethysmographen zurückgeführt werden. Dieser Uebelstand wird um so geringer, ein je kleinerer Abschnitt der Extremität zur Beobachtung herangezogen sind. Thatsächlich sind auch die Curven verschieden, je nachdem der ganze Arm oder nur der Vorderarm oder die Hand zur Gewinnung derselben benutzt werden. Die Bewegungen der Wassersäule im Wasserstandsrohr des Plethysmographen lassen sich also in verschiedener Weise aufzeichnen, entweder mittels

eines Schwimmers (FICK 1869) oder besser mittels eines MAREY'schen Tambours (Mosso 1879, FRANÇOIS-FRANCK 1876, FICK 1886).<sup>1</sup>

4. Wie nun schon FICK gezeigt hat, sind die Pulscurven, welche man auf diese Weise erhält, principiell verschieden von Pulscurven anderer Art, wie man sie etwa mittels des MAREY'schen Sphygmographen etwa von der Radialarterie erhält. Bei diesen Apparaten drückt eine gespannte Feder oder ein belastendes Gewicht auf die Arterie, es werden also die Druckschwankungen der Gefäße aufgezeichnet, so daß diese Curven als Druckpulscurven zu bezeichnen sind. Die Druckpulscurven genügen aber allein nicht zur Erkenntniß der Blutbewegung in den Arterien. Sie geben nur ein einseitiges Bild der variirenden Erscheinungen, indem sie nur den zeitlichen Verlauf und die relative GröÙe der Druckänderungen wiedergeben, während sich gleichzeitig die Volumverhältnisse der Arterien ändern. Diese werden nun bei den plethysmographischen Curven aufgezeichnet, für welche daher der Ausdruck „Volumpulscurven“ zu gebrauchen ist. (v. KRIES 1883). Principiell dürfte beim Aufschreiben der Volumpulscurve überhaupt kein Druck auf den Arm ausgeübt werden, und man hat durch die Construction verschiedenartiger Apparate wenigstens die Druckvariationen auszuschließen versucht; so hat man selbst auf die Anwendung der Registrirtrommel MAREY's ganz verzichtet, weil deren wechselnde Membranspannung für die Druckvariationen mit in Betracht kommt.<sup>2</sup> Beide Arten von Curven sind zwar als Pulscurven zu bezeichnen, weil sie einen von der Herzthätigkeit abhängigen periodischen Vorgang im Gefäßsystem zur Darstellung bringen, im Uebrigen aber sind sie strenge zu scheiden. Wenn man sagt, man beobachte bei der

<sup>1</sup> FICK. Die Geschwindigkeitscurve in der Arterie des lebenden Menschen. Untersuchungen aus dem physiolog. Laboratorium der Züricher Hochschule. Wien 1869. S. 50—70. — Mosso. Diagnostik des Pulses. Leipzig 1879. — FRANÇOIS-FRANCK. Du volume des organes dans ses rapports avec la circulation du sang. *Travaux du laboratoire du M. Marey* 2, S. 15. Paris 1876. — v. KRIES. Ueber die Beziehungen zwischen Druck und Geschwindigkeit, welche bei der Wellenbewegung in elastischen Schläuchen bestehen. *Festschrift der 56. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte*, gewidmet von der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B. Freiburg u. Tübingen 1883. Suppl. z. Bd. VIII d. *Ber. d. Naturforsch. Gesellsch. zu Freiburg*.

<sup>2</sup> Mosso. *Ber. d. sächs. Gesellschaft d. Wissensch., math.-phys. Cl.*, S. 208. 1874. — v. BASCH. *Medicin. Jahrbücher* 4, S. 8 ff. 1876. — FRANÇOIS-FRANCK. 1876 (vorhergehendes Citat). *Archives de physiologie* S. 118—132. 1890.

plethysmographischen Methode den Puls statt an einem Gefäße gleichzeitig an einer größeren Zahl von Gefäßen, indem gewissermaßen der ganze Vorderarm selbst als Sphygmoskop diene, so ist dies nicht zutreffend. Ein derartiger Uebergang vom Druckpuls als Puls von einer kleinen circumscribten Stelle — „Punktpuls“ wenn dieser Ausdruck erlaubt wäre — zum Volumpuls als Flächenpuls eines räumlichen Gebildes würde nur dann statthaft sein, wenn Druck und Volumen im Gefäßsystem unauflöslich mit einander verknüpft wären, und wenn man annähme, daß die Pulsbewegung in allen Gefäßen ganz gleichartig und genau gleichzeitig stattfindet. Da aber diese beiden Annahmen unzutreffend sind, so geht daraus hervor, daß die Unterschiede zwischen Druckpuls und Volumpuls nicht nur solche sind, welche durch den Uebergang der Untersuchung von einem circumscribten Arterienflächenstück zu einem größeren räumlichen Gebilde bedingt sind, sondern daß noch weitere qualitative Differenzen in Betracht kommen. Diese werden es dann zur Folge haben, daß die Volumpulse einer Arterie von den Druckpulsen einer bestimmten Stelle dieser Arterie verschieden sein können, und von diesen Verschiedenheiten kann man sich durch den Versuch überzeugen. »Hiernach erkennt man in den Volumpulsen Effecte, welche aus verschiedenen Theilen der Gefäßbahn combinirt sind, und es erscheint fast unmöglich, aus ihnen einen Schluss auf irgend welche bestimmte Vorgänge der Wellenbewegung zu ziehen.« (v. KRIES.)

Diese Schwierigkeit hatte schon ROLLETT<sup>1</sup> erkannt, der aber nur die Ungleichzeitigkeit des Pulses in den verschiedenen Gefäßabschnitten berücksichtigt. Er sagt: „Was man durch die Application des Sphygmographen erreichen will, nämlich einen möglichst richtigen Ausdruck jenes Gesetzes — (desjenigen nämlich, nach welchem sich das Wandtheilchen der Arterie in Folge der durch das Arterienrohr tretenden Welle bewegt) — das wird bei dem Hydrosphygmographen von vornherein in Frage gestellt; denn wenn wir auch annehmen, daß die Volumschwankungen der Hand und des Armes nur von der Systole und Diastole der Arterien herrühren, so ist doch der Stand des Wasserniveaus im Hydrosphygmographen in jedem Moment

---

<sup>1</sup> ROLLETT. HERMANN'S Handbuch d. Physiol. Bd. IV, S. 261. Vgl. v. KRIES S. 256 Anm.

nicht der Ausweichung eines bestimmten Wandtheilchens entsprechend, sondern eine Resultirende der gleichzeitigen Ausweichung aller in den Arterien des untersuchten Körpertheils aufgereihten Wandtheilchen. Man müßte also eine deformirte Pulscurve erwarten.“

Das Interesse, welches sich an die Unterscheidung dieser Pulsarten knüpft, liegt in der Frage, ob in den Arterien periphere Reflexionen stattfinden, eine Frage, die in verschiedenem Sinne beantwortet wurde, indem man sie bald bejahte (z. B. FICK, v. KRIES 1887, v. FREY und KREHL 1890) bald verneinte (z. B. HÜRTHLE 1890, HOORWEG 1889). Wenn es nun auch möglich sein sollte, auf irgend welche andere Weise die Frage nach den peripheren Reflexionen zu entscheiden, so verlöre zwar die Unterscheidung an actuellem Interesse für weitere Folgerungen, trotzdem bleibt sie von dauerndem Werthe für das richtige Verständniß der vorliegenden Erscheinungen.

Um nun zu einer theoretischen Verwerthung der Volumpulscurve zu kommen, schlägt v. KRIES einen Weg ein, den schon FICK 1869 angegeben hatte, der aber im Allgemeinen von den anderen Autoren keine eingehendere Beachtung gefunden hat. v. KRIES schreibt: „Man kann mit Hülfe der Volumpulse ein Bild von der Stromstärke an einer ganz bestimmten Stelle des Arterienrohres bekommen, nämlich an eben jener Stelle, wo das Blut in das abgeschlossene Extremitätenstück einfließt, also da wo die Extremität von der Gummimanchette umfaßt ist. Es ist besonders bemerkenswerth, daß die Beobachtung zunächst ein ganzes ausgedehntes Gefäßgebiet (Arterien verschiedenen Calibers und Capillaren) betrifft und trotzdem einen Schluss auf die hydraulischen Verhältnisse an einer bestimmten Stelle der Gefäßbahn gestattet. Es beruht dies, wie man sieht, lediglich auf dem vereinfachenden Umstande, daß innerhalb des abgeschlossenen Stückes die Welle erlischt und somit in den abführenden Gefäßen gar keine Wellenbewegung mehr stattfindet. Wäre dies nicht der Fall, so wäre eine einfache Deutung der Volumcurve überhaupt unmöglich.“ „Auch so aber ist die Interpretation noch eine indirecte. Keineswegs nämlich geben die Volumpulse unmittelbar ein Bild von dem zeitlichen Verlaufe der arteriellen Stromstärken. Vielmehr zeigt ja ein Ansteigen des Volums eine große, das Absinken eine geringe, das Constantbleiben die mittlere (der venösen gleiche) Stromstärke in der

Arterie an. Der zeitliche Verlauf der Stromstärke wird also zur Darstellung kommen, wenn man aus der Volumpulscurve eine andere derart bildet, daß man ihr für jeden Zeitpunkt eine Ordinatenhöhe ertheilt, welche proportional ist der Steilheit, mit welcher in dem entsprechenden Zeitpunkt die Volumpulscurve ansteigt oder absinkt.“ „Dabei ist zu berücksichtigen, daß für die mittlere oder venöse Stromstärke eine Ordinatenhöhe willkürlich gewählt werden muß; steigt das Volumen in einem gewissen Zeitpunkte an, so ist die Ordinate der Stromcurve für diesen Punkt höher als der Mittelwerth, und zwar um so mehr, je steiler das Ansteigen stattfindet. Sinkt das Volum ab, so ist die Ordinate niedriger als der Mittelwerth und zwar um so mehr, je stärker das Absinken stattfindet. Es lassen sich also aus den Volumpulsen die jeweiligen (positiven oder negativen) Ueberschüsse der arteriellen Stromstärke über ihren Mittelwerth ermitteln. Wir wollen nun die von der Herzthätigkeit abhängige periodische Schwankung der Stromstärke als Strompuls oder Geschwindigkeitspuls und eine sie darstellende Curve als Strompulscurve oder kurz als Stromcurve oder Geschwindigkeitscurve bezeichnen“ (v. KRIES S. 257).

Die Relation zwischen Volumänderungen und Strompulsen läßt sich in der Weise formuliren, daß, wenn man die Volumänderungen von einer Reihe von Curven  $V = f(t)$  sich dargestellt denkt, die Stromgeschwindigkeit von Curven  $U_0$  dargestellt werden können, welche die abgeleitete Function der Volumpulscurven sind, also  $U_0 = f'(t)$ . Man findet demgemäß die Strompulscurven durch Differenzirung der Volumpulscurven. Denn ist  $V$  das Volumen,  $t$  die Zeit,  $s$  die arterielle und  $v$  die venöse Stromstärke, so ist  $\frac{dV}{dt} = s - v$  oder  $s = \frac{dV}{dt} + v$ . Da nun  $v$  eine Constante ist, so wird der periodische Theil des arteriellen Blutstromes direct durch  $\frac{dV}{dt}$  dargestellt. Um also diese Curven zu erhalten, bildet man durch eine Reihe von Tangenten die Ordinatenwerthe, welche die Strompulscurve charakterisiren, dann läßt sich der Strompuls durch Tangentemessung aus der Volumpulscurve ableiten. Eine absolute Berechnung der Werthe ist natürlich nicht möglich, solange es unbekannt ist, wie schnell das Blut in ununterbrochener Strömung durch die Venen fließt; wenn man die von FICK 1886 ab-



gebildeten Strompulscurven betrachtet, so tritt deren Aehnlichkeit mit den von LORTET<sup>1</sup> mitgetheilten, direct aufgezeichneten Geschwindigkeitscurven klar hervor, und vor Allem bemerkt man die Geschwindigkeitszunahme bei der dikrotischen Erhebung.

5. Auf diese Weise gliedert sich die Discussion der Geschwindigkeitscurve einem gröfseren Complex von Fragen ein, nämlich dem nach der Geschwindigkeit der arteriellen Blutbewegung überhaupt. Bei der Untersuchung derselben kann es sich einerseits darum handeln, die mittlere Geschwindigkeit des Blutstromes in der Zeiteinheit zu bestimmen, andererseits darum, die bei jedem Herzschlage stattfindende Variation dieser Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln.

Um die bei jedem Herzschlage stattfindenden Variationen der Geschwindigkeit zu bestimmen, wandte VIERORDT<sup>1</sup> 1858 zuerst das Princip des hydrometrischen Pendels an. Nach diesem Princip hat dann CHAUVEAU (1860) die Methode ausgebildet und mit anderen zusammen am Pferde eine Reihe sehr interessanter Untersuchungen ausgeführt.<sup>2</sup> Dieselbe Curve nun, welche die von VIERORDT angegebene, von CHAUVEAU und seinen Schülern weitergebildete Methode beim Thiere unmittelbar gewinnen läfst, wird auf dem von FICK angegebenen und von v. KRIES' weiter verfolgten Wege beim Menschen mittelbar erhalten.

Aus den lichtvollen Darlegungen v. KRIES ist wohl ersichtlich geworden, welches das Wesen der Volumpulscurve ist und welches Interesse an die Verwerthung derselben geknüpft ist; es zeigte sich, dafs das Plethysmogramm als solches nur eine Pulscurve ist und nur in seiner Charakterisirung als Volumpulscurve sich von andersartigen Pulscurven unterscheidet. Eine einzelne Volumpulscurve enthält an Herz- und Gefäfswirkungen dasselbe wie jede andere Pulscurve, auch die Beeinflussung durch die Athmung zeigt sich in derselben Weise wie beim Sphygmogramm. Andere Erscheinungen der Volumpulscurven, welche von Seiten der Psychologen bei der Verwendung des Plethysmographen überhaupt nicht erkannt worden sind, gehören übrigens

<sup>1</sup> LORTET. Recherches sur la vitesse du cours du sang. Paris 1867. S. 9 ff.

<sup>2</sup> VIERORDT. Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes. Frankfurt a. M. 1858. S. 10 ff.

<sup>3</sup> CHAUVEAU, BERTOLUS et LEROYENNE. *Journal de physiol.* 3, S. 695. 1860. — MAREY. La méthode graphique. Paris 1878. S. 235, 634 ff.

einem ganz anderen Thatsachencomplex an und werden weiter unten zu besprechen sein.

Wenn man nun durch Rechnung oder Construction die Strompulscurve aus der Volumpulscurve abgeleitet hat, so könnte diese, indem man sie mit den Druckpulsen derselben Stelle der arteriellen Blutbahn vergleicht, dadurch von besonderem Interesse für die Theorie des Arterienpulses werden, daß aus der Verschiedenheit des Druckablaufes und der Strompulscurve eine Sonderung der centrifugal und centripetal verlaufenden Wellen möglich wäre (FICK 1886). Zu dieser Ableitung der Strompulscurven ist aber eine absolute Richtigkeit des Plethysmogramms Voraussetzung, da diese Curve die Aenderung der Ordinatenwerthe der Volumpulscurve selbst darstellt. Dazu ist es aber nothwendig, daß nicht nur der zeitliche Verlauf der Volumschwankungen richtig zum Ausdruck kommt, sondern auch, daß die relative Steilheit des Ansteigens und Abfallens der Curve die thatsächlichen Erscheinungen an der Arterienwand wiedergibt. Durch Vergleichung einer größeren Anzahl Curven kann man aus dem Maasse der Aehnlichkeit derselben schliessen, daß die erste Bedingung öfter und in höherem Grade erfüllt sein kann als die zweite, die vollkommen überhaupt nicht zu erfüllen ist, da dieselbe eine absolut momentane Einstellung des Registrirapparates und dabei absolute Freiheit von Eigenschwingungen voraussetzen würde. Solange aber überhaupt unsere Pulschreiber wägbar sind, ist die Forderung einer Einstellung ohne Zeitfehler absolut überhaupt nicht zu erfüllen, ebensowenig wie die zweite, da wir es immer mit Beschleunigungen materieller Systeme zu thun haben. Es ist also unmöglich, eine absolut richtige Pulsschreibung zu erhalten, man kann nur die optimalen Verhältnisse derselben ermitteln. Diese Sachlage ist aber keineswegs bei jeglicher Bewegungsregistrirung vorhanden, sondern nur bei solchen Bewegungsvorgängen, die an und für sich nicht darauf eingerichtet sind, äußere Arbeit an anderen materiellen Systemen zu leisten.

Um nun die Strompulscurve direct, und nicht durch Ableitung aus der Volumpulscurve zu erhalten, hat v. KRIES eine neue Methode angegeben, welche er als Gas-Tachographie bezeichnet, und hat mittels derselben Curven gewonnen, welche er Tachogramme nennt. Sowohl die rechnerische Ableitung der Strompulscurve aus der Volumpulscurve mittels der Tangenten-

messungen, wie die Folgerungen, welche FICK und v. KRIES aus der Formverschiedenheit der Strompulscurve und Druckpulscurve gezogen haben, sind nun theoretisch durchaus einwandfrei und zulänglich begründet. Trotzdem kann man keineswegs sagen, daß damit die Existenz der peripheren Reflexion sicher bewiesen wäre, zunächst eben wegen der Unzuverlässigkeit der Volumpulscurve. HOORWEG<sup>1</sup> hat dargelegt, wie die Ableitung der wesentlichsten Eigenschaft der Strompulscurve von einer geringen Formeigenthümlichkeit der Volumpulscurve herrührt, von der er behauptet, daß gerade diese fehlerhaft sei (vgl. HOORWEG, Fig. 3, S. 443, 444). Ebenso lassen sich gegen die tachographische Methode v. KRIES' schwerwiegende Bedenken geltend machen. Das erste besteht darin, daß v. KRIES nicht genügend widerlegt hat, daß die Gasflamme wirklich als Manometer functionire, und so nicht bindend bewiesen hat, daß dieselbe als Geschwindigkeitsmesser wirke. Thatsächlich sind bei der v. KRIES'schen Anordnung die Verhältnisse der Druckausgleichung analoge, wie bei derjenigen Aenderung des Plethysmographen, die Mosso als Hydrosphygmographen bezeichnet hat, oder aber bei einem lecken, undichten Sphygmographen, bei dem die eingeschlossene Luft entweichen kann, so daß nur sehr rasche Druckschwankungen sich aufzeichnen, während langsamere durch Ausgleichung des Druckes nach außen nicht in der Curve aufgezeichnet werden können. Ebenso sind, wie HOORWEG darlegt, die Druckänderungen im Tachographenärmel andere und viel verwickeltere als v. KRIES annimmt, so daß nur eine ganz entfernte Relation zwischen der Bewegung der Flamme und der Strompulsbewegung des Blutes in der Arterie bestehen könne. Ferner ist es sehr wohl denkbar, daß die Strömungsgeschwindigkeit sich ändert und abnehmen kann, ohne daß die Druckänderung gleichzeitig und streng in demselben Sinne erfolgen mußte. Dagegen sind Druck- und Volumschwankung an derselben Arterienstelle wegen der Incompressibilität des Blutes untrennbar mit einander verbunden, und da die Volumvermehrung herrührt aus dem Ueberschuß der einströmenden Blutmenge über die Anströmende, so wird der Druck diesem Ueberschuß entsprechend sich verändern, aber nicht der Geschwindigkeit der

---

<sup>1</sup> HOORWEG. Ueber die Blutbewegung in den menschlichen Arterien. *Pflüger's Arch.* 47, S. 439-457.

einströmenden Blutmenge, also der Strompulscurve, folgen müssen. Da dieser Ueberschuß noch wachsen kann, wenn die Anfangsgeschwindigkeit des Blutstromes bereits nachgelassen hat, so ist eine Incongruenz der Form der Strompulscurve und Druckpulscurve auch ohne die Annahme einer Wellenreflexion durchaus begreiflich, zumal da der Satz v. KRIES', daß in genügend weiten elastischen Schläuchen der Druck an jedem Punkte des Schlauches der daselbst stattfindenden Geschwindigkeit proportional sei, an Bedingungen geknüpft ist, welche in der arteriellen Blutbewegung sicher nicht realisirt sind.<sup>1</sup>

Es würde aber zu weit gehen, wenn man auf Grund dieser Einwände die Möglichkeit einer Wellenreflexion in den Arterien durchaus verneinen wollte, zumal sie nach den auf andere Art vorgehenden Versuchen von v. FREY und KREHL<sup>2</sup> wahrscheinlich gemacht ist.<sup>3</sup> Man kann nur sagen, daß die Ableitung der Strompulscurve aus der Volumpulscurve einerseits und die tachographische Methode v. KRIES' nicht so einwandfrei sind, daß sie einen bindenden Beweis für die Existenz dieser Reflexionswellen erbrächten.

6. Nicht klar über das Wesen des Plethysmogramms scheint A. LEHMANN gewesen zu sein, denn er schreibt: „Es ist der Plethysmograph ein ganz besonders zweckmäßiger Apparat, weil er in einer einzigen Curve die Resultante aller derjenigen Kräfte (Umfang der Herzbewegung, Zustand der Gefäße und venöser Blutabfluß) giebt, welche auf den Kreislauf Einfluß haben. Andererseits ist es dann freilich schwer zu entscheiden, inwiefern eine vorliegende Veränderung in einem Plethysmogramm von dem einen oder dem anderen oder mehreren dieser Factoren im Verein herrührt. Diese Schwierigkeit läßt sich jedoch zum Theil

<sup>1</sup> Die von v. KRIES aufgestellte Relation  $v = \frac{p}{\alpha \sigma}$  gilt nämlich nur für eine Wellenbewegung einer reibungslosen Flüssigkeit in einem elastischen Schlauch von unendlicher Länge. Die Reibung des Blutes hat aber zur Folge, daß der maximale Druck gegenüber der maximalen Geschwindigkeit eine Verzögerung erleidet, die ausgedrückt wird durch die Formel

$$\text{tang } q \delta = \frac{\varepsilon}{\frac{q}{\alpha}};$$

zu Versuchen mit elastischen Schläuchen bestimmte HOORWEG den Werth dieser Verspätung zu 0,12'' (vgl. HOORWEG. *Pflüger's Arch.* 52, S. 481 ff. 1892).

<sup>2</sup> v. FREY u. KREHL. *Arch. f. Anat. u. Physiol.*, physiolog. Abth., 1890.

<sup>3</sup> Vgl. aber HOORWEG. *Pflüger's Arch.* 47, S. 447; 52, S. 487.

mittels gleichzeitig aufgenommener Sphygmogramme überwinden, aus welchen man — in gewissen Fällen wenigstens — durch Zusammenstellung mit den Plethysmogrammen Schlüsse über die Verhältnisse des Herzens und der Gefäße ziehen kann. Da es indes mehr in meiner Aufgabe lag, darüber zur Entscheidung zu gelangen, ob unter den physiologischen Aeufserungen der einzelnen Gemüthszustände bestimmte, leicht erkennbare Verschiedenheiten stattfinden, als ins Reine zu bringen, welchen Antheil an diesen Aeufserungen die einzelnen Organe haben, so benutzte ich vorzüglich den Plethysmographen und nahm nur gelegentlich den Sphygmographen zur Hülfe, um mir einen — wenngleich ziemlich zweifelhaften — Stützpunkt für die Deutung der Curven zu schaffen“ (a. a. O. S. 5).

LEHMANN sucht also unter Umgehung der physiologischen Analyse der in seine Untersuchungen eingehenden Erscheinungen durch eine Art statistischer Methode die Beziehungen bestimmter Erscheinungen am Circulationsapparat und gleichzeitig ablaufender psychischer Vorgänge zu ermitteln. Abgesehen von dem Mißlichen, welches im Verzicht auf eine Untersuchung der physiologischen Vorgänge im vorliegenden Falle enthalten ist, und dessen schwerwiegende Folgen wir weiter kennen lernen werden, ist, wie dies im Einzelnen leicht nachzuweisen wäre, eine derartige statistische Correlationsmethode in diesen Gebieten überhaupt unzulässig.

Es wird darauf verzichtet, hier weiter auf die verwickelten Verhältnisse der Wellenreflexion und der Möglichkeiten der Beeinflussung der dikrotischen Welle einzugehen, ebenso wenig sollen die weiteren Elevationen der Pulscurve besprochen werden, es sei nur darauf hingewiesen, daß die Volumpulscurve im katakroten Theile durchaus analoge Erscheinungen zeigt, wie die Druckpulscurve. Da nun das Plethysmogramm des Vorderarmes sich auf einen Theil des Gefäßsystems bezieht, in dem die primäre Welle erlischt und in dem periphere Reflexion wahrscheinlich stattfindet, so ist es keineswegs undenkbar, daß die Formunterschiede der Druckpulscurve und Volumpulscurve auch direct, unter Umgehung der Strompulscurve, zur Discussion jener Fragen benutzt werden könnten. Da es aber der Zweck dieser Arbeit ist, zu untersuchen, welches ganz im Allgemeinen das Wesen und die Eigenschaften des Plethysmogrammes seien und welchen Standpunkt man kritisch den Angaben, welche sich auf

den Zusammenhang plethysmographisch registrirter Erscheinungen am Circulationsapparat mit psychischen Vorgängen beziehen, gegenüber einzunehmen habe, so mögen alle auf die physiologischen Einzelheiten der Pulslehre bezüglichen Ermittlungen hier übergangen werden. Die vorhergehenden Erörterungen zeigen wohl zur Genüge, wie eigenartig der Charakter des Plethysmogrammes, wie einfach zwar seine Gewinnung ist, wie verwickelt aber die Fehlermöglichkeiten sind und wie schwierig seine Interpretation, welche sich vielfach mit den am meisten strittigen Punkten der Pulslehre berührt, erscheint.

Denn wenn wir die Einflüsse, welche die Gefühlsbetonung von Sinnesreizen, oder welche sogenannte psychische Reize überhaupt auf die Form und Häufigkeit des Pulses haben, ermitteln wollen, so ist es nothwendig, alle anderen Verhältnisse, welche diese Form und Häufigkeit beeinflussen, zunächst zu berücksichtigen. Logischerweise darf man doch nur so vorgehen, daß zunächst die Pulscurve als Resultante der sie beeinflussenden stets wirkenden Bedingungen zergliedert und erklärt wird; aus dem Einflusse dieser Bedingungen ergeben sich die Gesetzmäßigkeiten in den Aenderungen der Normalcurve. Wenn deren Erklärung für uns lösbar war, und wir finden dann noch Erscheinungen in der Pulscurve, welche auf die allgemeinen, stets wirkenden physiologischen Factoren nicht zu beziehen sind, dann erst dürfen wir sagen: es liegen Erscheinungen vor, welche speciell mit den Bedingungen unserer Versuche zusammenhängen. Eine einigermaßen richtige Deutung der unter speciellen Versuchsbedingungen gewonnenen Pulscurven ist also überaus schwierig, und er fragt sich, wenn wir von dem Problem der Richtigkeit, Zuverlässigkeit und der Grenzen der speciellen Fragestellung nach Ausdruckserscheinungen ganz absehen, wie weit es zur Zeit möglich ist, eine geschlossene Darstellung der Beziehungen zwischen gewissen psychischen und circulatorischen Vorgängen zu geben. Sicher ist wenig Grund vorhanden, den bekannten Schemata, etwa dem von LANGE<sup>1</sup> oder den Sätzen, welche LEHMANN<sup>2</sup> aufstellt, die Anerkennung einer irgend wie sicher erwiesenen Berechtigung zuzugestehen.

---

<sup>1</sup> LANGE. Ueber Gemüthsbewegungen. Uebersetzt von KURELLA. S. 40.

<sup>2</sup> LEHMANN. Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892. S. 86: „Einfache unclusterregende Sinneseindrücke rufen, wenn sie schwach sind, sogleich eine Verminderung des Armvolumens und der Höhe der

## II. Die periodischen Schwankungen der Volum- pulscurve.

1. Die wellenförmigen Schwankungen der Volumpulscurve erfordern deshalb eine eingehendere Betrachtung, weil dieselben des öfteren mehr oder minder unmittelbar zu psychischen Vorgängen in Beziehung gesetzt werden. Da aber die Statuirung dieser Beziehungen physiologisch nicht genügend begründet, ja selbst gerechtfertigt erscheint, so ist es veranlaßt, diese Schwankungen genauer zu besprechen, indem zunächst die Frage vorliegt, welche Wellenerscheinungen überhaupt in einer Pulscurvenreihe oder in einer Blutdruckcurve bekannt sind. Dann fragt es sich, ob die Wellen, welche in der Volumpulscurve auftreten, mit den bekannten Wellenerscheinungen identificirt werden können, oder bis zu welchem Grade sie denselben entsprechen. Wenn sich eine Identificirung oder der Nachweis der Analogie durchführen liesse, so wäre damit zugleich bis zu einem gewissen Grade ein Einblick in die Genese jener wellenförmigen Schwankungen der Volumpulscurve gewonnen und diese Einsicht böte zugleich eine Handhabe zur Kritik jener Anschauungen, welche diese Schwankungen zu psychischen Vorgängen bestimmter Art in Beziehung setzen.

Wenn man die Aufzeichnung der Pulscurve oder Blutdruckcurve am Menschen oder am Thiere mit geeigneten Instrumenten vornimmt, dann ist die Fufslinie der einzelnen Pulse im Allgemeinen keine horizontale, sondern sie kann wellenförmige Schwankungen verschiedener Art aufweisen. Wenn man z. B. die bei Thieren mittels des Quecksilbermanometers aufgezeichnete arterielle Blutdruckcurve betrachtet, so lassen sich darin im Allgemeinen drei Wellenformen unterscheiden.<sup>1</sup> Als Schwankungen erster Ordnung lassen sich die Pulswellen bezeichnen; diese sind

---

einzelnen Pulsschläge hervor. Das Volumen nimmt bald wieder zu, trotz der Verkleinerung der Pulsschläge und überschreitet gewöhnlich die Norm, wenn die Pulsschläge ihre vorige Grösse erreicht haben, die übrigens im Allgemeinen ebenfalls überschritten wird.“ S. 89: „Einfache lustbetonte Sinnesempfindungen werden von einer Gefäßerweiterung begleitet und vielleicht auch zugleich von einer Vergrößerung des Umfanges der Herzcontractionen in Verbindung mit einer Erhöhung der Innervation der willkürlichen Muskeln, jedenfalls der Athmungsmuskeln.“ Oder gar S. 91, Posit. 115.

<sup>1</sup> LÉON FRÉDÉRICQ. *Arch. f. Anat. u. Physiologie*, physiolog. Abth., 1887, S. 311. Verhandlungen der Berliner physiolog. Gesellsch. am 25. III. 1887.

die kleinsten, häufigsten und regelmässigsten Wellen. Als Schwankungen zweiter Ordnung oder Athemschwankungen sind solche Wellen zu bezeichnen, welche synchron mit den Bewegungen der Athemmuskeln auftreten, und auf deren grössere Berge und Thäler die Pulsschwankungen als kleinere Berge und Thäler aufgesetzt sind. Die Genese dieser Wellen ist eine recht verwickelte; einerseits müssen zu ihrer Erklärung die Aenderungen der mechanischen Verhältnisse des Gefäßapparates bei der Athmung, vor Allem der Einfluss des intrathorakalen Druckes auf die Blutströmung und den Blutdruck berücksichtigt werden. Scharf davon zu sondern sind die nervösen Bedingungen, die in periodischen Thätigkeitsäusserungen der mit dem Respirationscentrum verbundenen Vasomotorencentren bestehen. Diese Wellen lassen sich am curarisirten Thiere besonders beim Aussetzen der künstlichen Ventilation hervorrufen und werden als »Wellen im ruhenden Gefäßsystem« oder TRAUBE-HERING'sche Wellen bezeichnet.

Dann können periodische Schwankungen dritter Ordnung vorhanden sein, welche in viel längeren Perioden verlaufen und deren jede mehrere Athemschwankungen im Allgemeinen zu umfassen pflegt. Diese Schwankungen wurden zuerst von S. MAYER<sup>1</sup> untersucht, der sie als spontane Blutdruckschwankungen bezeichnete. Diese Wellen sind weder immer vorhanden, noch in ihrem Verlaufe durchaus regelmässig. Indem S. MAYER versucht, die Beziehungen dieser Wellen zu den TRAUBE-HERING'schen Wellen zu ermitteln, hat er ihre Scheidung von letzteren nicht in dem Maasse betont, dass die grundlegende Verschiedenheit beider stets genügend hervorgetreten wäre. Dadurch ist es veranlasst, dass dieselben vielfach mit den TRAUBE-HERING'schen Wellen confundirt wurden. Beide haben den Ort ihres Entstehens, die vasomotorischen Centren, gemeinsam, aber nicht in dem Sinne, dass beide an die identischen Centren gebunden wären; es ist vielmehr wahrscheinlich, dass die TRAUBE-HERING'schen Wellen in einem niedrigeren mit dem Respirationscentrum inniger verknüpften Centrum entstehen, während bei den MAYER'schen Wellen ein höher gelegenes Centrum in Action tritt, dessen Rhythmus nicht in so unmittelbarer Weise von dem Respirations-

---

<sup>1</sup> SIGMUND MAYER. *Sitzungsberichte d. Akad. d. Wissenschaften, Wien*, 74, VII. Abth., S. 281—306. 1876.



centrum abhängig ist. Die Periodik dieser Wellen ist eine ganz andere, langsamere, so daß sie mehrere TRAUBE-HERING'sche Wellen umfassen und nicht mit einer solchen zu identificiren sind. Diese Wellen sollen als S. MAYER'sche Wellen bezeichnet werden.

Nun wurde im ersten Abschnitt gezeigt, daß nach den physikalischen Verhältnissen der Blutbewegung, da wo Druckänderungen im Gefäßsystem stattfinden, in genau bestimmbarer, annähernd gleicher Weise Volumänderungen stattfinden, und daß beide so innig miteinander verknüpft sind, daß ihre Scheidung längere Zeit gar nicht in ihrer vollständigen Durchführung zum Ausdruck gekommen war, da jeder Veränderung der Druckcurven im Allgemeinen dieselben Aenderungen in den Volumcurven entsprechen. Deshalb ist es statthaft, Druckcurven, wie sie etwa mittelst des Quecksilbermanometers aufgezeichnet wurden, mit den Volumpulscurven, die mittels des Plethysmographen gewonnen wurden, zu vergleichen. In den Volumpulscurvenreihen lassen sich nun ebenso wie in den Blutdruckcurven Wellen dreier Ordnungen unterscheiden, nämlich erstlich Pulswellen, die als Volumpulse den Druckpulsen gegenüberzustellen sind, zweitens Wellen zweiter Ordnung, also Wellen vom Rhythmus der Respirationsbewegungen. Die TRAUBE-HERING'schen Wellen sind im Centralnervensystem bedingte Blutdruckwellen im peripherischen Gefäßsapparat. Es wird nachzuweisen sein, daß die Wellen zweiter Ordnung im Plethysmogramm den TRAUBE-HERING'schen Wellen entsprechen, daß es möglicherweise auch TRAUBE-HERING'sche Wellen sind. Dann treten Wellen dritter Ordnung auf, periodische Schwankungen im Volumen der Gefäße, von denen zu untersuchen ist, welches ihre Beziehungen zu den Blutdruckwellen S. MAYER's seien. Man findet also bei der Aufzeichnung der Volumschwankungen im peripheren Gefäßsapparat die drei Wellenordnungen wieder, die sich bei der Druckaufzeichnung ergeben haben.

COHNHEIM und ROY<sup>1</sup> haben bei der Niere und ROY<sup>2</sup> bei der Milz mittels plethysmographischen Methoden nachgewiesen, daß diese Organe Schwankungen der Blutfülle aufweisen, welche den

---

<sup>1</sup> COHNHEIM und ROY. *Virchow's Archiv* 92, S. 436. — ROY. *Journal of Physiol.* 3, S. 219. 1882.

<sup>2</sup> ROY. *Ebenda* S. 217—221.

Wellen zweiter und dritter Ordnung der Blutdruckcurve vollständig entsprechen. Allerdings fanden sich bei der Milz, in geringerem Grade auch bei der Niere, Volumschwankungen, welche von denjenigen des Blutdruckes ganz unabhängig verlaufen. Diese letzteren Beobachtungen dürften aber kaum einen Anlaß geben, die durchgängige Parallelisirung der Druck- und Volumschwankungen zu durchbrechen, sie mögen vielmehr wohl aus den besonderen capillaren Kreislaufverhältnissen und den abweichenden Verhältnissen des capillaren Blutdruckes in diesen Organen zu erklären sein. Auf Grund der physikalischen Verhältnisse des Circulationsapparates haben wir wohl kein Recht, anzunehmen, daß die Volumänderungen und die Druckänderungen im peripheren Gefäßapparat in dem Maasse von einander unabhängig verliefen, daß ein die Wellen der Volumcurve als ganz neue, unbeschriebene Erscheinungen auffassen dürften, vielmehr ist anzunehmen, daß diese Wellen der Volumcurven mit den Wellen der Druckcurven im Allgemeinen identisch sind.

Alle Ermittlungen, die sich auf den Verlauf von Volumcurven auf größere Strecken beziehen, verlangen demgemäß eine eingehende Kenntniß dieser Wellen. Es kann im Einzelfalle auch für denjenigen, der diese Dinge kennt, nicht ganz leicht werden, die vorliegenden Erscheinungen in einer Volumpulscurve richtig zu interpretiren, vor Allem, wenn der periodische Charakter der längeren Wellen nicht scharf hervortritt; für einen aber, der in das Zustandekommen der Wellen zweiter und dritter Ordnung keinen genügenden Einblick hat, ist es ganz außerordentlich nahe liegend, Schwankungen in der Volumcurve als die Wirkung besonderer Vorgänge, darunter eventuell auch psychischer — aufzufassen, die thatsächlich Theile von Wellen größerer Periodendauer sind, die auf ganz andere Ursachen zurückgehen.

Dieser Gesichtspunkt wird es vor Allem sein, der bei der Besprechung der Versuche LEHMANN<sup>1</sup> zu berücksichtigen ist. Diesem waren weder die Entstehungsbedingungen der Wellen zweiter noch die derjenigen dritter Ordnung bekannt. Von letzteren nimmt er durchgängig an, sie seien „psychisch bedingt“.

2. Im Jahre 1847 veröffentlichte C. LUDWIG eine Arbeit unter

---

<sup>1</sup> A. a. O.

dem Titel „Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensystem“<sup>1</sup>, welche mit neuen Hilfsmitteln die Frage des Einflusses der Athembewegungen auf die Blutbewegung in Angriff nimmt. Die Untersuchungen, welche LUDWIG dann in Gemeinschaft mit GERAU anstellte, führten beim Pferde sowohl wie beim Hunde zum Resultat, daß der respiratorische Luftdruck im Verhältniß zum Gesamtbetrag des Blutdrucks höchst unbedeutende Schwankungen des Blutdrucks in der Mehrzahl der Fälle bedingt. GERAU zog daraus den Schluß, daß die Blutdruckerhöhung im Gefäßsysteme während der Expiration nicht allein vom Luftdruck abhängen könne, und suchte die weiteren Zusammenhänge zu ermitteln. Mit diesen Arbeiten setzt die lange Reihe von Untersuchungen ein, welche im Wesentlichen mit den von LUDWIG geschaffenen Hilfsmitteln den Zusammenhang zwischen Circulation und Respiration zu ermitteln suchen.

Gleichzeitig mit der Blutdruckcurve zeichnete LUDWIG die pulmonalen Druckschwankungen auf und es ergab sich, daß mit der Expiration der Druck in den Lungen steigt, so daß eine Compression der Aorta und eine Beschleunigung des Abflusses des Blutes in den kleinen Arterien stattfindet. In entgegengesetztem Sinne wie die Expiration beeinflusst die Inspiration den Blutdruck. Auch die Beeinflussung der Geschwindigkeit und der Intensität der Herzschläge durch die Expiration wurde von LUDWIG bemerkt. Die gewonnenen Resultate waren schließlich so verwickelt, daß sich LUDWIG einfach mit der Feststellung derselben begnügte und auf alle Hypothesen zur Interpretation derselben verzichtete. 13 Jahre später bearbeitete EINBRODT<sup>2</sup> das gleiche Thema; er untersuchte durch abnorme Verstärkung vor Allem den Einfluß des positiven und negativen Respirationsdruckes. Er fand, daß der positive Respirationsdruck bis zu 125 mm Hg den Zufluß des Blutes zum Herzen erschwert, den Nutzeffect der Herzarbeit vermindert und den Druck des Blutes im Aortensystem herabsetzt. Zuerst allerdings wächst der Blutdruck mit dem Respirationsdruck, eine secundäre Wirkung ist dann das Entstehen von Hirndruckerscheinungen durch venöse

<sup>1</sup> *Archiv für Anatomie und Physiologie* 1847. S. 242.

<sup>2</sup> EINBRODT. Ueber den Einfluß der Athembewegungen auf Herzschlag und Blutdruck. *Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaften* 40, S. 345. 1860.

Stauung, welche mit dem Absinken des arteriellen Druckes verbunden ist. Dann wird durch die Steigerung des Respirationsdruckes der Vagus gereizt und so ist reflectorisch eine Verlangsamung des Herzschlages möglich, ohne daß ein directer Reiz auf das Herz wirkt. Als Angriffspunkt der Reizung kämen einerseits die terminalen Vagusfasern in der Lunge, andererseits die centrale Ursprungstelle des Vagus in Betracht. EINBRODT entscheidet sich für die zweite Möglichkeit und nimmt den vermehrten Druck der Hirnvenen als Grund der Vagusreizung an. Wenn der positive intrathorakale Druck aufgehoben wird, dann steigt der arterielle Blutdruck in der weitaus größten Mehrzahl der Fälle rasch und bedeutend an, denn das im Herz aus den Venen ankommende gestaute Blut wird sogleich für den arteriellen Blutstrom nutzbar gemacht und so eine rasche Ausgleichung erzielt, nach welcher dann der arterielle Blutdruck rasch wieder absinkt. LUDWIG und EINBRODT betrachteten „diese Untersuchung nur als eine Vorarbeit, die in Folge der erlangten sicheren Einsicht in die Grundelemente der Frage ein weiteres Vordringen wesentlich unterstützen wird“. Einzelne dieser Gesichtspunkte waren schon lange vorher von JAMES CARSON<sup>1</sup> (1815) geltend gemacht worden, der darlegte, wie die bei der Einathmung geblähten Lungen sich durch ihre Elasticität zusammenziehen suchen und hierdurch einen Theil des Druckes der Atmosphäre auf das Herz aufheben. Hierdurch wird die Diastole befördert, der Einfluß des Venenblutes ins Herz begünstigt, die Systole dagegen erschwert.

Diesen Einfluß der Lungenelasticität auf die Verminderung des intrathorakalen Druckes hatte auch DONDERS<sup>2</sup> (1853) betont. Er gab an, daß die Erhöhung des pulmonalen Druckes bei der Expiration auf das Herz im Sinne einer Erschwerung der Diastole wirken müsse und so zur Ursache venöser Hyperämie und arterieller Anämie werden könne; sinkt dagegen bei der Inspiration der Druck in den Lungen, so tritt auch eine Er-

---

<sup>1</sup> JAMES CARSON. An inquiry into the causes of the motion of the blood. Liverpool. Citirt in BUZDACH'S *Physiol.*, Bd. IV, S. 446. 1815. — On the elasticity of the lungs. *Philos. Transactions* 110. 1820.

<sup>2</sup> DONDERS. Beiträge zum Mechanismus der Respiration und Circulation im gesunden und kranken Organismus. *Zeitschr. f. rat. Medicin*, Neue Folge 3. 1853. Bijdraege tot het Mechanisme van Adembaling en Bloedsamloop. *Neederlandsch Lancet* 5, 2. Serie, S. 359. 1859.

niedrigung des Druckes auf die Oberfläche des Herzens ein. Dadurch wird die Erweiterung des Herzens bei der Diastole gefördert und die Blutmenge, die in die Arterien strömt, stark vermehrt, wenn nicht die Abnahme des Druckes so bedeutend wird, daß die Systole und damit die Austreibung des Blutes in alle Körperarterien dadurch gehemmt wird. DONDERS überschätzt aber hier den Einfluß der intrathorakalen Druckschwankungen bedeutend. Daß der Herzmuskel schon in seiner Eigenschaft, sich stets maximal zu contrahiren, man möchte fast sagen eine Art Schutzvorrichtung gegen derartig intensive äussere Einwirkungen hat, war zu jener Zeit noch nicht bekannt. Bei den Aenderungen der Circulation durch die Athmung wirken wenigstens schon drei Factoren zusammen: die Schnelligkeit und die Kraft der Herzcontractionen, die Blutmenge, welche durch die Venen dem Herzen zugeführt wird, und der Druck unter dem die Herzarterien in der Brusthöhe stehen (einschliesslich der reciproken Verhältnisse der Meiocardie und Auxocardie). So kommt es, daß der arterielle Blutdruck thatsächlich viel beträchtlichere Unterschiede darbietet, als der Druck der Ein- und Ausathmung, von dem er abhängt. Die Bedeutung der venösen intrathorakalen Druckverhältnisse wurden eingehend von EDUARD WEBER<sup>2</sup> erörtert, nachdem bereits etwa 100 Jahre vorher LAMURE<sup>3</sup> und später ALBRECHT VON HALLER<sup>4</sup> darüber eingehende und richtige Angaben gemacht hatten.

<sup>1</sup> EDUARD WEBER. Ueber ein Verfahren, den Kreislauf des Blutes und die Function des Herzens willkürlich zu unterbrechen. *Archiv f. Anat. u. Physiol.* 1851, S. 88.

<sup>2</sup> LAMURE. Recherches sur la pulsation des artères sur le mouvement du cerveau dans les trépanés et sur la couenne du sang. Montpellier 1749.

HALLER recapitulirt in seinen *Elementis physiologiae* Bd. II, S. 335 LAMURE's Ergebniss mit folgenden Worten: „In expiratione semper imprimis thorax contrahitur, comprimuntur pulmones „auriculae“ venae cavae, fit refluxus sanguinis in venas cerebri, eae ergo in expiratione tangent.“

<sup>3</sup> HALLER. *Elementa physiologiae corporis humani.* Lausannae. Vol. II, S. 236; III, S. 246. 1760—61.

Eine eingehende Darstellung der weiteren Entwicklung dieses Fragencomplexes auf Grund der zahlreichen bis 1880 darüber erschienenen Arbeiten hat ROLLETT in HERMANN's Handbuch der Physiologie Bd. IV, Theil 2, Cap. IV u. V gegeben. Ebenso findet sich eine Zusammenstellung der hierhergehörigen Literatur bei G. HEINRICIUS und H. KRONECKER, Beiträge zur Kenntniss des Einflusses der Respirationsbewegungen auf den Blutlauf im Aortensysteme. Nr. IX des XIV. Bandes der *Abhandlungen der mathemat.-physikal. Classe der Kgl. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften* 1888.

3. Die Versuche ergeben aber schliesslich, dass die respiratorischen Blutdruckschwankungen nicht allein erklärbar sind aus den mechanischen Verhältnissen in Thorax und Bauchhöhle bei der Athmung. Namentlich ist der Einfluss der Aenderungen im Lungenkreislauf auf die Druckschwankungen im Aortensystem ein sehr geringer oder verschwindender; Verschluss oder Oeffnung eines Hauptastes der Pulmonalis beeinflussen den übrigen Circulationsapparat nur in sehr geringem Maasse (LICHTHEIM). Die Lunge verhält sich also in diesem Falle ganz wie die anderen Organe, etwa wie die Niere, wo die Verhältnisse ja, wegen der Frage der Herzhypertrophie bei chronischen Nephritiden, allgemein bekannt sind. Uebrigens kommt auch die Dehnbarkeit des Herzens in Betracht, die unter nervösen Einflüssen stehen kann, wie die Versuche von BAXT<sup>1</sup> mit Acceleransreizung zeigten. Weitere nervöse Zusammenhänge zwischen Circulation und Athmung sind von W. P. LOMBARD und PILLSBURY<sup>2</sup> angegeben worden. Nach diesen hängen die Aenderungen des Rhythmus der Herzcontractionen bei der Athmung nicht ab von den durch die Thoraxbewegungen gesetzten physikalischen Einflüssen, sondern sind centralen Ursprunges, abhängig von den Erregungen des Athemcentrums selbst. Sie bestehen beim normalen ruhig athmenden Menschen in einer Beschleunigung des Herzschlages bei der Inspiration, in einer Verlangsamung desselben bei der Expiration. Der centrale Ursprung der respiratorischen Schwankung wird bewiesen durch ihre Unabhängigkeit von willkürlicher Hemmung oder Beschleunigung der Athembewegungen. Wenn diese Auffassung richtig wäre, so würde daraus folgen, dass die willkürliche Regulirung der Athmung nicht durch das coordinirende Athemcentrum in der Medulla, sondern in irgend welcher Weise vermittels der subordinirten Athemmuskelcentren in der Medulla spinalis erfolge. Da es aber wohl noch sehr fraglich ist, ob die spinalen Athemmuskelcentren eigentlich respiratorische Centren zeigen, so darf man wohl dieser Argumentation mit Reserve gegenüberstehen, und dieselbe Stellungnahme ist wohl gegen die Behauptung gerechtfertigt, dass mit der Entstehung

---

<sup>1</sup> N. BAXT. *Berichte der Kgl. sächs. Gesellschaft d. Wissenschaften, Math.-phys. Cl.*, 1875.

<sup>2</sup> W. P. LOMBARD u. PILLSBURY. *Secondary rhythmus of the normal human heart. American Journal of Physiol.* 3 (5), S. 201.

der respiratorischen Blutdruckschwankungen central eine Veränderung der Herzfrequenz in dem Sinne verknüpft sei, daß die Entwicklung inspiratorischer Wirkung seitens des Respirationencentrums und vasoconstriktorischer Wirkung seitens des Gefäßcentrums in gleicher Weise hemmend auf ein Herzhemmungscentrum, also beschleunigend auf den Herzschlag wirken sollen.

Auf nervösen Zusammenhängen beruhen auch die Erscheinungen, welche sich bei weitergehenden Störungen des Blutgaswechsels finden und die ihre extremste Ausbildung in der Veränderung des Blutdrucks und der Herzthätigkeit bei der Erstickung zeigen und die auch dann auftreten, wenn die äußeren Athembewegungen der quergestreiften Musculatur durch Curare ausgeschaltet sind. So beobachtete THIRY<sup>1</sup> an bloßgelegten Säugethierherzen bei Unterbrechung der künstlichen Respiration eine dauernde, rasch oder nur allmählich eintretende starke Erweiterung des Herzens, die sich sowohl bei intacten wie bei durchschnittenen Vagis findet, also nicht mit den Vaguswirkungen zusammenhängen kann. Daher suchte er den Grund dieser Herzerweiterung in der Contraction der kleinen peripheren Arterien, welche er direct bis beinahe zum Verschwinden ihres Lumens sich contrahiren sah. Indem er diese Versuche zu den Beobachtungen, welche er mit LUDWIG über die Thätigkeit der Vasomotorencentren im Halsmarke angestellt hatte, in Beziehung brachte, sprach er die Meinung aus, daß bei dem Aussetzen der künstlichen Respiration das mit CO<sub>2</sub> beladene Blut nicht direct oder local auf die glatte Gefäßmuskulatur wirke und diese zur Contraction bringe, sondern, daß der kohlen säurehaltige Blut auf das Centralnervensystem und zwar wohl auf die Gefäßcentren der Medulla oblongata wirke und von dort aus vielleicht sämtliche Gefäßnerven beeinflusse.

4. Bereits in den Jahren 1862 und 63 hatte TRAUBE<sup>2</sup> nicht nur die Erweiterung des Herzens an Kaninchen beobachtet, welche ein 20% CO<sub>2</sub>, 31% O und 41% N enthaltendes Gas-

<sup>1</sup> THIRY. *Medicin. Centralbl.* (46), S. 722. 1864. Vgl. HERING a. a. O. 1869.

<sup>2</sup> TRAUBE. Versuche über den Einfluss des Woraragiftes auf die Herzthätigkeit. *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften* (4 u. 5). 1863. — Versuch über den Einfluss des Lungengaswechsels auf das dem Einfluss der Nervi vagi entzogene Herz. *Gesammelte Beiträge zur Pathologie u. Physiologie* 13, S. 310. Berlin 1871.

gemisch wiederholt passiv geathmet hatten<sup>1</sup>, sondern er hatte auch gesehen, daß bei curaresirten Thieren, bei denen nach Durchschneidung der Vagi die Lungenventilation mit einem kohlenensäurehaltigen Gasgemisch erfolgte, der Blutdruck anstieg. Er zog daraus den Schluss, daß die Kohlensäure direct erregend auf die Centren der motorischen Herznerven wirke. Dann aber änderte er infolge der Untersuchungen von LUDWIG und THIRY über die Wirkung der Halsmarkreizung auf die Gefäße seine Meinung, indem er sich im Jahre 1865 in folgender Weise ausspricht<sup>2</sup>: „Es ergiebt sich nicht nur direct die Richtigkeit der Erklärung, welche THIRY von dem Ansteigen des Druckes im Aortensystem bei Untersuchung der Respiration gab, sondern auch der Schluss, daß das in der Medulla oblongata befindliche Centrum des vasomotorischen Nervensystems unter dem erregenden Einfluß der CO<sub>2</sub> in eine periodische Thätigkeit gerathen kann, mit anderen Worten, daß die CO<sub>2</sub> durch ihre erregende Wirkung auf das vasomotorische Nervencentrum abwechselnd und in rhythmischer Weise Contraction und Erschlaffung der Körperarterien hervorzurufen vermag. Daß diese Wirkung der CO<sub>2</sub> nicht darauf beruht, daß sie abwechselnd in größerer und geringerer Menge dem vasomotorischen Nervencentrum zugeführt wird, liegt auf der Hand. Denn unzweifelhaft wächst der Gehalt des Blutes an CO<sub>2</sub> mit der Zeit der Erstickung, d. h. mit der Zeit, die seit dem Augenblick der Unterbrechung der künstlichen Respiration verflossen ist.“ „Die periodische Contraction und Erschlaffung der Körperarterien unter dem Einfluß der CO<sub>2</sub> hängt also von der abwechselnden Erregung und Ermüdung des vasomotorischen Nervencentrums ab.“

Die Meinungen TRAUBE's und THIRY's decken sich also in allen wesentlichen Punkten, indem beide annehmen, daß die bei der Erstickung eintretende Steigerung des arteriellen Blutdruckes durch eine Erregung eines im verlängerten Mark angenommenen Nervencentrums und die dadurch hervorgerufene Contraction der kleinen Arterien stattfindet. Diese Hypothese erweitert dann TRAUBE, indem er eine rhythmisch abwechselnde Erregung und Ermüdung des vasomotorischen Centrums unter

<sup>1</sup> TRAUBE. *Centralblatt f. d. medicin. Wissenschaften* 1862.

<sup>2</sup> TRAUBE. Ueber periodische Thätigkeitsäußerungen des vasomotorischen und Hemmungsnerven-Centrums. *Centralblatt für d. medicin. Wissenschaften* (56), S. 881. 1865. Vgl. auch *Gesammelte Beiträge* 1, S. 389.



dem Einfluß der als Reiz wirkenden  $\text{CO}_2$  annimmt, um so zu einer Erklärung der wellenförmigen Schwankungen zu gelangen.

Im Gegensatze dazu behauptete POKROWSKY<sup>1</sup> auf Grund von Erstickungsversuchen an Kaninchen, daß das Ansteigen des Blutdrucks nur aus der Aenderung der Pulsfrequenz zu erklären sei, und nicht aus der Verengerung der kleinen Arterien, welche erst eintrete, wenn durch die Vaguswirkung die Herzschläge seltener geworden seien und so der Blutdruck gesunken sei.

„Nehmen wir POKROWSKY aus“, so resumirt HERING die Sachlage, „so stimmen alle angeführten Forscher darin überein, daß bei der Erstickung, gleich viel ob dieselbe durch Aussetzen der künstlichen Athmung oder durch Einblasen sauerstoffloser Luft oder durch Aufhebung der Blutcirculation herbeigeführt wird, eine vitale Gefäßcontraction eintritt. Dieselbe ist nach THIRY, TRAUBE, v. BEZOLD und GSCHIEDLEN bedingt durch eine unter den genannten Umständen eintretende Erregung eines oberhalb des Rückenmarkes angenommenen vasomotorischen Centrums, während KOWALEWSKY und ADAMÜCK zwar die Möglichkeit einer solchen Erregung eines vasomotorischen Centrums nicht bestreiten, aber auf eine von diesem Centrum unabhängige vitale Gefäßcontraction das Hauptgewicht legen. POKROWSKY allein sucht die Ursache der bei der Erstickung eintretenden Blutdrucksteigerungen in einer erhöhten Thätigkeit des Herzens“ (HERING 1869).<sup>2</sup>

Auf Grund der Funde TRAUBE's behauptete SCHIFF<sup>3</sup>, daß die Bewegungen der Organe im Thorax nur ganz ausnahmsweise die Ursache der respiratorischen Blutdruckschwankungen sein könne. Bei der normalen Respiration ist eine Erhöhung und Erniedrigung des Blutdruckes, welche die Phasen derselben begleitet, nicht als mechanischer Effect der Respiration aufzufassen, sondern nur als ein damit gleichzeitig verknüpfter Vorgang, der auf derselben Ursache wie die Respiration selbst beruht. Es treten die respiratorischen Oscillationen des Blutdruckes

<sup>1</sup> POKROWSKY. *Archiv für Anatomie und Physiologie* 1866, S. 59.

<sup>2</sup> HERRING. Ueber Athembewegungen des Gefäßsystems. *Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissenschaften* 40, II. Abth., S. 837. 1869.

<sup>3</sup> M. SCHIFF. Cenno sulle Ricerche fatte dal Prof. M. SCHIFF nel laboratorio di fisiologia del Mus. di Firenze durante il I. Trimestre 1872. Relazione del Dottore A. Mosso estratto del Giornale „La nazione“. Referat von BOLL im *Centralblatt f. d. med. Wissenschaften* S. 756. 1872.

immer dann auf, wenn in dem Blute Sauerstoffmangel und Kohlensäureüberschufs vorhanden ist, und so das Respirationcentrum gereizt wird. Zu der gleichen Zeit oder doch kurz darauf erregt der gleiche Reiz auch das Innervationscentrum der Gefäße und es erfolgt eine Contraction der kleinen Arterien, welche den Blutdruck etwas erhöht. SCHIFF meinte, daß die sogenannten respiratorischen Oscillationen des Blutdruckes allemal dann eintreten, wenn in der chemischen Zusammensetzung des Blutes gleichfalls periodische Aenderungen eintreten. Diesen Schwankungen der chemischen Zusammensetzung entsprechen die respiratorischen Oscillationen des Blutdruckes völlig und begleiten sie in vollkommen entsprechender Regelmäßigkeit. Diese specielle Zuformung der Theorie wurde später von TRAUBE verlassen, und er sah dieselben an als bedingt durch periodische Thätigkeitsäußerungen des vasomotorischen Nervensystems. Diese periodischen Blutdruckschwankungen sind nicht bedingt durch periodisch hervortretende Aenderungen in der Frequenz der Herzschläge. Wenn im Verlaufe einer Blutdruckwelle Aenderungen im Herzschlage eintreten, so sind diese nur ganz mittelbar verbunden, eine ursächliche Verknüpfung besteht nicht. Beim Kaninchen treten gar nicht selten Variationen in der Häufigkeit des Herzschlages auf, deren Ursachen sich nicht unmittelbar angeben lassen. Diese erscheinen zuweilen mit einer gewissen Rhythmicität und an denselben Stellen im Verlaufe einer wellenförmigen Schwankung; dadurch können sie der Curve ein eigenthümliches Aussehen verleihen. Es ist demgemäß anzunehmen, daß diese von TRAUBE entdeckten Wellen in keiner Weise durch die Herzthätigkeit hervorgerufen sind, sondern im Gefäßsystem entstehen.

5. Die ausführlichste und beste Untersuchung dieser Wellen wurde von HERING 1869<sup>1</sup> gegeben.

TRAUBE hatte, um diese Wellen zur Anschauung zu bringen, beim curarisirten Thiere die Respiration vollständig ausgesetzt und diese Wellen in dem besonderen Falle der Erstickung beschrieben. HERING führte zunächst den Nachweis, daß das Auftreten derselben ein allgemeines ist.

In der Erklärung dieser Wellen hält sich HERING der speciellen Form der von TRAUBE und THIRY vertretenen Hypo-

<sup>1</sup> A. a. O. S. 829.

these ferne, er sieht ganz davon ab, die Frage nach dem Stoffe im Blute, welcher den eigentlichen Reiz abgibt — ob es etwa die Kohlensäure sei, welche ebenso das vasomotorische wie das Athmungscentrum in Erregung bringe — zu erörtern. Er stellt vielmehr den Satz auf, daß die Bedingung für den Eintritt der beschriebenen rhythmischen Hebungen und Senkungen des Blutdrucks in einem gewissen Grad der Venosität des arteriellen Blutes zu suchen sei, und daß diese überhaupt diejenigen Erscheinungen herbeiführe, welche die Dyspnoe und die Erstickung charakterisiren. Um nun die jeweilige Beschaffenheit des Arterienblutes, von welcher das Auftreten dieser Wellen abhängt, näher zu bestimmen, schlägt HERING vor, vier Hauptarten von Arterienblut zu unterscheiden und dieselben der Kürze wegen mit besonderen Namen zu belegen.

Durch weitere Versuche kommt nun HERING zu dem Schluss, daß die periodischen wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes durch die periodische Thätigkeit des Athmungscentrums bedingt sind, „denn Niemand wird eine prästabilirte Harmonie zwischen dem Rhythmus der Athembewegungen und dem Rhythmus der genannten Druckschwankungen annehmen wollen“.

„Durch den Nachweis, daß die Ursache der periodischen Schwankungen des Blutdruckes im Athmungscentrum gelegen ist, wird zuvörderst die Hypothese TRAUBE's ausgeschlossen, welcher eine rhythmische Erregung und Ermüdung des vasomotorischen Centrums unter dem unmittelbaren Einfluß der Kohlensäure annahm. TRAUBE meinte offenbar, daß das dyspnoische Blut, so gut es das respiratorische Nervencentrum in erhöhte periodische Thätigkeit bringe, in analoger Weise auch auf das vasomotorische Centrum direct wirken könne.“ Eben- sowenig ist es dann statthaft, die eigentliche Ursache dieser Wellen in rhythmischen Contractionen der glatten Gefäßmusc- latur zu suchen, welche von dem centralen Nervensysteme ganz unabhängig seien, eine Annahme, der KOWALEWSKY und ADAMÜCK sich zuneigen. Denn die Wellenerscheinungen, welche nach Durchschneidung der Vagi und Sympathici am Halse und des Rückenmarkes zwischen Atlas und zweitem Halswirbel auftreten, erscheinen, später, sind länger und sind flacher und zeigen keinen streng rhythmischen Charakter, so daß es sich dabei um ganz andere Erscheinungen handelt, zu der die weiteren Blutdruckerscheinungen bei der Erstickung und nach Halsmark-

durchschneidung gehören, und schliesslich ist die Annahme ausgeschlossen, welche TRAUBE zuerst vertreten hatte, dass diesen Wellen eine vom centralen Nervensystem unabhängige Periodicität der Herzthätigkeit zu Grunde liege.

Durch die eingehenden Erörterungen HERING's über den Einfluss der Herzthätigkeit auf diese Wellen wird zunächst per exclusionem hinreichend sicher gestellt, dass die Gefäßmuskulatur und nicht das Herz als Erzeuger dieser wellenförmigen Schwankungen anzunehmen ist. Dies wurde dann weiterhin durch Versuche mit Abbindung des Herzens im Stadium der dyspnoischen Drucksteigerung und in solchen mit künstlicher Circulation bewiesen, wobei HERING die möglichen Einwände gegen letztere selbst in objectivster Weise hervorhebt. Aus der Argumentation über die Betheiligung des Herzens und aus diesen Versuchen lässt sich der Schluss ziehen, dass auch das Gefäßsystem Athembewegungen ausführt, welche sich den schon bekannten Athembewegungen associiren und wie diese vom sogenannten Athemcentrum ausgelöst werden.

Es ist aber von Wichtigkeit, dass HERING in dieser Arbeit es unentschieden gelassen hat, ob diese Bewegungen schon im Zustand der Eupnoe vorhanden sind und erst mit der beginnenden Dyspnoe deutlicher hervortreten, oder ob sie erst bei Dyspnoe überhaupt entstehen, denn dies macht es wohl statthaft, Wellenbewegungen im Gefäßsystem, welche dieselbe Periodik und im Allgemeinen dasselbe Aussehen zeigen wie diese TRAUBE-HERING'schen Wellen, zu diesen in Beziehung zu bringen, auch wenn die Versuchsbedingungen einigermaassen abweichende waren. Beim Menschen, wo die Ausschaltung der Athembewegungen durch Curare und die künstliche Respiration nicht angängig sind, können selbstverständlich die TRAUBE-HERING'schen Wellen in dieser Weise nicht nachgewiesen werden, es kann aber doch die Bedingung der Venosität des Blutes soweit erfüllt sein, dass die unter bestimmten Bedingungen in den Curven auftretenden Wellen als TRAUBE-HERING'sche bezeichnet werden dürften. Wie HERING selbst ausführt, ist das Blut in den Arterien unter normalen Verhältnissen nicht absolut arteriell, denn es kann, wie J. ROSENTHAL zeigte, durch künstliche Ventilation der Lunge noch arterieller gemacht werden, ebenso wie das Blut im rechten Herzen nicht absolut venös ist, da es durch Beeinträchtigung des respiratorischen Luftwechsels noch venöser werden kann.

HERING stimmt also mit der Ansicht TRAUBE's darin überein, daß diese Schwankungen des Blutdruckes durch rhythmische Erregung der Gefäßnerven bedingt seien und suchte den Anstoß für diese Erregung in der periodischen Thätigkeit des respiratorischen Nervensystems; er bezeichnet daher auch diese Circulationserscheinungen geradezu als Athembewegungen des Gefäßsystems.

TRAUBE's Ermittlungen beziehen sich durchgängig auf curarisirte Hunde, über den Befund bei Kaninchen ist nirgends bei ihm eine Mittheilung gemacht. HERING arbeitete mit curarisirten Hunden, Katzen und Kaninchen. Dann beschäftigten sich LATSCHENBERGER und DEAHNA<sup>1</sup> und CYON<sup>2</sup> mit diesen TRAUBE-HERING'schen Wellen. Es wurde von diesen Autoren eine von HERING abweichende Erklärung dieser Wellen versucht, aber es scheint, daß diesem abweichenden Interpretationsversuche eine genügende Berechtigung nicht zugestanden werden könne. Wie LATSCHENBERGER und DEAHNA annehmen, gehen von jedem Bezirk des Blutgefäßsystems elevirende und deprimirende Fasern zu den vasomotorischen Centren, in denen den letzteren beständig Erregungen zufließen. „Erhöhung des Druckes in den Gefäßen hat sofort Erregung der deprimirenden Fasern und Herabsetzung des Druckes zufolge und umgekehrt.“ Bald überwiegen die elevirenden Fasern, dadurch wird der Blutdruck erhöht; dies hat reflectorisch wieder Erregung der deprimirenden Fasern zufolge. Die so entstehenden Schwankungen sollen isorhythmisch mit den Athembewegungen sein, und so die TRAUBE-HERING'schen Wellen zu Stande kommen. CYON sah den TRAUBE'schen Wellen gleichende Schwankungen des Blutdruckes bei selbständig athmenden Kaninchen und diese identificirt er geradezu mit den TRAUBE-HERING'schen Wellen. Er faßt sie als spontane rhythmische Erregungsschwankungen auf, die durch Reizung der im Gehirn und in der Peripherie gelegenen vasomotorischen Centren durch O-Armuth und CO<sub>2</sub>-Anhäufung im Blute bedingt seien und während der Apnoe in Folge des Ausfalls dieser Reizung des Gefäßnervensystems verschwinden. Damit stellt er sich wieder auf den Boden der von SCHIFF zwei Jahre zuvor ver-

<sup>1</sup> LATSCHENBERGER und DEAHNA. Beiträge zur Lehre von der reflectorischen Erregung der Gefäßmuskeln. *Pflüger's Archiv* 12, S. 157. 1876.

<sup>2</sup> E. CYON. Zur Physiologie des Gefäßnervencentrums. *Pflüger's Arch.* 9. 1874. (*Ges. Abhandlungen* S. 149 u. 170, Berlin 1888.)

tretenen Anschauungen. Diese von CYON beobachteten wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes bei spontan athmenden Kaninchen hat S. MAYER sehr eingehend untersucht und beschrieben und er verwahrt sich gegen die Identificirung dieser Wellen mit den TRAUBE-HERING'schen Wellen. „Keineswegs scheint es gerechtfertigt, die beim selbständig athmenden Kaninchen hervortretenden wellenförmigen Schwankungen schlechtweg als TRAUBE'sche Wellen zu bezeichnen, wie dies CYON und LATSCHENBERGER und DEAHNA gethan haben. Die genannten Autoren haben sich nicht bemüht, für die von ihnen adoptirte Identität der in Frage stehenden Erscheinungen Beweise vorzubringen.“

Einer davon scharf zu sondernden Gruppe gehören nun die folgenden Erscheinungen an.

6. Im Jahre 1874 machte AUBERT<sup>1</sup> eine kurze Mittheilung über spontane Blutdruckschwankungen; in der fünften Abhandlung seiner Studien zur Physiologie des Herzens und der Blutgefäße behandelte dann S. MAYER, gestützt auf ein im Verlauf von fünf Jahren gesammeltes Material, diese Frage.

Es kommt nun eine neue Erscheinungsreihe hinzu, welche LATSCHENBERGER und DEAHNA<sup>1</sup> bereits beobachtet haben. Diese führen außer den TRAUBE'schen Wellen noch eine andere Art Wellen an, die weit regelmässiger seien als jene und von ihnen als Reizwellen bezeichnet werden. Wenn auch die eigentliche Ursache dieser scheinbar spontan auftretenden Wellen, die bei unvollkommen curarisirten Thieren von einzelnen Muskelzuckungen begleitet seien, nicht bekannt ist, so sei man doch berechtigt, die Vermuthung auszusprechen, daß diesen Wellen den Centren zufließende Reize zu Grunde liegen, weil sie vollständig den Blutdruckschwankungen gleichen, welche man bei Reizung des centralen stumpfesensibeler Nerven durch elektrische oder mechanische Reize erhält. Auch diese Wellen werden von S. MAYER besprochen. Sie treten auch bei Thieren auf, bei denen Sauerstoffarmuth und Kohlensäurereichthum des Blutes nicht angenommen werden können, bei denen die Venosität des arteriellen Blutes in Nichts von der Norm abweicht und die Genese dieser Wellen ist unbedingt auf die Intervention der cerebralen Centren für die Gefäßinnervation angewiesen.

---

<sup>1</sup> AUBERT. *Tageblatt der 47. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Breslau 1874*, S. 209.

Es existirt nun noch eine ganz besondere Art von rhythmischen Blutdruckschwankungen, von denen es möglich ist, daß sie zu einer Confusion mit den TRAUBE-HERING'schen Wellen Veranlassung geben. Auch über diese giebt S. MAYER's Arbeit Aufklärung. Diese Schwankungen hat HERING seiner Zeit sowohl in ihrer Erscheinungsweise als in ihren Ursachen im Prager physiologischen Institute an Hunden, Katzen und Kaninchen demonstriert (S. MAYER).

Die in Frage stehenden periodischen Druckschwankungen sind bedingt durch Interferenz der durch jeden Herzschlag hervorgerufenen Druckwelle, mit den durch den mechanischen Einfluß der künstlichen Lufteinblasungen bedingten Wellen des Blutdruckes. Die Schwankungen können nur dann hervortreten, wenn die Zahl der Herzschläge nahezu mit der in derselben Zeiteinheit vorgenommenen Zahl von Lufteinblasungen zusammenfällt. Diese Wellen werden als Schwankungen durch Interferenz bezeichnet. Nach einer genauen Darstellung derselben stellt er dann die Punkte zusammen, welche bei der Unterscheidung derselben von den TRAUBE-HERING'schen Wellen zu berücksichtigen sind.

Als Grundursache der rhythmischen Blutdruckschwankungen bei spontan athmenden Thieren sieht nun MAYER, wie HERING dies hinsichtlich der TRAUBE'schen Wellen bei curarisirten Thieren gethan hat, vom Athemcentrum aus dem vasomotorischen Nervensystem zufließende Impulse an, und da diese Schwankungen weit seltener auftreten als die Athembewegungen, so kommt er zur Ansicht, daß „zwischen das Athemcentrum und den peripheren gefäßbewegenden Apparat ein Centrum eingeschaltet sei, welches in tonischer Erregung sich befindet. Diese tonische Erregung kann in ihrer Intensität vom Athemcentrum her in der Weise beeinflusst werden, daß bei normaler Action des letzteren sich erst mehrere von dort kommende Innervationen summiren müssen, um gleichsam eine Entladung des Centrums für die Gefäßinnervation hervorzurufen.“

Demnach wendet MAYER sich auch gegen die Ansicht von LATSCHENBERGER und DEAHNA, der zufolge sämtliche nicht durch Dyspnoe hervorgerufene, wellenförmige, scheinbar spontane Blutdruckschwankungen auf reflectorische Erregung des vasomotorischen Centrums zurückzuführen seien, giebt aber die Möglichkeit zu, „daß stetig wirkende, wie immer eingeleitete

sensibele Reize hier und da zu einer periodisch auftretenden Innervation der Gefäßsnerven Anlaß geben können“.

Zur Vervollständigung der von S. MAYER gegebenen Beschreibung der Schwankungen durch Interferenz führt KNOLL<sup>1</sup> an, daß man auch bei gleichbleibendem Rhythmus der Einblasungen manchmal eine durch Wechsel in der Frequenz der Herzschläge bedingte Veränderung in der Länge der Wellen beobachten kann.

Uebersieht man die Reihe der hierher gehörigen Erscheinungen, so ergibt sich, daß vier Arten von periodischen wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes zu unterscheiden sind:

1. Die durch Venosität des Arterienblutes bedingten TRAUBE-HERING'schen Wellen beim curarisirten Thiere, als deren Grundbedingung HERING vom Athemcentrum dem vasomotorischen Centrum periodisch zufließende Erregungen ansieht.

2. Die spontanen Blutdruckschwankungen bei selbständig athmenden Thieren, deren Grundursache S. MAYER gleichfalls in vom Athemcentrum höheren vasomotorischen Centren zukommenden Impulsen sieht.

3. Die Reizwellen LATSCHENBERGER's und DEAHNA's, die bei nicht dyspnoischen, curarisirten Thieren auftreten und als reflectorisch bedingte Wellen anzusehen sind.

4. Die Schwankungen durch Interferenz.

Bei seinen Versuchen über Athmungsinnervation wurde KNOLL darauf aufmerksam, daß die S. MAYER'schen Wellen verbunden sein können mit periodischen Veränderungen in der Frequenz und Tiefe der Athmungen. Daraus gewann er einen Ausgangspunkt zu einem eingehenderen Studium der bei spontan athmenden oder curarisirten Thieren auftretenden periodischen Blutdruckschwankungen und im weiteren Verlaufe auch des Einflusses sensibeler Reizungen auf den Blutdruck. Seine Beobachtungen wurden durchweg an Kaninchen angestellt.

Eine genauere Betrachtung der aufgezeichneten Athmungscurven lehrt, daß die Athembewegungen der Kaninchen sehr häufig einen bald deutlich ausgesprochenen, bald nur leicht an-

---

<sup>1</sup> PHILIPP KNOLL. Ueber periodische Athmungs- und Blutdruckschwankungen. *Sitzungsberichte der math.-naturw. Classe d. k. Akad. d. Wissenschaften Wien* 91 (1—5), III. Abth. 1885.



gedeuteten Wechsel in der Frequenz oder Tiefe oder in beiden zugleich und auch in der Mittellage des Zwerchfelles erkennen lassen.

Bei bestimmten Athmungstypen giebt sowohl die Verbindung der Fuß- als der Gipfelpunkte der Athmungscurven ausgeprägte Wellenlinien. KNOLL behauptet nun, daß die Betrachtung der gleichzeitig aufgeschriebenen Blutdruckcurve ergebe, daß den durch Verbindung der Fuß- oder Gipfelpunkte der Athmungscurven zu erhaltenden Wellenlinien in der Regel Wellen auf der Blutdruckcurve entsprechen, welche vollständig mit den von S. MAYER geschilderten spontanen Blutdruckschwankungen übereinstimmen sollen.

„Auch bei Thieren, denen das Großhirn extirpiert wurde, sind die Athmungsschwankungen und Blutdruckschwankungen oft zu finden. (Die einzelnen Perioden sind hierbei gewöhnlich von auffallend langer Dauer.)“

Wie KNOLL schon in seiner Mittheilung über die Athmung bei Erregung sensibeler Nerven bemerkte, sieht man den jeweiligen Eintritt der Athmungsbeschleunigung sehr oft mit einem schauerartigen Erzittern der Thiere verbunden. S. MAYER hat bereits früher auf dies Erzittern der Thiere aufmerksam gemacht und nahm an, daß die Schwankungen im arteriellen Blutdrucke, die er regelmäßig hierbei beobachtete, durch die Muskelcontractionen beim Erzittern bedingt seien. S. MAYER scheint diese Erscheinung nur aperiodisch beobachtet zu haben. KNOLL sah diese Schauer gewöhnlich in Verbindung mit den Athmungs- und Blutdruckschwankungen periodisch wiederkehren, zuweilen aber auch ein Verschwinden derselben bei Fortbestehen der Blutdruck- und Athmungsschwankungen, so daß er dieselben nicht als durch die Muskelbewegungen beim Erzittern bedingt annehmen will. Durch periodische Application sensibeler Reize kann man periodische Schwankungen der Athmung und des Blutdruckes, verbunden mit schauerartigem Erzittern der Thiere hervorrufen, welche nach KNOLL dieselbe Beschaffenheit haben wie die scheinbar spontan auftretenden Schwankungen. „Beginn der Beschleunigung der Athmung und Blutdrucksteigerung fallen dabei gewöhnlich genau zusammen. Indessen kann man hierbei wie bei den scheinbar spontanen Schwankungen in einzelnen Fällen auch eine Coincidenz von Athmungsbeschleunigung und Blutdrucksenkung beobachten.“

Die vollständige Uebereinstimmung dieser künstlich hervorgerufenen Erscheinung mit dem häufigsten Grundtypus der scheinbar spontan auftretenden Athmungs- und Blutdruckschwankungen bestimmten KNOLL zu der Annahme, daß auch die letzteren reflectorisch ausgelöst sind, wobei er meint, daß die abnormen Verhältnisse, unter denen das auf dem CZERMAK-schen Kaninchenhalter gefesselte Versuchsthier sich befindet, einen dauernden Reiz für die sensibelen Nerven mit sich bringen dürften, der nur zu einer zeitweisen Entladung in den hierdurch erregten Centren führt, eine Ansicht, deren Berechtigung S. MAYER bereits anerkannt hat.

KNOLL nähert sich also wieder den Anschauungen von LATSCHENBERGER und DEAHNA, nach welchen sämtliche zur Beobachtung kommende wellenförmige spontane Blutdruckschwankungen auf reflectorische Erregungen des vasomotorischen Centrums zurückzuführen seien. Die Möglichkeit, daß stets wirkende sensibele Reize, die irgendwie in den Versuchen auftreten, in einzelnen Fällen zu einer periodisch auftretenden Innervation der Gefäßsnerven Anlaß geben können, kann nicht in Abrede gestellt werden. „Wir müssen aber ausdrücklich hervorheben, daß wir durch die bis jetzt vorliegenden Thatsachen zu dem Schlusse geführt werden, daß die Erregungsnormen des vasomotorischen und des respiratorischen Nervencentrums im Wesentlichen dieselben sind, d. h. daß automatische und reflectorische Erregung in denselben stattfindet.“

„Für beide Centren sind wir trotz ihres in vielen Punkten differenten Verhaltens geneigt, im Anschlusse an die ROSENTHAL-sche Lehre von den Ursachen der Athembewegungen, der Automatie eine wichtige Rolle zuzuschreiben“ (S. MAYER).

Daraus geht also die Nothwendigkeit hervor, die Selbständigkeit und centrale Entstehung der S. MAYER'schen Wellen aufrecht zu erhalten und weiterhin scharf von den von LATSCHENBERGER und DEAHNA und vielen Anderen beobachteten reflectorisch bedingten Wellen zu sondern, zu denen auch die von KNOLL weiterhin besprochenen Erscheinungen gehören. Da die Besprechung der von LATSCHENBERGER und DEAHNA untersuchten Wellen zu einer höchst verwickelten und überaus umfangreichen Fragegruppe, nämlich der der Gefäßreflexe führen würde, so sollen diese zur Zeit ausgeschlossen bleiben, da wir hoffen, in weiteren Auseinandersetzungen auf dieselben eingehen zu können.

7. Der ungefähre Einblick in die Sachlage, der immerhin auf Grund der vorhergehenden Ausführungen möglich ist, erlaubt es wenigstens, in einem wichtigen Punkte Kritik zu üben an den von Seiten von Psychologen vorliegenden Angaben über die wellenförmigen Schwankungen der Volumpulscurve. Die folgenden Ausführungen wenden sich zunächst vorwiegend gegen LEHMANN, weil dessen Angaben der directe Anlaß für die vorliegende Arbeit waren, es muß aber besonders hervorgehoben werden, daß LEHMANN nicht der einzige ist, dem hier weitgehende Irrthümer untergelaufen sind. Wie dargelegt wurde, ist auch das Plethysmogramm eine Pulscurve. Bei den innigen Beziehungen, die bei den Erscheinungen des Arterienpulses zwischen Blutgeschwindigkeit, Volum und Blutdruck bestehen, ist es erlaubt, die Volumschwankungen als parallelgehend den Druckschwankungen aufzufassen und demgemäß in den Wellen der Volumpulscurve Wellenerscheinungen zu erblicken, die denen der Blutdruckcurve durchaus entsprechen, so daß möglicherweise eine Identificirung, mindestens aber eine durchgängige Parallelsirung beider gestattet ist.

Die Fragestellung, von der LEHMANN ausgeht, ist folgende (Vorrede S. III, IV). „Es handelt sich nämlich darum, inwiefern Veränderungen der vegetativen Functionen, welche bestimmte Bewußtseinszustände normal begleiten, sich auch reflectorisch durch einen äußeren Reiz auslösen lassen, ohne daß der Bewußtseinszustand mitwirkte. Mit anderen Worten: Ist der psychische Zustand, an welchen gewisse körperliche Erscheinungen normal geknüpft sind, etwas Wesentliches, so daß die körperlichen Veränderungen nur dann zu Stande kommen können, wenn der seelische Zustand gegeben ist: oder ist letzterer etwas ganz unwesentliches, ein Plus, das je nach den Umständen vorhanden oder abwesend sein kann.“ Wir haben nun keinen Grund, auf diese Fragestellung und das Bedenkliche in derselben irgendwie einzugehen, da wir zu den folgenden Ausführungen irgendwelcher besonderer psychologischer Annahmen nicht nöthigen.

LEHMANN'S Versuche sind nur qualitativ. Er verwirft im Hinweis auf SHIELD'S Arbeit, die er als vollständig verfehlt bezeichnet, den Versuch quantitativer Ermittlungen in den vorliegenden Fragen, er scheint aber in der qualitativen Analyse gerade in physiologischer Richtung nicht weit genug gelangt zu

sein, er theilt hier leider die Anspruchslosigkeit gar mancher experimentellen Psychologen hinsichtlich der Kenntnisse und der Erkenntniß in physiologischer Beziehung. Seine Auseinandersetzungen über den Normalzustand beginnt er folgendermaafsen:

„In einem Plethysmogramm, an einem Menschen genommen, der wenigstens dem Anschein nach sowohl in psychischer als in physischer Beziehung völlig ruhig ist, wird man häufig, jedoch keineswegs immer, Volumschwankungen erblicken, denen sich eine äußere Ursache überhaupt nicht nachweisen läßt. Mosso (Ueber den Kreislauf des Blutes, Leipzig 1881. S. 104 ff.) hat es versucht, aus der Form dieser Oscillationen und Undulationen deren physiologische Ursachen, Veränderungen der Geschwindigkeit des Herzschlages, Contractionen und Dilatationen der Gefäße zu bestimmen, giebt übrigens aber zu, daß eine solche Bestimmung nicht in allen Fällen möglich sei. Mit Bezug auf die folgenden Versuche ist es offenbar von größter Bedeutung, daß wir vor allen Dingen die Erklärung dieser spontanen Volumänderungen finden, weil es sonst schwer oder geradezu unmöglich zu entscheiden sein kann, ob eine gegebene Volumveränderung durch den angewandten Reiz verursacht wird, oder daß sie möglicherweise spontan ist, so daß sie entstanden sein würde, auch wenn der Reiz gar nicht stattgefunden hatte.“

„Diese Schwierigkeit ist von verschiedenen Forschern gefühlt worden und hat große Irrthümer veranlaßt (z. B. SHIELD). Bei der Untersuchung der Undulationen — so können wir alle scheinbar spontanen Volumveränderungen mit einem einzigen Namen bezeichnen — sind wir doch etwas günstiger gestellt als Mosso; für uns handelt es sich nämlich nicht um den Nachweis der schwer zugänglichen physiologischen Ursachen, sondern nur um die Bestimmung der allgemeinen Bedingungen, unter welchen Undulationen überhaupt entstehen. Sie kommen, wie gesagt, keineswegs stets bei einem normalen ruhigen Menschen vor; es muß also möglich sein, die ihr Auftreten bedingenden Umstände zu finden.“

Daß es nothwendig sei, eine Erklärung der „spontanen“ Schwankungen der Volumcurve zu finden, sagt LEHMANN selbst, zu dieser „Erklärung“ ist er aber keineswegs gesonnen, nämlich auf die „schwer zugänglichen physiologischen Ursachen“ zurückzugehen, sondern er meint, es genüge die Bestimmung der „all-

gemeinen Bedingungen, unter welchen die Undulationen überhaupt entstehen“. Aufser Mosso giebt LEHMANN nichts über die Literatur jener Undulationen an, und es ist nicht ersichtlich, ob ihm etwas darüber bekannt ist. Nicht einmal die Bezeichnung der TRAUBE-HERING'schen Wellen habe ich in seiner Arbeit gefunden. Demgemäfs ist von einer Erklärung bei ihm keine Rede, sondern seine Ermittlungen stützen sich auf ein Herumprobiren über jene Undulationen, das selbst, wenn seine aus den Tafeln II, III, V, VI, VII, IX—XIII herangezogenen Versuche richtig wären, nicht stringent sein würde. LEHMANN scheint darüber anderer Meinung zu sein, denn er fährt fort: „und kennen wir erst diese, so haben wir alles, was erforderlich ist, um zu entscheiden, ob eine gegebene Volumveränderung spontan ist oder nicht. Um diese Verhältnisse zu erhellen, beginnen wir also damit, eine Reihe unter verschiedenen Umständen genommener Normalcurven durchzugehen.“ Es ist nun interessant, LEHMANN bei diesem Durchgehen seiner Normalcurven zu begleiten; schon bei der ersten, auf Tabelle II A vom 3. X. 95 findet L. hier bei einer psychisch anscheinend ruhigen Versuchsperson Undulationen, die jenen auffallend ähnlich sein sollen „welche während Denkhätigkeit irgend einer Art eintreten.“ „Man könnte deshalb zu dem Glauben versucht werden, die V.-P. sei nicht völlig gedankenleer gewesen, sondern habe unwissentlich einen Gedanken verfolgt.“ Es möchte scheinen, als ob diese Art der Argumentation nicht recht zulässig sei, denn sie enthält eine *petitio probandi*; weil bei der anscheinend ruhigen Versuchsperson doch Undulationen auftraten, hat sie gedacht, und zwar unwissentlich; man wäre fast versucht zu fragen, ob die Versuchsperson nicht »unbewusst« gedacht hat.

Wenn man ferner Tab. II B beide Curven mit den von S. MAYER und bei KNOLL reproducirten Curven vergleicht, so ist die Uebereinstimmung der Curven im Aussehen sehr auffallend.

Auch die Behauptung LEHMANN's, dafs die respiratorischen Volumpulsschwankungen nur bei sehr tiefen Athemzügen auftreten, scheint nach unseren Versuchen nicht durchaus zutreffend, diese lassen sie wohl unter bestimmten Umständen gröfser werden, aber man sieht sie auch recht häufig bei normaler, und bei flacher, mäfsig beschleunigter Athmung, und was die Wirkung des Stickoxyduls anlangt, so liegt es doch wohl am nächsten, an eine Veränderung des Gasgemisches bei der Respiration zu

denken, welche vollständig in Analogie zu den Versuchen TRAUBE's steht.

Am normalen Plethysmogramm, das an einer Versuchsperson in anscheinend psychischer und physischer Ruhe genommen ist, lassen sich nach LEHMANN wenigstens drei verschiedene Formen der Undulationen im Plethysmogramme unterscheiden „nämlich 1. mit der Respiration synchrone Oscillationen, 2. sanfte und 3. jähe Undulationen, die in keiner Beziehung zur Respiration stehen.“ Abgesehen von dem letzten Relativsatz kann man diese Unterscheidung in der That für die äußerliche Beschreibung der Curven zugeben. Dann untersucht LEHMANN die Curven, die er als Respirationsoscillationen bezeichnet, indem er die Tiefe und Dauer des Athemhohlens willkürlich variiren läßt.

„Als Ergebnifs dieser Betrachtungen können wir nun folgenden Satz aufstellen: Die Respirationsoscillationen der Volumpulscurve sind erstens von der Tiefe und Dauer der Athmung abhängig, indem sie um so mehr hervortreten, je tiefer und länger die Respiration ist. Ferner sind sie von der Pulshöhe abhängig, indem jeder Zustand oder jedes Aufhören eines Zustandes, der eine Steigerung der Pulshöhe mit sich bringt, zugleich die Oscillationen stärker hervortreten läßt.“

Diesem Ergebnifs von Betrachtungen kann ich nicht zustimmen. Dafs die respiratorischen Schwankungen der Volumpulscurve von der Tiefe und Dauer der Athmung abhängen, ist gewifs, aber dafs sie um so mehr hervortreten, je tiefer und länger die Respiration ist, gilt nicht in dieser Allgemeinheit. Vielmehr erlaubt die Complicirtheit der hier vorliegenden Verhältnisse überhaupt nicht die Statuirung so einfacher Beziehungen, ebenso bestreite ich ihre durchgängige Abhängigkeit von der Pulshöhe, da ich Curven erhalten habe, welche beide vollständig unabhängig von einander zeigen und dann ist die Registrirung der Pulshöhe mittels des Plethysmographen bei Niveauschwankungen nicht so zuverlässig, dafs irgend welche bindende Schlüsse auf dieser Grundlage gezogen werden dürften.

„Da die Respirationsoscillationen so leicht erkennbar sind, weil ihre Periode stets mit der der Respiration zusammentrifft, findet selten die Gefahr statt, dafs man eine Undulation dieser Art mit einer auf anderem Wege hervorgerufenen Volumveränderung verwechselt wird. Es möchte deshalb überflüssig erscheinen, dafs wir die Bedingungen ihres Entstehens sorgfältig

zu erhellen gesucht haben. In diagnostischer Beziehung ist es jedoch von nicht geringer Bedeutung, diese Bedingungen zu kennen, weil man schon hierdurch ein Mittel hat, zu entscheiden, ob ein Individuum sich in völlig normalem Gleichgewicht des Gemüths befindet.“

„Aus dem Vorhergehenden folgt nämlich: wenn in der Volumcurve einer bestimmten V.-P. Respirationsoscillationen stark hervortreten, ohne daß ein äußerer Reiz (Wärme, Kälte u. s. w.) supernormale Pulshöhen erzeugt hat, so ist die V.-P. entweder schläfrig oder in Gemüthsbewegung bestimmter Art. Unter solchen Verhältnissen angestellte Versuche werden also nicht rein sein, weil die V.-P. nicht als in normalem Gleichgewicht des Gemüths befindlich betrachtet werden kann.“<sup>1</sup> Nach den vorhergehenden Ausführungen über die mechanisch und nervös bedingten Blutdruckschwankungen soll dieser Satz nur angeführt werden.

Darauf geht LEHMANN auf eine zweite Erscheinung ein, die er als das „jähle Sinken der Volumencurve“ bezeichnet. Von diesem behauptet er, daß es nicht unter solchen Verhältnissen vorkommt, wo willkürliche Denkarbeit als ausgeschlossen zu betrachten ist, so daß die Vermuthung nahe läge, daß diese Undulationen die Folge psychischer Thätigkeit wären. „Diese Ursache läßt sich mit Sicherheit offenbar nur mittelst Selbstbeobachtung feststellen und jedesmal, wenn ich selbst als V.-P. bethätigt war, achtete ich genau auf alle plötzlich auftauchenden Gedanken und zeigte sogleich deren Existenz an, um möglicherweise ihre Gleichzeitigkeit mit bestimmten Volumschwankungen zu constatiren. Es scheint denn auch kein Zweifel darüber herrschen zu können, daß alle jählen und weniger regelmäßigen Undulationen wirklich von Gedanken herrühren. Die beiden folgenden Curven geben den ersten Theil wieder, in welchem ich im Stande war, das Verhalten zu constatiren“ (Tab. X B, C, D; XI A). L. kommt dann zu dem Resultat, daß das jähle Sinken der Volumcurve durch Gedanken, durch psychische Zustände ohne Gefühlsbetonung hervorgerufen wurde.

---

<sup>1</sup> Nach L.'s Anschauungen ist also der Schluss zu ziehen, daß jenes Schwein (oder jene Schweine), bei dem die der Athmung isorhythmischen Blutdruckschwankungen untersucht wurden (vgl. HERMANN'S Lehrb. d. Physiol. 1896. S. 79), sich nicht im Gleichgewicht des Gemüths befunden habe.

Von diesem „jähem Sinken der Volumpulscurve“ scheidet L. ein anderes Phänomen, das er als „die sanften Undulationen“ bezeichnet.

„Wenn ein Mensch in normalem Gleichgewicht des Gemüths sich eine Zeit lang frei von Gedanken hält, wird man sehen, daß das Armvolumen sanfte, ziemlich regelmässige Veränderungen erleidet. Diese Undulationen gewahrt man am leichtesten, wenn man sich eine Linie quer durch die Fufspunkte der Pulse im Plethysmogramm gelegt, denkt. Diese Linie wird keine gerade, sondern eine wellenförmige. Gute Typen geben schon Tab. III C, D; IV D; X B. Ueber die Ursache dieser Undulationen weiß man nichts. Mosso, der sie namentlich in den Volumencurven des Gehirns untersuchte, hat allerdings nachgewiesen, daß sie bald auf Veränderungen des Herzschlages, bald auf rein vasomotorischer Thätigkeit zu beruhen scheinen, was aber diese Veränderungen wieder bedingt, ist noch nicht entschieden (Mosso, Kreislauf des Blutes. 1881, S. 104 ff.). Dagegen sagt er von analogen Veränderungen der Blutgefäße im äußeren Ohre des Kaninchens »daß sie mit den Sinnes- und Gefühlseindrücken und dem jeweiligen Geisteszustände dieser Thiere zusammenhängen« (ibid. S. 121). Es ist nun auch nicht wahrscheinlich, daß die sanften Undulationen in Plethysmogrammen von Menschen rein physiologischen Ursprunges sind.“

Ohne auf die logische Zergliederung der Sätze L.'s eingehen zu wollen, möchte es uns doch scheinen, daß seine Beweisführung keine irgendwie bindende sei, indem in allen seinen Versuchen und Ausführungen gerade der springende Punkt nicht bewiesen ist, da gar kein irgendwie bindender Grund vorhanden ist, eine thatsächliche Abhängigkeit jener Undulationen von psychischen Vorgängen anzunehmen. Von den Experimenten mit schlafenden Versuchspersonen ist kein einziger beweisend und dann ist es doch ein unzulässiges Schlussverfahren, aus der einfachen Gleichzeitigkeit ohne weiteres irgend welche Beziehungen ableiten zu wollen; das ist doch nur unter Verhältnissen erlaubt, die im vorliegenden Falle gerade nicht erfüllt sind. L.'s Verfahren ist etwa dasselbe, wie wenn jemand daraus, daß beim wachen Menschen die Harnsecretion größer als beim Schlafenden ist und regelmässige Schwankungen zeigt, eine Beziehung zwischen der Harnmenge und dem psychischen Geschehen annehmen wollte und die Schwankungen desselben zum



Indicator und als Ausdruckerscheinung der psychischen Prozesse annehmen wollte. Man gestatte dies Beispiel, da die thatsächlichen Verhältnisse einander hier Glied für Glied parallel gehen. Auch wenn in der Volumpulscurve des wachen Menschen Schwankungen auftreten und die Volumpulscurvenreihe des Wachenden von der der Schlafenden deutlich unterschieden ist, ist es unstatthaft, aus der einfachen Gleichzeitigkeit irgend welche Beziehungen zum psychischen Geschehen herzustellen. Darauf kann eigentlich nur jemand gerathen, der die ganze Complicirtheit der Physiologie des Gefäßapparates nicht kennt oder gröblich vernachlässigt; nur dann sind solche Behauptungen möglich wie: „Diejenigen Oscillationen der Volumpulscurve, welche nicht von der Athmung oder von Muskelbewegungen herrühren, sind psychischen Ursprungs.“<sup>1</sup>

Eine derartige Zuordnung wäre nur statthaft, wenn alle jene wellenförmigen Schwankungen nicht auf einfachere und näherliegende Weise erklärt werden könnten, wenn überhaupt eine andere Beziehung nicht denkbar, oder durch eine besondere Beweisführung ausgeschlossen wäre. Diese andersartige Entstehung ist aber nicht nur denkbar, sondern auch durch zahlreiche und sorgfältige Versuche am Thiere direct erwiesen. Wenn auch dieselben Versuche für den Menschen nicht vorliegen und in diese Weise nicht ausführbar sind, so haben wir doch das Recht, anzunehmen, daß bei ihm die Verhältnisse ebenso liegen wie beim Thiere, da dieselben morphologischen und mechanischen Voraussetzungen nicht nur annähernd, sondern absolut erfüllt sind. Daß das psychische Geschehen beim Menschen auf ein nachweislich in seinen Eigenschaften so stabiles Organsystem wie den Circulationsapparat in ganz singulärer Weise einen derartigen Einfluß gewinne, daß damit die Analogie zu den Blutdruckschwankungen beim Thiere aufgehoben wäre, erscheint uns eben in Anbetracht der morphologischen und functionellen Identität als so willkürlich, daß wir diese Annahme a limine ablehnen und lieber versuchen, diese beim Menschen beobachteten Wellen im Gefäßsystem, soweit als irgend statthaft und angängig ist, nach den so wohl bekannten Erscheinungen aus dem Thierversuch zu erklären. Es hängt that-

<sup>1</sup> LEHMANN. *Bericht über den dritten internationalen Congress für Psychologie*, S. 285. München 1896.

sächlich im Wesentlichen von der sorgfältigen Prüfung der gewonnenen Curven im Hinblick auf das aus dem Thierversuch bekannte, und von weiter auszuführenden und durchführbaren Versuchen ab, daß diese Erklärung nicht nur einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, sondern auch eine durchaus zureichende Vollständigkeit und Lückenlosigkeit bekommt.

Die Annahmen LEHMANN's über die Beschaffenheit des Plethysmogramms im Normalzustand ist unrichtig. Wie einerseits der Vergleich mit dem Thierversuch und andererseits meine eigenen Versuche ergeben, sind die »Undulationen« keine durch psychische Prozesse hervorgerufene Erscheinungen. Die Beziehungen, welche LEHMANN zwischen dem psychischen Geschehen und dem Verlaufe des Plethysmogramms aufstellt, sind unzutreffend; die Verhältnisse sind anders und viel verwickelter.

Das Resultat, mit dem ich diese Arbeit schliessen möchte, ist:

I. Daß sich in der Volumpulscurvenreihe des Menschen Wellen nachweisen lassen, welche die Periodik der Respirationsbewegungen haben. Bei der innigen Beziehung der Druckänderungen und Volumänderungen bei den Pulsationserscheinungen im Arteriensystem ist anzunehmen, daß diesen Wellen der Volumpulscurve in derselben Weise Blutdruckschwankungen entsprechen. Es zeigt sich, daß bei ihnen in der Mehrzahl der Fälle die Pulsfrequenz im aufsteigenden und absteigenden Schenkel dieselbe ist; darin stimmen sie mit den TRAUBE-HERING'schen Wellen überein.

II. Eine Sonderung der mechanischen und der nervös bedingten Veränderungen während der Respiration war in den vorliegenden Versuchen am Menschen nicht durchführbar und in Folge dessen der Antheil beider Factoren nicht von einander zu scheiden. Dies verhindert zur Zeit eine Identificirung dieser Wellen mit den TRAUBE-HERING'schen Wellen.

III. Außer den Wellen von der Periodik der Respiration treten noch andere auf, welche von längerer Dauer sind, und ebenfalls periodischen Charakter haben. Indem wir es wiederum für statthaft halten, von den Wellen der Volumpulscurvenreihe auf die Blutdruckschwankungen zurückzugehen, halten wir es für sehr wahrscheinlich, daß diese Wellen den von S. MAYER beim spontan athmenden Kaninchen beschriebenen Druckschwankungen entsprechen. Wenn wir an den von HERING und

S. MAYER gegebenen Erklärungen festhalten, so gewinnt durch letztere Ermittlung die Parallelisierung der zuerst angeführten Wellen mit den TRAUBE-HERING'schen Wellen eine weitere Stütze.

IV. Weder die erste, noch die zweite Art von Wellen ist in ihrem Auftreten irgend wie an ein psychisches Geschehen gebunden.

Damit wird weiterhin behauptet, daß es sich bei den neuen Untersuchungen „zur experimentellen Psychologie der Gefühle“ um Erscheinungen handelt, die längst bekannt sind und diese Behauptung läßt sich auch für die Erscheinungen in den Athmungscurven aufstellen. Wenn der Satz, daß es sich hierbei durchgängig um Erscheinungen handle, die (reflexartiger oder automatischer Beschaffenheit) infracorticalen Ursprungs sind, richtig ist, dann sind die vorliegenden Versuche, eine derartige Symptomatologie der Gefühle zu schaffen, wie sie WUNDT und LEHMANN sich denken, als unrichtig abzulehnen.

*(Eingegangen am 27. Juli 1902.)*