

Vasomotorische Methodik der psychologischen Ermüdungsmessung.

Von Dr. Bernhard Zondek, Stockholm.

(Mit 30 Figuren.)

Das Vasomotorenzentrum in der Medulla oblongata ist die bedeutsamste Stätte, von der aus die Gefäße beeinflußt werden. Die höheren Hirnteile wirken nur indirekt auf den Gefäßtonus, und zwar auf dem Wege des Reflexes über das Gefäßnervenzentrum. Die Vasomotoren befinden sich in einem vom Zentralorgan aus geleiteten, dauernden, lebhaften Spiel, welches den physikalischen und psychologischen Einwirkungen auf den Körper in zweckmäßiger Weise entspricht. Um in diesen komplizierten Mechanismus einzudringen, stehen uns verschiedenartige Methoden zur Verfügung, unter denen die Plethysmographie als wichtigste zuerst zu nennen ist.

I. Die Plethysmographie.

Die Plethysmographie (von πληθύνειν füllen) gibt das beste direkte Maß über die Volumschwankungen eines Organs oder Körperteiles, da jede Änderung der Blutmenge des gemessenen Abschnittes graphisch registriert werden kann. Die Versuche, die Volumschwankungen der Glieder zu beobachten, reichen schon weit zurück. Eine geschichtliche Darstellung der Methoden hier zu geben, entspricht nicht dem Zweck dieser Arbeit. Bezüglich der historischen Tatsachen sei auf die Abhandlung von *O. Frank*¹⁾ verwiesen. Das Prinzip der Plethysmographie ist folgendes: Der zu messende Körperteil muß von einer starren Kapsel umgeben werden, ohne daß die Blutzirkulation irgendwie gestört wird. Von der Kapsel muß ein Gummischlauch an einen Schreibhebel führen, so daß jede Volumenzunahme des in der Kapsel eingeschlossenen Gliedes die zwischen ihm und der Kapsel befindliche Luft verdrängen muß; hiedurch wird der an der Registrierkapsel befindliche Schreibhebel

¹⁾ *O. Frank: Tigerstedts Handb. d. phys. Arbeitsmeth. 273 (1913).*

gehoben, und an der rotierenden Trommel des Kymographions eine über die Anfangsordinate sich erhebende Kurve gezeichnet (aufsteigende, positive Kurve). Bei einer Volumverminderung tritt der entgegengesetzte Effekt ein. Der Druck in dem Apparat wird vermindert, wodurch die Kurve sich unter die Anfangshöhe senkt (abfallende, negative Kurve).

Statt der reinen Luftübertragung kann man sich einer gemischten Wasserluftübertragung bedienen. Die dicht um das Glied befestigte Kapsel muß mit Wasser gefüllt werden, das über die Kapsel hinaus in eine Ableitungsröhre reicht, wobei sich die Volumveränderung an der Bewegung des Wasserspiegels kundtut, die

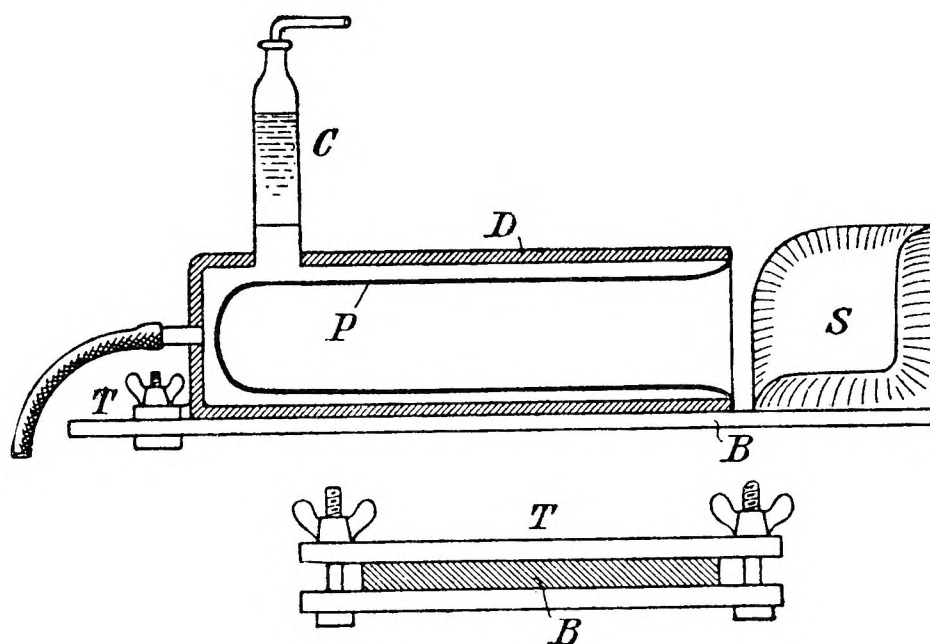


Fig. 260.

ihrerseits durch die zwischen dem Wasser und dem Registrierhebel eingeschlossene Luft auf den Schreibhebel übertragen wird.

Für die hier in Betracht kommenden Untersuchungen der vasomotorischen Veränderungen wird am besten der von *Lehmann* verbesserte *Mossosche* Plethysmograph (Fig. 260) benützt, mit dem man die Zirkulationsverhältnisse eines Armes studieren kann. (Die Beschreibung der Methodik entspricht der von *Prof. Ernst Weber* angegebenen. Die Abbildungen sind meist den *Weberschen* Arbeiten entnommen.)

Hierbei kommt der Arm selbst mit dem Wasser gar nicht in Berührung, da am Rand der Kapsel ein dünner Gummisack *P* befestigt und in die Kapsel hineingestülpt ist. In diesen Gummisack wird der Arm hineingelegt, der durch Festlegen des rechtwinkelig gebogenen Ellenbogens in der gepolsterten und verstellbaren Stütze *S* in seiner Lage festgehalten wird. Nach Einführung des Armes wird durch den Gummischlauch *G* der zwischen der Kapsel und dem Gummisack befindliche Raum mit Wasser gefüllt,

das in dem Steigrohr bis zur angegebenen Höhe *C* steigt. Luftblasen müssen vermieden werden, bzw. der Apparat so lange geschüttelt werden, bis sie nicht mehr aufsteigen. Das Steigrohr *C* darf nur bis zur angegebenen Höhe gefüllt werden, damit noch eine genügende Menge Luft vorhanden ist, die die direkte Übertragung auf die Registrierkapsel bewirken soll. Von der Höhe dieses Wasserspiegels hängt der auf den Arm ausgeübte Druck ab, der nicht zu groß sein darf, da sonst die vasomotorischen Feinheiten nicht zum graphischen Ausdruck kommen können. Es ist zweckmäßig, bei jeder Untersuchungsperson festzustellen, welche Wasserhöhe bei ihr zur Erzielung der deutlichsten Kurven notwendig ist, denn bei zu großem Druck wird der Puls zu sehr verkleinert, bei zu kleinem Druck wird der Gummisack eventuell nicht fest genug an den Arm gedrückt, so daß sich dann zwischen ihm und dem Gummisack *P* noch Luft befinden kann, was für die Versuche störend ist und vermieden werden muß.

Der *Mossosche* Plethysmograph ist nur für den Arm verwendbar, jedoch kann man einen ähnlichen Apparat auch für den Fuß des Menschen konstruieren. Die Versuche mit der Beinplethysmographie haben jedoch wegen der Fülle der Fehlerquellen nicht zu einwandfreien Ergebnissen geführt.

Um auch andere Gefäßgebiete untersuchen zu können, insbesondere die vasomotorischen Verhältnisse des Gesichtes, die ja bekanntlich vasomotorisch am feinsten reagieren, sei noch eines Apparates für die Registrierung der äußeren Kopfteile Erwähnung getan. *Weber*¹⁾ konstruierte hiefür ein Onkometer für das Ohr, das aus einer flachen ohrförmigen, aus biegsamem Blech gefertigten Kapsel besteht; diese wird so über das Ohr gelegt, daß die Ränder der Kapsel an die umgebenden Schädelknochen angedrückt werden, nachdem sowohl die Haare als auch die Kapselhülle mit Vaselinanhydrit intensiv angefettet sind, wodurch ein luftdichtes Anliegen des Apparates gesichert wird. Der Apparat wird dann noch besonders durch mehrere Bidentouren am Kopf befestigt. Ein von der Kapsel ausgehender Schlauch führt zur *Mareyschen* Registrierkapsel.

Bei dieser Volummessung wird also das Prinzip der reinen Luftübertragung benützt. Zu beachten ist noch, daß das Ohronkometer fest an den Schädelknochen angedrückt wird, da sonst eventuell die Pulsation der Arteria temporalis Hebungen des Kapselrandes verursachen könnte. Dadurch müßte eine Erweiterung des Innenraumes zwischen Ohr und Kapsel entstehen, das zu einer Senkung der Volumkurve führen muß. Es ist ratsam, bei jeder

¹⁾ *E. Weber*: Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abt. 189 (1908).

derartigen sich senkenden Ohrkurve auf diese Fehlerstelle besonders zu achten. Erhält man eine Volumzunahme des Ohres, so ist die Fehlerstelle eo ipso ausgeschlossen.

Was die Messung der inneren Organe betrifft, so sei besonders auf die der Bauchorgane hingewiesen. Allerdings bestehen hiefür nicht unerhebliche Schwierigkeiten, da man ihre direkte plethysmographische Messung, wie das beim Tierversuch möglich ist, selbstverständlich nicht ausführen kann. Es gelang *E. Weber*¹⁾ zur Darstellung der vasomotorischen Veränderungen der Bauchorgane einen Apparat zu konstruieren, der bei Beobachtung der nötigen Kautelen gute Resultate ergibt.

Hierbei sind folgende Gesichtspunkte maßgebend: Legt man in ein Onkometer außer dem zu messenden Organ noch einen kleinen Gummisack, welcher an der einen Seite in einen Schlauch verlängert ist, wodurch er die Verbindung des Onkometers mit der Registrierkapsel darstellt, dann würde, nachdem der kleine Gummisack von außen mit Luft leicht aufgeblasen ist und sich dem zu messenden Organ dicht anlegt, die Volumenzunahme des Organs dieses aufgeblasene Gummisäckchen zusammendrücken und die in ihm enthaltene Luft durch den Schlauch nach der Registrierkapsel drängen. Das gleiche Resultat müßte man erhalten, wenn man die Onkometerkapsel fortläßt, so daß sich die Zirkulationsveränderungen direkt auf den Gummisack übertragen können. Dieses Prinzip wird für den inneren Bauchplethysmographen angewandt, der nur aus einem Gummisack und einer aufgebundenen Hohlsonde besteht. Der Gummisack (seine Länge beträgt 15 cm, sein Durchmesser 8 cm) wird durch den Anus der Versuchsperson eingeführt, nachdem die Spitze etwas eingefettet ist. An der Sonde wird ein Gummischlauch befestigt, durch den die Gummikapsel etwas aufgeblasen wird. Der Schlauch führt zur Registrierkapsel und wird durch die Zwischenräume eines Rohrstuhles, auf dem der Patient bei den Versuchen sitzt, hindurchgeleitet. Daß es mit diesem Apparat wirklich möglich ist, in einwandfreier Weise das Blutvolumen des Darmes zu registrieren, geht am besten aus Kontrollversuchen beim Tier hervor, bei denen die Volummessung im Darm sowohl mit dem „inneren“ Plethysmographen als auch gleichzeitig mit der Onkometerkapsel gemessen wurden.

Die beiden abgebildeten Kurven (Fig. 261 und 262) zeigen die Kontrollversuche, wobei die obere Kurve jedesmal den Blutdruck darstellt, während die untere das Blutvolumen des Darmes registriert. Vom Zeichen + bis — wird das Stirnhirn einer Katze, und zwar die Rinde des Stirnlappens, der vor dem Gyrus cruciatus anterior liegt, elektrisch gereizt; hiebei tritt, wie *Weber* nachgewiesen hat,

¹⁾ *E. Weber*: Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abt. 293 (1907).

nebst einer starken Blutdruckerhöhung und einer Volumenzunahme der Extremitäten eine starke Verminderung der Blutzufuhr der Eingeweide infolge aktiver Kontraktion der Darmgefäße ein. In beiden Kurven sieht man diesen Erfolg. Die Volumensenkung,

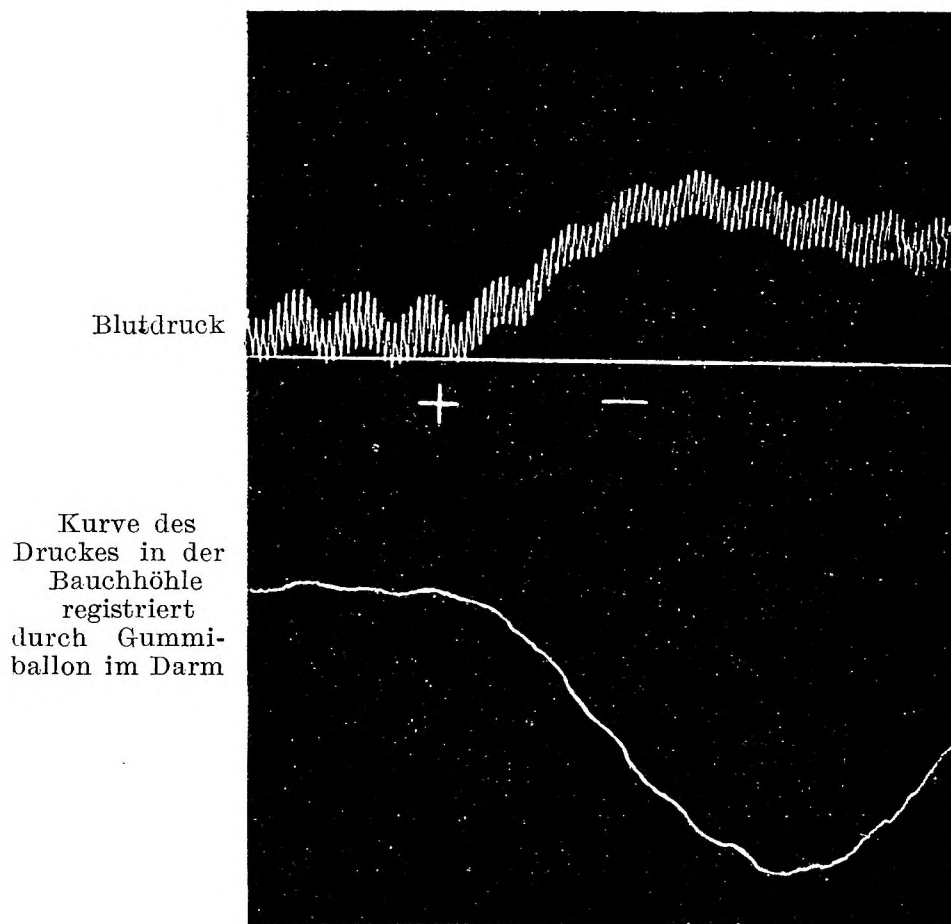


Fig. 261. Von + bis — wird die Rinde des Stirnhirnes einer kurarisierten Katze elektrisch gereizt.

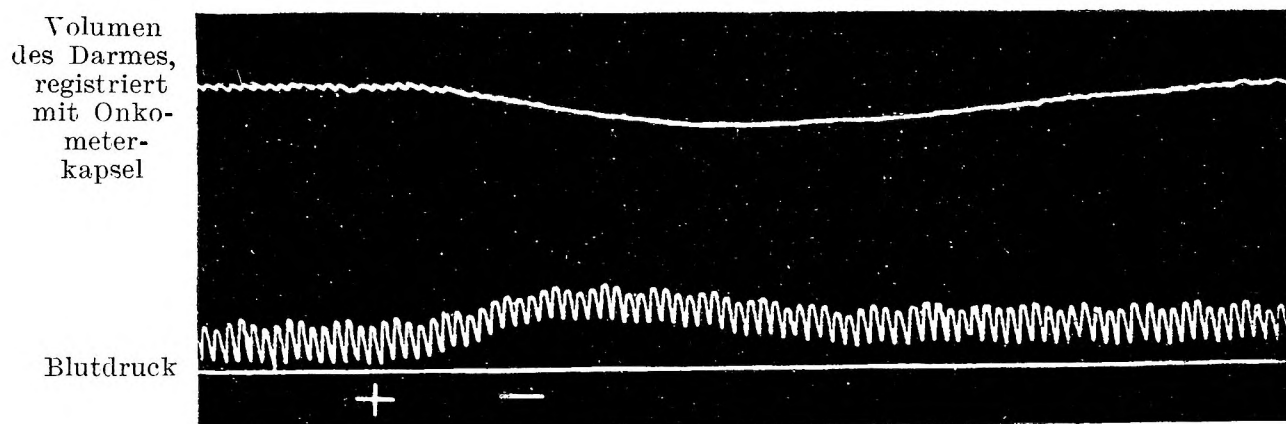


Fig. 262. Von + bis — wird die Rinde des Stirnhirnes einer kurarisierten Katze elektrisch gereizt.

die mit dem inneren Plethysmographen registriert wird, ist hierbei noch wesentlich deutlicher als die mit der Onkometerkapsel.

Die Methodik der inneren Plethysmographie ist aber schwierig, und es müssen erst alle möglichen Fehlerquellen ausgeschaltet werden, um zu brauchbaren Resultaten zu gelangen. Jede Druckveränderung im Bauch muß sich an der Kurve ausprägen, was einerseits durch

Schwankung der Atmung, andererseits durch den Druck der Peristaltik und der Bauchpresse hervorgerufen werden kann. Durch verstärkte Inspiration flacht sich das Zwerchfell nach der Bauchhöhle zu ab, der Raum im Abdomen wird verkleinert und dadurch der Druck auf den in den Mastdarm eingeführten Gummiballon vergrößert. Der Einfluß der Atmung kann, wie später noch ausführlich beschrieben werden wird, genau durch die gleichzeitig aufgenommene Atmungskurve kontrolliert werden. Erhält man eine aufsteigende Kurve des inneren Plethysmographen und gleichzeitig eine durch vertiefte Atmungszüge veränderte Atmungskurve, die synchron der aufsteigenden plethysmographischen Kurve verläuft, so wird man eine solche Kurve für den Versuch nicht gebrauchen können, wenn sich auch gleichzeitig die vasomotorischen Veränderungen an ihr ausdrücken sollten, da man dann die Atmung als ausschlaggebenden Faktor wird betrachten müssen. Registriert der Plethysmograph trotz verstärkter Atmung eine abfallende negative Kurve (Verminderung des Blutvolumens des Bauches), so muß ein vasomotorischer Effekt vorliegen, da die vertiefte Atmung allein ja eine aufsteigende Kurve ergeben muß. Umgekehrt ist es bei plötzlich einsetzender zu flacher Atmung, was allerdings bei den Versuchen selten beobachtet wird. Ferner kann bei verstärkter Expiration eine Erhöhung des Bauchdruckes durch Kontraktion der Bauchmuskeln bewirkt werden, trotzdem sich durch den Hochstand des Zwerchfelles der Bauchinhalt vergrößert. Hierbei ist es von wesentlicher Bedeutung, in welchem Luftfüllungszustand sich der eingeführte Gummiballon befindet. Ist er prall aufgeblasen, so gleicht die aufgenommene Kurve fast der Atmungskurve, weil sich jede Druckschwankung im Bauch an dem aufgefüllten Ballon wiedergibt, so daß die vasomotorischen Feinheiten nicht zur Darstellung gelangen. Durch zahlreiche Untersuchungen hat *Weber*¹⁾ festgestellt, daß es am zweckmäßigsten ist, so wenig Luft wie möglich in den inneren Plethysmographen einzublasen, so daß sie gerade noch genügt, um den Schreibhebel in Bewegung zu setzen. Außerdem legt sich der Apparat bei geringer Lufteinblasung besonders gut den Darmfalten an. Die Tiefe der Einführung des Ballons in den Mastdarm ist von untergeordneter Bedeutung. Um die durch Bewegung der Fäzes bedingten Druckverhältnisse auszuschalten, ist es notwendig, den Mastdarm der Versuchsperson vor Beginn der Untersuchung durch einen Einlauf zu entleeren, wodurch auch gleichzeitig eine Herabsetzung der Peristaltik bewirkt wird. Durch Zuführung von Opium (per os oder durch Klistier) kann man, wenn es nötig erscheint, die Peristaltik noch weiter hintanhalten.

¹⁾ *E. Weber: Springer 1910. S. 122.*

Als letzte Fehlerquelle bleibt die Kontraktion der Bauchmuskulatur. Durch die Atmungskurve, bei welcher der Pneumograph am Bauch befestigt werden kann, kann man an sich Rückschlüsse auf die Kontraktion der Bauchmuskeln machen, da die ruhige Atmungskurve durch Kontraktion der Bauchmuskeln eine Änderung erfahren muß. Nun wird man ja bei den gewöhnlichen psychologischen Untersuchungen eine unwillkürliche Kontraktion der Bauchmuskeln im wesentlichen ausschließen können, da eine solche bei Abwicklung eines ruhigen Versuches höchstens bei plötzlicher gestörter Ablenkung, insbesondere bei Erschrecken, in Frage kommt. Durch Kontraktion der Bauchmuskeln muß eine Drucksteigerung in der Bauchhöhle und damit in dem eingeschobenen Gummiballon entstehen, wodurch sich plethysmographisch eine aufsteigende Kurve ergeben muß. Erhält man dagegen eine absteigende (negative) Kurve, so kann man eine Einwirkung der Bauchmuskulatur als ausschlaggebenden Faktor auf jeden Fall ausschließen. Liegt also eine normale Atmungskurve vor und ist die Druckerhöhung infolge Kontraktion der Bauchmuskulatur und der Peristaltik auszuschließen, dann erst kann die plethysmographische Kurve in einwandfreier Weise die vasomotorischen Veränderungen wiedergeben. Außerdem empfiehlt es sich, gleichzeitig die plethysmographische Armkurve aufzunehmen, bei der ja die Fehlerquellen wesentlich geringer sind, um auf diesem Wege über die allgemeinen Verschiebungen der Blutverhältnisse orientiert zu werden. Natürlich muß man hierbei beachten, daß die Gummischläuche, welche die verschiedenen Apparate für die Volummessung mit den Registrierkapseln in Verbindung setzen, gleich lang sind, daß man gleichartige *Mareysche* Kapseln verwendet, und daß die Schreibhebel in derselben Ordinate auf der registrierenden Trommel zeichnen.

Zum Schluß seien noch die Methoden zur Erforschung der Veränderungen an den Gehirngefäßen mitgeteilt. Da das Gehirn von dem Schädel als einer knöchernen, unnachgiebigen Masse umhüllt ist, so ist eine direkte plethysmographische Volummessung nur möglich, wenn einem durch Zufall eine Versuchsperson mit einem Defekt des Schädeldaches zur Verfügung steht. Bei Kindern im ersten und zweiten Lebensjahr könnte man an den weichen Fontanellen direkte Gehirnkurven aufnehmen, jedoch eignen sich Kinder nicht für psychologische Untersuchungen; wohl könnte man an ihnen vasomotorische Gehirnuntersuchungen beim Eintreten des Schlafes usw. machen, jedoch sind derartige Versuche bisher noch nicht ausgeführt worden.

Durch die Kriegsverhältnisse wird man Versuchspersonen mit Schädeldefekt vielleicht häufiger finden. Bei den meisten Kopfschutzverletzungen wurde im Felde sofort nach der Verwundung

die Trepanation vorgenommen, teils um durch Wundtoilette die Infektion der Gehirnhäute hintanzusetzen, teils um deprimierte Knochenstücke der Tabula interna zu elevieren, bezw aus der Gehirnsubstanz selbst zu entfernen. Der Schädeldefekt regeneriert sich nicht, wohl aber bildet sich vom Periost und der Kopfschwarte ausgehend eine Narbe über dem Defekt, so daß das Gehirn vollkommen abgeschlossen ist. Der aufgelegte Finger kann dann über dem Defekt deutlich die Gehirnpulsation fühlen, zum Teil ist sie direkt sichtbar. Man wird bei der Auswahl solcher Versuchspersonen natürlich in erster Reihe darauf achten müssen, daß die Hirnfunktion in keiner Weise gelitten hat und daß es sich um psychisch vollkommen normale Personen handelt. Ist das Gehirn in irgendeiner Weise beschädigt, so ist es auch möglich, daß das Vasomotorenzentrum nicht mehr in der normalen Weise reagiert, sodaß die untersuchten psychologischen Impulse atypische Wirkungen hervorrufen.

Die Entscheidung, ob die Hirngefäße normal reagieren, wird man dadurch herbeiführen können, daß man gleichzeitig neben der Gehirnkurve ein Plethysmogramm der Extremitäten oder der äußeren Kopfteile an der nicht ermüdeten Versuchsperson aufnimmt und dann die vasomotorische Reaktionsfähigkeit auf einen in seiner Wirkung bekannten psychologischen Reiz erforscht. Anwenden könnte man hierbei, wie später auseinandergesetzt werden wird, die Wirkung einer psychischen Arbeit, die sich dann darin äußern muß, daß man an der Arm- und Ohrkurve eine Verminderung des Blutvolumens (negative Kurve), am Gehirn dagegen eine Vermehrung des Blutvolumens (positive Kurve) erhält. Am besten sind für diese Versuche solche Verwundeten zu gebrauchen, bei denen die Dura und damit das Gehirn selbst nicht verletzt gewesen ist, sondern nur eine Splitterfraktur der Schädeldecke vorgelegen hat.

Einen Plethysmographen für die Hirnmessung stellt man sich am zweckmäßigsten selbst dar, indem man sich nach der Größe des Schädeldefektes richtet. Man nimmt eine gewölbte Guttaperchaplatten mit durchführendem Glasröhrchen und befestigt diese über dem Defekt, nachdem man das Glasröhrchen durch einen Gummischlauch mit der Registrierkapsel verbunden hat. Hierbei ist darauf zu achten, daß der Plethysmograph absolut dicht der Kopfschwarte ansitzt, was man dadurch erreichen kann, daß man die Umgebung und den Apparat mit Vaseline einfettet und dann der Kopfhaut andrückt. Eventuell kann der Apparat durch einen Kopfverband weiter befestigt werden. Dem Einwand, daß man neben den Gehirnpulsen auch etwa die der umgebenden Kopfschwarte registriert, kann man einmal dadurch begegnen, daß man den Plethysmographen in seiner Größe möglichst dem Schädeldefekt anpaßt; andererseits kann man durch gleichzeitige Aufnahme der Ohrkurve

das Verhalten der äußeren Kopfteile kontrollieren. Im allgemeinen verhalten sich diese beiden Gefäßkomplexe (Gehirn und äußere Kopfteile) umgekehrt proportional zueinander, so daß schon dadurch allein eine eventuell gegenseitige Beeinflussung der Kurve meist auszuschließen ist.

Es ist natürlich bei den Untersuchungen der vasomotorischen Begleiterscheinungen psychologischer Reize von großem Interesse, gerade über das Verhalten der Gefäße der Gehirnrinde orientiert zu werden. Es ist daher auch verständlich, daß man nach anderen Methoden gesucht hat, ohne von dem Zufall abhängig zu sein, eine geeignete Versuchsperson mit einem Schädeldefekt zu finden. Es sei hier der Methode von *Lehmann* und *Berger*¹⁾ Erwähnung getan. Bei dieser Methode wird die Zeit gemessen, die verstreicht, bis die Pulswelle vom Herzen zu den peripheren Arterien gelangt (Pulsverspätung). Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle wird schneller und damit die Pulsverspätung kleiner, wenn entweder der allgemeine Blutdruck steigt oder der Tonus der Gefäßwand in dem betreffenden gemessenen Gefäßgebiet wächst.

Wenn man eine kardiographische Registrierung des Herzschlages mit der plethysmographischen Armkurve kombiniert, so kann man durch Vergleich der beiden Kurven die Pulsverspätungen am Arm feststellen und damit weitere Schlüsse über das vasomotorische Verhalten der Armgefäße ziehen. Wenn man z. B. eine positive plethysmographische Armkurve mit Vergrößerung der einzelnen Pulse erhält, die kardiographische Kurve aber keine Veränderung der Herztätigkeit aufweist, hingegen die Pulsverspätung zwischen Radialpuls und Herzstoß größer wird (die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswellen ist dann kleiner), so muß als Ursache dieser Erscheinung eine aktive Vasodilatation der Armgefäße vorliegen. Es würde zu weit führen, die genauen physiologischen Einzelheiten der Methode zu besprechen. Erwähnt sei nur noch, daß die Technik der Methode schwierig ist, wenn man bedenkt, daß die Pulsverspätung zwischen Karotis und Radialis nur 0.07'' beträgt.

Zur Darstellung der vasomotorischen Erscheinungen der Hirngefäße hat *Berger* die Methode dahin erweitert, daß er außer der kardiographischen Kurve und der plethysmographischen Armkurve noch eine sphygmographische Pulskurve der Karotis aufnimmt. Dadurch ist es möglich, sich über die Pulsverspätung an der Karotis und Radialis zu unterrichten; die lediglich an der Karotis beobachteten Veränderungen sollen über die von der Karotis versorgten Gebiete, insbesondere das Gehirn, Aufschluß geben. Diese komplizierte Methode wird man, wie eben gesagt, nur als Aushilfe

¹⁾ *Berger*, Jena 1907.

betrachten müssen, wenn eine geeignete Versuchsperson nicht zur Verfügung steht. Es ist klar, daß die einfachste Untersuchungsmethode die beste ist, und gerade bei dem komplizierten Ablauf psychischer Vorgänge wird man derjenigen Methode den Vorzug geben, die auf den einfachsten physiologischen Prinzipien beruht.

Noch einer Fehlerquelle sei bei der Methode *Lehmann-Berger* Erwähnung getan. Man kann nur eine sphygmographische Kurve der Carotis communis aufnehmen, nicht aber der Carotis interna. An der sphygmographischen Karotiskurve prägen sich dann die im ganzen Karotisgebiet bestehenden vasomotorischen Druckänderungen aus, also sowohl die der äußeren Kopfteile als die des Gehirnes. Um das vasomotorische Verhalten dieser beiden Gefäßgebiete auseinander halten zu können, müßte man dann noch eine plethysmographische Ohrkurve aufnehmen, wodurch die Methodik noch komplizierter würde.

Aber gerade das Gehirn nimmt physiologisch bezüglich der Gefäßinnervation einen besonderen Platz ein, da, wie *Weber* durch Tierversuche nachgewiesen hat, die Gefäßnerven des Gehirnes von dem allgemeinen Vasomotorenzentrum unabhängig sind und von einem Zentrum versorgt werden, das mehr hirnwärts als das allgemeine Vasomotorenzentrum gelegen sein muß. Da aber das Gefäßsystem der Hirnrinde und der äußeren Kopfteile auf psychologische Reize häufig verschieden reagiert, müssen die aus dem Verhalten der Karotiskurve gezogenen physiologischen Schlüsse mit besonderer Vorsicht gewertet werden. Die Methode der Pulsverspätung wird man also nur dann anwenden, wenn eine geeignete Versuchsperson für direkte plethysmographische Untersuchungen des Gehirnes nicht zur Verfügung steht.

Die plethysmographische Kurve läßt häufig nicht alle physiologischen Einzelheiten erkennen, weshalb man auch auf andere Untersuchungsmethoden zurückgreifen muß. Als solche sind zu nennen: Die Kardio- und Sphygmographie und die Blutdruckmessung.

II. Die Kardio- und Sphygmographie; Blutdruckmessung.

Die greifbarsten körperlichen Äußerungen psychischer Vorgänge sind — wie jeder aus eigener Erfahrung weiß — die veränderte Schlagzahl des Herzens, vasomotorische Erscheinungen des Gesichtes (Erröten, Erblassen) und veränderter Rhythmus der Atmung. Mittels des Kardiographen (Fig. 263) kann man graphischen Ausdruck über die Frequenz und Art des Herzschlages gewinnen.

Der Apparat wird mit Gurten am Thorax befestigt, so daß der Knopf des Kardiographen *P* auf die Herzspitze (in der Mamillar-

linie des linken fünften Interkostalraumes) zu liegen kommt. Bei jeder Systole wird der Knopf *P* eingedrückt. Hierdurch wird der Druck in dem gummiiumhüllten Kardiographen gesteigert (er ist durch einen Gummischlauch mit einer *Mareyschen* Kapsel verbunden) und mittels des Schreibhebels auf der Trommel des Kymo-graphen der aufsteigende Schenkel der Herzschlagkurve verzeichnet. Bei der Diastole sinkt der Druck im Kardiographen wieder, der Schreibhebel fällt und zeichnet dadurch den absteigenden Teil der Herzschlagkurve. Auf diese einfache Weise kann man sich sowohl über die Schlagzahl wie den Ablauf des Kardiogramms orientieren, eine Untersuchungsmethode, die allerdings für unsere Zwecke von untergeordneter Bedeutung ist.

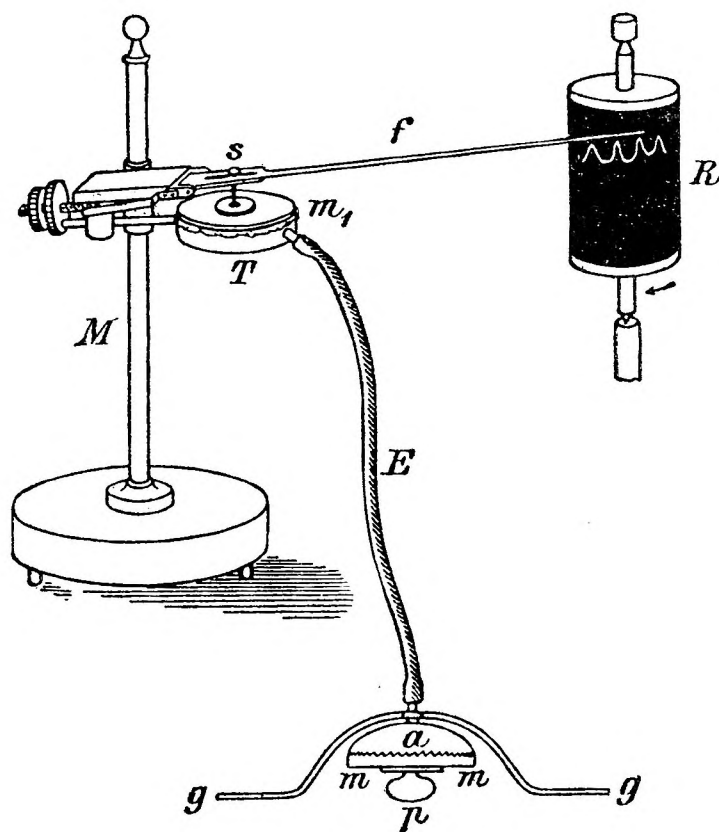


Fig. 263.

Auf demselben Prinzip beruht die Sphygmographie, worunter die Darstellung der Arterienkurve durch Registrierung von Druckpulsen zu verstehen ist. Bei jeder Systole des Herzens pflanzt sich die plötzliche Ausdehnung des Aortenbogens in dem aus elastischen Röhren bestehenden arteriellen Gefäßgebiet als Pulswelle fort, die man mittels eines dem Kardiographen ähnlichen Apparates (Sphygmograph) aufnimmt. Man hat lange Zeit der Sphygmographie beim Menschen eine ganz ungerechtfertigte Bedeutung beigelegt und sie in übertriebener Weise zu diagnostischen Zwecken verwendet. Die Sphygmographie wird immer eine unexakte Methode bleiben, mit der man an derselben Versuchsperson an derselben Körperstelle auch bei Verwendung der besten Apparate kurz hintereinander ganz verschiedenartige Pulskurvenformen erhält, ohne daß eine Änderung in der Zirkulation eingetreten ist. Einwandfrei

kann man an der sphygmographischen Kurve nur die Frequenz und den Rythmus des Pulses erkennen. Bezüglich der technischen Einzelheiten der Methodik, auf die einzugehen hier zu weit führen würde, sei auf die Abhandlung von *Straub* in diesem Handbuch (Abt. 5, Teil 4 *b*) hingewiesen. Nur in vereinzelt Fällen wird für unsere Untersuchungen die Kenntnis des Blutdruckes erforderlich sein. Um sich über den augenblicklichen Stand des in den großen Gefäßen herrschenden Druckes zu vergewissern, bedient man sich am zweckmäßigsten des in der Klinik allgemein gebräuchlichen Apparates von *Riva-Rocci*, auf dessen Methodik ich nicht weiter einzugehen brauche. Um eine fortlaufende Blutdruckkurve zu erhalten — und das ist für unsere Untersuchungen von größerer

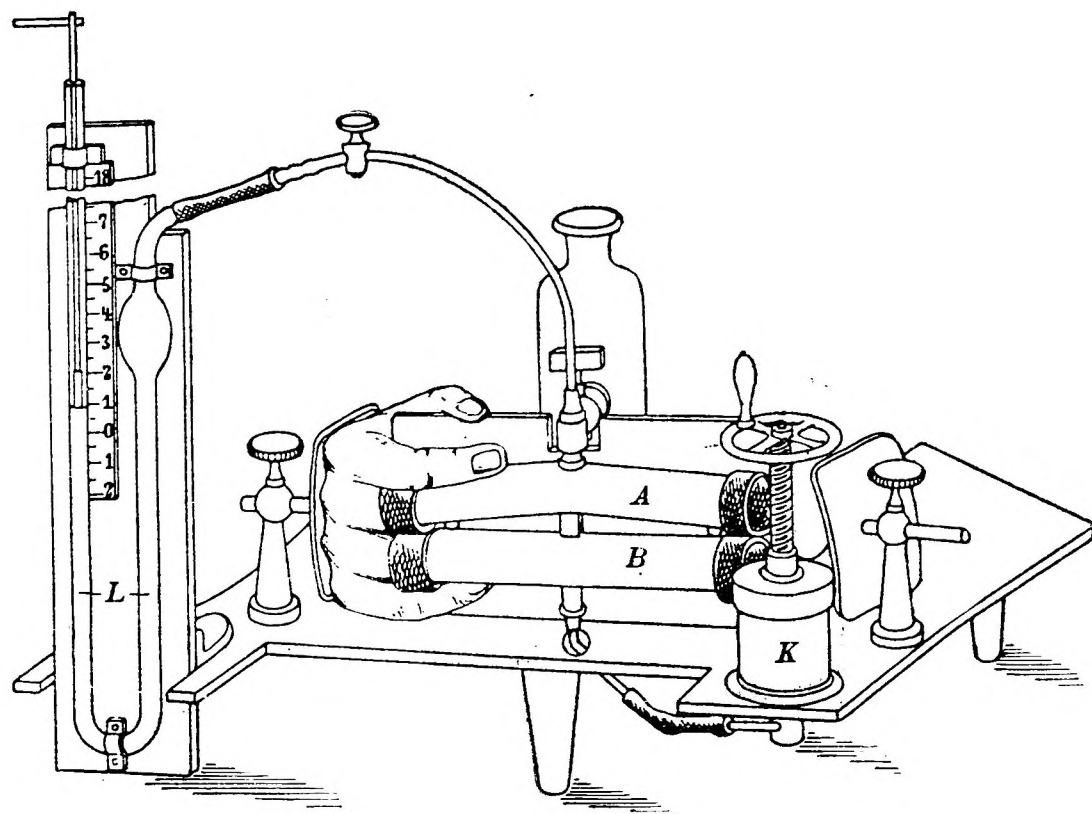


Fig. 264.

Bedeutung —, kann man sich des *Mossoschen*¹⁾ Sphygmomanometers bedienen. Hierbei wird allerdings nicht die absolute Druckhöhe bestimmt, sondern es werden nur qualitative Änderungen registriert (Fig. 264).

Wie aus der Figur ersichtlich ist, wird der Druck in zwei Fingern gemessen, die in die mit Gummischläuchen versehenen Röhren *A* und *B* eingeführt werden, in welche das Quecksilber gefüllt werden kann. Eine Stellvorrichtung am Handrücken sorgt für die Unbeweglichkeit der Hand. Das Quecksilber in den Röhren *A* und *B* steht mit dem in dem U-förmigen Rohr *L* befindlichen in Verbindung, so daß die hier vorhandene Hg-Säule die in den Fingern vor sich gehenden Druckschwankungen anzeigt, die vermittelt

¹⁾ *Mosso*: Arch. Ital. de biol. 1895.

eines Schwimmers in der Röhre *L* registriert werden können. Man kann die Blutdruckänderungen nun direkt ablesen oder eine fortlaufende Kurve aufnehmen, wozu man die Röhre *L* mittels eines Gummischlauches mit einer *Mareyschen* Kapsel verbindet, die mit einer rotierenden Trommel in Verbindung steht. Der Druck der Quecksilbersäule kann durch Veränderung der Höhe der Röhre *L* oder durch die besondere Schraubenvorrichtung *K* beliebig verändert werden. Es ist klar, daß der Druck der Quecksilbersäule nur eine bestimmte Höhe haben darf, da bei zu großem Druck die Gefäße der Finger vollkommen komprimiert werden, so daß überhaupt keine Ausschläge erzielt werden. Bei zu geringem Druck wiederum legt sich das Quecksilber nicht dicht genug an die Finger an, so daß eine einwandfreie Druckübertragung nicht möglich ist. Es ist daher bei jedem Experiment ein Versuch notwendig, um sich über diejenige Druckhöhe der Quecksilbersäule zu orientieren, bei der man die größten Ausschläge erhält. Die Blutdruckkurve wird am deutlichsten, wenn der Druck so reguliert ist, daß die einzelnen Pulsbewegungen etwa die Hälfte der maximalen Höhe haben. Ein Größerwerden der Pulse bedeutet eine Blutdrucksteigerung, das Kleinerwerden bedeutet Blutdrucksenkung. Auf diese Weise kann man sich fortlaufend jedoch nur bis zu einem gewissen Grade über die Blutdruckschwankungen orientieren, da die Methode bei starken Druckänderungen häufig undeutliche Resultate ergibt.

Um gleichzeitig Aufschluß über den Blutdruck und das Blutvolumen zu erhalten, kann man sich des von *Lewin*¹⁾ modifizierten Sphygmomanometers bedienen. Er besteht aus zwei übereinander angeordneten Fingergefäßen *A* und *B*, an denen sich die für plethysmographische Messungen notwendigen Zubehörteile befinden (Zuflußbahn, Steigrohr, Skala). Das Gefäß *A*, in dem sich ein dünner Gummisack befindet, wird mit Wasser gefüllt, während *B*, welches einen dicken Gummisack enthält, mit Quecksilber gefüllt wird. Im ersteren wird das Blutvolumen, im letzteren der Blutdruck bestimmt.

III. Vergleich der sphygmographischen und plethysmographischen Kurve.

Vergleicht man die für die vasomotorischen Untersuchungen zur Verfügung stehenden Methoden, insbesondere die plethysmographische und die sphygmographische, so wird man für unsere Untersuchungen der ersteren den Vorzug geben müssen.

Die sphygmographische Kurve läßt erstens die Geschwindigkeit des Pulses und damit der Herztätigkeit und zweitens die Puls-

¹⁾ *H. Lewin*: Zentralbl. f. Physiol. 325 (1913).

form erkennen. Über den Blutdruck kann sie nur ungewisse Resultate ergeben. Nehmen wir z. B. an, daß die kleinen Gefäße der Oberfläche des Armes sich kontrahieren, so nimmt dadurch das Volumen des Armes ab, während der Blutdruck in den großen Gefäßen infolge der größeren aus den oberflächlichen in die tiefer liegenden Gefäße abströmenden Blutmenge steigt. Jetzt müßte der Sphygmograph in seiner Eigenschaft als Druckmesser größere Pulse schreiben; da der Apparat jedoch infolge der gleichzeitigen Volumenabnahme des Armes jetzt lockerer den Arm umspannt, wird der Knopf des Apparates weniger fest an die Arterie angedrückt, so daß die Kurve trotz der Blutdruckerhöhung kleinere Pulse registriert. Es erhellt daraus, daß ein sicherer physiologischer Schluß aus der sphygmographischen Kurve infolge technischer Schwierigkeiten nicht möglich ist.

Im Gegensatz dazu zeigt die plethysmographische Volumenkurve nicht nur die Veränderungen in den arteriellen Gefäßgebieten, sondern auch das Verhalten des venösen Abflusses, während sich die Blutdruckhöhe aus ihr nicht feststellen läßt. Trotz verstärkter Blutzufuhr unter Steigerung des arteriellen Druckes infolge vermehrter Herzarbeit kann die Volumenkurve sinken, wenn in der gleichen Zeit ein erhöhter venöser Abfluß stattfindet. Ist dagegen der venöse Abfluß stark gehindert, so kann trotz Sinkens des Blutdruckes und verminderten arteriellen Zuflusses eine ansteigende Kurve zustande kommen. Demnach können sich die Blutdruck- und Volumenkurve zuweilen entgegengesetzt verhalten, in der Regel entspricht aber bei den vasomotorischen Untersuchungen unseres Themas einer Steigerung des Blutdruckes auch eine Volumenzunahme und einer Blutdrucksenkung eine Volumenabnahme.

Bei jeder Veränderung der plethysmographischen Kurve spielen eben verschiedene physiologische Momente eine Rolle: 1. die Herztätigkeit, 2. der Innervationszustand der Gefäße, 3. die Atmung, 4. die ruhige Lage des Gliedes.

Die Veränderung der Herztätigkeit gibt die Volumenkurve selbst an. Vergrößern sich die einzelnen Volumpulse, so liegt in der Regel eine verstärkte Herzkontraktion zugrunde, die beim Gleichbleiben der Schlagzahl zu einer positiven Kurve führen muß. Andererseits kann eine Vergrößerung der Volumpulse unabhängig von der Herztätigkeit durch eine aktive Gefäßdilatation infolge Erregung der vasodilatorischen Nerven hervorgerufen werden. Will man sich darüber orientieren, welche von beiden Ursachen als ätiologisches Moment in Betracht kommt, so muß man nebenbei eine Blutdruckkurve schreiben. Ist nämlich die Vergrößerung der Volumpulse und die ansteigende Kurve durch verstärkte Herztätigkeit bedingt, so wird der Druck in den großen Gefäßen dabei steigen, während eine Blutdruckerniedrigung durch eine Er-

schlaffung der Gefäße (Vasodilatation) verursacht ist. So wird man zuweilen nur durch Kombination der verschiedenen Methoden sicheren Aufschluß über die einzelnen physiologischen Komponenten erhalten. Da die fortlaufende Blutdruckkurve technische Schwierigkeiten bereitet, kann man sich damit helfen, daß man von mehreren Körperteilen gleichzeitig plethysmographische Kurven aufnimmt. Hierbei muß eine Verstärkung der Herztätigkeit an allen Kurven sich in gleichmäßiger Weise ausprägen, während eine aktive Gefäßerweiterung meist nur auf ein bestimmtes Gefäßgebiet beschränkt ist, so daß man also an den verschiedenen Kurven verschiedenartige Volumpulse registrieren können. Nun kann allerdings noch eine Blutdruckerhöhung in den gemessenen Gebieten dadurch bedingt werden, daß es durch aktive Kontraktion in einem anderen großen Gefäßgebiet zu einem passiven Hineindrängen einer größeren Blutmenge in das gemessene Glied kommt, wodurch eine Vergrößerung der Volumpulse, eine Blutdrucksteigerung und eine Volumzunahme des gemessenen Gliedes eintreten muß. Zur Entscheidung dieser letzteren Möglichkeit ist es wieder notwendig, sich über die Blutverteilung in den verschiedenen Körperabschnitten zu orientieren. Praktisch genügt die Untersuchung der Bauchorgane und einer Extremität, da die Extremitäten in ihrem vasomotorischen Verhalten gleichmäßig bleiben. Zeichnet die plethysmographische Kurve verkleinerte Volumpulse, so ist das auf schwächere Herztätigkeit, Vasokonstriktion der kleineren Gefäße des gemessenen Gliedes oder auf Vasodilatation in einem anderen größeren Gefäßgebiet zurückzuführen. Die Differenzierung gleicht bezüglich der Methodik der eben beschriebenen Vergrößerung der Volumpulse. Die Veränderung in der Zahl der Pulsschläge in der Kurve rührt in der Regel von der veränderten Herztätigkeit her. Es können auch veränderte Innervationszustände der Gefäßmuskulatur die Schlagfolge und Stärke der Pulscurve verändern. Derartige sekundäre Veränderungen der Herztätigkeit sind jedoch als solche durch ihr verspätetes Eintreten leicht zu erkennen. Pulsbeschleunigung ohne Veränderung der Stärke des Herzschlages bewirkt eine steigende, Pulsverlangsamung eine abfallende Volumkurve. In der Regel kombinieren sich die qualitativen und die quantitativen Veränderungen in der Weise, daß Bradykardie mit Pulsverstärkung und Tachykardie mit abgeschwächter Herztätigkeit einhergeht. Sehen wir auf einer Kurve weder eine Veränderung der einzelnen Pulshöhe, noch eine Veränderung in der Entfernung der Volumpulse trotz steigender oder abfallender Kurve, so kann nach den erwähnten Möglichkeiten als ursächliches Moment weder das Herz, noch der veränderte Kontraktionszustand in Betracht kommen, sondern das Blutvolumen des gemessenen Gliedes muß in sekundärer Weise dadurch beeinflußt sein, daß eine durch das Vasomotoren-

zentrum bedingte Veränderung in dem Füllungszustand eines anderen Gefäßgebietes vorliegt, wodurch das gemessene Glied mit einer größeren bzw. kleineren Blutmenge versorgt wird. Wo der primäre Herd liegt, läßt sich mit der beschriebenen Methodik ermitteln, indem man sich systematisch über die vasomotorischen Verhältnisse der verschiedenen Gefäßgebiete orientiert. Natürlich muß dann das wirksame Gefäßgebiet sich in der Kurve umgekehrt verhalten wie an den anderen Körperteilen. Aktive Vasokonstriktion der Bauchgefäße wird — um ein Beispiel anzuführen — durch passives Hineindrängen einer größeren Blutmenge zu einer Volumvermehrung der Arme führen, aktive Vasodilatation kann durch Ansaugung eine Volumverminderung der Arme bedingen. Erhält man dann eine positive Bauchkurve, so ist die Armkurve negativ und umgekehrt. Es erhellt daraus, daß man, um richtige Vorstellungen über die feineren vasomotorischen Vorgänge zu erlangen und die gewonnene plethysmographische Kurve richtig deuten zu können, gleichzeitig oder hintereinander verschiedenartige Volumkurven aufnehmen und sich auch über den Blutdruck vergewissern muß. Daß die Versuchsbedingungen bei den verschiedenen Experimenten genau die gleichen bleiben müssen, versteht sich von selbst.

IV. Die Atmungskurve.

Bei Untersuchungen über psychische Vorgänge ist eine fortlaufende Registrierung der Atmung erforderlich. Durch den psychischen Einfluß kann die Atmung beschleunigt oder verlangsamt, verstärkt oder abgeschwächt werden bzw. ganz aussetzen. Andererseits wird durch die veränderten physiologischen Vorgänge bei unregelmäßiger Atmung ein wesentlicher Einfluß auf die vasomotorischen Erscheinungen ausgeübt, dessen genaue Kenntnis notwendig ist, um nicht zu falschen Schlüssen bei der Deutung der gewonnenen plethysmographischen Kurve zu kommen. Bindet man einen starkwandigen Gummiballon, der mittels eines Schlauches mit einer *Mareyschen* Kapsel verbunden ist, mit festen Binden an den Brustkorb, so kann man auf diese einfache Weise eine Atmungskurve schreiben. Am gebräuchlichsten ist der Pneumograph von *Brondegest* (Fig. 265), der aus einer flachen Metallschale besteht, die mit einer doppelten Gummimembran *E* und *D* überspannt ist.

Durch die verschließbare Röhre *F* wird der Raum zwischen *E* und *D* mit Luft aufgeblasen, so daß die Wand *D*, die dem Brustkorb anliegt, dauernd etwas vorgewölbt ist.

Jede Atmungsänderung wird auf diesen inneren Luftraum (*D—E*) übertragen und durch die Öffnung *A* auf die *Mareysche*

Kapsel weitergeführt. Das Aufblasen des Raumes zwischen *E* und *D* muß in gewisser Weise beschränkt werden, da durch zu starke Luftfüllung die Übertragung der Atmungsschwankungen behindert ist. Diese technische Schwierigkeit fällt bei dem vom Mechaniker *Oehmke* (Berlin, Luisenstraße 21) konstruierten Pneumographen fort, mit dem wir seit langer Zeit Atmungskurven schreiben. Der Apparat besteht aus einer mit Leder überspannten Messingkapsel, in der sich eine Feder befindet, die bei der Inspiration sich verkleinert, um bei der Expiration sich wieder zu verlängern. Hiedurch

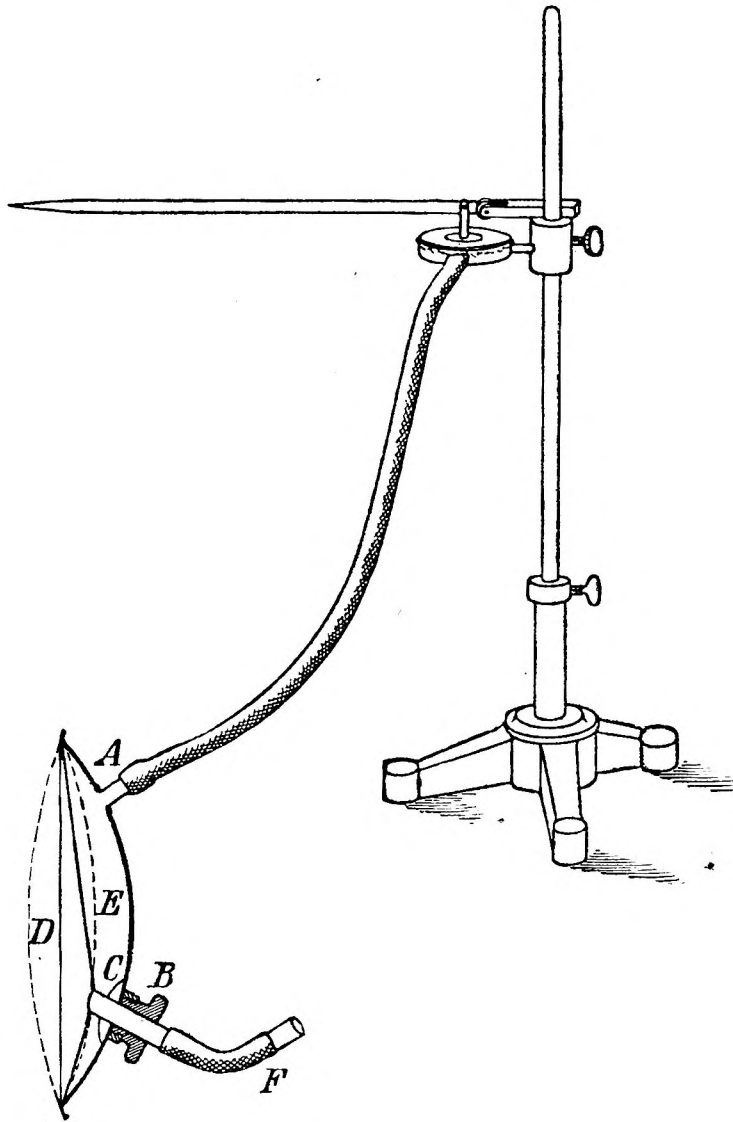


Fig. 265.

entstehen in dem mit der *Mareyschen* Kapsel verbundenen Pneumographen Druckänderungen, die ihrerseits auf der Trommel verzeichnet werden. Dieser Pneumograph kann bestens empfohlen werden.

Die Untersuchungen über den Einfluß von psychischen Vorgängen auf die Atmung [*Lehmann*¹⁾, *Zoneff* und *Neumann*²⁾, *Mosso*³⁾ u. a.] haben nicht zu eindeutigen Resultaten geführt, was

¹⁾ *A. Lehmann*: Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892.

²⁾ *Zoneff* und *Neumann*: *Wundts Philos. Studien* 18. 1913.

³⁾ *Mosso*: Der Kreislauf des Blutes im Gehirn. 1881.

im wesentlichen darauf zurückzuführen ist, daß die Atmungsveränderungen vom Willen der Versuchsperson abhängig sind, so daß man nie die Sicherheit hat, ob die veränderte Atmungskurve eine Folgeerscheinung des psychischen Vorganges ist. Weiß oder merkt die Versuchsperson, daß ihre Atmungsänderungen untersucht werden sollen, so ist durch Autosuggestion eine veränderte Atmungskurve zu befürchten.

Die Registrierung der Atmung durch Aufnahme einer Atmungskurve ist bei allen vasomotorischen Untersuchungen durchaus zu fordern, da die veränderte Atmung von erheblichem Einfluß auf den Ablauf der plethysmographischen Kurve sein kann. Bei der Inspiration wird durch die Erweiterung des Brustkorbes das venöse Blut in verstärktem Maße nach dem Thorax hingesaugt, der Blutdruck in den peripheren Gefäßen fällt, der Puls wird kleiner und schneller, das Blutvolumen der Extremitäten nimmt ab; bei der Expiration tritt das Gegenteil ein. Kompliziert werden diese physiologischen Erscheinungen durch die Frage der Brust- und Bauchatmung. Bei letzterer flacht sich das kuppelförmig gewölbte Zwerchfell ab, wodurch neben der Erweiterung des Brustraumes ein Druck auf die Bauchorgane ausgeübt wird, was für sich allein zu einer passiven Vermehrung des Blutvolumens der Arme führt, während die Erweiterung des Thorax an sich zur Verminderung des Blutvolumens am Arm führt. Wenn auch verschiedene Komponenten bei der Atmung mitspielen, so wird doch in der Regel bei verstärkter Einatmung eine Volumsenkung, bei verstärkter Expiration eine Volumzunahme an den Extremitäten eintreten. Bei der Bewertung der gewonnenen Kurven wird man eine Volumveränderung, die einer Atmungsveränderung synchron geht, vorsichtigerweise immer auf den Einfluß der Atmung zurückführen und im allgemeinen nur solche plethysmographischen Versuche als beweiskräftig ansehen, bei denen eine normale Atmungskurve vorliegt. Man wird allerdings auch eine plethysmographische Kurve verwerten können, wenn eine oder mehrere unregelmäßige Atmungs-zacken vorhanden sind, wenn durch einen Kontrollversuch bei der betreffenden Versuchsperson nachgewiesen wird, daß die veränderte Atmung an sich den entgegengesetzten Effekt hervorruft wie den an der Kurve registrierten.

V. Die plethysmographische Armkurve. (Aufnahmetechnik.)

Bei den Untersuchungen der psychischen Ermüdungsmessung spielt die plethysmographische Kurve der oberen Extremität eine Hauptrolle, weshalb deren Methodik und Fehlerquellen besonders erwähnt seien. (Fig. 266 demonstriert die Versuchsanordnung.)

Vor Beginn des Versuches füllt man die Flasche mit Wasser von 37° . Wenn das Wasser während des Experimentes um einige Grade abkühlt, ist das nicht weiter bedenklich, da die Hauttemperatur des Armes bei etwa 33° liegt. Weitere Temperaturdifferenzen dürfen aber nicht vorliegen, da die Hautgefäße durch thermische Einflüsse in typischer Weise verändert werden. Der Arm der Versuchsperson wird vorsichtig in die Gummimanschette eingeführt, bis er vorn anstößt; dann wird eine Faust gebildet. Nun läßt man das Wasser durch den Schlauch in den Plethysmographen einströmen; erscheint es im Steigrohr, so schließt man zunächst den Zuflußhahn. Jetzt wird der Apparat geschüttelt, damit etwa vorhandene Luftblasen aufsteigen können. Im all-

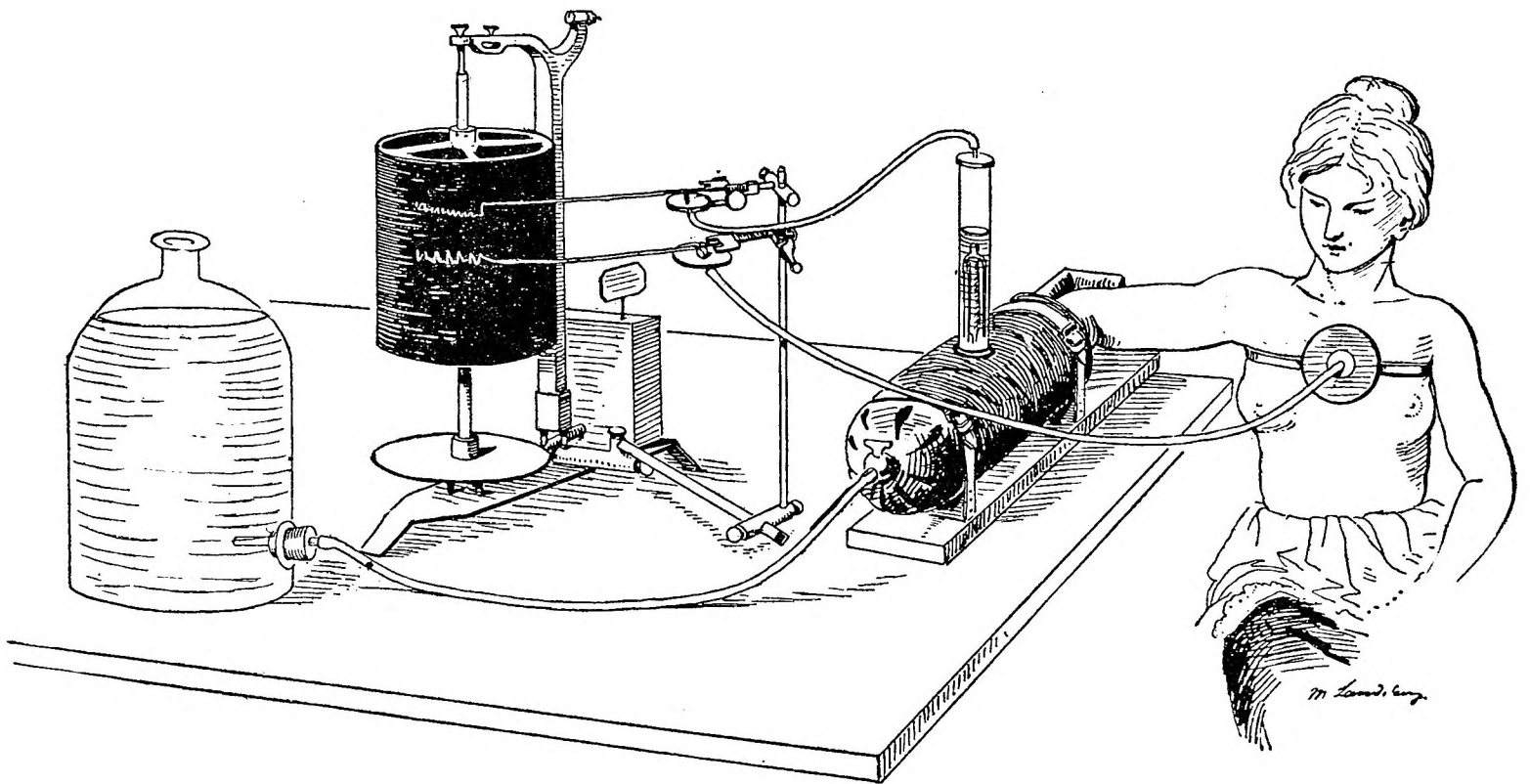


Fig. 266. Versuchsanordnung.

gemeinen läßt man das Wasser so weit steigen, daß es zwei Drittel des Steigrohres füllt, jedoch ist es zweckmäßig, vor Beginn des Versuches je eine kleine Probekurve aufzunehmen mit verschieden hoher Wasserfüllung, um die Größe der Volumpulse festzustellen. Die notwendige Wassermenge hängt zum Teil vom Volumen des Armes der Versuchsperson ab, so daß sie jeweils verschieden groß sein kann. Vorher war der Ellbogen in der verstellbaren Stütze *S* festgelegt. Sehr achten muß man darauf, daß sich der Arm im Plethysmographen nicht verschiebt, insbesondere nicht aus ihm herausgleitet, da derartige Bewegungen selbstverständlich zu Änderungen der plethysmographischen Kurve führen müssen. Der Ellenknorren muß genau in die Kante der Stütze gelegt werden. Der Arm muß rechtwinkelig im Plethysmographen ruhen. Wichtig ist, daß die Höhe des Stuhles, auf dem die Versuchsperson sitzt, zu der des Versuchstisches paßt, damit der Arm bequem im Apparat

liegen kann und nicht zu ihm heraufzureichen braucht. Nun wird der Pneumograph am Brustkorb befestigt, dieser und der Plethysmograph durch Gummischläuche mit den *Mareyschen* Kapseln verbunden. Zunächst beginnt man mit einem kurzdauernden Probeversuch. Man orientiert sich: Welche Höhe haben die einzelnen Volumpulse? Sind sie durch die Wasserfüllung vielleicht zu klein oder zu groß? Verkleinern sie sich allmählich durch Herausgleiten des Armes aus der Gummimanschette? Ist die Stütze fest angeschraubt? Liegen die Finger ruhig? Wie ist die Atmung? Sind die einzelnen Exkursionen regelmäßig? Haben beide Kurven genügenden Abstand voneinander? Erkennt man an der Atmungskurve vielleicht auch den Herzschlag? Dann ist der Pneumograph nach rechts zu verschieben. Auf Fehlerquellen, die in der Versuchsperson selbst liegen, wird im nächsten Kapitel verwiesen werden. Das absolut ruhige Liegen des Armes in der Gummikapsel ist,

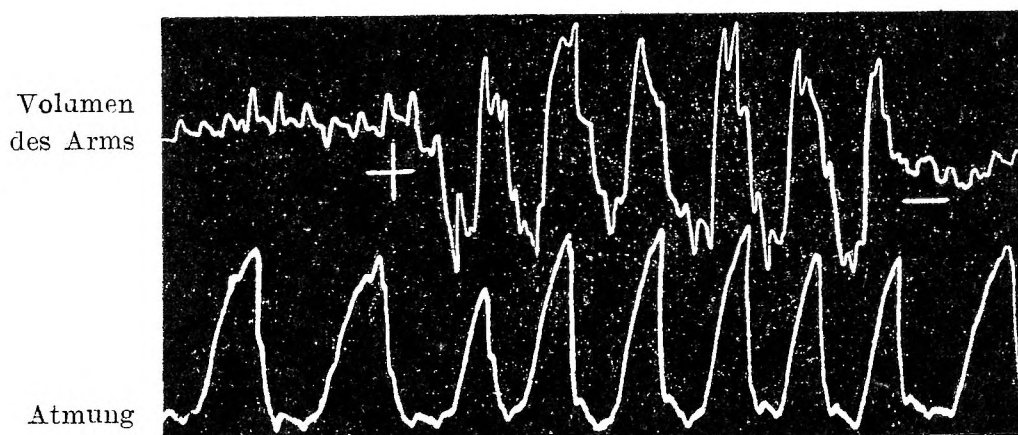


Fig. 267.

wie gesagt, die erste Vorbedingung, was ja durch Festlegen des Ellenbogens in der Stütze des Plethysmographen bewirkt wird. Nun können aber, insbesondere bei plötzlich einsetzenden Gefühlsreizen, unwillkürliche Bewegungen der Finger entstehen, die ihrerseits zu Volumschwankungen des umgebenden Wassers führen und dadurch eine fehlerhafte Kurve bedingen können. Jedoch sind die hierbei entstehenden Ausschläge auf der Kurve derartig verschieden von den vasomotorischen Ausschlägen, daß sie als solche sofort erkannt werden können.

Die Kurve (Fig. 267), bei der vom Zeichen + bis — willkürliche Fingerbewegungen innerhalb des Plethysmographen von der Versuchsperson ausgeführt werden, zeigt so zackige und unregelmäßige Ausschläge des Schreibhebels, daß sie als nicht zu dem normalen Versuch gehörig sofort kenntlich sind. Um ganz sicher zu gehen, daß der Arm während der Untersuchung wirklich absolut ruhig gelegen hat, kann man sich nach dem Vorschlag von *Weber* durch einen Kontrollversuch überzeugen. Zu diesem Zweck befestigt man

den Knopf eines Kardiographen (Fig. 263) an dem aus dem Plethysmographen noch herausragenden Teil des Unterarmes, nachdem der Kardiograph selbst mit Gurten an die Unterlage des Armes fixiert ist. Läßt man durch den Kardiographen ebenfalls eine Kurve auf der rotierenden Trommel schreiben, so muß sich jede Bewegung des Armes bzw. der Fingermuskeln an der Kurve ausprägen. An den so aufgenommenen Kurven (Fig. 268 und 269) wird vom Zeichen + bis — eine willkürliche Bewegung an der untersuchten Hand im Plethysmographen ausgeführt. Solange Arm und Hand

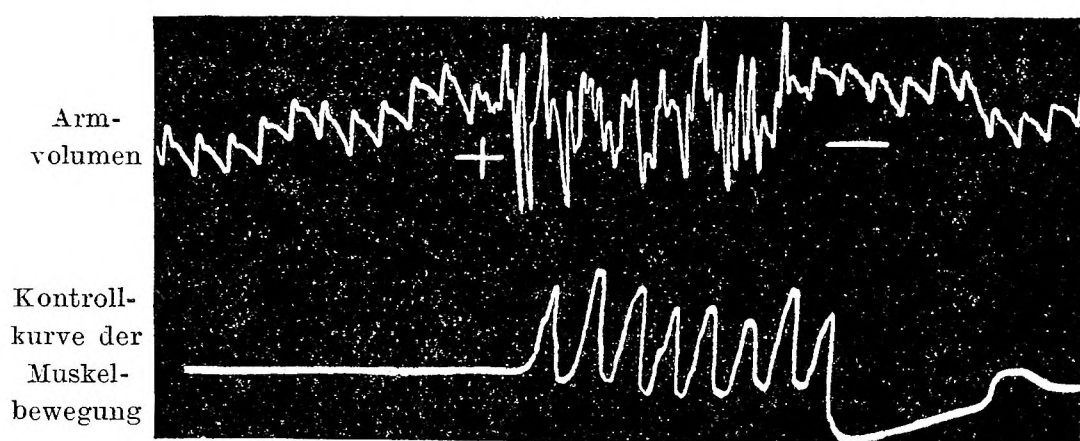


Fig. 268.

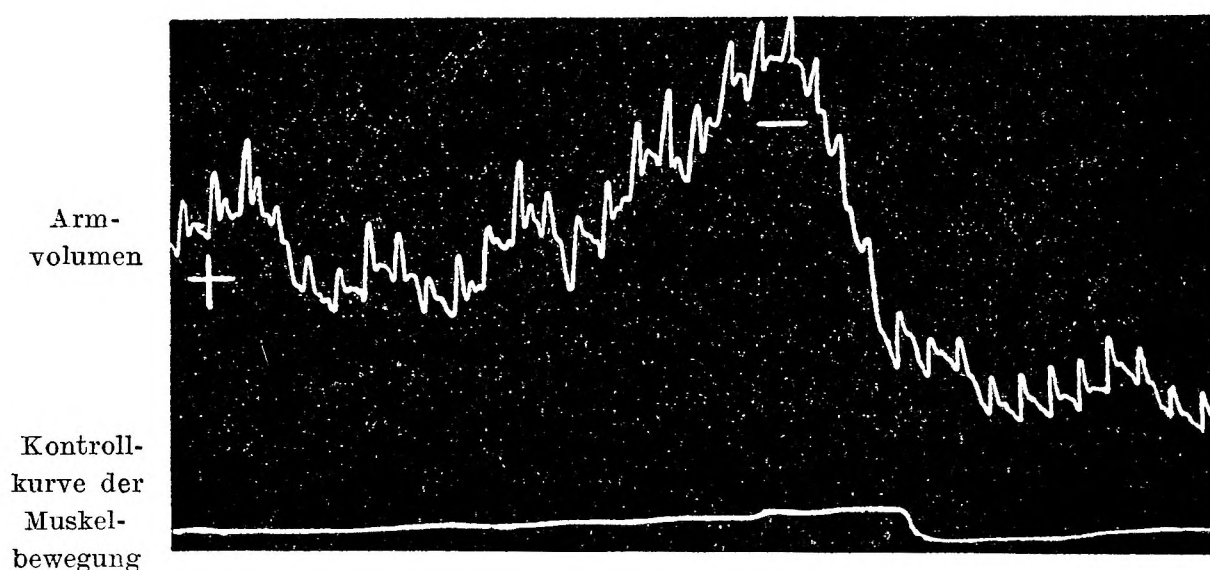


Fig. 269.

völlig ruhig liegen, zeichnet der Kontrollapparat eine gerade Linie, bei Bewegungen der Finger treten sowohl an der Kurve des Armvolumens wie an der Kontrollkurve die entsprechenden Zacken auf, die mit Deutlichkeit eine Störung des Versuches durch motorische Unruhen beweisen. Über die Exaktheit des Kontrollapparates gibt uns die untere Kurve (Fig. 268) ein schönes Beispiel. Hierbei wird experimentell (wie später ausgeführt werden wird) durch einen psychischen Vorgang eine Vermehrung des Blutvolumens des Armes vom Zeichen + bis — herbeigeführt, wobei bei der allmählichen Entstehung der Volumenzunahme sowohl die einzelnen

Pulse wie auch die Respirationswellen deutlich erkenntlich bleiben, ohne daß so unregelmäßige Zacken wie bei der vorhergehenden Kurve auftreten. Schon aus der normalen Kurve kann man schließen, daß der Arm in absoluter Ruhe bei den Versuchen gelegen hat. Die Kontrollkurve zeichnet hierbei eine gerade verlaufende Linie, die aber infolge der allmählichen Volumenzunahme des Armes und des dadurch bedingten Druckes auf den Knopf des Kontrollapparates ein allmähliches Ansteigen der Kurve zeigt, die, und das ist ganz charakteristisch, nach dem Aufhören der durch den psychischen Einfluß bewirkten Volumenzunahme wieder auf die Anfangshöhe zurücksinkt.

Durch diesen Kontrollapparat ist es also möglich, sich jederzeit über die erste Voraussetzung der Versuche, die absolut ruhige Lagerung des Armes, in einwandfreier Weise zu orientieren. Durch Einhaltung der geschilderten Kautelen kann man mit der plethysmographischen Untersuchung sichere Resultate über das vasomotorische Verhalten der Extremitäten erzielen.

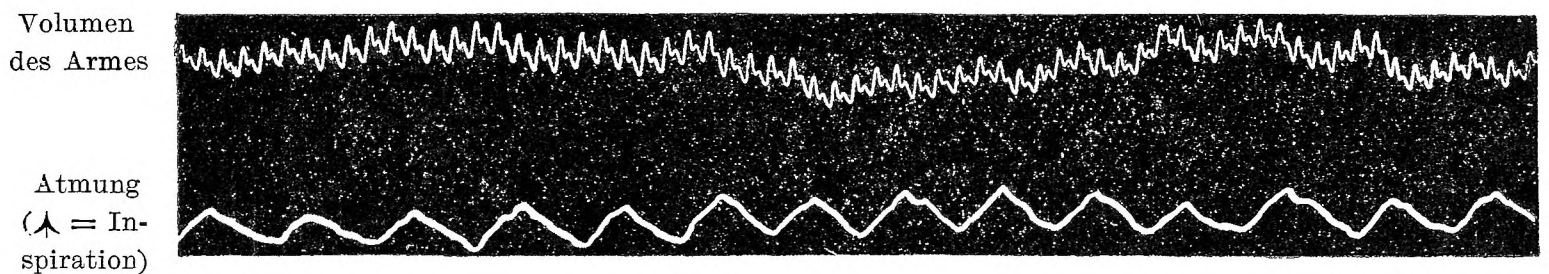


Fig. 270.

Bei der normalen Volumkurve des Armes (Fig. 270) unterscheidet man drei verschiedene Wellen. Unter den sogenannten Wellen erster Ordnung versteht man die steilen, kurzdauernden, den einzelnen Herzschlägen entsprechenden Erhebungen, die durch die Herzkontraktion und dadurch bedingte vorübergehende Volumzunahme im Arm eintreten müssen.

Die Wellen zweiter Ordnung haben eine Dauer von drei bis sechs Pulsschlägen und sind physiologisch auf die Atmung zurückzuführen, da bekanntlich bei der Inspiration eine Senkung des Blutdruckes und Volumabnahme im Arm stattfindet, während die Expiration das umgekehrte Verhalten hervorruft.

Die eben beschriebenen respiratorischen Wellen bestehen auch bei plötzlich ausgesetzter oder künstlich unterbrochener Atmung fort, was auf rhythmische, nervöse Einflüsse vom Atmungszentrum zurückzuführen ist (*Traube-Heringsche Wellen*¹).

Von der Atmung unabhängig sind die sogenannten Wellen dritter Ordnung. In Fig. 270 sind zwei derartige Wellen abgebildet,

¹) *Hering*: Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien. **40**. II. 837 (1869).

die zuerst von *S. Mayer*¹⁾ beobachtet sind. Sie treten unregelmäßig auf und sind bezüglich ihrer Ausdehnung länger als die Atmungs- wellen. Sie sind durch Erregungszustände des Vasomotorenzentrums und dadurch bedingter Änderung im Kontraktionszustand der Gefäße hervorgerufen. Ähnliche unregelmäßige Schwankungen kommen außerdem noch an der Volumkurve der ruhenden untätigen Versuchsperson vor, die sich durch das schnellere Abfallen der Volumveränderung von der oben genannten unterscheidet. Sie sind, wie durch zahlreiche Untersuchungen bewiesen, durch das willkürliche Eintreten irgendeiner psychischen, zum Teil unbewußten Tätigkeit bei der Versuchsperson bedingt (Auftreten eines lebhaften Gedankens). Ist jede psychische Tätigkeit ausgeschlossen, so fehlen, wie *Lehmann*²⁾ durch Experimente in der Hypnose nachgewiesen hat, diese Schwankungen in der normalen Kurve. Außerdem kann noch zum Beweis angeführt werden, daß man jederzeit durch eine bewußte psychische Arbeit eine starke Volumverminderung herbeiführen kann.

Bei allen vasomotorischen Untersuchungen kommt es nur auf den qualitativen Effekt an, während eine genaue Messung der quantitativen nicht möglich ist.

VI. Der Einfluß der psychischen Arbeit auf die Blutverteilung.

Im folgenden sollen die vasomotorischen Begleiterscheinungen bei psychischer Arbeit und Ermüdung dargestellt werden. Aus dem Verhalten der typischen Veränderungen kann man dann auf die Richtigkeit der angewandten Methodik schließen. Daß Menschen gerade auf vasomotorische Reize verschieden reagieren, ist ja genügend bekannt; die einen erröten oder erbleichen leicht, die anderen nur unter dem Einfluß starker psychischer Einwirkungen. Infolgedessen wird man auch bei unseren Untersuchungen die besten Resultate erhalten, wenn man sich vasomotorisch empfindliche Versuchspersonen auswählen kann. Eine gewisse Anzahl wird man zu den Experimenten überhaupt nicht gebrauchen können, weil sie zu nervös und aufgeregt sind, um die für das Schreiben der Volumkurve notwendige Ruhe des Armes zu bewahren.

Insbesondere wird man Frauen im Klimakterium von den Versuchen ausschließen müssen, da ihr Vasomotorenzentrum sich in einem dauernden Reizzustand befindet, das zu eklatanten vasomotorischen Blutverschiebungen Anlaß gibt. Sie zeigen, wie ich nachweisen konnte, atypische Armkurven, die auch bei spezifischen physikalischen und psychologischen Einflüssen in eigenartiger Weise verändert sind³⁾.

¹⁾ *S. Mayer*: Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien. **74**. VII. 281 (1876).

²⁾ *Lehmann*: Körperliche Äußerungen psychischer Zustände. 41 (1899).

³⁾ *B. Zondek*: Zeitschr. f. Geburtsh. u. Gynäkol. 1920.

Weber hat alle einschlägigen Versuche auch in der Hypnose ausgeführt, wobei man sicher geht, daß nur der dem Hypnotisierten gegebene Reiz zur Entfaltung gelangt, so daß die erhaltene Kurve ein eindeutiges Spiegelbild der auf psychischer Basis beruhenden vasomotorischen Erscheinung bietet. Die psychische Arbeit kann man in verschiedener Weise ausführen lassen: Kopfrechnen, Zählen von unregelmäßig auf einem Blatt zerstreuten Punkten, Zählen gewisser Buchstaben, Lesen eines deutschen oder eines fremdländischen Textes. Um nicht neben der psychischen Arbeit ein Unlustgefühl zu erwecken, soll man beim Kopfrechnen nicht zu schwere Aufgaben stellen. Bei der Schwierigkeit der angewandten

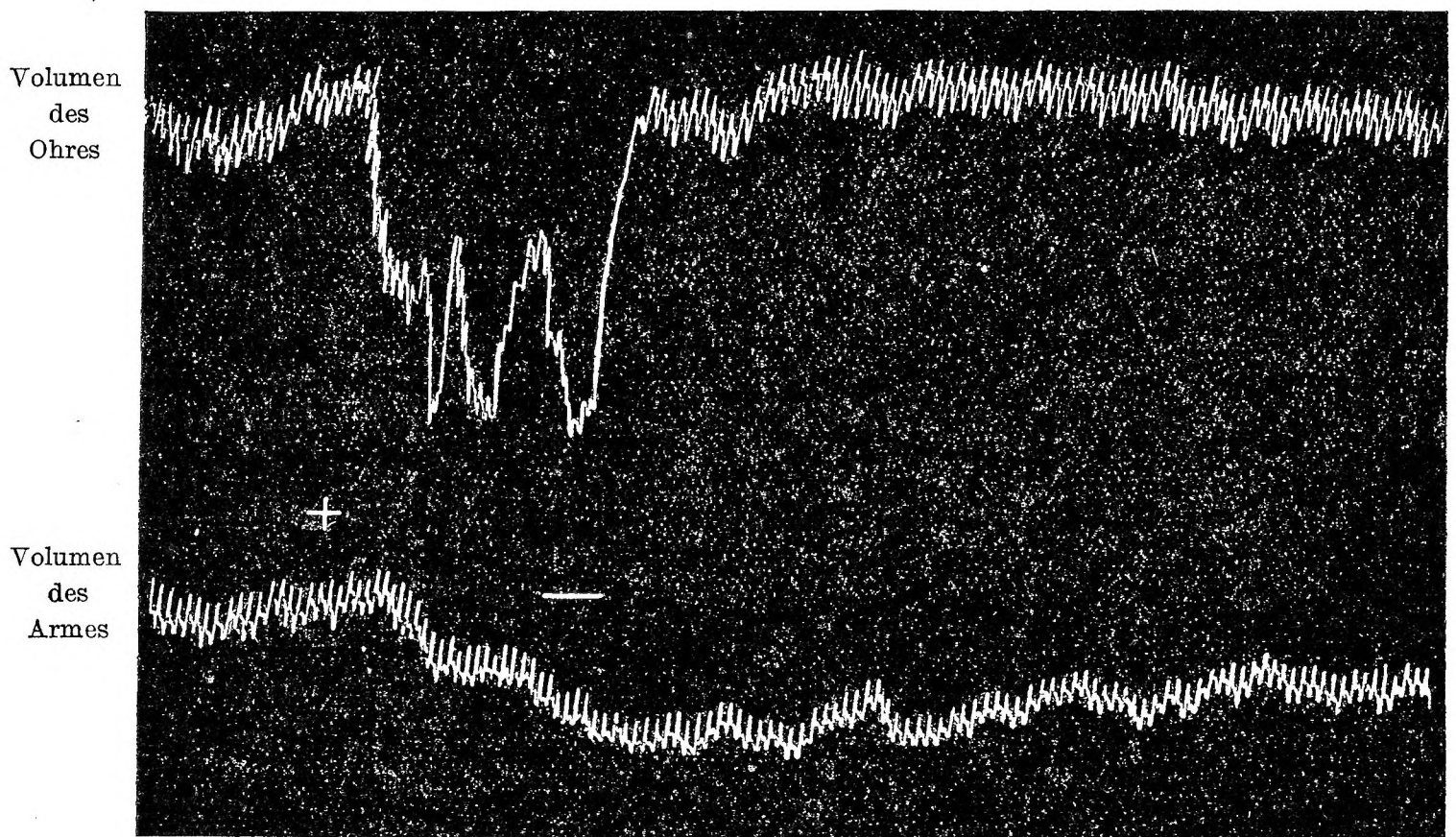


Fig. 271.

Aufgabe wird man sich selbstverständlich nach dem Bildungsgrad und der beruflichen Tätigkeit der Versuchspersonen richten müssen. Da das Aussprechen der Resultate durch die Versuchspersonen oder das Melden der gelösten Aufgaben durch Ablenkung der Aufmerksamkeit störend wirkt, wartet *Weber* nie die Beendigung der Aufgabe ab, sondern gibt eine neue Rechenaufgabe, wenn die vorhergehende noch nicht vollständig gelöst ist. Oder man führt eine länger dauernde Arbeit dadurch herbei, daß der Versuchsperson einige kleinere Multiplikationsaufgaben auf einer Tafel vorgelegt werden, die sie hintereinander schnell lösen muß.

Während der psychischen Arbeit tritt an der Volumkurve des Armes nach einer oft kaum merklichen Steigerung eine starke

Senkung ein (negative Kurve), die nach Beendigung der psychischen Arbeit wieder zur Norm zurückgeht. Die Atmung wird bei psychischer Arbeit oft etwas oberflächlicher und beschleunigter, aber die Änderungen sind in der Regel so gering, daß sie keine Änderung der plethysmographischen Kurve hervorrufen.

Mit Absicht sind Kurven mitgeteilt, die an verschiedenen Versuchspersonen aufgenommen sind (Fig. 271 bis 273); man sieht

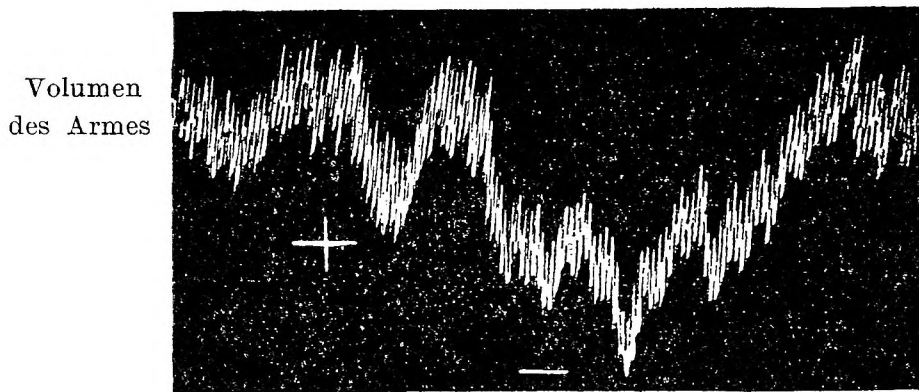


Fig. 272. Vom Zeichen + bis — wird geistige Arbeit geleistet.

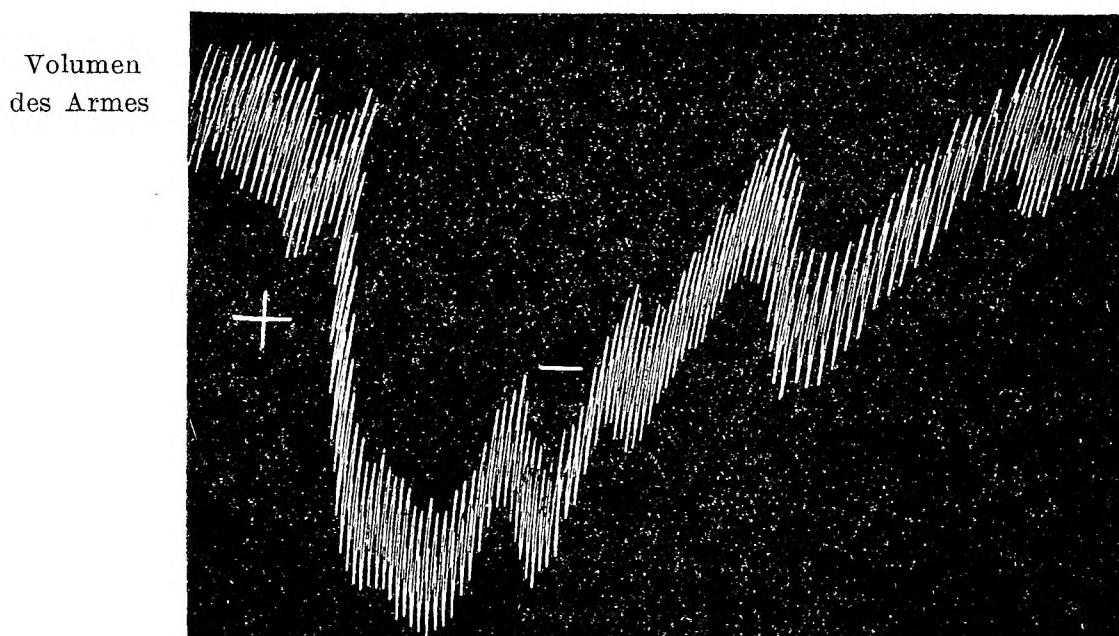


Fig. 273. Vom Zeichen + bis — wird geistige Arbeit geleistet.

an ihnen, daß der durch die psychische Tätigkeit bedingte Effekt sich sowohl in der Volumenverminderung wie in den einzelnen Volumpulsen in ganz verschiedener Stärke ausprägt. Es sei deshalb noch einmal darauf hingewiesen, daß man mehr die qualitativen als die quantitativen Veränderungen berücksichtigen muß, und daß es nicht angängig ist, die Kurven verschiedener Versuchspersonen miteinander zu vergleichen, um daraus vergleichende Rückschlüsse auf die Größe des psychologischen Vorganges zu machen. Die vasomotorische Reaktionsfähigkeit ist eben bei den einzelnen Menschen verschieden.

Man darf nicht erstaunt sein, wenn es nicht gleich beim erstenmal gelingt, so deutliche Kurven zu erhalten wie die hier mitgeteilten. Die Ursache kann neben den bisher beschriebenen Fehlerquellen der Methode in der Versuchsperson selbst liegen. Bei der experimentellen Untersuchung psychologischer Fragen mag die Versuchsanordnung auf den ersten Blick einfach erscheinen, die Fehler liegen aber versteckt, und der Versuch ist nur dann exakt, wenn man die absolute Gewißheit hat, daß man nur den zu prüfenden psychologischen Vorgang, nicht eine Mischung solcher untersucht. Die Versuchsperson, die zum ersten Mal ins Laboratorium kommt, steht unter einem zum Teil unbewußten Gefühl der Erwartung und Spannung; sie verfolgt jeden Vorgang der Untersuchung und der Apparate mit gesteigerter Aufmerksamkeit, was selbstverständlich nicht ohne Einfluß auf die vasomotorischen Begleiterscheinungen sein kann. *Lehmann*¹⁾ hat darauf hingewiesen, daß das bisweilen unbewußte Bestehen eines Spannungszustandes vor und während der Versuche zur fehlerhaften Deutung der plethysmographischen Kurven führen kann, worauf auch nach seiner Meinung die verschiedenen Ergebnisse der einzelnen Forscher zurückzuführen sind. Spannung und Erwartung drücken sich auf der plethysmographischen Armkurve in einer Verminderung des Blutvolumens und der Volumpulse aus, so daß damit schon bei Beginn des Versuches nicht die normale, sondern die durch einen psychologischen Vorgang bereits veränderte Kurve erhält. Läßt man nunmehr einen spezifischen Reiz auf die Versuchsperson einwirken, so stellt die gewonnene Kurve die Resultante der verschiedenen psychologischen Vorgänge dar. Lassen wir z. B. die unter Spannung stehende Versuchsperson eine geistige Arbeit ausführen, so wird bei Beginn der psychischen Tätigkeit der Spannungszustand aufgehoben. Dadurch müßte die plethysmographische Armkurve infolge Lösung der Spannung eine Volumvermehrung zeigen (positive Kurve), andererseits aber infolge der psychischen Arbeit eine Volumverminderung (negative Kurve). Es kommt dann darauf an, welcher psychologische Vorgang von beiden der stärkere ist; man wird sich nach dem Gesagten den Fall denken können, daß die psychische Arbeit sich in der plethysmographischen Kurve überhaupt nicht auszudrücken braucht, wenn der durch die Lösung der Spannung und die psychische Arbeit bedingte Einfluß auf die vasomotorischen Begleiterscheinungen sich die Waage halten, ja daß man sogar eine entgegengesetzte, d. h. positive Kurve bei psychischer Arbeit erhalten kann, wenn die Lösung des Spannungszustandes den psychischen Vorgang überwiegt. Es ist überaus wichtig, an diese Fehlerquelle zu denken und sich vor Beginn der Versuche jedesmal über die Normalkurve der Versuchs-

¹⁾ *Lehmann*: 1. 76 (1899).

person zu orientieren. Erhält man eine unregelmäßige Kurve, so ist es zweckmäßig, die Versuchsperson nach beendeter Versuchsanordnung eine Zeitlang warten zu lassen (der Kymograph ist dabei abzustellen), damit sie sich an das Milieu gewöhnt und der Spannungs- und Erwartungszustand sich löst. Erreicht man auch damit nicht den gewünschten Erfolg, so bricht man am besten die Versuche ab, um sie am nächsten Tage an der frischen Versuchsperson zu wiederholen. Mit Sicherheit kann man diese störende Nebenerscheinung ausschließen, wenn man nach dem Vorschlage von *E. Weber* die Versuche in Hypnose ausführt, wobei man durch entsprechende Suggestion jeden Spannungszustand beseitigen kann. Die Hypnose führt man nach der *Bernheimschen* Methode

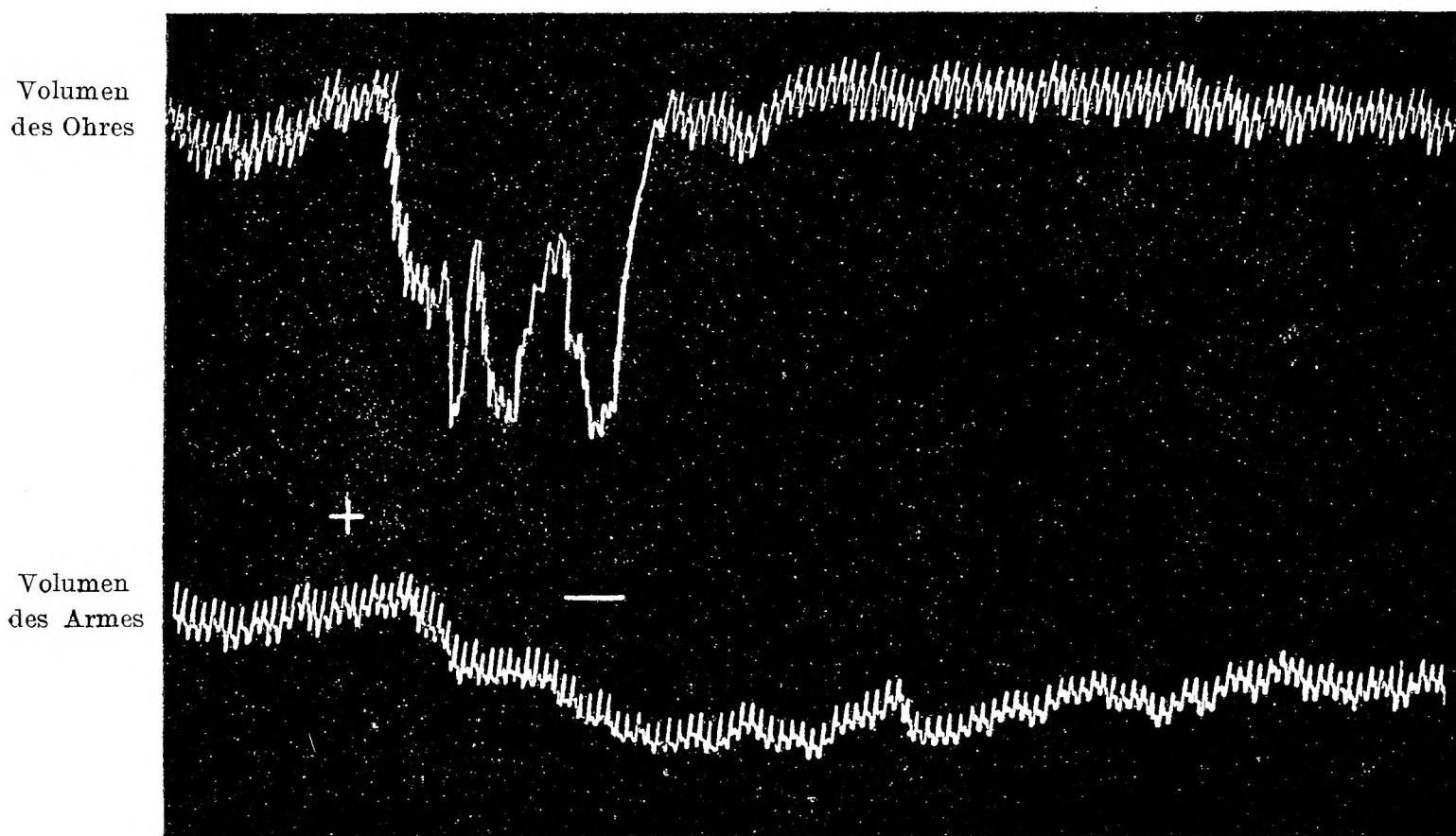


Fig. 274.

der Verbalsuggestion aus, wobei als Beweis des eingetretenen tiefen hypnotischen Zustandes die Anästhesie gegen Nadelstiche angesehen wird. Es ist zweckmäßig, nach Eintritt der Hypnose einige Zeit zu warten, damit die durch die Hypnose eventuell bedingten vasomotorischen Erscheinungen auf der Kurve nicht zum Ausdruck kommen.

In der Regel wird man ja an gesunden nicht ermüdeten Versuchspersonen die normale plethysmographische Kurve mit den typischen Veränderungen bei psychologischen Vorgängen erhalten; es ist aber notwendig, auf alle versteckten Fehlerquellen der Methode zu achten, um nicht zu falschen Resultaten zu gelangen.

Über das vasomotorische Verhalten der äußeren Kopfteile kann man sich durch die vorher beschriebene Methode

leicht orientieren. Es zeigt sich hierbei, daß der Effekt an diesen Gefäßgebieten derselbe ist wie am Arm, d. h. es tritt bei geistiger Arbeit eine Verminderung der Blutfülle der äußeren Kopfteile und damit eine negative Kurve auf (Fig. 274).

Die Wirkung ist, wie aus der Kurve ersichtlich, eine absolut prompte. Sie tritt sofort mit dem Beginn der psychischen Arbeit (beim Zeichen +) auf, um nach dem Aufhören derselben sofort auf die Normalhöhe zurückzugehen. Hierin unterscheidet sich die Ohrkurve wesentlich von der des Armes, bei der das Sinken der Kurve bei psychischer Arbeit allmählich und langsam vor sich geht, um in dem gleichen Maße wieder anzusteigen. Daß die äußeren Kopfteile vasomotorisch so fein reagieren, und dies in exakterer Weise als die anderen Gefäßgebiete, geht ja aus der täglichen Erfahrung hervor, daß psychische Effekte gerade im Gesicht sich in eklatanter Weise ausprägen. Ohr- und Armkurve unter-

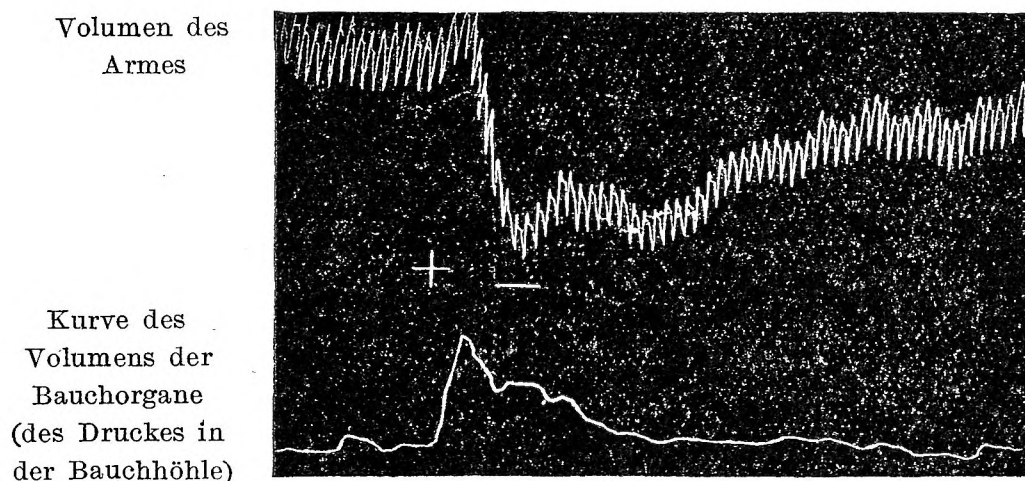


Fig. 275.

richten uns über die vom Vasomotorenzentrum ausgehenden Reize und über Veränderungen an den großen Gefäßkomplexen der äußeren Körperteile (Gesicht und Extremitäten); sie geben aber nur ein unvollständiges Bild, wenn die inneren Organe nicht berücksichtigt werden. Mit dem inneren Plethysmographen (Kapitel I) kann man sich über vasomotorische Verhältnisse der Bauchorgane orientieren. Es ist zweckmäßig, gleichzeitig eine Armkurve aufzunehmen, deren Methode wesentlich leichter ist, und an der sich die vasomotorischen Effekte prägnanter ausprägen, um daraus schließen zu können, ob die durch den inneren Plethysmographen geschriebene Kurvenveränderungen wirklich auf den psychischen Einfluß zurückzuführen sind. (Vgl. Kapitel I.)

Eine bei solchen Versuchen gewonnene Kurve ist in Fig. 275 dargestellt; es zeigt sich, daß Arm- und Bauchkurve sich umgekehrt proportional verhalten, d. h., daß mit dem Einsetzen der psychischen Arbeit bei dem Zeichen + die Armkurve in gleicher Weise fällt, wie die Bauchkurve steigt, um ungefähr im gleichen Zeitraum

wieder auf der Normalhöhe anzulangen. Es geht daraus hervor, daß die Veränderung der Bauchkurve denselben Grund haben muß wie die der Armkurve, d. h. daß es sich bei beiden um die durch den psychologischen Vorgang bedingte Reizung der Vasomotoren handelt, die an den Extremitäten zu einer Verminderung, an den Bauchorganen zur Vermehrung des Blutvolumens führt.

Gesichert werden die Ergebnisse durch die Kontrolle eines gleichartigen Versuches in Hypnose (Fig. 276). Vom Zeichen + bis — werden der hypnotisierten Person Rechenaufgaben gegeben. Auch hier haben wir den gleichen Effekt, eine abfallende Armkurve bei einer aufsteigenden Bauchkurve.

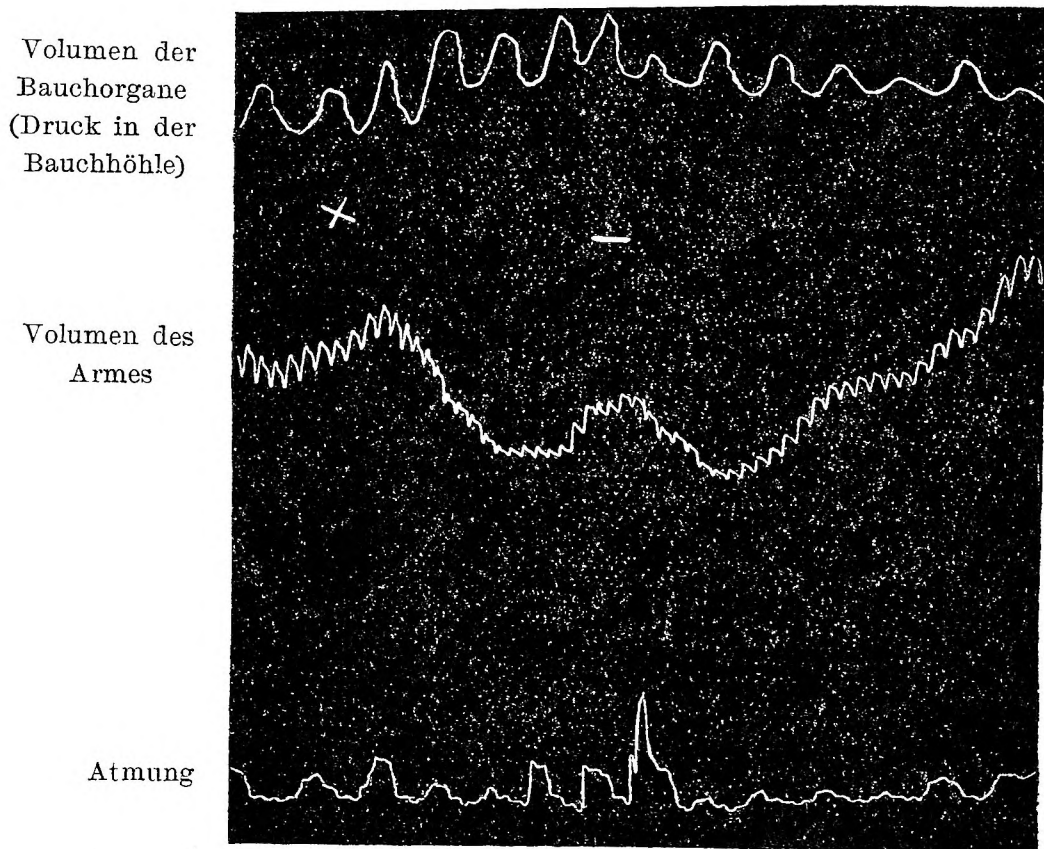


Fig. 276.

Vergleicht man die aufgenommenen Bauchkurven, so ist beiden die positive Kurve infolge Erhöhung des Blutvolumens des Bauches gemeinsam, sie unterscheiden sich jedoch in dem Ausdruck der Atmungsschwankungen in der Bauchkurve. Während bei der ersteren die einzelnen Atmungsschwankungen nur angedeutet sind, sind sie bei der letzteren deutlich als solche zu erkennen, so daß wir in dieser Bauchkurve die Kombination der Atmungs- und vasomotorischen Kurve erhalten. Es ist zweckmäßig, daß sich die Atmungsschwankungen, wie vorher in der Darstellung der Methodik erwähnt ist, möglichst klein auf der vasomotorischen Kurve ausprägen, da dadurch die vasomotorischen Effekte besser zur Anschauung kommen und durch die groben Ausschläge der Atmung nicht verdeckt werden. Daß wirklich das Blutvolumen

des Bauches an der Kurve zur Darstellung kommt, und nicht eine der vielen vorher mitgeteilten Fehlerquellen vorliegt, erkennt man im wesentlichen an dem ruhigen und mäßigen Ablaufen der Kurve, in der die einzelnen Erhebungen und Senkungen einander gleich bzw. ähnlich sind. Verändert sich die ruhige Atmung im Augenblick des Eintretens eines lebhaften psychischen Vorganges plötzlich, so muß dadurch auch die plethysmographische Armkurve verändert werden.

In Fig. 277 ist ein solcher Versuch abgebildet, bei der in der Mitte der Kurve eine absichtliche starke Kontraktion der Bauchmuskeln veranlaßt wurde. An der plethysmographischen Bauchkurve prägt sich diese willkürliche Kontraktion zunächst in einer kleinen, steilen, dann in einer weit größeren, jähen, grotesken Erhebung aus, um bald wieder beim Einsetzen der ruhigen Atmung zur Anfangshöhe der Kurve zurückzusinken. Man kann einen solchen plötzlichen, auf veränderter Atmung beruhenden Kurvenausschlag schon durch Beobachtung an der rotierenden Trommel feststellen. Während bei den vasomotorisch bedingten Druckveränderungen der Schreibhebel sich allmählich senkt bzw. aufsteigt, wird er bei einer fehlerhaften Versuchsanordnung gleichsam nach oben oder nach unten geworfen. Schon aus dieser Beobachtung kann man schließen, daß nicht die vasomotorischen Begleiterscheinungen, sondern ein äußerer Einfluß die Kurvenveränderung bedingt.

Auf der Armkurve sieht man in Fig. 277 synchron den anormalen Atmungsschwankungen atypische, zackige Veränderungen, die auf die motorische Unruhe der Finger im Plethysmographen zurückzuführen sind, die in ihrer unregelmäßigen Art als zu dem normalen Versuch nicht gehörig leicht erkennbar sind.

Derartige plötzliche Druckänderungen sind im allgemeinen bei unseren Versuchen gar nicht zu fürchten, wo es sich um einfache psychologische Vorgänge handelt. Bedeutsamer wird die Frage, wenn es sich um Untersuchungen von Affekten handelt. Jedenfalls ist es möglich, Fehler der Versuchsanordnung an der Kurve abzulesen, nebenbei aber die vasomotorischen Veränderungen genau zu erkennen. Natürlich ist es zweckmäßig, wenn man nur solche Kurven als beweiskräftig ansieht, die in normaler, ruhiger Weise ablaufen.

Wir haben bisher den Einfluß der psychischen Arbeit auf die großen Gefäßgebiete der äußeren Körperteile und der Bauchorgane kennen gelernt. Es fehlt noch die Einwirkung auf die Gehirngefäße selber, die ja am interessantesten und wichtigsten sind. Leider ist ja die Registrierung der Zirkulationsverhältnisse des Gehirns, wie im ersten Kapitel auseinandergesetzt, am schwierigsten, weil die einwandfreie Methode nur an Versuchspersonen mit Schädeldefekten möglich ist, die man ja nur durch Zufall bekommen kann.

Die andere angegebene Methode der Pulsverspätung ist aber zu kompliziert, um daraus physiologische Schlüsse ziehen zu können. Es ist sicher und von allen Autoren übereinstimmend festgestellt: Bei jeder psychischen Arbeit tritt eine Vermehrung des Blutvolumens im Gehirn ein. In Fig. 278 ist ein solcher Versuch dargestellt.

Die Kurve wurde von *Weber* an einem Knaben aufgenommen, der einen traumatischen, völlig vernarbten Schädeldefekt an der linken Stirnseite hatte.

Fassen wir die Ergebnisse zusammen: Durch jede psychische Arbeit wird ein bestimmter Reiz auf das Vasomotorenzentrum ausgeübt, das seine Impulse in der Art weitergibt, daß es in den

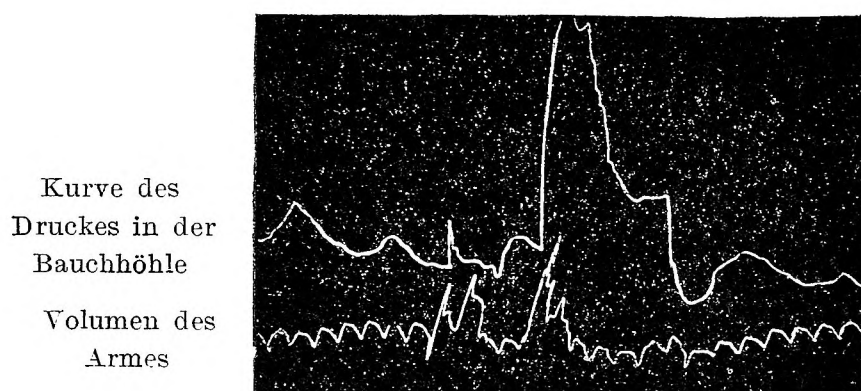


Fig. 277.

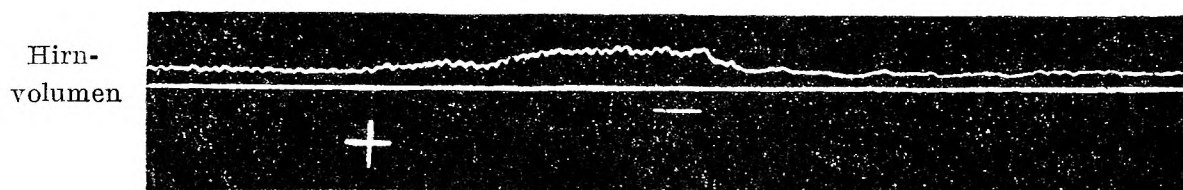


Fig. 278.

großen Gefäßgebieten des Bauches und in den kleineren des Gehirnes zu einer Vermehrung des Blutvolumens kommt, auf Kosten einer Verminderung der Blutfülle aller äußeren Körperteile. (Vgl. Schema!)

Bei psychischer Arbeit tritt ein:

| Gehirn | Äußere Kopfteile | Bauchorgane | Extremitäten |
|--------|------------------|-------------|--------------|
| + | — | + | — |

+ bedeutet Vermehrung,

— „ Verminderung des Blutvolumens.

Diese zentral bedingten vasomotorischen Blutverschiebungen haben eine physiologische Zweckmäßigkeit, die wohl darin zu suchen ist, daß die Gehirngefäße sich aktiv erweitern und die Blutfülle des gesamten Gehirnes zunimmt, so daß eine bessere Durchblutung und Versorgung des Gehirnes mit Sauerstoff gewährleistet wird. Durch die dauernde Vermehrung der Blutzufuhr können die bei psychischer

Arbeit auftretenden Ermüdungsstoffe weggespült werden; durch die Vergrößerung der Sauerstoffzufuhr zur Hirnrinde wird gleichzeitig die Zersetzbarkeit der zentralen Biogene gesteigert. Die vasomotorischen Begleiterscheinungen der psychischen Vorgänge beim Gehirn sorgen also für eine Erleichterung der psychischen Vorgänge. Durch die aktive Vasodilatation der Bauchgefäße wird die größte Blutmenge in die Bauchorgane gesaugt und dadurch, wie wir gesehen haben, die äußeren Körperteile in ihrer Blutversorgung geschmälert. Vom teleologischen Standpunkt aus müssen diese vasomotorischen Begleiterscheinungen dahin gedeutet werden: Durch die schlechte Durchblutung der äußeren Körperteile wird die Reizbarkeit der sensiblen Aufnahmeorgane in der Haut herabgesetzt, wodurch die Möglichkeit der Ablenkung der Aufmerksamkeit bei psychischer Tätigkeit durch äußere Reize stark vermindert wird; dies ist um so wertvoller, als jeder äußere Reiz bei psychischer Tätigkeit in dem gut durchgebluteten Gehirn besonders leicht zur Aufnahme gelangen kann und dadurch den psychologischen Vorgang stören muß.

Auf weitere Ergebnisse der Forschung einzugehen, erscheint mir überflüssig, da es ja in der Hauptsache auf die Darstellung der Methoden ankommt. Ich übergehe daher die Darstellung der vasomotorischen Begleiterscheinungen bei Lust- und Unlustgefühlen sowie bei Affekten, insbesondere da diese psychologischen Vorgänge vom Standpunkte der Ermüdung aus bisher noch wenig erforscht sind. Hingegen sei noch kurz auf die Begleiterscheinungen des psychologischen Vorganges der Bewegungsvorstellung eingegangen, wobei auch gleichzeitig noch Angaben über Methodik gemacht werden sollen.

VII. Der Einfluß der Bewegungsvorstellung auf die Blutverteilung.

Die Ausführung jeder körperlichen Bewegung ist von einem komplizierten zentralen physiologischen Vorgang abhängig, der seinerseits Impulse auf das Vasomotorenzentrum abgibt, das die Blutversorgung im Körper in einer für den Ablauf der Bewegung nutzbringenden Weise regelt. Wie sich diese vasomotorische Begleiterscheinung bei oder gerade durch körperliche Ermüdung ändern, und wie man aus den dargestellten plethysmographischen Kurven auf funktionelle Beeinträchtigung des Vasomotorenzentrums schließen kann, wird später dargestellt werden. Was die Methodik anbetrifft, so ist es selbstverständlich notwendig, daß man bei Untersuchungen von Bewegungsvorstellungen die Sicherheit haben muß, jede reale Bewegung ausschließen zu können. Es ist zwar, wie im Kapitel I beschrieben, durch Kontrollapparate möglich, sich von der absoluten Ruhe des untersuchten Gliedes zu überzeugen. Aber trotzdem wird man dem Vorschlage *Webers*

Folge leisten und diese Versuche auch in der Hypnose ausführen, nachdem man der Versuchsperson die Suggestion gegeben hat, daß sie vollkommen unbeweglich bleiben und dauernd gleichmäßig atmen müsse. Es ist zweckmäßig, der Versuchsperson zu suggerieren, daß sie zur Bewältigung der vorzustellenden Arbeit ausreichende Kräfte habe, damit nicht ein störender Einfluß des Unlustgefühls auftritt. Die Art der Bewegungsvorstellung an sich ist gleichgültig, jedoch ist es ratsam, wenn sie dem Verständnis der Versuchsperson möglichst nahe liegt. So wird man z. B. einem Schlosser den Befehl geben können, einen in der Mauer sitzenden Nagel mit aller Kraft herauszuziehen, einen Sportsmann wird man Kraftübungen am Reck machen oder rudern lassen. Durch die Hypnose ist bei dieser Versuchsanordnung die für die Aufnahme der plethysmographischen Kurven notwendige Ruhe gesichert. Man kann aber auch bei genügenden Vorsichtsmaßregeln bei der normalen Versuchsperson durch das Hervorrufen einer Bewegungsvorstellung die vasomotorischen Begleiterscheinungen herbeiführen. Allerdings wird sich der Effekt hier nicht mit so absoluter Regelmäßigkeit einstellen, was man darauf zurückführen muß, daß nicht jede Versuchsperson intelligent genug ist, ihren Gedankenkreis schnell und intensiv genug zu konzentrieren, und daß es nicht bei jedem gelingt, die Vorstellung der Bewegung allein so lebhaft zu gestalten, als wenn die Bewegung dabei ausgeführt würde. Es empfiehlt sich hierbei, Vorstellungen einer möglichst einfachen, aber anstrengenden Bewegung zu geben. Die Vorstellung wird leichter fallen, wenn die Versuchsperson vorher diese Bewegungen ausgeführt hat. Um ein Beispiel anzuführen: Man läßt die Versuchsperson ein schweres Gewicht heben, läßt sie dann eine Zeitlang ausruhen, damit die vasomotorischen Begleiterscheinungen der Muskelarbeit auf den normalen Zustand zurückgehen; dann gibt man die Bewegungsvorstellung, während man der Versuchsperson das Gewicht zeigt, so daß die Erinnerung an diese Bewegung noch frisch im Gedächtnis lebt. Die vasomotorischen Begleiterscheinungen bei diesem psychischen Vorgang der Bewegungsvorstellung seien kurz erwähnt; im übrigen sind sie durch die nachfolgenden Kurven illustriert. In Fig. 279 wird der tief hypnotisierten und bewegungslos bleibenden Versuchsperson vom Zeichen + bis — eine lebhafte Bewegungsvorstellung suggeriert; wir sehen, daß sich dies an der plethysmographischen Kurve (die nach den vorher beschriebenen Methoden aufgenommen worden ist) darin äußert, daß das Blutvolumen des Armes zunimmt, während das der äußeren Kopfteile abnimmt (positive Armkurve, negative Ohrkurve).

Die Untersuchung der Bauchorgane mit dem *Weberschen* Plethysmographen ergibt bei Bewegungsvorstellung eine Volumenverminderung, wie aus Fig. 280 zu ersehen ist.

Natürlich kann man diese Resultate auch erreichen, wenn man wirklich eine Bewegung ausführen läßt, nur muß man hierbei sicher sein, daß durch die Bewegung keine Erschütterung des Körpers und der Apparate möglich ist. Es läßt sich dies dadurch erreichen daß man das Armvolumen mißt, während man eine

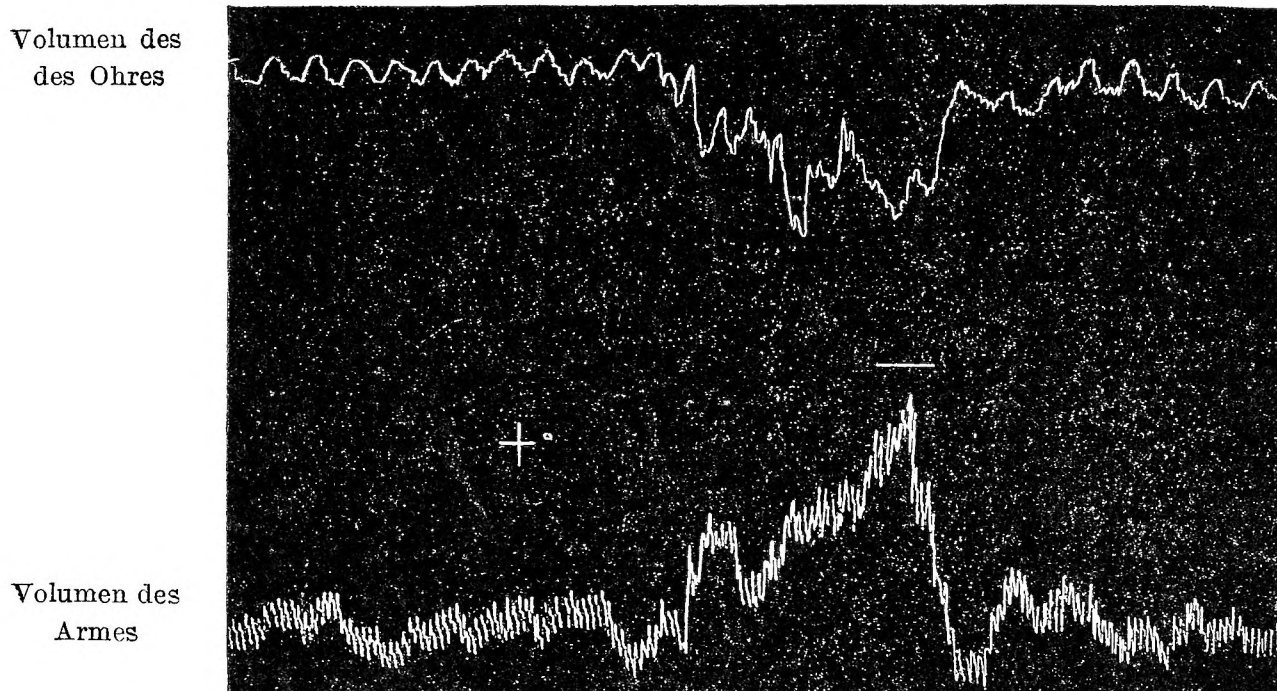


Fig. 279.

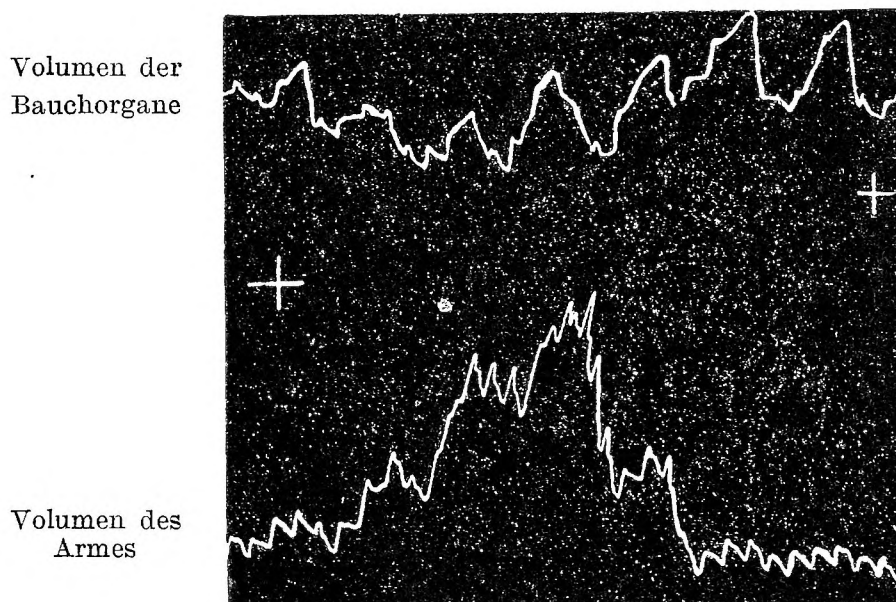


Fig. 280.

dosierte kräftige Bewegung des Fußes (abwechselnd Dorsal- und Plantarflexion) ausführen läßt. Zu diesem Zwecke muß der Oberschenkel der sitzenden Versuchsperson auf eine vor dem Stuhl stehende rechtwinkelige Stütze gelegt werden, so daß der Fuß den Boden nicht berührt. Am besten wird das Volumen des linken Armes gemessen, wenn man am rechten Fuß Bewegungen ausführen läßt. Ob der Arm im Plethysmographen absolut ruhig gelegen

hat, kann man einerseits, wie vorher beschrieben, an den Kurven erkennen, andererseits durch Kontrollapparate prüfen. Die Ergebnisse der vasomotorischen Begleiterscheinungen sind bei wirklicher aktiver Bewegung die gleichen wie bei reiner Bewegungsvorstellung. Das Blut strömt in vermehrter Menge zu den äußeren Körperteilen und auch, was durch besondere Kurven hier nicht dargestellt ist, zum Gehirn, während die Bauchgefäße sich kontrahieren. Der Zweck dieser Blutverschiebungen ist leicht einzusehen. Die vermehrte Zufuhr zu den Extremitäten muß die Funktion der Muskulatur verbessern und dafür Sorge tragen, daß die durch die Bewegung sich bildenden Ermüdungsstoffe möglichst schnell fortgespült werden. Daß die oben erwähnten vasomotorischen Erscheinungen bei passiver Bewegung nicht auftreten, beweist am besten, daß durch den psychologischen Vorgang der Bewegungsvorstellung erst der Reiz auf das Vasomotorenzentrum gelangt, um von dort aus seine Impulse auf die Gefäßnerven zu verteilen.

VIII. Die psychologische Ermüdungsmessung.

In den vorhergehenden Kapiteln sind die Apparate, Technik und Methodik für vasomotorische Untersuchungen beschrieben worden. Die Fehlerquellen sind auseinandergesetzt und die Ergebnisse bei psychischer Einwirkung mitgeteilt. Will man die vasomotorischen Begleiterscheinungen der psychischen Ermüdung studieren, so wird man selbstverständlich immer wieder auf die Normalkurve zurückkommen müssen. Der Untersucher kann sich durch Vergleich seiner gewonnenen Kurve mit den hier mitgeteilten darüber orientieren, ob er seine Versuche in richtiger Weise angestellt hat, oder ob nicht eine der beschriebenen Fehlerquellen vorliegt, die sowohl in den Apparaten, wie in der Versuchsperson liegen kann. Es sei deshalb nochmals der Gang der Untersuchungen samt den Fehlerquellen dargestellt.

Die Versuchsperson muß frisch und ausgeruht sein; Spannungs- und Erwartungszustände dürfen nicht bestehen oder müssen vorher beseitigt werden; sie darf nicht nervös sein, bei den Versuchen nicht zittern. Die zu untersuchenden Körperteile müssen absolut ruhig in den Apparaten liegen, was durch Kontrollapparat extra festgestellt werden kann. Die Versuchsperson muß bequem sitzen können; der Arm darf sich in der Gummimanschette nicht bewegen; der Ellenbogen muß fest in der Stütze liegen. Ober- und Unterarm müssen einen rechten Winkel bilden; die Apparate, besonders der Plethysmograph, müssen dicht sein (jeder Apparat ist auf seine Festigkeit und Wasserundurchlässigkeit vorher zu prüfen). Das Wasser im Plethysmographen muß körperwarm und frei von Luftblasen sein; die Gummischläuche müssen gleich lang und dick sein;

es müssen gleichartige *Mareysche* Kapseln verwendet werden. Bei der Untersuchung der Ermüdungszustände fragt es sich, auf welche Weise man die Ermüdung herbeiführen soll. Es ist klar, daß die Summe der geleisteten psychischen Arbeit kein direktes Maß für einen Ermüdungszustand darstellen kann, weil intellektuelle Fähigkeiten und Interessen bei den meisten Menschen zu verschieden ausgeprägt sind. Man wird also individualisieren müssen und tut gut, zur Herbeiführung des psychischen Ermüdungszustandes solche geistige Arbeit leisten zu lassen, die dem Interessenkreis der Versuchsperson entspricht. Auch muß man hierbei vermeiden, zu schwere Aufgaben zu stellen, da man sonst durch die Arbeit das Gefühl der Unlust erwecken kann, wodurch man eine Mischung psychischer Vorgänge erhält. Um Beispiele anzuführen: man wird Schüler und Studenten untersuchen können, nachdem sie einige Stunden Unterricht gehabt haben; andere wird man lesen oder fremdländische Texte übersetzen lassen. Ich habe bei Versuchen¹⁾ an Studenten, die sich für Mathematik interessierten, arithmetische Aufgaben gegeben (Lösung von Gleichungen zweiten Grades oder Wortgleichungen), wodurch ich nachweisbar eine psychische Ermüdung herbeiführen konnte. Leichter ist es, eine Ermüdung durch körperliche Arbeit hervorzurufen. Nach den früheren Mitteilungen ist es ja sicher, daß man auch dadurch einen zentral psychischen Vorgang bewerkstelligen kann, so daß man auch von der körperlichen Ermüdung Rückschlüsse auf die psychische Ermüdung machen kann. Durch ergographische Untersuchungen konnte ich nachweisen, daß durch rein psychische affektlose Arbeit ein ermüdender Einfluß auf die peripheren Teile der Muskulatur ausgeübt wird, und daß die bei psychischer Arbeit im Hirn gebildeten Ermüdungsstoffe auf dem Wege der Zirkulation zur peripheren Muskulatur gelangen, um dort ihre ermüdende Wirkung auszuüben. Körperliche und geistige Ermüdung müssen sich also in ihrer Wirkung auf das Vasomotorenzentrum ähnlich verhalten. Man wird die psychische Ermüdung am besten durch psychische Arbeit herbeiführen. Es ist interessant, daneben auch die Wirkung körperlicher Arbeit zu untersuchen. Es war notwendig, sowohl die Methodik wie die Ergebnisse normaler psychischer Vorgänge genau darzustellen, weil die Ermüdung einen anormalen Zustand darstellt mit anormalen Reizwirkungen auf das Vasomotorenzentrum. Es kommt nun auf den Grad der Ermüdung und auf die Speicherung von Ermüdungsstoffen im Gehirn an, so daß das Vasomotorenzentrum je nach dem Ermüdungsgrad in seiner Funktion beeinträchtigt sein kann, und die vasomotorischen Begleiterscheinungen an den verschiedenen Gefäßgebieten in verschiedenartiger Weise beeinflußt werden. Hierbei hat sich gezeigt, daß die äußeren Kopfteile, die ja

¹⁾ B. Zondek: Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abt. 360 (1916).

vasomotorisch am feinsten reagieren, auch am frühesten eine durch die Ermüdung bedingte pathologische Kurve aufweisen. Man erhält nicht die normale negative, sondern eine positive Ohrkurve, während alle anderen Gefäßgebiete noch in normaler Weise reagieren. Ein umgekehrtes Verhalten beobachtet man nicht. Es geht daraus hervor, daß gerade die Aufnahme der Ohrkurve sich besonders eignet, um den Beginn des psychischen Ermüdungszustandes festzustellen.

In Fig. 281 ist ein solcher Versuch dargestellt, wo der vorher stark ermüdeten und nachher hypnotisierten Versuchsperson eine lebhaft bewegungsvorstellung suggeriert wird. Vom Zeichen +

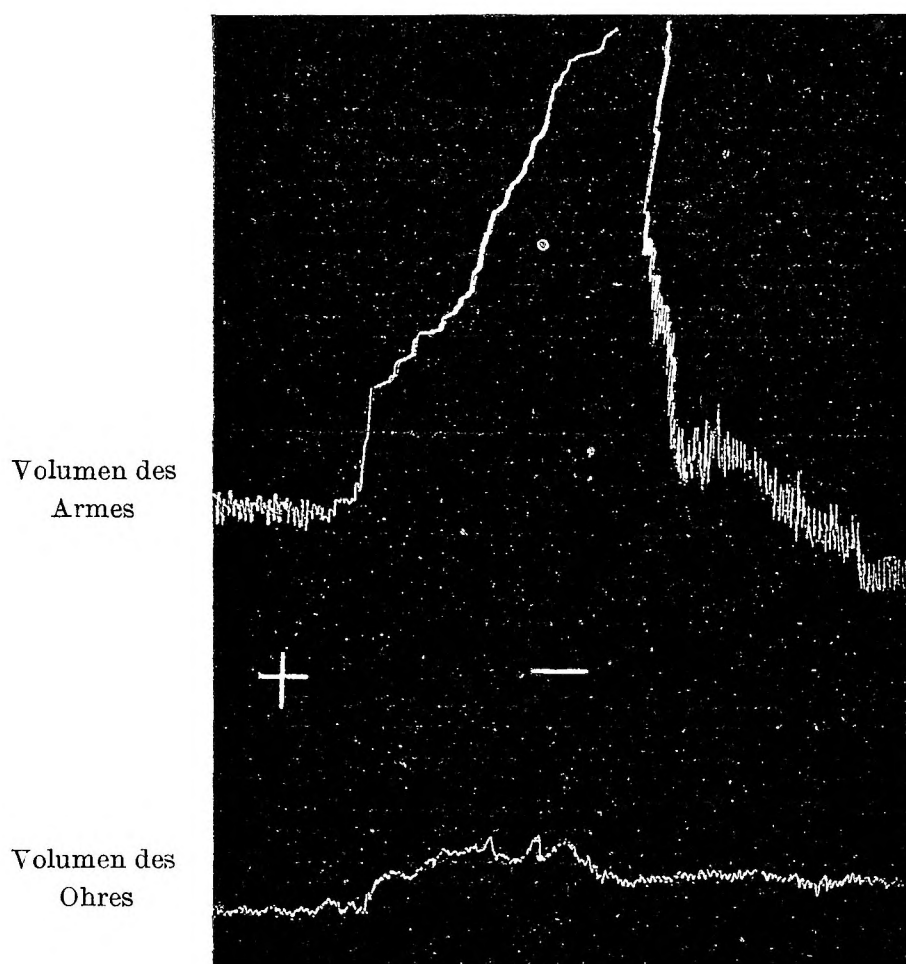


Fig. 281.

bis — haben wir eine normale Armkurve, hingegen bereits eine Ermüdungskurve des Ohres. Natürlich muß man gerade bei diesen Versuchen auf die vollkommene Gesundheit der Versuchsperson achten, da man an Patienten mit nervösen oder psychischen Leiden auch in normalem Zustande schon Ermüdungskurven bekommen kann, weil eben in dem erkrankten Gehirn pathologische Reize ausgelöst werden. Durch systematische Untersuchungen wird es gelingen, den Augenblick der beginnenden psychologischen Ermüdung festzustellen; das Fortschreiten von der normalen zur pathologischen Kurve, d. h. von der positiven zur negativen oder umgekehrt wird auch als Gradmesser der Ermüdung verwertet werden können.

In den folgenden Kurven (Fig. 282 bis 284) ist von *Weber* das Blutvolumen des Gehirnes bei einem Knaben mit traumatischem Schädeldefekt aufgenommen worden.

Hierbei kann man sehen, wie infolge der fortschreitenden Ermüdung durch psychische Arbeit die zunächst normale positive Gehirnkurve nach einer halbstündigen Beschäftigung mit Lesen

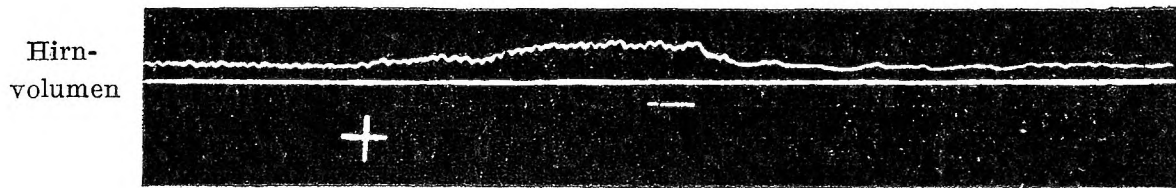


Fig. 282.

sich etwas zur negativen Seite neigt, während sie nach einstündiger psychischer Arbeit deutlich negativ geworden ist. Dabei sieht man auch, daß die Volumpulse allmählich an Höhe abnehmen. Es tritt also an Stelle der normalen aktiven Vasodilatation der Hirngefäße bei psychischer Arbeit infolge der Ermüdung eine aktive Vaso-



Fig. 283.

konstriktion auf. Daß auch die körperliche Ermüdung in gleicher Weise Ermüdungsstoffe anhäuft, zeigen die folgenden Figuren, wobei die erste Kurve (Fig. 285) an der normalen, die zweite (Fig. 286) an der durch vierstündigen Eislauf ermüdeten Versuchsperson aufgenommen ist.



Fig. 284.

Vom Zeichen + bis — wird dann der vasomotorische Effekt einer psychischen Arbeit geprüft, und wir sehen bei der frischen Versuchsperson die normale negative Kurve, bei der durch Eislauf ermüdeten Versuchsperson die pathologisch positive Kurve. Noch schöner wird der Übergang der normalen zur pathologischen Gefäßinnervation in den folgenden Kurven illustriert, wobei die erste Kurve (Fig. 287) im frischen Zustand, die zweite (Fig. 288) nach dreistündigem Marschieren und die dritte (Fig. 289) nach dreistündigem

Marschieren und halbstündiger geistiger Arbeit aufgenommen ist. Zunächst haben wir die normale Armkurve. Nach der körperlichen Ermüdung, die aber noch nicht genügt hat, um

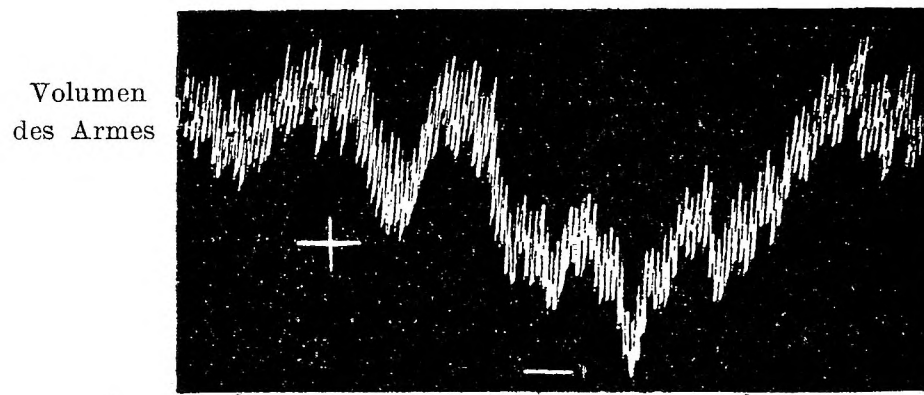


Fig. 285. Vor einem vierstündigen Eislaufe.

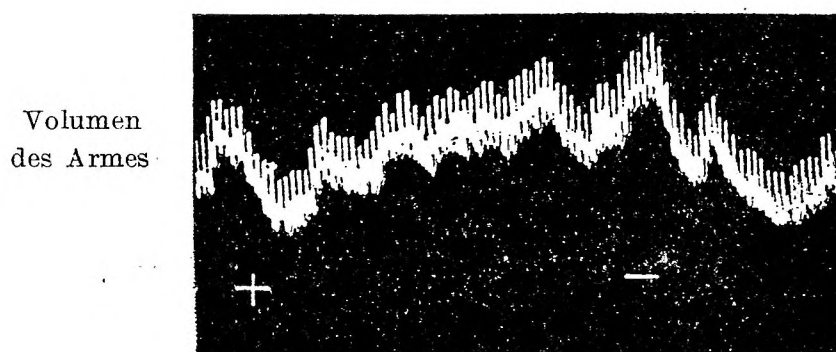


Fig. 286. Nach einem 4stündigen Eislaufe.

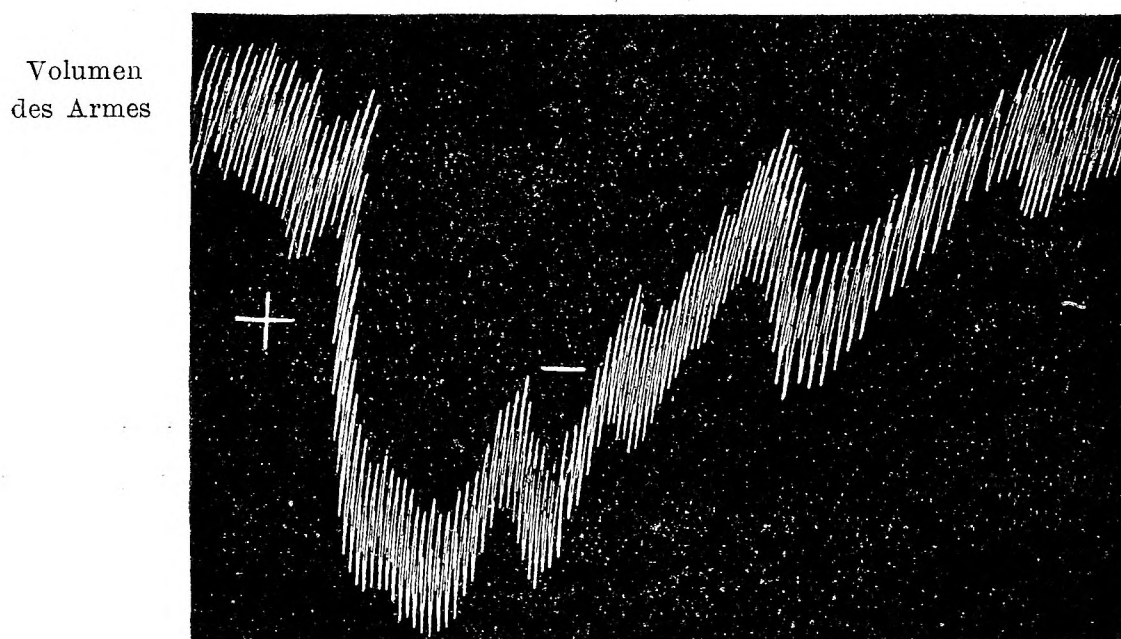


Fig. 287. In frischem Zustand.

das Vasomotorenzentrum funktionell vollkommen zu stören, sinkt das Volumen, als wolle der normale vasomotorische Vorgang sich einstellen; bald aber steigt die Kurve wieder über die Anfangshöhe, weil eine gewisse Labilität im Vasomotorenzentrum eingetreten ist und eine gewisse Schädigung vorliegt, so daß normale und patho-

logische Impulse zusammen zu den Armgefäßen gelangen und eine unregelmäßige Kurve bedingen. Wird die Ermüdung weitergetrieben, so bekommt man, wie Fig. 289 zeigt, eine deutlichere Schwankung der Kurve nach der negativen Seite.

Man sieht, daß man sowohl durch körperliche wie psychische Ermüdung dieselben vasomotorischen Begleiterscheinungen hervorrufen kann, was darauf hinweisen muß, daß gleichartige Ermüdungsstoffe gebildet werden. Dies ist insofern erklärlich, als ja jede Be-

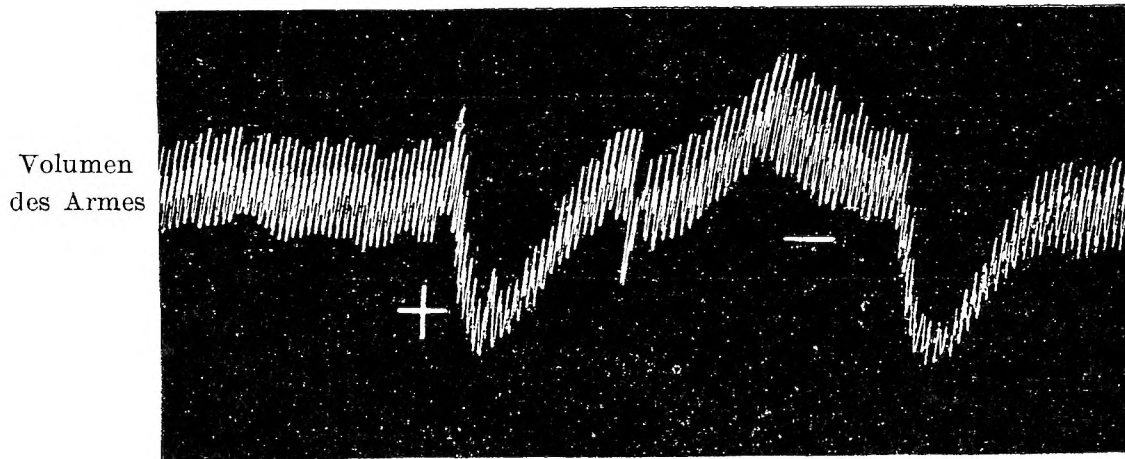


Fig. 288. Nach dreistündigem Marschieren.

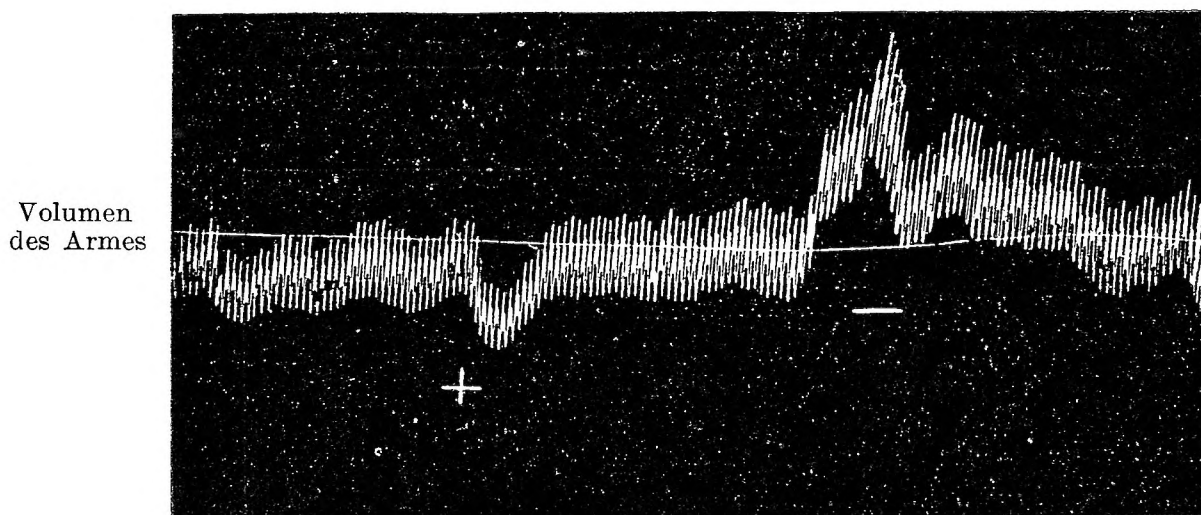


Fig. 289. Nach dreistündigem Marschieren und halbstündiger geistiger Arbeit.

Vom Zeichen + bis — wird jedesmal eine gleichwertige geistige Arbeit ausgeübt.

wegung auf einem psychischen Vorgang beruht (Aufmerksamkeit, Bewegungsvorstellung). Als Beweis sei noch angeführt, daß, wie ich an ergographischen Untersuchungen nachweisen konnte¹⁾, durch rein psychische affektlose Arbeit ein ermüdender Einfluß auf den peripheren Teil der Muskelarbeit ausgeübt wird, und daß die durch psychische Ermüdung zentral gebildeten Ermüdungsstoffe auf dem Wege der Zirkulation in die periphere Muskulatur gelangen, um

¹⁾ B. Zondek: l. c.

dort ihre ernährungsstörende und ermüdende Wirkung zu entfalten.

Man kann nach dem Gesagten aus den vasomotorischen Reaktionen ein direktes Bild der psychischen Ermüdung gewinnen, und dies noch früher, als subjektiv ein Ermüdungsgefühl besteht. Am geeignetesten ist die plethysmographische Untersuchung, da sie die beste Übersicht über große Gefäßkomplexe gibt. Kardiographische und sphygmographische Blutdruckmessungen bei psychischer Ermüdung sind bisher noch wenig oder gar nicht ausgeführt worden, doch dürfte es auch von Interesse sein, diese physiologischen Begleiterscheinungen näher zu studieren. Da die äußeren Kopfteile vasomotorisch am feinsten reagieren, kann man, wie gesagt, an der Ohrkurve am frühesten den Eintritt der Ermüdung feststellen. Wegen der Labilität der Kopfgefäße ist es aber zweckmäßig und sicherer, eine Armkurve aufzunehmen bzw. beide zu kombinieren. Die psychische Ermüdung ist in ihren vasomotorischen Begleiterscheinungen noch nicht bis in die Einzelheiten erforscht, und es eröffnet sich gerade in dieser Fragestellung noch ein weites Gebiet.
