

Wie wirken die Hilfskräfte der als Saug- und Druckpumpe arbeitenden Herzmaschine?

Von
Dr. Georg Hauffe, Wilmersdorf.

Mit 4 Textabbildungen.

(Eingegangen am 7. Mai 1927.)

1. Herleitung der gleichzeitig eingreifenden Saug- und Druckpumpe.

Die Wände des Vorhofes und der Kammer führen eine gegen einander gerichtete Bewegung aus. Mit der diastolischen Entfaltung des vorher durch eigene Muskelkraft zusammengezogenen Herzteils wird eine Ansaugung nach rückwärts ausgeübt. Das ist als Folgerung zugegeben. Welche Kraft jedoch den zusammengezogenen Muskel jedesmal *neu* entfaltet, ist bestritten. Es fehlt andererseits im Kreislaufvorgang diejenige Kraft, welche das nach der bisherigen Theorie durch den „Druck im Rohr“ nach den Capillaren gebrachte Blut über dieses Hindernis nach dem Herzen zurückführt.

Bisher wurden zur nachträglichen, also *zeitlich getrennten* Entfaltung des *gleichen* Herzteiles, der sich eben zusammengezogen hatte, „Hilfskräfte“ eingesetzt: Die elastischen Fasern der Muskelwände, der Unterdruck im Pleuraraum oder Perikard, das als Melkbewegung aufgefaßte Tiefertreten der Herzbasis usw. Diese waren jedoch, auch zusammen, nicht fähig, die ihnen zuerteilte Aufgabe zu erfüllen. Denn sie konnten, nachdem sie bereits eine Arbeit geleistet hatten, nämlich die Spannung der Gewebe, mit der dieser Unterdruck usw. abgetötet war, unmöglich mit einer zweiten belastet werden, ohne daß eine Kraft nachweisbar war, die sie von neuem verwendungsbereit machte.

Für eine *stets wiederkehrende Arbeit*, wie es die Entfaltung des Herzens und die damit erfolgende Ansaugung des venösen Blutes ist, kann nur eine jedesmal *neu* einsetzende, also vom selben Motor, Herzmuskulatur, ausgelöste Saugtätigkeit der Maschine als wirksame Kraftquelle in Betracht kommen. Diese Saugwirkung, welche verlangt werden muß, geht alsdann jedesmal in der geleisteten Arbeit auf. Die bisher verwendeten „Dauerkkräfte“ würden sofort durch Arbeit: Spannung der Gewebe oder Nachlaufen von Blut in den gespannten Raum ebensolange, also *dauernd*, unwirksam ausgeglichen sein. Andernfalls sind sie nichts weiter als ein verschleiertes Perpetuum mobile.

Nun ist durch unsere Bäderversuche¹ nachgewiesen, daß das größere Schlagvolumen mit Drucksenkung, Verschmälerung der Aorta und Aufhellung der Lungen, unter Zunahme der Blutgeschwindigkeit geleistet wird. Das Herz wird dabei in allen Abteilen kleiner. Daraus folgt, daß das Herz nicht nur als Druckpumpe, sondern gleichzeitig auch als *Saugpumpe* wirkt. Denn sonst müßte, wenn die größere Blutmenge von einer nur auf Druckwirkung eingerichteten Maschine geliefert würde, der Druck ansteigen, die Aorta breiter und die Lunge dunkler werden. Dieser Vorgang tritt ein bei Verminderung des Abflusses infolge Verlangsamung der Strömung, als Gegenwert des alsdann erhöhten Druckes. Der Herzkessel wird dabei angefüllt.

Zur Erklärung des Tatbestandes ist demnach ebenfalls die Folgerung nötig, daß im Stromgebiet, und zwar *an der Maschine selbst und durch deren Motor, also die Herzmuskulatur betätigt*, eine Einrichtung bestehen muß, die mit jeder Entleerung nach vorwärts gleichzeitig jedesmal von neuem auf den Rücklauf *saugend* einwirkt.

Durch die *Tatsache des Einbaues des Herzens in den Herzbeutel*² ist nun die bisher gesuchte, jedesmal neu einwirkende Kraft für die Entfaltung des Herzens und damit auch für den Rücklauf des Blutes nachgewiesen! Denn im abgeschlossenen Raum des straffen aber nachgiebigen, nicht starren Beutels, der fast überall mit dem Gewebe verbunden ist und nur zur Nachbarschaft der Lunge den notwendigen Ausweichraum besitzt, muß bei jeder Zusammenziehung eines Herzteils sich der *andere* in Ruhe befindliche Abschnitt zwangsläufig zu gleicher Zeit entfalten und somit anfüllen. Es wird die gleiche Menge Blut, die nach vorn ablaufen will, rückwärtig nachgesaugt, weil sonst ein leerer Raum in der Kapsel entstünde. Der Herzbeutel stellt demnach die umhüllende Maschinenwand und gleichzeitig gewissermaßen das führende Gestänge der sich gegenteilig bewegenden Pumpenabschnitte, Vorhof und Kammer dar. Die Herzwandmuskulatur bildet die Kolben der Pumpe, in denen gleichzeitig die Energiequelle eingebaut ist. Damit ist ebenfalls erklärt, daß ein solches gleichzeitig saugend und drückend wirkendes Pumpenpaar kein Ventil an der Venenmündung braucht (vgl. Abb. 2).

Diese Deutung der Vorgänge benutzt folglich dieselben sichtbaren Kräfte, welche einen Herzabschnitt zur Zusammenziehung bringen, zur *gleichzeitigen* Entfaltung und demnach Anfüllung des gegenteiligen, also *örtlich getrennten*, ruhenden, ohne Zeitunterschied und Umsetzung der Energieform. Es wird beiderseits Bewegung erzeugt. Die aus dem Herz-

¹ Hauffe, Physiologische Grundlagen der Hydrotherapie. Fischers med. Buchhandl., Berlin 1924.

² Hauffe, Die Bedeutung des Herzbeutels für den Blutumlauf. Münch. med. Wochenschr. 41—43. 1926.

kessel abfließende Menge wird von der Maschine nicht auf dem Wege des Druckes, sondern mit *Massenbeschleunigung* geliefert. Das Herz ist eine Bewegungsmaschine, keine auf Druckerzeugung eingestellte Maschine. Daß keine Bewegung ohne begleitende Druckerzeugung möglich ist, ist selbstverständlich.

Nunmehr ist eine greifbare Kraft für die bisher unerklärte Bewegung des Blutes von den Capillaren nach dem Herzen vorhanden. Sie bewältigt mühelos die nach der bisherigen Theorie hemmenden Einrichtungen im Stromlauf¹, die Lacunenbildungen in der Milz, im Knochenmark, die Anastomosen der peripheren Venen und Arterien sowie sogar die Zwischenschaltung eines 2. Capillarnetzes im Pfortadergebiet. Desgleichen bildet der weite Weg über die Nabelschnur und das Lacunengebiet im Mutterkuchen, außerhalb seines Körpers, kein Hindernis für den Herzmotor des Fetus. Denn es wird mit der Darlegung einer gleichzeitig eingreifenden Saug- und Druckpumpe, der nach der bisherigen Theorie ausfallende Hub, die Anfüllung der beiden Pumpen, welche zuvor mit einem Gang leer gehen sollten, mit der auf diese Weise verständlichen Saugwirkung jetzt wirksam ausgenutzt.

Der vor auszusehende Einwand, daß der Beutel bedeutungslos sei, weil auch nach seiner Eröffnung die Herzmuskulatur noch arbeite, ist bereits eingehend² widerlegt. Er bezieht sich lediglich auf die Arbeitsweise des in der Maschine eingeschlossenen *Motors*, richtet sich aber nicht gegen die physikalische Wirkung der Maschine³. An jeder Pumpe kann der Mantel geschlitzt werden, die *Kolben*

¹ *Hauffe*, Die Wirkung der im Herzbeutel gegebenen Saug- und Druckeinrichtung auf das Gefäßsystem. Med. Klinik 18. 1927.

² *Hauffe*, Die Bedeutung des Herzbeutels für den Blutumlauf. Münch. med. Wochenschr. 41—43. 1926.

³ Man vergleiche dazu die Art der Einwände, welche gegen die chemischen Verhältnisse bei der Verdauung seinerzeit angeführt werden! In: *Baumgärtner*, Beobachtungen über die Nerven und das Blut. Freiburg 1830, S. 171ff. Dieser Autor bekämpft gleichfalls das Vorhandensein einer Saugkraft für die Blutbewegung und stellt dafür: „Die Attraktion nach den Zentralorganen des Nervensystems und überhaupt nach dem Stamme des Körpers“ als Energiequelle, Kraftmaschine, ein. S. 169—171. Mit Recht wendet er sich gegen die nicht nachweisbare Saugkraft in den Arterien und Capillaren, die nur als wurmartige oder peristaltische Bewegungsform wirksam sein könne. Übersichtliche Darstellungen über die hier in Betracht kommenden Fragen betreffs der Kräfte der Bewegung des Blutes finden sich außerdem bei *Döllinger*: In: Meckels Archiv für die Physiologie 1820. — *Oesterreicher*: Versuch einer Darstellung der Lehre vom Kreislauf. Nürnberg 1826. — *Wedemeyer*, Untersuchungen über den Kreislauf des Blutes. Hannover 1828. Daß die Harveysche Lehre zur Erklärung des Blutumlaufs nicht ausreiche und eine Saugkraft, für deren Nachweis Versuche angestellt wurden, nötig sei, wurde gegen Anfang des vorigen Jahrhunderts vielfach empfunden. Die Annahme einer Saugkraft wurde zuerst von *Wildegans* 1772 und *Zugebühler* 1817 aufgestellt. Diese Saugwirkung wird den damaligen Anschauungen entsprechend herzuleiten versucht. Vgl. *Schubarth*, Beitrag zur Lehre vom venösem Blutlauf usw., Meckels Arch. f. Physiol. 6, 571. 1820. Über den Sitz der Saugkräfte drücken sich, wie *Oesterreicher* bemerkt, „die meisten Schriftsteller nur dunkel aus“. Er gelangt schließlich zur Anschauung, daß die Grundursache des Kreislaufs „im Blute liegt, weil es lebendig ist und in seinem Verhältnis zum Nervenmark“ (Hallers Reizlehre). Die Vorstellung, daß bei Entleerung eines Herzteils sich der andere, entspannte, entfalten müsse, weil das ganze Herz in dem fast allseitig fixiertem Herzbeutel luftdicht abgeschlossen liegt, findet sich zuerst bei *Purkinje* (Schles. Gesellsch.

bewegen sich dennoch, solange die Energiequelle¹, hier die Herzmuskulatur, tätig ist. Die Leistung des in der Maschine sitzenden und sie betätigenden Motors ist dabei allerdings eine andere. Die ganz erhebliche Störung des Kreislaufs bei Eröffnung des Beutels ist allseitig zugegeben. Daß der Motor auch außerhalb der Maschine läuft, aber anders, ist also selbstverständlich.

Mit demselben Schein der Berechtigung kann gesagt werden: Die Klappen seien für den Blutumlauf ohne Bedeutung. Denn bei Insuffizienz oder Stenose wirken sie nicht. Und dennoch geht der Kreislauf vor sich. Er geht freilich, aber gestört. Verwachsung des Beutels oder Panzerherz und Exsudat im Beutel beschränkt nur die Bewegungsfähigkeit der Muskulatur, ihren Ausschlag. Solange sich diese überhaupt noch bewegen kann, muß auch das System in der geschilderten Art wirken, zumal, wie ausdrücklich erörtert², verschiedenartige Sicherungen, wie bei jeder Maschine, eingebaut sind. Die Kapsel, als Mantel und führendes Gestänge der Maschine, darf nicht starr, sie muß nachgiebig, aber straff sein.

Daß der *geschlossene* Herzbeutel gemäß den physikalischen Gesetzen wirken muß, dürfte unbestritten sein. Für den sonst unverständlichen Kreislauf der *Fische* gibt das *Tigerstedt* ohne weiteres zu. Hat man erst einmal diese unbestreitbare, von der bisherigen Meinung jedoch abgelehnte, *physikalische* Herleitung des Bewegungsvorgangs angenommen, so wird man einsehen, daß sie nicht nur für die *Fische* gilt. Denn sie ist der bisherigen Theorie überlegen, weil sie nicht wie diese noch weitere Hilfsannahmen braucht. Sie ist nicht nur eine brauchbare, sog. Arbeitshypothese, sondern sie ist die *allein mögliche „Erklärung“* der gegebenen Tatsachen.

Das Herz ist demnach noch nicht Maschine, und es stellt nicht nur eine Druckpumpe dar, sondern es bildet *erst zusammen mit dem Herzbeutel* die tätige Maschine; und zwar eine gleichzeitig eingreifende *Saug- und Druckpumpe*. Mit dieser Erklärung, welche von den Tatsachen ausgeht, ist der Kreislaufvorgang ohne Zuhilfenahme weiterer Hilfsannahmen verständlich.

Die Triebkraft im Kreislauf des Blutes, in dem geschlossenen, in sich zurücklaufendem Rohrgebiet, ist nicht „der Druck³ im System“,

f. vaterl. Kultur 1844, S. 160). Zuvor jedoch entwickelt er die Meinung, daß die bei der Systole durch die Warzenmuskeln angezogenen Kammerklappen das Blut der Vorhöfe in den dabei gebildeten Trichter einsaugen, also nach vorn ein Druck, nach rückwärts ein Sog ausgeübt wird. Die gewonnene Einsicht der Saugkraft im abgeschlossenem Herzbeutelraum bei Bewegung der Herzmuskulatur geht später wieder verloren. Nur Brücke (Vorles. über Physiol. Wien 1874, Bd. 1, S. 164) nimmt sie noch für die Entfaltung des Vorhofs an. Sie wird nachher auf den größeren Raum der Pleura übertragen und lebt dann in der Form der Ansaugung, welche der Brustkorb und die Lungen auf das Venenblut ausüben, in Vermischung mit der Elastizität der Gewebe weiter.

¹ Die bereits *Haller* (Op. min. Exp. 306) bekannte Erscheinung, daß auch ausgeschnittene Teile der Herzmuskulatur sich noch bewegen, ist derselbe Vorgang und beweist nicht mehr, als daß dort der Sitz einer sich auf eine Auslösung hin betätigenden Energiequelle ist. Desgl. *Harvey*, Kap. IV, S. 35, Beobacht. am zerschnitt. Aalherz.

² Vgl. Fußnote 2 auf S. 20.

³ Es werden oft 2 verschiedenwertige, in der verkürzten Wortform „Druck“ gleichlautende Begriffe, als gleichwertig gegeneinander vertauscht. Der äußere Druck, die bewegende Kraftäußerung, die kinetische Energie, und der innere Druck, die hemmende Widerstandsäußerung, die potentielle Energie.

sondern die *Bewegung* der Herzmuskulatur, also eine kinetische Energie, nicht eine potentielle. Der Innendruck bildet sich durch die Anfüllung der Rohre mit Blutmasse und durch den Widerstand auf der Bahn gegen die Bewegung, also mit *Verlangsamung* derselben. Er ist demnach *Folge* der *Last*. Bei einem vorhandenem Druck entsteht nur dann Bewegung, wenn durch Eingreifen neuer Energie an einer anderen Stelle ein *Druckunterschied*, ein Gefälle, geschaffen ist.

Mit dem Nachweis ausreichender, den Blutkreislauf völlig erklärender Kräfte, wie sie im Einbau des Herzens in den umhüllenden Beutel als Tatsachen gegeben sind, zeigen sich die bisher als „Hilfskräfte“ für den *Umlauf* in Anspruch genommenen Einrichtungen überflüssig. Sie sind damit sogar als Hemmungen unvereinbar. Es muß ihnen deshalb, da sie den Umlauf nicht besorgen, eine andere Aufgabe zufallen.

Die vorhandenen Einrichtungen auf der Strombahn sind zweierlei Art: Solche, die mit Hilfe der Stromkraft des Blutumlaufes, also der *Herzmaschine*, betätigt werden und andere, die mit einer anderweitigen Energie, die nicht diesem Stromnetz, sondern den *Kräften der Organzellen* entstammt, betrieben werden. Ihre Wirkung ist demnach eine verschiedene. Die ersteren erleichtern dem Motor den von ihm unterhaltenen Vorgang der *Bewegung* des Blutes, Die anderen haben die Bedeutung, das vom Motor bereits in Bewegung gesetzte Blut nach den Gefäßprovinzen umzuleiten. Sie *verteilen* es nur, dem Bedarf derselben, der Anforderung der Organkräfte entsprechend, in wechselnder Art.

2. Die Hilfsmaschinen der Blutbewegung.

A. Wirkung der elastischen Kräfte.

Um über die Wirkungsweise elastischer Kräfte eine Vorstellung zu gewinnen, sei ihr Eingreifen am Beispiel eines fahrenden Zuges besprochen. Es wird angenommen: Die Wagen laufen in gleichen Abständen voneinander, verbunden durch Ketten. Die Puffer mit ihren elastischen Federn sind ungetätigt in Ruhestellung. Nun fährt die Maschine, durch eine Hemmung gezwungen, langsamer bei gleicher Feuerung. Infolgedessen rückt der nächste Wagen mit der ihm innewohnenden Massenbeschleunigung näher an sie heran. Die Puffer berühren sich, ihre Federn werden zusammengedrückt, gespannt. Die Bewegung der Federverkürzung in der Längsrichtung pflanzt sich allmählich auf alle Wagen fort. Es ist demnach durch die Verlangsamung der Zugbewegung jetzt Energie in den Federn gespeichert. Die Maschine zeigt an Stelle der ausfallenden kinetischen Energie ansteigenden Druck im Kessel und seinen Rohren.

Nun ist die Hemmung überwunden, die Maschine läuft bei gleichbleibender Feuerung zwangsläufig rascher. Der Innendruck im Kessel und den Rohren fällt, dafür nimmt die Vorwärtsbewegung zu. Die bisher aufeinander gepreßten, gespannten Puffer können sich dehnen. Sie geben die vorher in sie hineingesteckte Energie frei. Sie stoßen

nach Überwindung der Störung mit der in Längsrichtung frei werdenden Kraft, jeder Wagen den vorangehenden, ein ebenso großes Stück vor, als sie vorher zusammengeschoben waren. Sie geben folglich den Teil Energie, der vorher in sie hineingesteckt war, nun zurück. Sie sparen dabei der Maschine die Arbeit, jedem einzelnen Wagen eine neue Beschleunigung zu erteilen. Nur den letzten muß sie neu beschleunigen, wie sie den ersten zuvor verzögert hat. Das ist, abgesehen von Wärmebildung usw. durch unvermeidliche Reibung, der einzige Verlust, welcher dem Motor bei geänderter Aufeinanderfolge der Bewegung hierbei erwächst.

Es ist also eine *Arbeitsteilung* erfolgt. Die Maschine spannt mit der ihr entstammenden Energie die Feder. In dieser Arbeit, die sonst als Stoß auf die Schienen und im Anprall der Wagen verloren wäre, geht die Zugverlangsamung, die Reibung im System, zum großen Teil auf. Die nun gespannte elastische Hilfskraft der Feder leistet dafür später die Gegenarbeit der Wagenbeschleunigung. Damit ist die Feder wieder entspannt. Die Energie ist im Betriebe $+ - 0$ aufgegangen, *verbraucht*. Während jedoch sonst die gesamte potentielle Energie restlos verloren wäre, die Maschine also alle Wagen neu anfahren müßte, erhält sie mit Hilfe der eingebauten elastischen Kräfte einen Teil der Zwischenglieder zurück.

Diese Hilfseinrichtungen sind also keine neuen *Energiequellen*, sondern sie müssen vom Motor erst jedesmal neu aufgezogen werden, um nach dieser Arbeit, die in sie hineingesteckt wird, eine Gegenarbeit zu anderer Zeit zu leisten. Die Maschine dreht gewissermaßen nur den Uhrschlüssel um; sie spannt die Uhrfeder. Sie stößt nicht das Pendel dauernd neu an. Das bewegt sich, solange die aufgezogene Feder reicht, weil diese ihm den Anstoß erteilt, den Verlust an Höhe, den es mit jeder Schwingung einbüßt, wieder einbringt.

Genau so arbeiten die elastischen Hilfskräfte der Gefäße. Nun ist zu beachten, daß die elastische Federung an den Venen entgegengesetzt angebracht ist wie an den Arterien. Die mechanische Bedeutung dieser Einstellung soll zugleich mit der Wirkungsweise der elastischen Kräfte auf der Strombahn erörtert werden. Es wird begonnen mit der Herleitung der Einrichtung an den Venen, weil dort der Anfang der Bewegung stattfindet.

Streicht man eine Hautvene herzwärts leer, so läuft hinter dem Finger Blut nach. Derselbe Vorgang ist nach Ausstoßung des Mutterkuchens und Abnabelung des Kindes, ebenso beim Tierfet, selbst mehrere Stunden nach dessen Tode, falls das Blut flüssig bleibt, an der Nabelschnurvene auszulösen. Es ist demnach überall im Venengebiet eine die Wand des Gefäßes spreizende und mit dieser Arbeit die rückwärtige Last ansaugende Kraft nachweisbar, die nicht vom Herzen ausgeht, das bei diesem Versuch ausgeschaltet ist. Sie muß folglich ihren Sitz im Gewebe haben. Es ist nachgewiesen, daß die Venen an das umgebende Gewebe angeheftet sind.

Daß eine die Venen zum Klaffen zwingende Gewebskraft vorhanden ist, beweist gleichfalls die Gefahr der Luftembolie an gewissen Körper-

stellen. Damit überhaupt Luft in die Venen eindringen kann, wenn eine Außenkraft, wie in diesem Falle die Einatmungsmuskulatur mit Erweiterung des Brustkorbes, eine Ansaugung nach dort bewirkt, ist es nötig, daß die an der sich erweiternden Höhle gelegenen Venenwände von *vornherein* auf Klaffen gestellt sind. Andernfalls würden ihre Ränder, weil der Innendruck im dort eingeschlossenen Rohr ebenfalls beim Ansaugen fällt, sofort aufeinander gedrückt werden. Die durch die Atmung bedingte Ansaugung im Brustkorb löst demnach nicht den Lufteintritt nach der Vene aus. Sie würde ihn vielmehr verhindern! Die Darstellung bei *Fuchs*¹, welcher die Gewebsanheftung der Venen als „*Conditio sine qua non*“ bezeichnet, hebt diesen Zusammenhang nicht deutlich hervor.

Dieselbe an den Venen angebrachte, dann ablaufende elastische Spreizkraft bewirkt auch, daß im Tode das Blut von den Capillaren nach den Venen läuft. Sie hat jedoch keine Bedeutung für die *Vorwärtsbewegung* des Blutes in den Venen. Denn diese Einrichtung kann nur das *eine* Mal wirken. Alsdann ist sie durch die Anfüllung mit Blut ausgeschaltet. Es muß nun erst neue Energie hinzutreten, welche die eingedrungene Blutmenge entfernt. Diese entleerend wirkende Kraft entstammt jedoch dem Motor, also hier der *Saugwirkung* der Vorhofspumpe bei ihrem Kolbenhub. Die Entfaltung des Vorhofes wird vermittels des führenden Gestänges, Herzbeutel², durch den gleichzeitig niedergehenden Kammerkolben bewirkt.

Die vom Herzmotor zur Entfernung des eingedrungenen Blutes aufgewendete Energie ist genau so groß wie die Spreizkraft. Der Motor müßte jedoch, wie vorher erörtert, insgesamt mehr Kraft aufwenden, wenn diese die Form der Bewegung erhaltende, die Bahn gewissermaßen glättende Einrichtung nicht in den venösen Stromlauf eingebaut wäre. Diese entleerend mithelfende Elastizitätswirkung fällt nun bei der bisherigen Theorie einer alleinigen Druckpumpenwirkung aus, weil die auslösende Kraft, die Saugwirkung, fehlt.

Das Blut läuft folglich, mit Unterstützung der in gleicher Richtung wie die Blutbewegung von der zugehörnden Vorhofspumpe betätigten Spreizeinrichtung im venösen Rohrgebiet, unbehindert durch die Hemmnisse aller Art (Lacunen-

¹ *Fuchs*, Zur Physiologie und Wachstumsmechanik des Blutgefäßsystems. Zeitschr. f. allg. Physiol. 2, 53. 1902; vgl. dazu noch: *Volkmann*, Hämodynamik, S. 319. Bereits *C. H. Schultz*, Das System der Zirkulation, 1836, sagt S. 291: „Das Eindringen von Luft in die Venen ist aber nur dann möglich, wenn die Mündung der Vene offen ausgespannt ist, wie das durch Aufheben der Haut, um die Öffnung mit einer Nadel zu verschließen, beim Aderlaß der Pferde zuweilen geschieht, und bei chirurgischen Operationen, wo das Lumen der ganz durchschnittenen Vene durch das umliegende Gewebe offen erhalten wird, möglich ist, z. B. bei Amputationen des Arms im Schultergelenk“.

² *Hauffe*, Die Bedeutung des Herzbeutels für den Blutumlauf. Münch. med. Wochenschr. 41—43. 1926.

bildung, Pfortadergebiet usw.) von den Capillaren nach dem Herzen. Die Mit-hilfe dieser, einem gespannten Gummifaden vergleichbaren Spreizmaschine wirkt aber nur solange, wie die Einrichtung im Betrieb gehalten wird. Hört die Bewegung des Hauptmotors auf, so steht alsbald auch die saugende Hilfsmaschine still. Wird die Einrichtung durch Ausstreichen oder Spreizen in Gang gebracht, so tritt mit beiderseitiger Leistung etwa der halben Arbeit wieder erleichterte Bewegung auf der Teilstrecke ein, solange die zugeführte Energie des Ausstreichens oder Spreizens wirkt. Es handelt sich hierbei, das ist zu beachten, jedoch nur um eine Ortsveränderung eines Teiles des Blutes, nicht um Vorwärtsbewegung der gesamten Blutmasse.

Die den ruhenden Gegenabschnitt mit Saugwirkung entfaltende Eigenbewegung der Herzmuskulatur ist demnach die Kraft, welche der Streichbewegung beim Versuch gleichkommend, für die venöse elastische Hilfsmaschine den *dauernden* Antrieb liefert. Alsdann greift jede Vene auf das zurückliegende Gebiet wie eine Wasserstrahlpumpe saugend ein.

Im arteriellen Gebiet wirkt die elastische Gewebskraft gegensätzlich wie in den Venen, nämlich die Lichtung verengend. Die Feder umspannt hier das Rohr. Die bisherige Theorie, welche den „Druck im Rohr“ als Triebkraft einsetzt, führt bald zu einer Reihe von Widersprüchen¹. Bereits die elastischen Wandkräfte der Aorta bieten dem darnach mit „Druck“ aus dem Herzen abströmendem Blut alsdann sofort einen Widerstand. Das Rohr ist zu eng, es muß kammersystolisch gedehnt werden. Eine nun erfolgende Speicherung der Bewegungsenergie des Herzens im *Rohr*, durch dessen Erweiterung, wäre bei der mehrfachen Umsetzung mit Verlusten verbunden.

Nach Abtötung der Geschwindigkeit durch die Rohrdehnung muß, weil das Blut strömen soll, die am Ende des Vorganges erzielte Wandspannung nachher, also mit Zeitverlust, aber doch nur wenn der Abfluß wieder frei ist, also im Rückgang der Dehnung, mit Verengerung!, von neuem in Bewegung umgesetzt werden. Die erneute Vorwärtsbewegung des Blutes wäre durch diesen Zeitverlust erst diastolisch möglich. Sie kann aber, auch nach der bisherigen Theorie, nur *gleichzeitig mit Verengerung* des vorher bei *verlangsamter* Blutbewegung doch gerade sich dehnenden Rohres stattfinden! Wozu also der Umweg? Es werden dabei lediglich dieselben Kräfte ohne Begründung mehrfach und entgegengesetzt wirkend eingestellt.

Schließlich läuft der Vorgang doch so ab, wie er von vornherein hätte erfolgen können. Die geringer gewordene Kraft schafft, trotz der mehrfachen Um-

¹ Recht klar drückt die hier in Betracht kommende übliche Auffassung Groedel aus: „Neben dem Herzen unterstützt nun aber auch das Röhrensystem selbst die Blutzirkulation durch seine Elastizität. Indem nämlich ein Teil der vom Herzen ausgeübten Kraft zur Erweiterung der Gefäße benutzt wird, wirkt die nachfolgende Zusammenziehung der Gefäße in gleichem Sinne auf die Zirkulation wie die Herzkontraktion“. Weiterhin hält er es nicht für ausgeschlossen, daß auch die Gefäßmuskeln wie „periphere Herzen“ wirken! Auch die Atmungsverschiebung aus und nach der Brusthöhle hält er für „ein wertvolles Unterstützungsmittel für den Blutkreislauf!“ Die physikalische Therapie der Herz-, Gefäß- und Zirkulationserscheinungen, Springer 1925, S. 4 u. 5.

setzung in Druck und dann wieder in Bewegung, schließlich dieselbe Blutmenge doch fort, und zwar ebenfalls unter Verengung des Rohres! Zuerst hemmt aber das enge Rohr angeblich die Blutbewegung, dann geht die Vorwärtsbewegung doch bei engem Rohr vor sich! Was den Irrweg herbeigeführt hat, ist die unklare Anwendung des Begriffes „Druck“. Er wird in der verkürzten Wortform als potentielle Form = erhöhtem Innendruck gebraucht, während in Wirklichkeit die kinetische Form, der äußere Druck, die raschere Bewegung vorhanden ist. Nur bei verlangsamer Bewegung tritt Drucksteigerung, und zwar als *Folge*, auf. Niemals kann „Druck“ veränderte Bewegung hier „bewirken“ und erst recht keine beschleunigte.

Der erst eingeleitete Vorgang wird nach der bisherigen Vorstellung nicht zu Ende geführt, sondern unterbrochen. Er muß infolgedessen neu wiederholt werden. Dazu reichen jedoch die vorhandenen Kräfte nicht aus, denn sie haben bereits eine Arbeit geleistet, mit der sie tot sind. Es müßte durch die mehrfache Umsetzung der Form in Arbeit ein großer Teil der vorhandenen gelieferten Energie verschwinden. Ferner käme durch den Zeit-Wegverlust und die dabei notwendig mit erfolgende Bildung ungenutzter potentieller Energie (Wärme usw.) die Anfangskraft am Ende der Reihe nicht in fast gleicher Größe zum Vorschein. Der Bewegungsvorgang nach der bisherigen Theorie verlangt sogar das Wiedererscheinen der Kraft in ganz gleicher Größe! Andernfalls wäre die Blutbewegung mit der fortgesetzten Rohrdehnung der Gefäße bald zu Ende.

Wenn die *Geschwindigkeit* im Rohre zunimmt, kann der Innendruck nur dann gleichzeitig steigen, wenn die bewegende Kraft, das ist die *Herzwandbewegung* — nicht der Druck — ebenfalls dauernd anwächst. Die Energie der Herzmuskulatur steigt jedoch in der Anspannungszeit an. In der Austreibungszeit steht sie in voller Größe da und wirkt ein.

Nun ist, wie bereits gesagt, bei unseren Bäderversuchen¹ festgestellt, daß das größere Schlagvolumen mit zunehmender Blutgeschwindigkeit, aber *fallendem* Druck, bei *Verengerung* des Durchlaufrohres, Aorta, geliefert wird. Dagegen wird bei langsamer Strömung, infolge Hemmung des Abflusses, bei kleinerem Schlagvolumen und steigendem Druck im Rohr, die Aorta breiter. Was für die längere Zeit eines Badeablaufes nachgewiesen ist, gilt genau so für die kürzere eines Pulsablaufes, für dessen Einzelabschnitte.

Es ist allgemein anerkannt, daß die größere Blutgeschwindigkeit in der Austreibungszeit vorhanden ist. Der Herzinnendruck steigt an, solange keine Bewegung erfolgt, also in der Anspannungszeit. Von der Klappenöffnung ab, wo Bewegung eintritt, steigt nach *Piper*² die

¹ *Hauffe*, Physiologische Grundlagen der Hydrotherapie. Fischers med. Buchhandl., Berlin 1924.

² *Piper*, Die Druckschwankungen in den Hohlräumen des Herzens. Arch. f. d. ges. Physiol. (physiol. Abt.). 1912, desgleichen 1913 und 1914. *Piper* beschwert sich mit Recht darüber, daß *Tigerstedt* über seine Tatsachen hinweggeht. Vgl. dazu auch *Straub*, Das Tachogramm der Herzmuskels. Dtsch. Arch. f. klin. Med. 118. 1915. Ferner: *Joh. Haedicke*, Die Mechanik der Blutbewegung im rechten Vorhof. Virchows Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. 240, H. 1/2. 1922.

Innendruckkurve zwar noch, aber weniger steil. Sie geht nämlich von dort ab mit Bildung eines „Gipfels“, nicht eines Plateaus, in Senkung über. Die Drucksteigerung reicht also weniger weit als andere Autoren es angeben, in die Austreibung hinein. Nach allen Forschern, seit *Chauveau*, ist aber an der S-Zacke ein Knick gefunden. Die Druckkurve senkt sich folglich schon im Beginn der Austreibung. Nur der Zeitpunkt der Senkung ist strittig. Die Aortendruckkurve weist gleichfalls nach einer Anfangssteigerung den Knick an der S-Zacke und dann ein geringeres Steigen auf. Noch vor der großen Incisur, also in der Zeit der beschleunigten Strömung, tritt die deutliche Senkung ein.

Es wirkt also dort, dieser Schluß ergibt sich, eine drucksenkende Kraft vom Anfang an bereits ein. Da nun bei den verwendeten Meß-

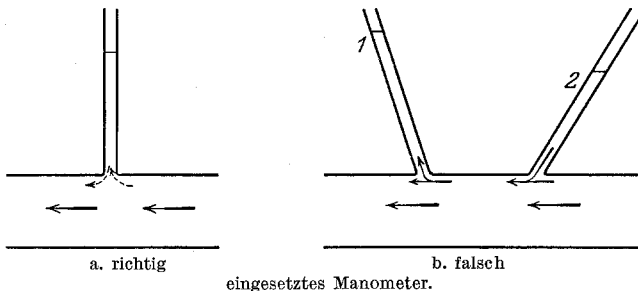


Abb. 1. In b gerät eine Bewegungskomponente in das Steigrohr, bei 1 den „Druck“ scheinbar erhöhend, bei 2 ihn scheinbar senkend. Die Fehler werden noch größer, wenn das Steigrohr in das Lumen des zu messenden Rohres hineinragt, auch bei a, durch Wirbelbildung. Es wird in b nicht der sich entwickelnde Druck gemessen, sondern eine Mischung aus Bewegung, Seitendruck und aufgehaltener Bewegung im Rohre.

arten die Steigrohre niemals senkrecht zur gemessenen Fläche aufgesetzt sind, sondern sogar mehr oder weniger in die Strömungsrichtung des Blutes zu liegen kommen (Abb. 1), so muß alsdann immer eine Bewegungskomponente als scheinbarer Druck vom Apparat mit aufgeschrieben werden.

Wäre die Druckkurve vom Apparat richtig verzeichnet, stiege also der Druck in der Austreibungszeit an, so wäre damit das Energiegesetz als unhaltbar nachgewiesen. Besteht jedoch dieses weiter zu Recht, daß Druck und Geschwindigkeit, bei gleicher Kraft, wie sie in der Austreibungszeit gegeben ist, sich gegenteilig einstellen, so muß der Apparat falsch gezeichnet haben. Denn er schreibt *jede* in seinen Bereich gelangende *Masse* auf. Er kann nicht unterscheiden, ob sie ihm mit vermehrtem Innendruck, also verlangsamter Bewegung, oder vermehrter Massenbeschleunigung, also abnehmendem Druck, zugeführt ist.

Der Beobachter aber weiß aus anderen Ergebnissen genau, daß bis

Ende der Anspannung keine Bewegung sichtbar ist. Dann aber, vom Beginn der Klappenöffnung an, strömt das Blut. Folglich hat er die Verpflichtung, diese seine Beobachtung auch zu verwenden, also sie zur Korrektur der mechanisch verzeichneten Kurve zu brauchen. Erst dann hat er das Recht, diese abgeänderte Kurve als eine Druckkurve zu bezeichnen.

Piper¹ ist also mit seiner 1. Arbeit bereits auf dem richtigen Wege. Nur muß, laut Energiegesetz, trotz allen voraus zu sehenden Widerspruches, die von ihm bereits auf den „Gipfel“ beschränkte Drucksteigerung in der Austreibung, noch eine kurze Strecke weiter, nämlich bis zur Klappenöffnungszacke *S'* gerückt werden! Nur in der Anspannungszeit kann der Innendruck steigen. In der Austreibungszeit muß er, laut Energiegesetz, fallen und dann gesenkt bleiben bis zur

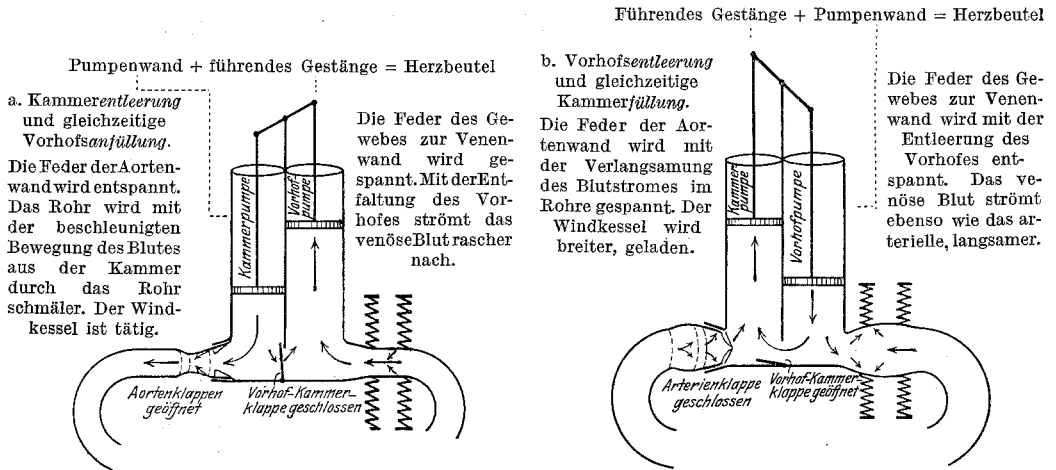


Abb. 2.

nächsten Anspannung. Ja, er darf gegen den Anfangsdruck negativ werden und wird es nachweislich auch in der Diastole der Kammer (Goltz, Gaule).

Dehnt allein das *langsamer* fließende Blut das Rohr, wie es energetisch nur verständlich ist, so kann jetzt nur in der Diastole eine Dehnung des Rohres erfolgen, wenn die *Bewegung* der Kammer zu Ende ist. Es wird dann in der *Austreibungszeit* die dem abströmenden Blut von der Herzwandbewegung mitgeteilte Massenbeschleunigung von der gleichzeitigen *Rohrverengung* der Aorta, des *Windkessels*, begleitet und zu seiner Fortbewegung möglichst restlos ausgenutzt (vgl. Abb. 2). Erst wenn infolge des Widerstandes auf der Bahn die unvermeidliche Umsetzung in die hemmende potentielle Form des Druckes droht, wenn die Blutbewegung wieder *abnimmt*, dann nur kann Rohrdehnung auftreten, also zunächst wieder Bewegung, welche einen Druckanstieg nicht sicht-

¹ Siehe Fußnote 2 auf Seite 26.

bar werden läßt. Die nun gespeicherte, bei *verlangsamter* Blutbewegung in zunehmende Wandbewegung des Rohres übergeführte noch vorhandene Energie, steht alsdann für die *nächste* Systole in gespanntem Zustand als neugeladener Windkessel, als Energiespeicher zur Verfügung (vgl. Abb. 2b). Nicht das rascher strömende Blut dehnt das Rohr, sondern erst das langsam fließende! Und zwar wirkt jetzt die als Dehnung des elastischen Rohres diastolisch gespeicherte Kraft systolisch in der Strömungsrichtung ein. Die vom Herzen eingeleitete gleichgerichtete Abflußbewegung unterstützend, nicht sie hemmend, wie es die bisherige Theorie notgedrungen annahm. Der Durchfluß ist jetzt nicht zu eng für die durchströmende Menge. Es muß vielmehr, laut Energiegesetz, mit zunehmender Blutgeschwindigkeit der Innendruck im Rohr abnehmen. Folglich *muß* das Rohr, je mehr in gleicher Zeit durchströmt, wie es die Röntgenbilder¹ ebenfalls beweisen, desto schmaler werden. Der Versuch am durchströmten elastischen Schlauch² bestätigt gleichfalls diese Folgerungen in der Reihenfolge und Richtung der Vorgänge. Nach der bisherigen Theorie ist die verlangsamte Blutbewegung Folge der Rohrdehnung, während in Wirklichkeit das langsam strömende Blut erst das Rohr dehnen kann, weil in der Zeiteinheit an derselben Stelle mehr an Masse da ist. Man hat Ursache und Wirkung verwechselt. Man hat die Theorie im Widerspruch zum Energiegesetz gebildet.

Es erfolgt in Wirklichkeit kein nutzloser Verschleiß an Energie. Das Blut kann nun bei zeitlich festliegender Motorkraft nicht anders als mit vermehrter Geschwindigkeit, aber fallendem Innendruck in der Austreibungszeit ablaufen, weil mit der gleichzeitigen Vorhofentfaltung rückwärts gesaugt wird, also der Durchlauf frei ist. Daß die Aorta kammersystolisch geweitet wird und sich dann kammerdiastolisch verengt, ist *nicht* erwiesen! Das ist *lediglich Theorie*; hergeleitet aus unrichtiger Vorstellung. Wird ein *verschlossener* Schlauch mit Flüssigkeit angefüllt, so weitet sich selbstverständlich das Rohr, je nach der Nachgiebigkeit in den einzelnen Durchmessern. Dieser Vorgang kommt hier aber *nicht* in Betracht. Denn hier strömt die Flüssigkeit durch das elastische Rohr hindurch. Es ist nicht am anderen Ende zugebunden, sondern erweitert sich bis zum Capillarsee.

Also hat die Frage zu lauten: Was geschieht, wenn ein offener elastischer Schlauch verschieden rasch durchströmt wird? Antwort: Er wird bei rascherer Strömung stets *enger*, laut Versuch am toten Schlauch², laut Röntgenbild der Aorta¹ und laut physikalischen Gesetzen. Als

¹ *Hauffe*, Physiologische Grundlagen der Hydrotherapie. Fischers med. Buchhandl. Berlin. 1924.

² *Hauffe*, Ein künstliches, zwangsmäßig schlagendes Herz. Med. Klinik 18. 1924.

weitere Folge tritt dann schon am toten Schlauch die zwangsläufige Pulsation auf¹.

Im Bulbus nimmt während der Kammerentfaltung die Blutbewegung ab. Das Blut staut dort an. Der Herzbeutelüberzug greift auf den Anfang der Aorta und ebenso der Arteriae pulmonales beiderseits über. Die Saugbewegung der Kammer muß folglich sich ebenfalls auf den Bulbus auswirken (Abb. 2b). Er weitet sich, wird durch die *verlangsamte* Blutbewegung geladen, gleichzeitig mit der *diastolischen* Kammerbewegung.

Der Windkessel wird also *nicht vom Herzen aus*, mit dessen in der Systole auströmender Blutmenge, bei beschleunigter Blutbewegung gespannt, das wäre ein physikalisch unmöglicher Vorgang, sondern er wird *vom Gefäßsystem aus*, wie es allein verständlich ist, durch die *langsamere* Blutbewegung in die ihm aufgezwungene Stellung als zugehöriger Gefäßanteil gebracht. Die kinetische Herzwandbewegung wird nicht im Rohre gespeichert. Sie leistet die Arbeit der Vorwärtsbewegung des Blutes durch Erteilung neuer Beschleunigung und der Entfaltung des Gegenabschnittes.

Der Windkessel steht alsdann in gespanntem Zustand für die *nachfolgende* Eigenbewegung der Kammerwand, für ihre Austreibungszeit, als zugehöriger Rohrteil zur Verfügung und muß mit ihrer Zusammenziehung sich entspannen, zusammenschnurren. Das rascher durchströmte Rohr muß bei fallendem Innendruck schmaler werden.

Der Windkessel *begleitet* also die Blutbewegung mit seiner Wandbewegung. Ist die Kammerentleerung zu Ende, so wird er mit dem sich im Aortenbulbus ansammelnden Blut, unterstützt durch die dorthin übergreifende Saugwirkung der sich entfaltenden Kammer breiter, neu gespannt. So allein ist der Vorgang physikalisch verständlich.

Auf der venösen Gegenseite wird der erschlaffende Vorhof durch die Kammerentleerung im abgeschlossenen Raum des Herzbeutels entfaltet und angefüllt. Das Venenblut fließt, angesaugt durch die zwangsläufig gegengerichtete Kammerbewegung, in den sonst entstehenden leeren Raum hinein. Aber es wird nicht in den Vorhof „gedrückt“. Es läuft nun bei der Vorhofsentfaltung aus den Hohlvenen Blut nach (Abb. 2a), das Rohr wird enger². Damit wird die an die Venenwand angeheftete Gewebefeder in immer mehr zunehmende Spannung gesetzt.

Mit Beginn der Vorhofsentleerung, welche die Entfaltung der Kammer durch den gegengerichteten Saugakt zur Folge hat, also das Blut ebenfalls *nicht* in die Kammer „drückt“, sondern es dorthin saugt, greift

¹ Siehe Fußnote 2 auf Seite 29.

² Vgl. dazu bereits *Wedemeyer*, Untersuchungen über den Kreislauf des Blutes. Hannover 1828, S. 227 u. 307. Er folgert daraus eine durch die Vorhofsdiastole bewirkte Saugkraft!

gleichzeitig mit der Blutverlangsamung im Venenrohr, die auf der Höhe der Spannung stehende Gewebfeder spreizend auf die Wand ein. Die vorher entfernte Blutmenge ist ergänzt worden, das Blut staut dort an (Abb. 2b). Mit der zwangsläufigen Anfüllung der entsprechenden Pumpe im Sog durch den tätigen Gegenabschnitt, wird auch das zugehörnde Rohrgebiet jeder Seite neu in Bereitschaftsstellung gebracht. Mit der Tätigkeit der Pumpen greifen die elastischen Hilfskräfte der Rohrwandungen, die eingeleitete Bewegung aufrecht erhaltend, ebenfalls ein.

Die Federspannung der beiderseitigen Rohrteile ist stets zueinander gegengerichtet, weil die arterielle Feder gewissermaßen das Rohr umspannt, die venöse am Gewebe festgehakt ist. Infolgedessen geschieht die Blutbewegung im gesamten Rohrnetz bei Veränderung der Spannung, des sog. Tonus, immer gleichsinnig und ebenso läuft die Wandbewegung der beiderseitigen, durch ihre Federn entgegengesetzt gespannten Rohre untereinander gleichgerichtet und ebenfalls zur Blutbewegung gleichsinnig ab.

Alsdann erfolgt der Vorgang beiderseits möglichst ohne Energieverlust. Denn die Rohre sind zur Fortleitung der vom Herzen eingeleiteten *Bewegung* da, auf der arteriellen Seite bis zu den Capillaren hin, auf der venösen von dort bis zum Vorhof. Sie sind nicht zum gegenseitigem Abfangen der erzielten Bewegung eingerichtet, wie das anders gebaute, nämlich durch die Einkapselung zwangsläufig geararbeitende Pumpenpaar.

Im Tode sind die Arterien eng und meist leer¹, weil das Blut durch die in der Strömungsrichtung wirkenden elastischen Kräfte beider Teile des Gefäßgebietes, in den Venen spreizend, in den Arterien verengend, nach den Venen, wo allein Platz ist, übergelaufen ist, bis der Druck beiderseits gleich ist. Das Hilfssystem ist mit Aufhören der seine Betätigung immer neu auslösenden Herzwandbewegung ebenfalls abgelaufen. Mit seiner Wirkung im Leben ist folglich dem Blut die Richtung des Strömens gegeben, zumal die Einmündungsöffnung in die Vorhöfe größer ist, als der Auslauf aus der Kammer.

Dieser nun deutliche und verständliche *Gefälleweg* muß jedoch durch die Motorkraft ständig im Betrieb *gehalten* werden. Das Blut muß auf dem Venenwege, durch die Ansaugung im abgeschlossenen Herzbeutel, dauernd wieder *entfernt* werden, sonst läuft die Einrichtung, wie im Tode, wirkungslos ab. Der Betriebsmotor sorgt also mit dem in beiden Pumpen, Vorhof und Kammer, abwechselnd auf- und niedergehendem Kolben, der Wandbewegung, dafür, daß die Rohre in ständiger, zur zugehörenden Pumpe gleichgerichteter, untereinander aber

¹ I. Carson, Über die Ursachen der Leerheit der Pulsadern nach dem Tode (aus den med.-chir. Transak. 11, 165ff. 1820; Meckels Arch. f. Physiol. 6, 604—614. 1820) sucht die „von Harveys Gegnern als unüberwindlichen Gegengrund seiner Theorie vorgetragene Schwierigkeit“ durch die Einwirkung der elastischen Kräfte der Pulsadern zu erklären. Vgl. dazu Harvey selbst in Sudhoffs Klassikern der Med. S. 59: „Auch ist kein Zweifel usw.“

gegengerichteter Spannung (Tonus) bleiben, wie die beiden Pumpen selbst. Auf diese Weise wird die vorhandene Bewegung des Blutes in beiden Abschnitten des Gefäßsystems unterstützt.

Der mit der zugehörenden Pumpe gleichverlaufende, von ihr besorgte Bewegungsvorgang der elastischen Rohrkräfte in den Arterien und Venen, ist jedoch noch nicht „der Puls“! Dieser entsteht erst bei *Hemmung* des freien Durchlaufes im Rohr, ebenso wie die entsprechende Bewegung des Herzens, der Spitzenstoß. Diese viel größere Störungswelle läuft von der Auslösungsstelle, Herz, aus ebenfalls im zugeordnetem Rohrgebiet.

Der Venenpuls ist als eine vom Vorhof ausgehende rückläufige Stauungswelle der nachgebenden Venenwand sichtbar. Weil der Herzbeutelüberzug nicht die Venen umschließt, tritt die Erscheinung nur unter besonderen Umständen erst auf. Die Senkung x und y der a - und v -Welle des Venenpulses ist alsdann im Grunde nichts weiter als die Wirkung der durch die Ansaugung der Herzabteile hervorgerufenen Schwankung im Zuge der Welle, d. h. ein Beweis für die vorhandene Saugwirkung des Systems. Im arteriellen Gebiet kann die Behinderung des freien Durchlaufes das straffere Rohr nicht dehnen. Infolgedessen tritt die Hemmung der von der Erregungsstelle, Herz, ausgehenden Strömung als *Schleudering* der hemmenden Rohrstrecke, als Seitwärtsschwingung um die Längsachse, wie bei der Herzspitze in Erscheinung. Je mehr der Abstrom aus der Kammer gehemmt ist, desto ausgiebiger bewegt sich die Herzspitze, desto breiter ist die Aorta, weil im Rohr durch den gleichfalls verzögerten Sog im Gegenabschnitt — Vorhof — weniger abbefördert wird. Die infolge des gehemmten Abflusses entstehende Welle kann über das Rohr nur capillarwärts laufen. Die Durchströmung eines elastischen Schlauches¹ zeigt bei absichtlicher Hemmung deutlich alle Einzelheiten des Vorganges. Auch längst bekannte, aber wenig beachtete Beobachtungen² über die Schwingungserscheinungen an der Gefäßwand beweisen die Richtigkeit dieser Anschauung.

Es sind also 2 Vorgänge zu unterscheiden: Der mit der Pumpenbewegung gleichgerichtete Bewegungsablauf der elastischen Rohrkräfte und andererseits die bei Hemmung des Ablaufes auftretende Pulsationsschwingung. Die Zergliederung dieser beiden Bewegungen soll anderweitig näher besprochen werden. In früheren Arbeiten^{1, 3} ist bereits darauf Bezug genommen.

¹ Hauffe, Einkünstliches, zwangsmäßig schlagendes Herz. Med. Klinik. **18**. 1924.

² Landois, Die Lehre vom Arterienpuls. Hirschwald 1872, S. 85/86 und 88/89. — Mackenzie, Die Lehre vom Puls 1904, S. 59—61. — Wedemeyer, Untersuchungen über den Blutkreislauf 1830, S. 35 u. 55 unten, u. **39**, 43 oben usw. Dort reichlich ältere genaue Literaturangaben und eigene Versuche. „Ganz dem hydraulischen Gesetzen gemäß“, läuft nach diesem Verfasser der Blutkreislauf ab, S. 199 u. 254. — Desgl. Pal: Über Wesen und Behandlung der Angina pect. Wiener klin. Wochenschr. **22/26**. „Wenn man einem Tier die Bauchhöhle eröffnet, so tritt unter Kontraktion der Darmgefäße eine starke Schlängelung und Dehnung sowie intensive Pulsation in dem proximalen Abschnitt der Mesenterialarterien ein“. Vgl. dazu Literatur und Erörterungen bei C. H. Schultz, System der Zirkulation. 1836; § 195—197, S. 337—342.

³ Hauffe, Die Bedeutung des Herzbeutels für den Blutumlauf. Münch. med. Wochenschr. **41—43**. 1926.

Die Wirkung der über die Rohrwand verlaufenden *Pulsationswellen* ist in gleicher Weise wie die aller elastischen Kräfte aufzuklären. Sie entstehen erst bei Betätigung des Motors jedesmal neu. Es ist bekannt, daß während ihres Auftretens die aus dem Rohr frei ausfließende Menge zunimmt. Die ihnen bei dieser Art der Auslösung innewohnende Energie wird auf dem Strömungswege ausgenutzt. Aber diese Wellen sind ebenso wie die vorher besprochenen elastischen Hilfseinrichtungen und wie die gleichfalls auf Wirkung elastischer Kräfte beruhende Betätigung des „Unterdruckes“ im Pleuraraum und Perikard nicht Energieerzeuger, Kraftmaschinen, sondern nur *Hilfseinrichtungen*, Maschinen, die erst vom Hauptmotor aus, und zwar durch eine *Saugwirkung* jedesmal neu betätigt werden.

Es sei bei dieser Gelegenheit ausdrücklich darauf hingewiesen, daß nicht der vorhandene Unterschied des Druckes im Herzbeutel gegen den Druck der Außenluft die wirksame Saugkraft für die Entfaltung des ruhenden Herzabschnittes darstellt. Dieser Druckunterschied ist durch die damit erzielte Spannung der Gewebe und die Mehrfüllung des Herzens mit Blut, das sog. Restvolumen, am Herzbeutel wie in der Herzhöhle, stets ausgeglichen. Er tritt nur bei Punktion usw. sichtbar auf, weil das bis dahin ausgeglichene System durch den Eingriff eine neue Ruhelage sucht. Einen Dauerunterdruck gibt es als dauernd dort wirksame Kraft ebensowenig wie ein Perpetuum mobile.

Allein der *Zuwachs* des Unterschiedes gegen den Außendruck der Luft, der erst während der Betätigung der Herzmuskulatur, bei ihrer Zusammenziehung, also Raumverkleinerung in der abgeschlossenen Kapsel, *jedesmal neu* entsteht und mit der geleisteten Arbeit, eben der Entfaltung und Anfüllung des Gegenabschnittes, wieder verschwindet, ist die wirksame Saugkraft. Welcher Ausgangsdruck dort herrscht, ist für das Zustandekommen einer Saugwirkung gleich. Die Raumverkleinerung muß nur wirksam in Erscheinung treten. Daß eine Maschine in einem Raum, in welchem ein Unterdruck besteht oder durch ihre Wirksamkeit erzeugt wird, ganz anders, sparsamer läuft, weiß und benutzt die Technik.

Die elastischen Kräfte auf der Strombahn *erleichtern* folglich der Bewegungsmaschine die Fließbewegung. Sie *verhindern die vorzeitige Umsetzung* der bestehenden kinetischen Energie in die sonst auftretende potentielle (Druck, Wärme). Der Motor hat die Aufgabe, die Widerstände dauernd selbst zu überwinden, an Hilfsmaschinen abgetreten, deren Betriebskosten er jedoch bestreitet. Er braucht alsdann dem Blut durch den gleichzeitigen Sog und Druck nur die Beschleunigung nach vorwärts zu erteilen. Aber er fährt den Zug nicht jedesmal neu an. Die Verhältnisse liegen ähnlich, wie zwischen Flutwelle und Mondbewegung. Der Mond erzeugt die Welle nicht jedesmal neu. Das ist früher

einmal geschehen. Sondern er sorgt mit seinem Umlauf um die Erde dafür, daß die nun bestehende Welle nicht zusammenfällt. Die Flutwelle begleitet den Umlauf des Mondes um die Erde.

Der Blutkreislauf erfolgt demnach so: Die vom Kammerbahnhof abgehende Blutmenge, *ein* Schlagvolumen, überwindet mit der ihr erteilten Beschleunigung den Weg der Tal- und Bergbahn, der Arterien und Venen. Das Blut läuft, je nach der Beschaffenheit der Strecke, mit wechselnder Geschwindigkeit und entsprechend gegengerichtetem Druck, bei gleicher Motorkraft, gleichzeitig gesaugt und gedrückt unter Mitbetätigung der elastischen Kräfte, welche beiderseits vom Motor jedesmal erst neu aufgezogen werden und nur dann verwendungsbereit stehen.

Es langt in derselben Halle, Herzbeutel, im Vorhofsbahnhof an, also eine Stufe tiefer, als es abgelassen wurde. Wie bei jeder Tal- und Bergbahn bedingt die unvermeidliche Reibung auf dem Strömungswege einen Höhenunterschied am Ende der Bewegung. Nur dieser kurze Weg ist durch die Eigenbewegung der Herzmuskulatur mit der Menge *eines* durch die Kammer gehobenen Schlagvolumens auszugleichen. Die Verhältnisse liegen genau so wie bei den anfangs angezogenem Beispiel des fahrenden Zuges.

Für eine Druckpumpe ist die Einrichtung des Gefälles mit der Verzweigung der Bahn im Dienste der ständigen Wiederkehr des rollenden Blutzuges für die Zufuhr der Nahrungsmittel und Abfuhr der Abfälle, allein unüberwindlich. Die elastischen Kräfte wären dabei nur Hemmungen für die Blutbewegung. Der vereint arbeitenden Saug- und Druckpumpe erleichtern jedoch diese Hilfseinrichtungen das Strömen, durch Überbrückung der verschiedenartigen Hemmungen und der Talstrecke, durch jedesmalige Freigabe der vorher in sie hineingesteckten Energie. Nur mit der Tatsache einer gleichzeitig eingreifenden Saugwirkung, welche die Hilfskräfte der Energie der Lage stets wieder frei macht, ist der Gefällesweg überhaupt betriebsfähig.

B. Die Wirkungsweise der capillaren Kräfte.

Eine „Hilfseinrichtung“ ist gleichfalls die von manchen als fördernd oder auch hemmend, als „Kraftquelle“ für oder gegen den Blutumlauf in Anspruch genommene capillare Adhäsion in den Geweben wie im Capillargebiet der Blutgefäße. Die Lympfbewegung ist ebenso wie das Durchströmen durch die engen, für eine Druckpumpe erheblichen Widerstand bietenden Wege nur verständlich, weil eine *immer neu* erzeugte Energie auf das in Bewegung befindliche Blut, und zwar *saugend*, nicht drückend einwirkt, wie sie in der gegenteiligen Bewegung des Vorhofes und der Kammer, durch den Einbau in den Herzbeutel, als Tatbestand und zwangsläufiger Vorgang gegeben ist.

Wenn im Spaltraum zwischen 2 Flächen die Flüssigkeit durch capillare Adhäsion, d. h. infolge Oberflächenvergrößerung, aufsteigt, so ist die Arbeitsfähigkeit des Systems durch die einmalige Arbeit des Hebens erschöpft, solange bis die aufgestiegene Masse durch eine neu eingreifende Kraft wieder entfernt ist. Der Docht in der Lampe saugt nur solange diese brennt. Das Herauflaufen der Flüssigkeit im Capillargebiet erfolgt durch die Tätigkeit der jedesmal neu leer gewordenen Capillarmaschine. Die Blutmenge ist alsdann um ein Stück gehoben. Die bei der Verzweigung des Rohrgebietes notwendig mit auftretende Verlängerung des Weges konnte von der in Bewegung befindlichen Blutmenge nicht allein, sondern nur vermittels der, wie der nicht verbrennende Docht einer Lampe wirkenden, hebenden Vorrichtung überwunden werden.

Aber zur Entfernung der eingedrungenen Flüssigkeit wird von der Hauptmaschine zu anderer Zeit ein Teil Energie verbraucht, der genau so groß ist wie die Adhäsionskraft selbst. Er würde größer ausfallen müssen, wenn diese das Strömen erleichternde Einrichtung der Capillarität nicht dort eingebaut wäre. Die Ersparnis der Ausgaben für den Motor ist dieselbe, wie es für die elastischen Kräfte erörtert wurde.

Diese die Blutmenge entfernende, also *saugend* wirkende Kraft wird geliefert durch die infolge des Einbaues des Herzens in den straffen aber elastischen, nicht starren Beutel stets gleichzeitige Anfüllung des gegenteiligen, ruhenden Abschnittes. Mit dieser Arbeit wird das Blut auf dem Venenwege angesaugt und die das Blut hebende Capillarmaschine ist für die *nächste* nachlaufende Menge wieder frei. Die Zwischenschaltung dieser Einrichtung spart folglich auf dieser Strecke an Betriebsstoff. Aber sie ist nicht *Energieerzeuger*, nicht selbsttätige Kraftmaschine! Sie gibt nur her, was früher in sie hinein gesteckt ist. Der mehrfach erwähnte *Wedemeyer* legt bereits der Capillarität, der er eine besondere Untersuchung widmet, großen Einfluß auf die Fortbewegung des Blutes bei, ohne jedoch das Wesen des Vorganges, die stets neue Entfernung der gehobenen Menge aus den Capillaren, zu erfassen¹.

Das Schmieröl wird für die Maschine niemals Brennstoff. Es verzögert nur die Umsetzung der von ihr gelieferten kinetischen Energie in potentielle. Es wirkt als Energiesparer oder richtiger als *Energieerhalter*. Es sind jedoch mit dem Nachweis solcher Einrichtungen, die nur während der Dauer eines Bewegungsablaufes benutzt und betätigt werden, keine neuen *Energiequellen* für den Kreislauf erschlossen.

Die Zwischenschaltung des Capillargebietes bietet also dem Motor keinen erhöhten Widerstand, wie bisher angenommen werden mußte.

¹ *Haller*, zit. bei *C. H. Schultz*, wendet sich gegen die von *Brun* und *Krüger* angenommene Capillarröhrenattraktion (die später auch von *Sömmering* verteidigt wird), als *Bewegungsursache* des Blutes.

Im Gegenteil! *Sie erleichtert das Fließen des Blutes.* Jedoch nur, weil das ablaufende System vom Herzmotor aus immer wieder neu aufgezogen wird. Der Einbau des Herzens in eine dichte, aber nachgiebige, nicht starre Kapsel, also die damit begründete *Saugwirkung* durch Entfaltung des ruhenden Gegenabschnittes, ermöglicht die dauernde Betätigung der Capillarmaschine. Da beim Durchgang durch die Capillaren die Viscosität des Blutes zunimmt, wird die Wichtigkeit der Zwischenschaltung einer Hilfseinrichtung gerade auf dieser Strecke deutlich. Bei kleinen Tieren und beim menschlichen Fet wirken eine ganze Reihe Gefäße gleich wie Capillaren. Bei Annahme einer alleinigen Druckpumpenwirkung des Herzens ist das Capillargebiet ein schweres Hindernis für die bewegende Kraftquelle, Herz, genau so wie die elastische Wandkraft der Aorta. Denn die hebende Maschinenwirkung der Capillaren wird dabei vollkommen unmöglich gemacht.

Es ist nun verständlich, daß beim Eindringen von Luft oder Fett in die Capillaren sofort die Tätigkeit der Hilfseinrichtung zum Teil ausfällt. Denn die Größenordnung, also der Widerstand für die Gegenpumpe, ist alsdann erheblich. Im Körpercapillargebiet schadet das Eindringen solcher Fremdstoffe weniger. Es erfolgt, abgesehen von der Behinderung der Pumpe, nur eine örtliche Störung der Ernährung. Im Lungengebiet wird jedoch damit die Auffrischung des vor den Capillaren stockenden Blutes gehindert. Es tritt Erstickung ein.

C. Wirkungsweise der Venenklappen.

Gleiche Erwägungen gelten für die Klappeneinrichtungen, soweit sie geschlossen werden. Sie befördern nicht das Blut. Sie verhindern lediglich durch ihr Vorhandensein das Zurückgleiten der gehobenen Blutmenge. Sie tragen diese Last, bis sie später durch Eingreifen der Motorkraft des Blutzugbetriebes aus ihrem Bereich entfernt ist. Das ist wiederum nur mit *Saugwirkung* auf dem Venenwege möglich. Dann kann die Klappe neu belastet werden. Eine vorwärts gerichtete Druckwirkung zur Weiterbeförderung der auf der Klappe ruhenden Last könnte nur für die nahe am Herzen gelegenen in Betracht kommen. Gegen die Venenklappen kann nicht vom Herz aus „gedrückt“ werden.

Eine solche angenehme Druckwirkung auf irgendeine Klappe wäre ferner stets mit einem besonderen Kraftaufwand verbunden, nämlich der erneuten Fortbewegung der gesamten Last oberhalb der untersten Klappe. Woher soll diese Kraft genommen werden? Der Motor müßte, wie es bei Erörterung der Wirkung elastischer Kräfte auseinandergesetzt ist, doppelt soviel Arbeit leisten, also Energie vergeuden. Bei Vorhandensein einer gleichzeitigen Saugeinrichtung wird diese Arbeit von der bereits bewegten Masse durch den sonst leer gehenden Hub der Gegenpumpe mit geleistet. Es entfällt ein besonderer neuer Kraftaufwand dafür.

Die Venenklappen dürften nur selten ganz geschlossen stehen, weil das Blut dort dauernd strömt. Es ist anzunehmen, daß sie die Bedeutung eines Stromreglers, wie Buhnen, besitzen. Wenn sie auch nur ein wenig gefüllt sind, ist die Bahn an dieser Strecke verengt. Auf der

verengten Stelle fließt das Blut jedoch rascher durch. Der Innendruck im engeren Rohr sinkt, weil dafür, *jedoch nur auf dieser Strecke*, Massenbeschleunigung, da ist. Den Physikern ist dieser Tatbestand unter dem Namen des hydrodynamischen Paradoxons bekannt (Abb. 3). In den Lehrbüchern der Physiologie¹ finden sich wunderliche Zeichnungen des Vorganges, manchmal direkt dem Tatbestand entgegenstehende. Der Vorgang der Strombeschleunigung auf der engeren Strecke ermöglicht das Zusammenhalten des Stromfadens.

Bei Klappenerkrankungen und sehr rascher Schlagfolge können die Kammer-, Aorten- und Pulmonalklappen sich nicht wechselnd schließen und öffnen, zumal die Zeit zur vollständigen Gegenbewegung fehlt. Trotzdem fließt das Blut, wenn auch gehemmt durch Wirbel und langsame Strömung, wie z. B. beim länger dauernden tachy-

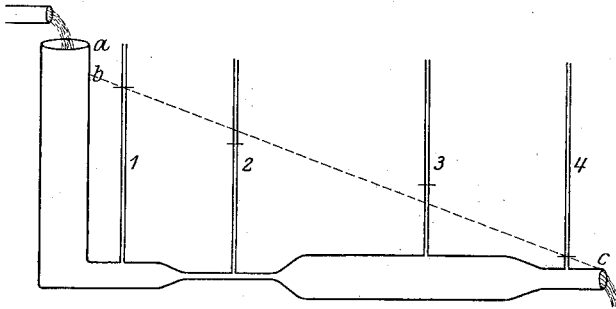


Abb. 8. Im gleich weit bleibenden Rohr würde der Druck in der gestrichelten Linie verlaufen. Er bleibt also in 1 und 4 auf dieser Höhe. Im Steigrohr 2 fällt er gegen die punktierte Linie, weil die Geschwindigkeit des Durchflusses im engeren Rohr zunimmt. In 3 steigt er über diese Linie, weil die durchlaufende Flüssigkeit im weiteren Rohr langsamer strömt.

kardischen Anfall. Es ist technisch möglich, Pumpen ohne Ventile zu bauen, sie erzielen jedoch mit ihrer Arbeit nur etwa die halbe Leistung. Die Begründung ergibt sich aus der Anfangserörterung.

Ein Fisch, *Lepidosiris*, besitzt an der Aorten-Pulmonalöffnung der Kammer keine Klappe, sondern 2 längs verlaufende Falten in verschiedener Höhe. Er hat auch an Stelle der Segelklappe zur Kammer eine besondere Einrichtung, nämlich ein stöpselartiges Ventil, einen Knorpelknopf. Diesen zieht der damit verbundene Papillarmuskel der Kammer aus dem Vorhof, wo er mit Sehnenfäden an der unvollkommenen Vorhofsscheidewand befestigt ist, zum Verschluss des Kammereinganges herunter. Dieser Fisch hat die Schwimmblase gleichzeitig mit den Kiemen zur Atmung umgearbeitet. Er führt also in der Kammer, von den hier doppelten Vorhöfen aus, sauerstoffreicheres und -armes Blut, ähnlich wie der Fetus im Mutterleibe. Die Wirkung dieser zur Scheidung der Blutarten dienenden Einrichtung, ähnlich wie die *Valvula Eustachii* beim Fetus und die Spiralklappe im Konus des Frosches, kann hier nicht näher besprochen werden.

D. Gemeinsames der Hilfseinrichtungen für die Strömung.

Es stehen demnach eine Reihe verschiedenartig gebauter Hilfsmaschinen auf der Strombahn. Sie haben die Aufgabe, die Fließ-

¹ Vgl. die Lehr- und Handbücher der Physiologie und dagegen die der Physik.

bewegung möglichst lange aufrecht zuerhalten, so daß der von der Bewegungsmaschine, Herz, eingeleitete Bewegungsvorgang, die Beschleunigung der fließenden Blutmasse, nicht vorzeitig erlischt, in die das Fließen hemmende, unvermeidliche potentielle Form (Druck, Wärme usw.) umgewandelt wird. Es wird ein frühzeitiger Verschleiß als ungenutzte Arbeitsform verhindert. Sie alle gehen im Betrieb notwendig $+ - 0$ auf. Sie verlangen ebensoviel Energiewerte zur Inbetriebsetzung als sie später Arbeit leisten, abgesehen vom unvermeidlichen Verlust. Sie erleichtern alsdann zu anderer Zeit der Maschine die Bewegung der Last. Sie sind Straßenglätter, Schmieröl. Nie aber können sie neue Werte schaffen. Sie sind nie *Energieerzeuger*, nicht Kraftwerk! „Aktive“ Förderungskräfte für den Blutumlauf gibt es außer dem Motor, der in der Wandbewegung steckenden Energie, nicht. Es gibt keine extrakardialen Kreislaufkräfte, *in keiner Form!*

Denn die auf der Strombahn stehenden Einrichtungen wirken nur bei Tätigkeit der Hauptmaschine mit, von deren Energien sie leben, und zwar nur bei Eingreifen einer *Saugwirkung*. Diese Hilfsmaschinen müssen nämlich immer wieder *entleert* werden, um ihre Aufgabe dauernd erfüllen zu können. Die damit erzeugte Spannung der Einrichtungen besorgt der Herzmotor, und zwar mit der Saugwirkung der sich zwangsläufig gegenbewegenden entsprechenden Pumpe, mit deren Kolbenhub. Die andere Hälfte der Arbeit jedoch, die Überbrückung der Hindernisse, die Hilfsstellung, leistet zu anderer Zeit die geladene Hilfsmaschine mit der in sie hineingesteckten Energie.

Es ist also eine *Arbeitsteilung* erfolgt. Es sind unterwegs Maschinen aufgestellt, die jedoch erst von der Zentrale mit Strom versorgt werden müssen, um sich nach ihrer Ladung betätigen zu können. Die Ladung erfolgt aus zeitweilig zur Verfügung stehender, ungenutzter, sonst verlorengehender Energie. Gleichzeitig muß von der Zentrale aus dafür gesorgt werden, daß die aus lebendem Material gebauten Einrichtungen nicht verfallen. Sie müssen ernährt werden, genau so wie die Hindernisse wegräumenden Streckenarbeiter. Die Kosten dafür trägt der Herzmotor aus seiner Energiekasse, weil und soweit er dafür Teilkkräfte abgeben kann. Er muß jedoch nicht immer alle Hilfsmaschinen gleichmäßig und gleichzeitig aufziehen.

Dafür leisten ihm die ständig neu geladenen Hilfsmaschinen die Arbeit der Bewegung des Blutes im kommunizierenden Rohr der geschlossenen Strombahn, vom Kammerende bis in den Vorhof hinein, über deren Wehre, Engen, Stromschnellen, Verzweigungen hinweg. Der Motor selbst hat mit seiner Muskelbewegung nur die Aufgabe, die Menge *eines* Schlagvolumens vom Vorhofsende bis Kammerausgang zu bewegen und dieser Masse beim Abfluß die neue Beschleunigung

zu erteilen, so daß die bestehende Bewegung, wie die Flutwelle, nicht erlischt. Auf der Bahn sorgt der Motor selbst nicht für das Weiterlaufen. Das besorgen die von ihm aufgezogenen Maschinen. Es bestehen für das in Bewegung befindliche, fließende Blut keine wesentlichen Widerstände auf der Strombahn mit Ausnahme der unvermeidlichen Verluste (Druck-, Wärmebildung usw.). Diese weisen sich am Schluß der Tal- und Bergbahn als Höhenunterschied zwischen Vorhof und Kammer aus. Alsdann bewegt sich das Blut, in der Strömung durch neue Energie bei jeder Herzmuskelbewegung ständig unterhalten, im Kreislauf. Bei Annahme einer alleinigen Druckpumpenwirkung sind alle diese Einrichtungen unverständlich, weil wirkungslos. Ja, sie stellen erhebliche Hindernisse für die Strömung dar.

Fällt die saugende Gegenwirkung einer der beiden Pumpenabschnitte und damit auch die ständig gegengerichtete Wandspannung, der sog. Tonus der Gefäße, im arteriellen und venösen Gebiet, durch irgendeinen Einfluß aus, so muß der bei der Bewegung sich entwickelnde Druck, also der Widerstand auf der Bahn, in Erscheinung treten.

Daß die Capillarmaschine dauernd wirksam ist, verdankt sie dem sie umgebenden elastischen Gewebe. *Landerer* sagt darüber: „Man hat daher das Gewebe, in welchem die dünnwandigen Gefäße eingebettet sind, gewissermaßen als eine 2. widerstandsfähige und Widerstand leistende elastische Gefäßwand anzusehen. — Diese 2. Gefäßwand ist für die Blutbewegung in den Capillaren insofern von größter Bedeutung, als sie dem strömenden Blute seine lebendige Kraft erhält. Sie wirft denjenigen Teil der Spannung der Flüssigkeit in den Blutgefäßen, der sich durch die Capillarwand hindurch auf die Umgebung fortzusetzen und so der Strömung innerhalb der Gefäße verlorenzugehen droht, durch die elastische Spannung wieder auf das Blut in den Gefäßen zurück. Das Gewebe vertritt für die Capillaren — in physikalischer Beziehung — die Tunica media größerer Gefäße.“

So ist verständlich, daß bei Ausfall der elastischen Hilfsmaschinen, die in allen Geweben angebracht sind, Störungen der örtlichen Blutverteilung infolge Änderung des elastischen Gleichgewichtes eintreten. „Nicht weil sie fibrös geworden sind, verlieren die kleinen Gefäße ihre Elastizität, sondern weil sie (und das umgebende Gewebe) ihre Elastizität verloren haben, deshalb werden sie fibrös“¹.

Demgemäß mußte bisher dem Triebwerk zur Bewältigung der großen Belastung eine Arbeit zugeschrieben werden, welche für die kleine Maschine kaum tragbar ist. *Tigerstedt*² gibt die Tagesarbeit des Herzen für den Erwachsenen bei Körperruhe und 70 Pulsen zu 8323 kgm an. *Heß*³ berechnet 18 000 kgm. Nach *Tigerstedt* ergeben sich täglich 100 800 Pulse. Demnach hätte 1 Puls 8323 kg geteilt

¹ *Buttersack*, Die Elastizität, eine Grundfunktion des Lebens. Stuttgart 1910.

² *Tigerstedt*, Physiologie des Kreislaufes Bd. I, S. 41. 1921.

³ *W. R. Hess*, Die Zweckmäßigkeit im Blutkreislauf. 1918. Antrittsrede. Schuster & Co., Basel.

durch 100 800, also 0,0825 kg auf 1 m oder 1 g 82,5 m hoch zu heben. Die Last von 1 kg würde demnach vom Herzen 0,0825 m, also 8,25 cm *lebenlang* mit *jedem* Hub emporzuheben sein. Und das nur zur fast alleinigen Überwindung der in der Maschinenanlage gelegenen Hindernisse!

Eine auf Bewegung des Blutes eingerichtete Maschine, wie sie das Herz zusammen mit den Gefäßen darstellt, die fast die gesamte ihr zur Verfügung stehende Energie zu außerwesentlicher Arbeit verbraucht und für ihre eigentliche Aufgabe, die Strömung, dagegen fast nichts, erweckt den Verdacht der unrichtigen Konstruktion. Es ist unwesentlich, wieviel Prozent der Gesamtkörperarbeit die errechnete Herzarbeit ausmacht. Denn das Herz arbeitet dauernd, die Körpermuskulatur und die Organe nur zeitweise.

Der Irrweg dieser Zahlen ist dadurch entstanden, daß man den Innendruck als Kraftmaß eingesetzt hat. Festliegend in der Zeiteinheit ist die *Gesamtblutmenge* und die in der *Bewegung* der Herzmus-

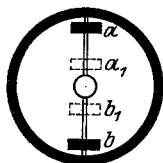


Abb. 4. a a_1 und b b_1 = Laufgewichte = verschobene Blutmenge. Sie muß auf der arteriellen und venösen Speiche gleich groß und gleich weit zwischen Achse (Kessel) und Schwungrad (Peripherie) stehen. Mit der Verschiebung der Gewichte auf der Speiche, näher zur Achse oder Peripherie des Schwungrades, ändert sich zwangsläufig die Umdrehungszahl (Pulsschlag) der Maschine, ebenso bei Veränderung dieser Masse.

kulatur zum Ausdruck kommende kinetische Energie, der *äußere* Druck. Das Schlagvolumen als bewegte Last, steht dagegen im *umgekehrten* Verhältnis zu dem sich bei der Bewegung bildenden Innendruck. Es hängt nicht allein von der zeitlich gegebenen Kraft des Motors ab, sondern vom Fassungsvermögen der *Rohre*, also von *deren* sich bei der Blutverteilung dauernd verändernden *Fläche*!

Es ist nicht beachtet, daß hier, in dem in ständiger Bewegung befindlichen System, der größere Teil der zu bewegendenden Blutmasse, der Last, gewissermaßen als Schwungrad in die Peripherie der Maschine eingesetzt ist, im Kessel aber nur der kleinere Teil der Last sich befindet. Das Schlagvolumen ist das an den Speichen von der Achse aus sich verschiebende Laufgewicht des Schwungrades. Die beigegebene Abb. 4 verdeutlicht, daß diese Gewichtsmenge auf 2 gegenüberliegenden Speichen gleichgroß und im gleichen Abstand zur Achse verteilt sein muß.

Würden die Laufgewichte vom Motor aus eingestellt werden, wie es die Technik macht, wenn die Umdrehungszahl bei *wechselnder* Motorkraftgleich bleiben soll, so würde der Puls bei wechselnder Bewegung des Körpers immer derselbe an Zahl bleiben. Das ist aber *nicht* der Fall. Sondern es ändert sich die Umdrehungszahl (Puls) mit der wechselnden Belastung der Maschine, also als Folge der im Schwung-

rad sitzenden, vorangehend anders gewordenen Massengeschwindigkeit bei *gleicher* Kraft. Die *Gangart* der Maschine ist also der Ausdruck der geänderten Belastung, der sich die Maschine ihrerseits angepaßt hat. In solchem Falle, daß die Maschine bei *gleicher* Kraft mit wechselnder Belastung arbeiten muß, bewirkt der Ingenieur eine Verschiebbarkeit des Laufgewichtes durch eine *Außenkraft* und damit eine Veränderung der Umdrehungszahl. Die dahinter stehende Motorkraft bleibt unverändert gleich.

Es ist demnach in der Formel: $\text{Druck} = \text{Kraft} \div \text{Fläche}$ (wenn für den Begriff Kraft das Produkt Masse mal Beschleunigung gesetzt wird), alsdann als Masse die gesamte zeitlich festliegende *Blutmasse*, aber nie die veränderliche, vom Abstrom nach den Gefäßen, d. h. deren Fläche abhängende Größe des Schlagvolumens einzusetzen. Die Gesamtfläche des Systems (Kessel und Peripherie) ändert sich bei jeder Blutverschiebung. Gleichgroß bleibt die in der Bewegung der Herzmuskulatur sichtbare Energie. Aber eben die *Bewegung*, nicht der Druck! Denn dieser ist ein *Verhältniswert*, dessen Nenner veränderlich ist.

Der Innendruck ist abhängig von der *gegebenen* Massenbeschleunigung im *umgekehrten* Verhältnis zur *veränderlichen* Gesamtfläche¹. Widerstand heißt hier Gefäßfläche. Der Druck stellt sich nachfolgend der geänderten Umdrehungszahl ein.

Auf diesem Wege ist bereits dargelegt, daß die nun zu besprechenden, das Blut *umleitenden* Kräfte im Kreislauf, mit der *Blutbewegung*, der Motorkraft, nichts zu tun haben. Sie sind also anderen Quellen anzurechnen.

3. Einrichtungen zur Verteilung des Blutes.

A. Allgemeine Regeln der Blutverteilung.

Das Blut fließt nicht dauernd in gleicher Menge und Weise nach allen Gebieten, sondern in wechselnder Masse, mit entsprechender Geschwindigkeit und demnach immer *gegenteilig* verlaufendem Innendruck. Die bereits in Bewegung befindliche Blutmasse muß vor allem, das ist ihre Aufgabe, den Zellen zur Ernährung und Abfuhr der Stoffwechselprodukte, je nach Bedarf der Einzelorgane, vermehrt oder vermindert, zulaufen.

Eine Umstellung in der *Verteilung* kann nur durch Änderung der Weite der Gefäße herbeigeführt werden, und zwar beginnend im anfordernden Organ. Ferner muß dabei nicht nur der Zustrom, sondern gleichzeitig auch der Rücklauf vom anfordernden Gebiet aus, also

¹ Setzt man in die Formel: $A = Ks$ für den Begriff Kraft den Wert: Innendruck \times Herz- \div Gefäßfläche, so würde man Druck \times Fläche \times Weg = Arbeit erhalten.

von den Capillaren bis zum Vorhof, in gleicher Größe betätigt werden. Die Strömung ist freilich die Vorbedingung der Verteilung des Blutes nach den arbeitenden Organen. Ohne Vorhandensein einer Bewegungsmaschine kann eine Verteilung nicht stattfinden.

Die Kraft zur Umleitung der im Verkehr laufenden Blutwagen, deren Zahl zu einer Zeit festliegt, wird jedoch nicht dem Stromnetz des den Zugverkehr speisenden Motors entnommen. Sie muß vielmehr, wie bei jeder solchen Anlage, *vom anfordernden Bezirk*, von dessen Blockstationen, gestellt werden. Sonst litte die Zugfolge unter der unregelmäßig wechselnden Betriebskraft. Die den Verkehr umleitenden Kräfte, ausgelöst durch einen Außen- oder Innenreiz, entstammen stets den tätigen, anfordernden *Organzellen*. Mit Beteiligung der verbindenden nervösen Einstellvorrichtungen öffnen sie die Gleise, stellen die Gefäßbahnen weiter oder enger und leiten mit dieser Arbeit einen beschleunigten oder verlangsamten *Durchstrom* von Blut nach dem anforderndem Einzelorgan ein. Weil die Wagenzahl (Blutmenge) in der Zeiteinheit unverändert festliegt, muß, wenn die nach einem Gebiet laufende Menge geändert werden soll, sich der Betrieb auf *allen* Strecken, und zwar sowohl des Hin- wie Rückweges, in der *Geschwindigkeit* ändern. Die entsprechende Druckänderung geschieht *nachher*, als *Folge*!

Die Änderung der Gefäßweite zur anderen Verteilung des Blutes wird durch die Gefäßmuskulatur besorgt. Das ist ihre Aufgabe! Eine Spannungsänderung erfolgt dabei nicht. Die Spannung ist unabhängig von der Lichtungsänderung, dem Durchlauf des Blutes, welcher je nach der Anforderung des Organes oder der Organgruppen, deren Gefäße zuerst abstellten oder anforderten, eintritt.

Die Spannung ist bedingt durch das Spiel der elastischen Gewebekräfte, deren Maschinenwirkung vorher besprochen wurde.

Es ist notwendig, zu beachten, daß eine geregelte Verteilung der gleichgroßen Blutmenge nur erfolgen kann, wenn der Rücklauf derselben Menge, die nach vorn ablaufen soll, gesichert ist. Eine alleinige Druckpumpe würde eine Änderung in der Blutverteilung nie bewirken können, wenn der geänderte Durchfluß eine gewisse Zeit aufrechterhalten werden soll. Der Herzkessel darf sich nicht nur nach vorn entleeren, sondern er muß, und zwar in gleichem Maße, wieder angefüllt werden.

Wäre das Herz nur eine Druckpumpe, so würde wohl eine Ansammlung des abbeförderten Blutes an einer Stelle (Abb. 4) erfolgen. Es würde sich jedoch die verschobene Menge vor den Capillaren stauen oder dorthin zu wenig laufen. Es wäre aber keine Möglichkeit vorhanden, die entsprechende, zur neuen Füllung und neuem Durchlauf nötige Menge von den Capillaren nach dem venösen Herzen zurückzuleiten. Die Einrichtung dafür muß also gegeben sein und sie muß vom *Motor* aus immer wieder neu aufgezogen werden. Nur dann ist der Rücklauf und *nachfolgend* der gleichgroße Zulauf gesichert.

Tatbestand¹ ist nun, daß die peripheren Venen sich bei geänderter

¹ *Hauffe*, Physiologische Grundlagen der Hydrotherapie. Fischers med. Buchh., Berlin 1924.

Verteilung ebenso wie die entsprechenden Arterien einstellen. Weiter ist Tatbestand, daß *nachfolgend* der Umstellung der peripheren Gefäße des Hin- und Rücklaufes, also der *gesamten* Peripherie, die des Kessels sich gegenteilig (der in ihnen verweilenden Blutmenge nach) verhalten. Das gesamte Kesselgebiet (linkes Herz, dazwischen gebautes Pulmonalgebiet der Lunge, rechtes Herz und die Kesselrohre, die Aorta sowie alle frei in dem Höhlengebiet verlaufenden Gefäße bis zum Eintritt in ein Organ) ist in der Blutmenge stets gegenteilig wie die Peripherie (Körperdecke und Organgebiet in den Höhlen) eingestellt. Was außen mehr ist, muß innen weniger sein und umgekehrt. Innerhalb jedes dieser Gebiete sind die zu und ablaufenden Bahnen stets gleichsinnig, jedoch nicht notwendig gleich stark zueinander gefüllt.

Daraus folgt, daß nicht nur ein geänderter Zufluß, sondern ein gleichsinnig geänderter Rückstrom im Venengebiet eingetreten ist, also ein anderer *Durchstrom* im *gesamten* Gefäßgebiet. Ferner ergibt sich daraus, daß diese Umstellung in der Gefäßweite *nicht vom Motor* ausgegangen ist, also nicht Folge *seiner* Kraftänderung ist. Die Änderung in der *Rohrweite* durch Eingreifen der Organkräfte des Anforderungsgebietes ist vielmehr der erst eingeleitete Vorgang. Die Änderung der *Blutgeschwindigkeit* ist folglich das Vorangehende.

Die andere Schlagfolge ist *nicht Ursache* der Erscheinungsreihe, sondern nur *Folge* der erst eingeleiteten Umstellung in der Blutgeschwindigkeit infolge Änderung der Rohrweite. Der Motor paßt sich in seiner Gangart der vorangehend geänderten Geschwindigkeit zwangsläufig erst an. Alle anderen Abläufe (Druckänderung, Herzgrößenänderung usw.) sind gleichfalls nur nachherige Folgeerscheinungen. Die Zurückführung auf die mechanischen Verhältnisse kann hier nicht erfolgen. Es sei dazu auf frühere Arbeiten¹ verwiesen.

Weiter ist zu schließen, daß eine geänderte Blutverteilung ohne eine gleichzeitige vom *Motor* betätigte gleichgroße *Saugwirkung* auf dem Venenwege überhaupt unmöglich ist. Der Motor zieht also die Verteilungseinrichtung jedesmal wieder neu auf. Aber die Einstellung der Verteilung bewirkt *er* nicht². Der Gang der beiden verbundenen Pumpen wäre gestört, wenn die rücklaufende Menge nicht der nach vorn abströmenden entspräche.

Arbeiteten die beiden Pumpen, Vorhof und Kammer, mechanisch unabhängig

¹ Physiologische Grundlagen der Hydrotherapie. Fischers med. Buchh., Berlin 1924. Periphere konsensuelle Gefäßreaktion und Dastre-Moratsches Gesetz. Therap. d. Gegenw. 4 u. 5. 1926. Die physikalische Therapie des praktischen Arztes. Urban & Schwarzenberg. 1926.

² „Wie sich das Blut in den vielen Bahnen, welche durch die Gefäßverzweigung entstehen, verteilt, darauf hat das Herz nicht den mindesten Einfluß“, sagt bereits Volkmann, Haemodynamik 1850, S. 342.

voneinander oder gar als Druckpumpen, so würde sehr bald durch ungenügende oder zu starke Füllung der einen oder eines Gefäßanteils der gesamte Umlauf und damit auch die von den Zellkräften bewirkte Verteilung des Blutes stocken, weil die Verteilungsmaschine durch den ausfallenden Rücklauf nicht mehr aufgezogen würde.

Es steht also fest, daß sich bei geänderter Verteilung der gleichgroßen Menge das Kesselgebiet in der Blutmenge gegenteilig zur Peripherie einstellt. Daraus ergibt sich, daß die Arbeit der diese Verteilung bedingenden Organzellen durch eine *Gegenarbeit*, nämlich die massenausgleichende Einstellung des Gegenabschnittes, ausgeglichen, *verbraucht* ist. Die Kräfte der Organzellen, welche die Blutverteilung bewirken, gehen also in gleicher Weise wie die der vorher besprochenen bahnglättenden Hilfsmaschinen der Blutbewegung, im Betrieb notwendig $+ - 0$ auf. Sie können folglich dem Motor gar nicht zur Verfügung stehen, weil sie nach ihrer Tätigkeit nicht mehr vorhanden sind.

Das bei geänderter Blutverteilung, der Gleisumstellung durch die Organzellen, anders Aussehende ist lediglich die *Gangart* des mitbeeinflußten Motors wie bei jeder solchen Anlage, wo an die Maschine zeitweilig geänderte Anforderungen gestellt werden. Dieser nur auf die Gangart, die Umdrehungszahl, einwirkende Einfluß der die Belastung in wechselnder Richtung umleitenden Kräfte, der Weichensteller des Zugverkehrs, ist unrichtig gedeutet worden. Man sah, daß der Motor die Umdrehungszahl änderte. Gleichzeitig erfolgte eine Umstellung im Druck und der Blutgeschwindigkeit sowie eine Größenänderung des Herzens selbst. Man führte diese Vorgänge zunächst auf Einwirkung des Motors zurück, ohne zu beachten, in welcher Reihenfolge sie abliefen. Die Druckänderung ist immer nur begleitende *Folgeerscheinung!*

Die Änderung in der Gangart der Maschine ist also, wie der Tatbestand ergibt, die *Wirkung* der durch die Umstellung in der *Weite* der Gefäßbahnen anders gewordenen *Blutgeschwindigkeit*. Sie stellt jedoch *nicht die Ursache* dieser Verkehrsänderung dar. Der Schwerpunkt des Systems ist durch Verteilung der Blutmenge zwischen Kessel und Peripherie anders gelagert (Abb. 4).

Gerät ein Auto auf Sandweg, so läuft der Motor langsamer. Der Druckzeiger steigt, der Geschwindigkeitszeiger fällt. Der Benzinverbrauch ist jedoch zunächst gleich groß. Es ist nichts geändert als die Erscheinungsform der Energie, die *Gangart* des Motors. Die zur Verfügung stehende Kraft ist gleich geblieben. Gerät das Fahrzeug wieder auf glattere Bahn, so läuft es bei gleicher dahinter stehender Kraft, also auch Benzinverbrauch, schneller. Der Druckzeiger fällt, der Geschwindigkeitszeiger steigt. Eine Änderung im Kraftverbrauch tritt erst dann ein, wenn der Lauf der Maschine bei Übergang auf andere Bahnverhältnisse durch eine neue Kraft gleichfalls geändert ist. Dann wirkt die glattere Fläche, wie an den vorher besprochenen Hilfsmaschinen des Blutumlaufes gezeigt, stromsparend auf dieser Strecke ein.

B. Die Wirkungsweise der Atmungs- und Körpermuskulatur auf die Blutverteilung.

Von allen in Betracht kommenden Organkräften werden der Atmungsbetätigung und der willkürlichen Muskulatur besondere Einwirkungen auf die Förderung der Blutbewegung zugeschrieben. Diese verwirrende, Bewegung und Änderung der Geschwindigkeit einer *bestehenden* Bewegung verwechselnde Darlegung sollte endlich unterbleiben.

Diese Gleichstellung des Vorganges der Blutverteilung, der über die fortschreitende Blutbewegung in wechselnder Ausdehnung pendelnden seitlichen Wellenzüge, mit der Vorwärtsbewegung selbst, führte, wie das bei *C. H. Schultz* deutlich ist, zur Annahme einer „selbständigen Bewegung in der Peripherie“ (S. 280). Sei es, daß im Blut selbst Eigenkräfte angenommen werden, oder daß diese im Zentralnervensystem gesucht werden (*Treviranus*, *Oesterreicher*, *Baumgärtner*), oder schließlich, daß sie in die Zellen der Gewebe verlegt werden, wie es sich *Schultz* bereits als Stoffwechselaustausch zwischen Blut und Gefäßwand vorstellt (*Oesterreicher* S. 299).

Daß diese Vorgänge lediglich zur Blutverteilung dienen und keinerlei Einfluß auf seine Fortbewegung, den Kreislaufvorgang, ausüben, zeigt einwandfrei der Blutumlauf des Kindes im Mutterleib. Er geht stets ohne diese sonst für nötig erachteten Hilfskräfte¹ vor sich, trotzdem noch die große Strecke außerhalb seines Körpers, der Weg durch die Nabelschnur bis zum Lacunengebiet der Placenta und zurück, mit bewältigt werden muß.

Erst wenn das Kind geboren ist, werden die neuen Kräfte eingestellt. Und zwar wird mit ihrem Eingreifen das Blut anders verteilt. Es wird nach dem jetzt erst tätigen Atmungsorgan, der Lunge, an Stelle der Placenta und der nun ganz anders belasteten Körpermuskulatur *umgeleitet*. Denn bisher umgab das gleichschwere Fruchtwasser den Körper des Kindes. Es schwamm darin. Jetzt unterliegt sein Körper in der spezifisch leichteren Luft dem Gesetz der Schwere².

Bis dahin nahm auch das Blut im kindlichen Körper einen anderen Weg. Es lief nur ein Teil der verbrauchten Blutmenge aus der rechten Kammer mittels der Pulmonalarterien durch die noch nicht tätigen Lungen. Der andere Teil wurde durch den Ductus Botalli der Aorta zugeführt, um dort, nach Abgang in den Nabelarterien, im Mutterkuchen aufgefrischt zu werden. Vorher war bereits durch das noch offene Foramen ovale über die Valvula Eustachii das sauerstoffreichere Blut der unteren Hohlvene aus dem rechten Vorhof zum linken und von dort zur linken Kammer umgeleitet worden.

¹ *Volkmann* sagt Haemodynamik, S. 320, dazu bereits: „Ein Beweis, daß die Respiration nicht von seiten der Mechanik, sondern des Chemismus für die Blutbewegung unentbehrlich ist.“ Desgleichen Tiere mit freiliegenden Kiemen!

² Vgl. dazu *Pflüger*, Über die Ursache der Atembewegung usw. *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.* 1868, S. 64/65.

Das eben geborene Kind steht jetzt plötzlich unter der Einwirkung des atmosphärischen Luftdruckes, der um etwa 5 mm Hg¹ höher liegt wie der Druck der es bisher umgebenden Flüssigkeit in der Gebärmutter. Gleichzeitig versiegt der Nachstrom des sauerstoffreichen Blutes durch die Nabelschnurvene, sobald der Mutterkuchen sich löst.

Das Kind ist nun gezwungen, die bisher nie benutzte Einatemsmuskulatur zu brauchen. Damit wird die Lunge durch die neu eingreifende Außenkraft der Brustkorbmuskulatur, unterstützt durch den höheren Außendruck, entfaltet und sie bleibt nun lebenslang unter seiner Einwirkung. Die bisher vollkommene Ausatemstellung der Lungen kann nie wieder erreicht werden, solange der atmosphärische Druck nicht ausgeschaltet ist (Pneumothorax).

Daß mit der Betätigung der Atmungsmuskulatur, der wechselnden Weiter- und Engerstellung des Brustkorbes, auch die dort verlaufenden Gefäße durch die geänderte Kräfteverteilung beeinflusst werden, ist nicht anders möglich. Es fließt jetzt plötzlich aus der rechten Kammer durch die Pulmonalarterien mehr Blut nach der tätigen Lunge. Dieser Abstrom dehnt sich auf den rechten Vorhof und dann weiter auf die Hohlvenen aus. Die Fassung der rechten Herzhälfte wird durch die Mehrbeanspruchung im Pulmonalgebiet heruntergesetzt. Somit wird der Druck dort geringer. Folglich muß jetzt die Membran am Foramen ovale angedrückt werden. Die Öffnung schließt sich, infolge des vermehrten Abstromes nach der rechten Kammer und des gleichzeitig verstärkten Zustromes nach dem linken Vorhof durch die Pulmonalvenen. Die Vorhöfe sind nun endgültig, und zwar durch die geänderte *Saugwirkung*, getrennt.

Der gleiche Vorgang tritt am Ductus ein. Dieser ist bereits durch Wachstumsänderung allmählich enger geworden. Der „Druck“² des Blutes von der muskelstärkeren rechten Kammer durch den Ductus nach der Aorta ist zwar ebenfalls geringer geworden, aber er bleibt noch bestehen. Was den Weg dauernd undurchgängig macht, ist gleichfalls der geänderte *Sog* in der rechten Herzhälfte, infolge der vollen Verwendung auch der zum linken Vorhof laufenden Pulmonalbahnen. Damit wird der Ductus leer. Er verklebt und wird Aufhängeband des Herzens zum Aortenbogen. Nun ist auch die rechte Kammerpumpe vom Aortenwege gelöst und im weiteren Wachstum findet die kürzere Strombahn im Zurückbleiben der rechten Kammermuskulatur ihren gemäßen Ausdruck.

Es wird bei der Geburt eine bis dahin als Nebenstrecke verwendete Gleisanlage als Vollstrecke benutzt. Dafür fällt eine andere Vollstrecke ungetätigt aus. Demgemäß wird auch die Bahnhofsanlage umgeändert, weil dort gleichfalls die Umleitung eine andere ist. An Stelle des längeren Weges außerhalb des Körpers mit dem Lacunengebiet im

¹ Die Angabe *Küstners* in Müllers Handbuch d. Geb. Bd. II, S. 577. 1889, „daß der innere Uterusdruck, welcher nach *Schatz's* Beobachtungen außerordentlich niedrig ist, im Mittel nur 5 mm Hg beträgt“, ist in dieser Fassung irrig. Es kann sich nur um den *Unterschied* gegen den äußeren Luftdruck handeln. Denn ein Außendruck von 750 mm Hg gegen nur 5 mm im Uterus würde den Leib zusammenquetschen, also schon jede Geburt unmöglich machen. Dazu *Wieloch*, Druckmessung im Uterus. Zentralbl. f. Gynäkol. 3, 27.

² Gemeint ist oft damit die *kinetische* Energie, die Blutbewegung.

Mutterkuchen ist die Hilfsmaschine des Lungencapillargebietes getreten, ebenfalls unter Ausnutzung der Saugkraft der beiden zwangsläufig gegengerichtet arbeitenden, jetzt getrennten Herzabteile, bei ihrem Kolbenhub. Zum *Umtrieb* des Blutes kommt der Körper nach wie vor mit der in der Zentrale, Herzmuskulatur, festliegenden Energie aus. Die veränderte *Verteilung* besorgte die neu eingesetzte Brustkorbmuskulatur.

Die Atembewegung hat folglich ebensowenig wie etwa die Placentarkräfte oder sonstige Zellkräfte in den tätigen Organen, irgendwelchen Einfluß auf die *Vorwärtsbewegung*¹ des Blutes! Es ändert sich nur die zeitweilig im Brustkorb verweilende Menge, also die *Verteilung* derselben im Körper während der Atemzeiten. Dazu muß alsdann jeweilig die Peripherie gegensätzlich in der Füllung der Gefäße eingestellt sein. Das Laufgewicht am Schwungrad ist auf den beiden Speichen anders festgelegt.

Mit Hilfe dieser die Umleitung bedingenden Einrichtungen kann ein teilweise stillstehender Blutzug auf dieser verstopften Strecke, *aber nur auf der jeweilig von der Teilkraft bedienten*, von neuem umgeleitet werden. Damit kann die noch nicht völlig erloschene Bewegung der Gesamtblutmenge, des Schwungrades und des Kessels, wenn durch den gleichzeitig geänderten Rücklauf die Stockung auf der Teilstrecke behoben ist, ebenfalls wieder in Gang kommen. Jedoch nur dann, wenn der Zug nicht völlig still steht, sondern nur teilweise durch eine hemmende Last in der freien Bewegung behindert war.

Alsdann war an Stelle der Bewegung der belastende Innendruck in Erscheinung getreten, der nun wieder durch die Zellkräfte der Gleisumstellung in Bewegung übergeführt ist.

Deshalb ist künstliche Atmung ein wertvolles Mittel zur Wiederbelebung, d. h. der Behebung einer Verkehrsstockung im Blutlauf, unter der Vorbedingung, daß der Motor noch anspringt. Die Vorwärtsbewegung des Blutes wird jedoch dadurch nicht berührt. Es werden nur Hindernisse einer geordneten Verteilung durch Umleitung auf leerere Straßen weggeschafft, so daß die vorher gehemmte Bewegung wieder sichtbar in Erscheinung tritt.

In gleicher Weise, aber weniger sicher, kann eine abnehmende Blutbewegung, falls die Herzbewegung nicht ganz ausfällt, durch Umleitung, Wegschaffen einer verkehrshindernden Last, auch mit Betätigung

¹ „Alle Beobachtungen und Experimente, welche zugunsten der bisherigen Ansicht angeführt wurden, beweisen mehr nicht, als daß die Blutbewegung in einem gewissen Abschnitte des Gefäßsystems vorübergehend eine Beschleunigung erfährt“. Volkmann, Haemodynamik, S. 321, dazu auch S. 320. — Man vergleiche dazu ferner die klare Widerlegung der Barryschen Hypothese von der intrathorakalen Ansaugung durch die Atmung als blutbefördernde Kraft durch Wedemeyer, l. c., S. 315ff. und 342 oben.

der Körpermuskulatur oder anderer verteilend wirkender Zellkräfte, z. B. auf dem Wege der Hautreize, angefacht werden, weil eine mit-helfende, aber nur die Verteilung des Blutes ändernde, das Laufgewicht der venösen und arteriellen Menge auf der entgegengesetzten Speiche des Schwungrades Blutmasse anders verlegende Kraft, „belebend“ als Verkehrspolizei eingreift. Das hat Verwirrung gestiftet, insofern als man annahm, daß diese nur *verteilungsändernde*, die Last verschiebende Kraft als neue Energiequelle für den Bewegungsmotor des Blutes eingriffe. Es handelt sich vielmehr lediglich um äußere Teilkräfte, welche auf eine *vorhandene* Bewegung richtungsbestimmend einwirken.

Die Blutverschiebung kann demnach z. B. im Lungengebiet, nicht nur nach einer Richtung ablaufen. Es muß immer das venöse Gebiet in gleicher Größe wie das arterielle beteiligt sein. Es muß aber ebenso eine entsprechende Blutmenge in anderen Organen, also hier den peripheren, in entgegengesetzter Richtung umgeleitet sein. Sonst würde das Blut allmählich unter Druckentwicklung an Stelle der Bewegung anstauen. Die Blutbewegung wäre zu Ende, weil alsdann bei immer stärker auftretendem Innendruck notwendig eine Verlangsamung der Blutbewegung geschähe. *Tigerstedt*¹ wundert sich darüber und sagt in deutlicher Verwechslung der Begriffe: kinetische Energie = bewegende Kraftäußerung = äußerem Druck und potentielle Energie = hemmende Widerstandsäußerung = innerem Druck: „Trotz dem schönsten Druck ist die Leistungsfähigkeit des Kreislaufes entschieden verringert und die Organe bekommen unzweifelhaft zu wenig Blut!“ Den gleichen Fehler begeht *Hasebrök*², wenn er sagt: „Aber trotz erhöhtem Druckes verlangsamte sich die Bewegung und stand schließlich still“.

Der Tatbestand der Versuche³ entspricht vollkommen den hier dargelegten Überlegungen. Der Ablauf aller dieser Vorgänge ist folglich nur möglich, wenn das in einer Richtung strömende Blut in immer gleicher Menge wieder entfernt wird, also nicht einseitig „gedrückt“ wird. Es ist demnach zum Zustandekommen einer geordneten Verteilung ebenfalls das Eingreifen einer gleichzeitigen *Saugwirkung* im Venengebiet nötig, welche in gleich großer Menge, wie der Abstrom nach vorn, vor sich geht. Diese Forderung ist durch den Einbau des Herzens in den Herzbeutel, in der alsdann erfolgenden gegenteiligen *Wandbewegung* beider Abteile, als Tatsache nachgewiesen. Die „Druck-

¹ Physiologie des Kreislaufes Bd. III, S. 97, Ende des § 115. 1921.

² *Hasebrök*, Über den Kreislauf des Blutes, S. 23. Was er weiterhin als das „Überzeugende“ für eine Selbständigkeit der peripheren Kräfte anspricht, ist nichts weiter als das hier besprochene Wegschaffen der hemmenden Last durch eine geänderte Verteilung. *Deshalb* tritt an Stelle des Druckes alsdann Bewegung auf.

³ *Hauffe*, Physiologische Grundlagen der Hydrotherapie. Fischers med. Buchhandl., Berlin 1924.

pumpe“ verhinderte jede Blutverteilung, wie sie auch seine Bewegung hemmen würde.

Den weiteren augenscheinlichen Beweis, daß die Atmung nur die *Verteilung* des bereits fließenden Blutes ändert, also nur die Erscheinungsform der potentiellen und kinetischen Energie und nicht die dahinter stehende Motorkraft, liefert das Bild der peripheren Massenkurve bei ihrer Betätigung. Die durch die Einatmung bewirkte Senkung der Kurve geht mit der nachfolgenden Ausatmung zur Anfangshöhe zurück. Die Kurve läuft, nur unterbrochen durch diese zeitweilige Schwankung, nachher unverändert weiter. Die Verschiebung im Kesselgebiet der Lunge wird also ausgelöst durch eine gleichgroße Anforderung im Gebiet der peripheren Körpermuskulatur. Damit sind die beiden Veränderungen gegenteilig *ausgeglichen*, wie das Bild der gleichzeitig aufgenommenen Kurve des Leibeshöhlengebietes einwandfrei nachweist. Diese zeigt immer den entgegengesetzten Verlauf wie die periphere Kurve.

Die Möglichkeit, daß ein sich zusammenziehender Muskel das Blut aus seinen Venen ausquetscht und bei Vorhandensein einer Klappe in der Strömungsrichtung hebt, ist damit hinfällig, daß die kleinen in der Muskulatur laufenden Venen klappenlos sind. Das Blut würde vielmehr gleichzeitig vorwärts und rückwärts gedrückt werden, folglich der Durchlauf gehemmt sein. Der gleiche Vorgang müßte auch an den Arterien ablaufen, es käme kein Blut zu. Ebenso an den Capillaren vor allem. Der Durchlauf wäre *gesperrt*. Da ferner die Gefäße im Bindegewebe verlaufen, und zwar in der Längsrichtung der Fasern, so werden sie schwerlich von der Muskeltätigkeit berührt.

Was an Veränderungen im Herzgefäßgebiet dabei beobachtet ist und fälschlich als Blutbewegung erachtet wurde¹, ist gleichfalls nur eine geänderte Umleitung des bereits fließenden Blutes, wie es die Schwankung der peripheren Massenkurve zusammen mit der der Leibeshöhle bei Muskelbetätigung zeigt. Genau so wie die Atmungs- und die Körpermuskulatur² wirkt *jeder andere* Außen- oder Innenreiz im Angriff auf die Zellkräfte der Organe nur *blutverteilend*, nicht aber *blutbewegend*. Das gilt in gleicher Weise für die von *Rosenbach*

¹ Daß die Muskeltätigkeit nicht den Blutumlauf fördert, widerlegt bereits *Oesterreicher* l. c. S. 180 unter Nr. 2, 6.

² Bei der Atmung wird mit Betätigung der nur vorhandenen Einatemmuskulatur die elastische Gewebfeder gespannt. Diese Elastizitätskraft besorgt neben der Schwerewirkung allein die Ausatmung, ohne Muskelbetätigung. Durch Mithilfe der Bauchmuskulatur und der der Glieder kann die Ausatmung noch weiter betätigt werden. Bei der Körpermuskulatur wird der zusammengezogene Muskel durch Betätigung des Antagonisten (Beuger-Strecker) in die Ausgangsstellung zurückgebracht, genau wie bei der Herzmuskulatur (Vorhof-Kammer).

und anderen¹ vor und nach ihm als „Triebkräfte“ des *Umlaufes* zu Unrecht eingesetzten peripheren Zellkräfte. Sie saugen am arteriellen Gebiet ebensoviel nach den Capillaren wie sie am venösen Teil im Rücklauf hemmen. Sie *verteilen* nur das fließende Blut anders im Dienste der arbeitenden peripheren, im Capillargebiet wirksamen Kräfte der Organe.

Nur das Herz hält das Blut in Bewegung. Aber es verteilt nicht die fließende Blutmenge nach den Organen. Dafür braucht der Körper die Hilfsmaschinen der Zellkräfte, welche durch einen äußeren oder inneren Reiz zur Veränderung der Gefäßweite angesetzt werden. Diesem ersterem, die *Blutgeschwindigkeit* änderndem Vorgang folgen alle anderen erst nach.

Zusammenfassung.

1. Der Blutkreislauf, die Vorwärtsbewegung des Blutes, wird durch das Herz, durch die zwangsläufig gegengerichtete Bewegung seiner Wände in beiden Abteilen, Vorhof und Kammer, als *alleinigem* Motor unterhalten. Die Gegenbewegung der beiden Abschnitte ist erzwungen durch den Einbau des Herzens in die abgeschlossene Kapsel, den Herzbeutel. Somit wirkt das System, Herzbeutel und Herz, als gleichzeitig arbeitende *Saug- und Druckpumpe*. Die Sicherung des Ablaufes erfolgt durch das Stellwerk des Reizleitungssystems.

2. Auf dem Strömungswege wird die *erzielte Bewegung* durch eine Reihe vom Motor betätigter Hilfsmaschinen beeinflusst. Diese haben die Aufgabe, die einmal erteilte Geschwindigkeit *möglichst bis zum Ende des Rücklaufes zu halten*. Diese Kräfte gehen in der damit geleisteten Arbeit auf. Die bisher angenommene systolische Aortendehnung besteht nicht. Die Capillaren sind kein Widerstandsgebiet für die strömende Blutmenge.

3. Durch Außen- oder Innenkräfte ausgelöst, die auf die Organzellen einwirken, wird die *Verteilung* des bereits fließenden, vom Motor in Bewegung gehaltenen Blutes im Dienste der Zellatmung geändert. Diese Organkräfte leisten die Arbeit der Gleisumstellung an den Gefäßbahnen, die Änderung der Weite, und gehen darin ebenfalls auf. Sie müssen deshalb ebenso wie die ersteren vom Motor, und zwar mit der *Saugwirkung* jedesmal neu aufgefrischt werden, um auf die Dauer wirksam zu sein.

¹ „Zu den unbrauchbaren Hypothesen, welche man ersann, um eine Hilfskraft für das Herz zu gewinnen, die gar nicht nötig war, gehört auch die, daß das organische Gewebe das Blut an sich zöge.“ Volkmann Haemodynamik S. 334/335. 1850. — Eine übersichtliche Zusammenstellung der Autoren und Anschauungen über die Kräfte der Blutbewegung befindet sich bei Baumgärtner, Beobachtungen über die Nerven und das Blut. Freiburg 1830, S. 89ff.