

# Die Verteilung des Gefäßinhalts beim überlebenden menschlichen Organismus und beim Versuchstier unter verschiedenen physikalischen und chemischen Bedingungen.

Von

Priv.-Doz. Dr. Arthur Hintze,

Assistent der Chirurgischen Universitätsklinik (Geheimrat Bier) Berlin.

Mit 18 Abbildungen im Text und 8 Tafeln.

(Eingegangen am 5. August 1930.)

## Inhalt.

- I. Teil. Ziel und Wege der Untersuchung (S. 526).
    - A. Leitende Gesichtspunkte (S. 526).
    - B. Methodik und Technik (S. 529).
      1. Technik der Injektionsmethode kleiner Mengen (S. 531).
      2. Technik der Versuche mit einmaliger Durchströmung (S. 536).
  - II. Teil. Die Daten über die Verteilung des Blutes und die Untersuchungsbefunde (S. 542).
    - A. Übersicht der Füllungszustände der Gefäßräume; die Inhaltsverschiebungen und die Durchströmungsgrößen (Tafel I und II) (S. 542).
    - B. Die Beobachtungen (S. 560).
      1. Versuche am lebenden Tier mittels Einspritzung kleiner Mengen eines Testfarbstoffs (Methode I) (Tafel III und IV). — Zusammenfassung (S. 577).
        - a) Durchströmungsgeschwindigkeit und Durchströmungsgröße auf den verschiedenen Kreislaufbahnen (S. 560).
        - b) Verhalten einzelner Abschnitte des Gefäßsystems gegenüber Reizen (S. 575).
      2. Versuche am Überlebenden — Durchströmung mit gefärbten kolloidalen Lösungen (Methode II) (Tafel V—VIII) (S. 579).
        - a) Hydrodynamische Bedingungen (S. 579). — Zusammenfassung (S. 608).
        - b) Hydrostatische Bedingungen (S. 613). — Zusammenfassung (S. 623).
        - c) Thermische Einflüsse (S. 624). — Zusammenfassung (S. 647).
        - d) Chemische bzw. hormonale Einflüsse (S. 649). — Zusammenfassung (S. 688).
- Schlußsätze (S. 691).

## I. Teil.

### Ziel und Wege der Untersuchung.

#### A. Leitende Gesichtspunkte.

Daß grundlegende *Selbstregelungsvorgänge am Gefäßsystem*, die für die Erhaltung der Gewebe notwendig sind, *auch ohne Nerven einfluß* zustande kommen, hat Bier in seiner Arbeit über den Collateralkreislauf gezeigt. Daß andererseits das Gefäßsystem in vielfacher Hinsicht weitgehend unter dem Einfluß des Nervensystems steht, ist eine alltägliche

Erfahrung. Beobachtungen über Erröten und Erblassen aus *psychischen Ursachen* stehen jedermann zu Gebote; über den Einfluß von Störungen im Nervensystem auf das Verhalten der Gefäße bestehen seit langem ärztliche Erfahrungen. Die sehr zahlreichen Beobachtungen an Kriegsverletzten haben die Annahme, daß von den *vom Rückenmark ausgehenden Nerven* nur eine verhältnismäßig geringe Bedeutung für die Funktion des Kreislaufs zukommt, durchaus bestätigt; die neueren Untersuchungsmethoden der Capillarmikroskopie am Lebenden haben typische Veränderungen im Bau und Verhalten der Capillaren bei einer Anzahl von Krankheiten erkennen lassen, die uns unmittelbar als eine mangelhafte Leistung des *Sympathicus* entgegentreten oder doch, soweit es sich um Organkrankheiten (Nephritis) oder Stoffwechselkrankheiten (Diabetes) handelt, offenbar mit einer solchen Dysfunktion in naher Beziehung stehen. Schließlich haben die Versuche, den *Sympathicus* unmittelbar in den Bereich chirurgischer Maßnahmen zu ziehen, uns Beobachtungsmaterial am Menschen darüber zur Verfügung gestellt, welche Wirkung die Ausschaltung von Abschnitten des sympathischen Systems auf die abhängigen Gefäße hat. Die Verfolgung der Operationsresultate hat uns gezeigt, daß in vielen Fällen durch eine Art Selbstregulung die Gefäße ihr früheres funktionelles Verhalten wieder annehmen, auch dort, wo eine Regeneration der betreffenden sympathischen Ganglien ausgeschlossen erscheint.

Die sehr zahlreichen *physiologischen Untersuchungen* am lebenden Versuchstier *über den Einfluß des Nervensystems* auf das Verhalten der Gefäße haben uns eine Fülle von Beobachtungstatsachen geliefert, aus deren vereinigter Betrachtung unter Übertragung auf den Menschen (bei entsprechender Berücksichtigung des Analogieschlusses) sich die Grundlinien dafür abzeichnen, nach welchem Plane das nervös geleitete Zusammenspiel beim Menschen geordnet ist. Weiterhin liegen zahlreiche Untersuchungen darüber vor, welche Wirkungen gewisse physikalische und chemische Reizmittel, insbesondere bestimmte Arzneimittel, auf das Gefäßsystem ausüben; bei diesen Untersuchungen wird in der Regel eine Vermittlung durch das Nervensystem ausdrücklich in Anspruch genommen oder doch stillschweigend vorausgesetzt.

*Für den Chirurgen sind diejenigen Reaktionen des Gefäßsystems von besonderem Interesse; bei denen die Einflüsse des Nervensystems belanglos oder jedenfalls nicht von ausschlaggebender Bedeutung sind* (reaktive Hyperämie, Wärmehyperämie, Entzündungshyperämie, Hyperämie wachsenden und regenerierenden Gewebes; ferner die Ausbildung des Seitenbahnenkreislaufes). Unter „Einflüssen des Nervensystems“ können füglich nur solche Einwirkungen verstanden werden, welche sich auf Nervenleitungsbahnen zum Gefäß hin vollziehen oder von einem Gefäßabschnitt auf den anderen übertragen werden; von autonomen Ganglien, welche der Wand einzelner kurzer Gefäßabschnitte eingewebt

sind, nur örtliche Funktion haben und von dem betreffenden Gefäßabschnitt funktionell und mehr oder minder auch anatomisch nicht zu trennen sind, kann hierbei abgesehen werden, da sie unter äußeren Einwirkungen dasselbe Schicksal wie die Gefäßwand selbst erleiden und ihre Funktion von der der selbsttätigen Gefäßwand mit bisherigen Mitteln nicht zu unterscheiden ist.

*Versuche an frisch abgesetzten Gliedmaßen*, wie sie mir aus dem Klinikmaterial zur Verfügung standen, ließen erkennen, daß am überlebenden Organismus, auch des Menschen, eine Reihe von wichtigen Reaktionen der Gefäße zu erzielen sind, welche man gemeinhin nur am Lebenden zu sehen erwartet. Diese Versuche wurden auch auf den *menschlichen Gesamtorganismus* übertragen, indem eine größere Anzahl von Leichen Neugeborener hinsichtlich der Gefäßreaktion untersucht wurde. Wir können voraussetzen, daß bei derartigen amputierten Gliedmaßen und bei Leichen eine Einwirkung des Nervensystems auf die Gefäße, in der obenangeführten Begrenzung des Begriffs einer Nervenwirkung, nicht statthat, daß also alle erzielten Reaktionen als ohne Nerveneinfluß zustande gekommen anzusehen sind. Die Versuche wurden weiterhin auf eine Reihe von Versuchstieren im lebenden, sterbenden und überlebenden Zustande ausgedehnt, um festzustellen, welche am toten menschlichen Körper nachzuweisenden Reaktionen in gleicher Weise am Tier zu beobachten sind und wie die betreffenden Vorgänge bei zunehmender Annäherung an die Verhältnisse des Lebenden sich verhalten.

Wenn *das überlebende Gefäßsystem* eine ganze Anzahl von Reizarten, wie sie an den lebenden Organismus herantreten, gesetzmäßig beantwortet, so müssen wir annehmen, daß die gleichen Einflüsse auf die Gewebe des *lebenden Organismus* zunächst in gleicher Weise wirken müssen; finden wir am lebenden Organismus veränderte — verstärkte, abgeschwächte oder gegensätzliche — Reaktionsweisen, so muß man die Abweichungen auf die höheren biologischen Einflüsse zurückführen, wie sie nur beim geordneten Zusammenspiel der Vorgänge im lebenden Organismus statthaben. Ein volles Verständnis *der übergeordneten Einflüsse des Nervensystems* auf die Gefäßregelung kann nur erzielt werden, wenn jene grundlegenden, ohne Beteiligung von Nervenleitungsbahnen eintretenden Regulationen genügend bekannt sind.

Das Ziel der Untersuchung war die Feststellung:

1. Inwieweit jegliche funktionelle *Hyperämie als ein Fundamentalvorgang auch ohne Einfluß des Zentralnervensystems* zustande kommen kann.

2. Wie sich bei einer solchen durch die experimentellen Umstände *einseitig beeinflussten Verteilung des Gefäßinhaltes* (örtlich gesteigerte oder eingeschränkte Versorgung) *das übrige Gefäßsystem verhält*.

Als Grundlage zur Beurteilung der Versuche hinsichtlich der Gefäßreaktionen erwies es sich als erforderlich, bei einer Anzahl von Versuchen

zunächst das *allgemeine Verteilungsschema* in den Kreislauf eingeführter Flüssigkeitsquanten an den betreffenden Versuchsubjekten zu ermitteln und festzustellen, welchen Einfluß besonders *hydrodynamische und hydrostatische Verhältnisse* auf die Verteilung ausüben. Von den verschiedenen Arten der Hyperämie wurden im wesentlichen diejenigen einer näheren Untersuchung unterzogen, bei denen das den Anstoß gebende Moment *einheitlicher* Natur war und dementsprechend physikalisch oder chemisch bestimmbar und auch dosierbar (reaktive Hyperämie nach Abschnürung; Wärmehyperämie; durch chemische Stoffe, besonders Nährstoffe und Abbauprodukte bzw. Hormone bewirkte Hyperämie). Die Blutüberfüllungen, welchen eine *komplexe*, in ihren Einzelheiten bisher nicht genügend greifbare Ursache zugrundeliegt (Entzündungshyperämie; Wachstums- und regenerative Hyperämie; kollateraler Ausgleich von Kreislaufstörungen) werden in dieser Arbeit nur anhangsweise behandelt werden.

Der Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit waren die Untersuchungen von Bier über „Die Entstehung des Collateralkreislaufs“<sup>1</sup>. Die in diesen Untersuchungen zum Ausdruck gebrachten und experimentell begründeten Anschauungen über die *Selbstregelung des Kreislaufs* bei krankhaften Störungen haben weiterhin der Monographie Biers über die „Hyperämie als Heilmittel“<sup>2</sup> zur Unterlage gedient. Für den Chirurgen ist die Betrachtung des Ablaufs der Erscheinungen nur ein Mittel, um die Vorgänge nach Möglichkeit beherrschen zu lernen, die nützlichen fördern und hervorrufen zu können, die schädlichen einzuschränken und hintanzuhalten. Bier hat dies Bestreben in der erstgenannten Arbeit in die Worte gekleidet: „Es ist seit langem ein Lieblingsgedanke von mir gewesen, das Blut im Körper lenken zu können, wohin ich es haben wollte“. Um diesem Problem der *Lenkung des Blutes* zu dienen, sind die folgenden Untersuchungen angestellt.

## B. Methodik und Technik.

Will man die *Verteilung* einer das Gefäßsystem durchströmenden Flüssigkeit vergleichend an den Organen eines Gesamtorganismus oder eines gesamten Körperabschnittes untersuchen, so ist es nötig, daß die *Durchströmung*, nachdem sie unter den gewünschten Bedingungen des Versuchs bis zu einem gewissen Zeitpunkte stattgefunden hat, *unterbrochen* und der nun vorhandene *Zustand festgehalten* wird. Eine quantitative Messung einzelner Durchströmungsvolumina kommt bei dieser Untersuchungsmethode nicht in Frage; man erhält aber *Maßstäbe für die relative Versorgung der einzelnen Organe*. Die Kenntnis der relativen

<sup>1</sup> Bier: Die Entstehung des Collateralkreislaufs. Teil I: Der arterielle Collateralkreislauf. Virchows Arch. 147, 256 u. 444 (1897). Teil II: Der Rückfluß des Blutes aus ischämischen Körperteilen. Virchows Arch. 153, 306 u. 434 (1898).

<sup>2</sup> Bier: Hyperämie als Heilmittel, 6. Aufl. Leipzig: F. C. W. Vogel 1907.



Versorgung ist für die klinische Fragestellung, besonders in der Chirurgie, von größerer Bedeutung als die absolute Durchströmungsgröße.

Es gibt keine Methodik der künstlichen Durchströmung von Blutgefäßen, bei welcher nicht der Zustand der Blutgefäße unter dem Einfluß der Durchströmung eine ständige Veränderung erlitte, es sei denn die Durchströmung mit dem im Zustande des Lebens erhaltenen Blute des Tieres selbst; besonders die Capillaren werden regelmäßig sehr rasch durchlässig und das eintretende Ödem hindert die normale Durchströmung der zu- und abführenden Gefäße. Je kurzzeitiger daher eine Durchströmung ist, desto weniger werden die Gefäße durch die Durchströmung an sich beeinflußt. *Die beste Form der experimentellen Durchströmung ist also die, welche sich auf einen einmaligen Kreislauf beschränkt.* Für das Studium der arteriellen Durchströmung und capillaren Füllung ist es am vorteilhaftesten, die einmalige Durchströmung auf diese arterielle Hälfte des Kreislaufs einzuschränken; nur wenn die Wirkung einer Stauung auf den Durchströmungsvorgang untersucht werden soll, muß die Durchströmung auf den gesamten Kreislauf ausgedehnt werden, da am Lebenden Stauungswirkungen hauptsächlich in Venen und Capillaren vorkommen und ein Abflußhindernis innerhalb des Venensystems ihre Ursache ist. Findet keine Stauung beim Umlauf statt, so ist die durch die Venen abfließende Flüssigkeitsmenge im allgemeinen der durch die Arterien zugeführten gleichzusetzen. — Zwischen dem Zeitpunkt, zu welchem die vom Herzen am meisten entfernten Körperabschnitte sowie die erfahrungsgemäß am langsamsten durchströmten Organe capillär gefüllt sind — und dem Zeitpunkt, zu welchem die Capillarfüllung an dem bereits vom Aortenanfang aus versorgten Organ (Herzwand) stattgefunden hat, finden sich alle Stadien der bei einem halben Kreislauf sich abspielenden Füllungszustände der einzelnen Organe. Indem wir die Durchströmung innerhalb dieses Zeitraums zu diesem oder jenem Zeitpunkt unterbrechen, können wir das jeweilige Füllungsbild festhalten und vergleichend von Organ zu Organ betrachten.

Diejenige *Methodik*, welche den physiologischen Verhältnissen am meisten nahe kommt, besteht darin, daß man beim Versuchstier *in das schlagende Herz* eine *kleine Menge* einer stark färbenden Lösung oder Aufschwemmung einspritzt und nach einem bestimmten Zeitabschnitt das Herz ruhig stellt und hiermit den Kreislauf, abgesehen vom „Nachfließen“, unterbricht. Eine neutrale Flüssigkeit, welche der Viscosität und der Transsudationsfähigkeit nach dem Blutserum nahesteht, ist eine 5%ige Gummiarabicumlösung; als Färbungszusatz empfiehlt sich das Methylenblau, welches auch, soweit eine Transsudation durch die Gefäße stattfindet, mit dem Vehikel diffundiert und seine Anwesenheit anzeigt. Als corpusculärer Zusatz, der nicht durch die Gefäßwände diffundieren soll und andererseits die Größe der Blutkörperchen nicht überschreiten soll, dient am besten die zudem durch ihre schwarze

Farbe gut kenntliche chinesische Tusche. Kombiniert man die Gummi-arabicum-Methylenblaulösung mit einem Tuschezusatz, so kann man gleichzeitig feststellen, wo der nicht diffundierende und der diffundierende Anteil des Einspritzungsmittels geblieben ist. Die „physiologische“ Methodik der Injektion kleiner Mengen eines Farbkontrastmittels in das schlagende Herz ist besonders für die vergleichende *Ermittlung des Versorgungszustandes der im Durchschnitt verhältnismäßig gut versorgten und demgemäß am schnellsten durchströmten Organe* zu verwenden. Die im Sinne der Physiologie am besten durchströmten Organe sind diejenigen, welche im Verhältnis zu ihrem Gesamtgewicht das größte Durchflußvolumen in der Zeiteinheit aufweisen; dieser Begriff deckt sich im allgemeinen mit dem von Organen, welche das reichlichste arterielle Irrigationssystem besitzen, da die Durchströmungsgröße nur durch rasche und reichliche, arterielle Durchströmung gehoben wird und durch langsames Weiterfließen in weiträumigen Venenbahnen nicht im positiven Sinne beeinflusst werden kann. Für die vergleichende Betrachtung langsamer versorgter Organe ist diese Methodik des Verbleibs kleinster Mengen weniger verwendbar, da die geringe Menge der Kontrastfarbe nach rascher Rückkehr aus den kürzesten Kreislaufbahnen ins Herz durch wiederholte Mischung mit dem Blute nicht mehr zu erkennen ist. Eine imbibitionsfähige Kontrastfarbe wird außerdem auf den durchströmten Gefäßbahnen zum Teil verbraucht, es gelangt also von einer kleinen Anfangsmenge nicht mehr viel zu den langsamer versorgten Organen.

Eine *andere Methodik*, welche zwar weiter von den physiologischen Verhältnissen abweicht, aber die Füllungszustände aller Organe, also auch der verhältnismäßig langsam durchströmten zu vergleichen gestattet, ist die der Durchströmung des Gefäßsystems mit einer solchen Menge der genannten Farbflüssigkeiten, wie sie zur *einmaligen Füllung bzw. kurzzeitigen Durchströmung des gesamten Gefäßsystems* ausreicht. Diese Methode ist nur durchführbar unter der Agone (Tierversuch) oder nach dem Tode (auch am Menschen). Ihr Hauptwert beruht darin, daß man *symmetrische* Organe oder Körperabschnitte, die man auf einer Körperseite unter bestimmte (hydrodynamische, hydrostatische, thermische, chemische) Bedingungen des Versuchs gestellt hat, in bezug auf die unter diesen Umständen eintretenden verschiedenen Füllungszustände der Gefäße, — am *Gesamtkörper* also die Verteilung einer in einem bestimmten Zeitraum hindurchfließenden gesamten Durchströmungsmenge, *vergleichend* untersuchen kann, und zwar *am Menschen selber*. Bei dieser Versuchsanordnung stehen die symmetrischen Abschnitte unter den gleichen Bedingungen des Drucks; die Viscosität der Durchströmungsflüssigkeit, welche bei Wärmeversuchen in den erwärmten Körperabschnitten einen anderen Wert annimmt als in den nicht erwärmten, wird jedenfalls nicht stärker beeinflusst als beim normalen Blut. Für nicht symmetrische Körperabschnitte oder Organe ist nur

der Vergleich von Individuum zu Individuum möglich; die geringe Prägnanz einer solchen Vergleichsmethode muß durch die Heranziehung einer größeren Zahl von Individuen wieder wettgemacht werden. Da diese zweite Methodik sich einmal in der Agone bei noch schlagendem Herzen, ferner aber auch nach soeben eingetretenem Tode und schließlich mehr oder minder lange Zeit nach erfolgtem Tode anwenden läßt, gestattet sie die Unterschiede festzustellen, welche die Reaktionsweise des noch eben lebenden und des überlebenden Gefäßsystems aufweist.

Eine *dritte Methodik* besteht in der *Injektion von Gefäßen des Gesamtorganismus* oder ganzer Körperabschnitte, die sich unter den genannten vergleichenden Versuchsbedingungen befinden, *mittels einer im Röntgenbilde sichtbaren Kontrastflüssigkeit*. Als Kontrastmittel kommt für diesen Zweck im wesentlichen Mennige oder Quecksilberoxyd in Betracht, welches sich mit feinsten Kreide als Aufschwemmung in einer Gelatinelösung befindet. Ein sehr stark schattengebendes Mittel ist erforderlich, um eine Abbildung der feinsten Gefäße zu erhalten; ein Mittel wie das Tetrabrom, welches sich ohne Nachteile sogar dem lebenden Blut zumischen läßt und aus diesem Grunde sich als den physiologischen Verhältnissen am besten entsprechend empfehlen würde, ist wegen seiner geringen Schattengebung für den vorliegenden Zweck unbrauchbar; es kann nur für die Darstellung größerer Gefäße Verwendung finden und ermöglicht, vergleichend mit jenen anderen Kontrastmitteln an symmetrischen Körperabschnitten eingespritzt, ein Urteil, inwieweit etwa jene stark schattengebenden, aber weniger „physiologischen“ Kontrastmittel durch ihre chemische Beschaffenheit die Gefäße beeinflussen. Die genannten *metallischen Kontrastmittel gelangen bis in die Präcapillaren*; sie treten infolge der Größe der Teilchen nicht in die Capillaren hinein und somit auch nicht in das venöse System über. Dieser Umstand hat den Vorteil, daß der Befund des Röntgenbildes sich als reine Arterienfüllung oder, falls venöse Gebiete retrograd injiziert werden, als reine Füllung dieser Systeme darstellt. Wenn ein Kontrastmittel auch in die Capillaren übertritt, so bilden sich die Organe als mehr oder minder homogene Schatten ab, wie man sich bei den Einspritzungen mit einer Tetrabromlösung überzeugen kann; würde man mit dem stärker schattengebenden metallischen Kontrastmittel die capillare Füllung erzielen, so würde das Bild der zuführenden Gefäße, welches uns bei den mikroskopischen, vergleichenden Beobachtungen am Röntgenbilde als Maßstab der jedesmaligen Versorgung dient, überdeckt werden.

Ein Nachteil der mit der Undurchgängigkeit der Capillaren für die metallischen Kontrastmittel verknüpft ist, beruht darin, daß die eingeführte Kontrastflüssigkeit allenthalben, sobald die Präcapillaren erreicht sind, zum Stillstand kommt, und daß daher bei fortgesetzter Füllung ein Rückstau der Massen in den zuführenden Gefäßen stattfindet. Von

diesem Zeitpunkte an vollzieht sich also nicht mehr eine Durchströmung der gesamten Bahn, sondern nur noch eine reichlichere Nachfüllung der bis dahin durchströmten Gefäßabschnitte. Zur Annäherung an die den physiologischen entsprechenden Verhältnisse ist es daher erforderlich, daß man die Einspritzung unterbricht, sobald die Präcapillaren erreicht sind. Dies ist allerdings nur in angenäherter Weise durchzuführen, da die kleinen Gefäße verschiedener Organe je nach deren Lage zum Herzen früher oder später erreicht werden, so daß der Rückstau an den einzelnen Hauptgefäßen früher oder später einsetzt. In einem elastischen Röhrensystem, wie es im Blutgefäßsystem vorliegt, muß sich jedoch der Druck und ebenso der Rückstau an den zentralen Gefäßen rasch ausgleichen. Immerhin wird, bis die letzten präcapillaren Gebiete erreicht sind, eine leichte Überfüllung der zentralen Gefäße eingetreten sein, was sich auch dadurch kundgibt, daß man gegen Schluß der Einspritzung den Druck regelmäßig über den Blutdruck hinaus steigern muß, wenn eine weitgehende Füllung der feineren Gefäße erreicht werden soll. Beim Vergleich verschiedener Füllungsstadien vom *gleichen* Individuum kann man sich aber überzeugen, daß die durch den mäßigen Überdruck bewirkte Erweiterung der großen Gefäße nicht erheblich ist. Immerhin ist zu beachten, daß die im Röntgenbilde sich darstellenden Durchmesser zentraler und peripherer Gefäße unter Berücksichtigung dieser Umstände betrachtet und nicht ohne weiteres als die physiologischen genommen werden dürfen. Für die bei der vorliegenden Methodik im wesentlichen benutzte vergleichende Betrachtung symmetrischer Organe ist eine leichte, gleichmäßig wirkende Überfüllung des Gefäßsystems ohne Belang. Für den Vergleich von einem Individuum zum anderen ist es natürlich erforderlich, daß nur Individuen von annähernd gleichem Gewicht und Körperbau, die mit einer gleichen Flüssigkeitsmenge injiziert sind, hinsichtlich der Füllungszustände der Gefäße unter den verschiedenen Versuchsbedingungen miteinander verglichen werden. Bei jeder der beiden Untersuchungsmethoden beruht die Möglichkeit des Vergleichs in der Beobachtung analoger Gefäßgebiete, die unter denselben Verhältnissen des Druckes gefüllt werden, sich aber gemäß den verschiedenen physikalischen und chemischen Bedingungen, denen sie unterstellt worden sind, in verschiedenem Maße füllen. *Hinsichtlich des Vergleichs* ist also die *Wiedergabe im Röntgenbilde eine exakte Darstellung* der relativen Füllungsverhältnisse; aber auch hinsichtlich der absoluten Gefäßweiten bietet die Darstellung keine erheblichen Abweichungen gegenüber den physiologischen Verhältnissen. Denn es bestehen, wie die folgenden Untersuchungen zeigen werden, auch am überlebenden Organismus noch in weitgehendem Maße die Tonusverhältnisse des Lebenden; beim Lebenden aber ist die Weite des Gefäßrohrs, wenigstens an den Arterien und Capillaren, im wesentlichen von dem Tonus des betreffenden Gefäßes abhängig und kaum von dem im Gefäßrohr herrschenden

Druck. Der Druck kann nie den Tonus überwinden, wohl aber der Tonus den Druck. Andererseits ist die Gefäßweite vollständig von solchen Einflüssen abhängig, die den Gefäßtonus ändern. Dies sind am Lebenden Einwirkungen seitens des Sympathicus und unmittelbare *Einwirkungen physikalischer und chemischer* (nutritiver, toxischer, hormonaler) *Faktoren*. Die letzteren *beherrschen am überlebenden Gefäßsystem den Gefäßtonus* und damit die Gefäßweite ebenfalls in so vollkommenem Maße, daß auch hier die Einwirkung des Innendrucks auf den Gefäßdurchmesser für den Füllungsgrad der Gefäße nur unerheblich ist.

Mischt man der im Röntgenbild sichtbaren Kontrastmasse *Methylenblau* hinzu, so gelangt eine gewisse Menge des wässerigen bzw. kolloidalen Vehikels mit dem Methylenblau bis in die Capillaren und wird sofort oder nach einigem Zuwarten auch an der Haut sichtbar. In dieser Weise *läßt sich auch bei der vorliegenden Methodik die capillare Füllung und die Transsudation für die unmittelbare Betrachtung darstellen*; die fleckweise und strichweise erfolgende Ausbreitung des Capillarinhaltes auf Oberflächen und in Querschnitten kann beobachtet und mit dem Füllungsbilde der Gefäße in der Röntgenaufnahme verglichen werden.

*Die Füllung des Arteriensystems oder venöser Systemabschnitte mit einer stark schattengebenden Kontrastmasse* der beschriebenen Art, *welcher konzentriertes Methylenblau zugeseigt ist, gestattet also vollständige und im vergleichenden Versuch auch dem Grade nach zutreffende Bilder der Füllungszustände des Gefäßsystems unter den verschiedensten Bedingungen, welche Einfluß auf den Gefäßtonus haben, zu gewinnen*; die Versuche lassen sich am Versuchstier und an amputierten menschlichen Gliedmaßen unmittelbar nach Aufhören der lebendigen Durchblutung ausführen, ferner an denselben Objekten und am überlebenden Neugeborenen kürzere oder längere Zeit nach dem Tode. Gesunde und kranke Organe und Gefäßsysteme, umgebildete und neugebildete Gefäße, sowie pathologische Gefäßbildungen bei Organanomalien lassen sich in dieser Weise untersuchen; man kann die Folgen verschiedener hydrodynamischer Bedingungen und hydrostatischer Umstände beobachten; ferner kann man die Wirkungen thermischer Einflüsse, die Wirkungen der verschiedenen Arzneistoffe, der normalen und pathologischen Stoffwechselprodukte und der für die Gefäßleistung wichtigen Hormone feststellen, und zwar nach quantitativen Maßstäben. Alle diese Wirkungen lassen sich einmal in der Weise untersuchen, daß man sie an dem noch lebenden Organismus vor sich gehen läßt, um sofort nach eingetretenem Tode die erfolgten Änderungen im Röntgenbilde festzuhalten, andererseits auch in der Weise, daß dieselben Einwirkungen erst am überlebenden Organismus zur Ausübung kommen, vor der oder zugleich mit der die Tonusveränderungen feststellenden Kontrastfüllung der Gefäße. Die Beantwortung der besonders für die Klinik wichtigen Fragestellungen ist mit dieser Methodik in neuer und mannigfaltiger Weise möglich.

### 1. Technik der Injektionsmethode kleiner Mengen.

Am lebenden Versuchstier wird in Äthernarkose das Herz von einem nicht zu großen Medianschnitt unter Spaltung des Brustbeins und Auseinanderziehen der Ränder freigelegt. Mittels einer Injektionsspritze wird eine im Verhältnis zur Blutmenge des betreffenden Tieres kleine Menge einer durch ihre Farbe gut kenntlichen, mit dem Blute sich mischenden Flüssigkeit (konzentrierte Methylenblaulösung, konzentrierte chinesische Tusche) in die linke Kammer des schlagenden Herzens im Laufe einer oder einiger Sekunden eingespritzt. Werden die Pleurae nicht verletzt, wird die Thoraxwunde nicht zu brüsk auseinandergezogen und das Herz nicht unnötig lange der freien Luft ausgesetzt, so ändert sich die Zahl der Herzschläge und, soweit sich dies durch das Auge beurteilen läßt, die Ausgiebigkeit der jedesmaligen Einzelentleerung der Herzkammer zunächst nicht wesentlich; eine plötzliche und starke Füllung der Kammer durch die Einspritzungsmenge kann beim kleinen Tier leicht geschehen und muß natürlich vermieden werden. Wird das Herz in verschiedenen Zeitabschnitten nach der Injektion bei verschiedenen Versuchstieren festgehalten, so läßt sich die Geschwindigkeit ermitteln, mit der die einzelnen Organe von der in der Zwischenzeit von dem Herzen ausgeworfenen Blutmenge, ausgedrückt durch die Anzahl der Schlagvolumina, erreicht werden. Die Reihenfolge der Versorgung wird nur in untergeordnetem Maße durch die Entfernung des betreffenden Capillarbezirkes vom Herzen beeinflußt, sie ist vielmehr hauptsächlich davon abhängig, mit welcher Geschwindigkeit das betreffende Organ durchströmt wird. Die Reihenfolge, in der die Organe von dem durch die Farbe kenntlichen Blutquantum erreicht werden, ist also eine Wertskala dafür, in welchem Maße die Organe mit frischem Herzblut versorgt werden.

Ein zweites Merkmal für die Durchströmungsgröße besteht in der Stärke, in welcher der Farbstoff an dem betreffenden Organ beobachtet wird; bei reichlicher Durchströmung sieht man eine entsprechend kräftige Farbwellen an- und abschwellend die betreffende Organoberfläche durchziehen; wird der Blutumlauf zu diesem Zeitpunkt unterbrochen, so findet sich in dem betreffenden Gefäßbezirke eine entsprechend kräftige Färbung der Gefäßinhalte. Diese Beobachtungsmethode läßt sich besonders gut verwenden, um die Durchströmungsgröße zweier gleichwertiger Organe zu vergleichen, die unter verschiedene Bedingungen gesetzt sind. — Wenn man die Durchströmungszustände bzw. die Organfärbung nach dem Herzstillstande autoptisch vergleicht, so ist in Anschlag zu bringen, daß auch bei festgehaltenem Herzen noch ein Nachfließen, besonders in den Arterien und Capillaren stattfindet; die an den Organen vorgefundene Farbe gibt aber dennoch einen guten Maßstab für die Durchströmungsgröße, da der zur Zeit des Herzstillstandes vorhandene Inhalt der Capillaren kaum weiter als in die im Organ selbst gelegenen kleinen Venen gelangt. Bei größeren Tieren wurde in einzelnen Fällen zugleich mit dem künstlichen Herzstillstande eine Abschnürung am Hals und am Unterbauch vorgenommen, um den nachströmenden Gefäßinhalt möglichst rasch allenthalben zum Stillstand zu bringen.

Bei der Methylenblaulösung könnte es in Betracht kommen, daß die Färbung eines Organes nicht nur durch den augenblicklichen Inhalt seiner Gefäße bedingt ist, sondern wenigstens zum Teil auch durch in die Gewebe transsudiertes und daselbst festgehaltenes Methylenblau. Am lebenden und selbst am überlebenden Gefäßsystem spielt diese Transsudation jedenfalls eine geringe Rolle, solange nicht besondere Umstände (mechanische Verletzung, starke Erwärmung) schädigend auf das betreffende Gewebe einwirken. Bei den vorliegenden Versuchen, bei welchen nur ein einzelnes Schlagvolumen oder einige Schlagvolumina

gefärbt wurden und der Herzstillstand innerhalb weniger Sekunden bis zu einer Minute erfolgte, kann jedenfalls von einer Vermehrung des Färbungsgrades durch allmähliche Anhäufung des Färbemittels im Gewebe nicht die Rede sein. Bei allen autoptischen Untersuchungen wird beobachtet, daß die inneren Organe erst nach Freilegung und die Schnittflächen erst einige Zeit nach dem Durchschneiden des Gewebes das Höchstmaß an Blau aufweisen. Dieses „Nachfärben“ der Organoberfläche oder an Querschnitten tritt nicht etwa infolge nachträglichen Zuströmens von Methylenblau von zuführenden Gefäßen her ein, denn es wird beobachtet, wenn man das Organ sofort nach dem Freilegen isoliert und auf Organquerschnitten auch dann, wenn man z. B. eine dünne Scheibe des Organs nochmals spaltet. Der gesamte im Organ autoptisch vorgefundene Farbstoff muß nach den obigen Darlegungen in dem Zeitabschnitt zwischen der Einspritzung und dem Herzstillstand (bzw. bis zur Beendigung des Nachströmens) in das Organ gelangt sein. *Die Menge an Farbstoff bzw. der Grad der Färbung sind demnach der Maßstab für die Versorgung eines Organs in dem betreffenden Zeitabschnitt.*

Spritzt man *zwei verschiedenfarbige Lösungen nacheinander ein*, so kann man am selben Tier den Verbleib zeitlich getrennter Schlagvolumina feststellen. Wird eine abgeschnürt gewesene Extremität, z. B. das linke Vorderbein und das rechte Hinterbein, im Augenblick der Einspritzung oder unmittelbar danach freigegeben, so kann man beobachten, ob an den freigegebenen Gliedmaßen eine frühere und reichlichere Durchströmung mit dem gefärbten Blutquantum stattfindet, als an den Vergleichsgliedern. In entsprechender Weise kann man die raschere und reichlichere Durchströmung untersuchen, welche in *erwärmten Gliedmaßen* stattfindet. Um die Einwirkung von *Suprarenin* auf die Blutdurchströmung zu untersuchen, kann man nach Bindung einzelner Gliedmaßen und aufeinanderfolgender Einspritzung zweier verschiedener Farblösungen, von denen die eine mit Suprarenin versetzt ist, diese Suprareninmenge durch entsprechende Freigabe der Abschnürung vorwiegend einer Extremität oder zweien zuführen und deren Verhalten mit dem der symmetrischen Gliedmaßen, die zuvor für die suprareninfreie Farblösung zugänglich gewesen waren, vergleichen. Schließlich kann man einzelnen Aufnahme- bzw. Ausscheidungsorganen die *natürlichen Reizstoffe* in Gestalt von Nahrungsmitteln (Milch in der Darmschlinge) bzw. zur Ausscheidung bestimmten Stoffen (Harnstoff in der Nierenarterie) zuführen und mittels der Farbeinspritzung ins Herz beobachten, ob das betreffende Organ bzw. der Organabschnitt rascher und reichlicher von der gefärbten Blutmenge durchströmt wird als das Vergleichsorgan bzw. gleichwertige Organabschnitte.

## 2. Technik der Versuche mit einmaliger Durchströmung.

*Am frisch überlebenden Versuchstier oder am überlebenden menschlichen Neugeborenen*, das in der Regel durch ein mehrstündiges Wasserbad auf Körpertemperatur

erwärmt war, wird eine Durchströmung mit einer 5<sup>0</sup>/igen Gummiarabicumlösung von Körpertemperatur vorgenommen; die Lösung ist durch Farbstoffe, bzw. chinesische Tusche kenntlich gemacht, die Durchströmung erfolgte *in der Regel vom linken Herzen aus unter Aortendruck*. Bei der überwiegenden Zahl aller Versuche wurde eine Glaskanüle unmittelbar in die Hauptarterie eingebunden. In einigen Tierversuchen erfolgte die Durchströmung durch unmittelbares Einfließen in das Herz des in der Agonie befindlichen Tieres bei noch tätigem Herzen. Am überlebenden Organismus wurde die Durchströmung mehr oder minder lange Zeit (bis zu 10 Tagen) nach dem Tode ausgeführt. Bei den Neugeborenen wurde die Kanüle in den Anfang der Aorta oder in den Ductus Botalli eingebunden (und in jenem Falle der Ductus Botalli, in diesem die Aortenwurzel zur Vermeidung des Rückflusses unterbunden). Zur Erzeugung des konstanten Drucks diente eine *Mariottesche Flasche*.

Gewöhnlich wurde die *Durchströmung unterbrochen, wenn die Farblösung an Fingern und Zehen sichtbar wurde*. Arterielle Durchströmungen von einzelnen Körperabschnitten oder einzelnen Gliedmaßen fanden von den zuführenden Hauptgefäßen aus statt unter Einhaltung des physiologischen Druckes. In einzelnen Fällen wurde die Durchströmung *unter rhythmischer Druckerhöhung* durchgeführt. Am *Venensystem* wurde eine Anzahl von rückläufigen Durchströmungen vom rechten Herzen aus an der Leiche des Säuglings mit bereits getrenntem Kreislauf sowie am Versuchstier durchgeführt; beim Neugeborenen mußte bei der venösen rückläufigen Durchströmung die rechte Vorkammer vom übrigen Herzen durch Unterbindungen bzw. Klemmen abgeschlossen werden; die Durchströmung der Gliedmaßen und des Gesichtsanteiles des Kopfes fällt hierbei durch Schluß der Venenklappen aus. Ferner wurde *das portale Venensystem rückläufig* nach Einbinden einer Kanüle in die Pfortader *unter dem entsprechenden Drucke* durchströmt. — Durchströmungen *von der Nabelvene aus* ermöglichen beim Neugeborenen die rückläufige Füllung des Pfortadersystems und auch der meisten Körperven (bis zu den Klappen) ohne jede äußere Verletzung. Eine Durchströmung am unverletzten Körper bietet bei Benutzung der Gummiarabicumlösung grundsätzliche Vorteile, da diese Lösung nach kurzer Durchströmung an etwa gesetzten Schnittflächen, selbst wenn diese durch Naht oder durch Abklemmen so gut als möglich gesichert sind, abzurinnen pflegt; hat dieses örtliche Abfließen begonnen, so muß die Durchströmung meist sofort abgebrochen werden, da durch das örtliche Abfließen die Verteilung der Flüssigkeit in einseitiger Weise geändert wird, und da die im Körper verteilten Mengen nicht mehr auf eine bestimmte Gesamtmenge bezogen werden können. Bei der Durchströmung des Neugeborenen von der Nabelvene aus erfolgt eine erheblichere arterielle Durchströmung von Aorta und Ductus Botalli her erst nach einiger Füllung der Leber und anschließender Gebiete sowie der Venen des Rumpfes, und zwar geschieht dies in zunehmendem Maße entsprechend dem Umfange, in welchem das Pfortadersystem und die wesentlichen Teile des Körpervenenystems bereits gefüllt sind. Bei dieser Methodik muß also entweder das venöse System unter einen zu hohen Druck gesetzt werden oder es bleibt der Druck im arteriellen System weit hinter dem physiologischen Maße zurück. Trotz dieser Nachteile läßt sich die Methode der Durchströmung von der Nabelvene aus verwenden, *wenn es sich darum handelt, die Füllungszustände von Capillarsystemen festzustellen, welche sich unter bestimmten, durch den Versuch gegebenen physikalischen oder chemischen Bedingungen befinden*, da die Füllungszustände der Capillaren vorwiegend von dem Wandtonus dieser Gefäße und nur wenig von ihrem Inhaltsdruck abhängen. — Um den Verbleib nacheinander einströmender Mengen zu ermitteln, wurden in einer Anzahl von Fällen verschieden gefärbte Flüssigkeiten mit oder ohne Unterbrechung der Strömung, im übrigen aber unmittelbar aneinander anschließend, in das Gefäßsystem hineingeschickt. Als corpusculäre Beimischung wurden in einzelnen Fällen auch Stärkekörnchen benutzt; durch nachfolgenden Eintritt *Lugolscher Lösung* wurden dann die Mischungsverhältnisse hintereinander



eintretender Mengen oder einander im Gefäßsystem begegnender Mengen geprüft. In der Regel wurde die Durchströmung am überlebenden Gliedabschnitte oder Neugeborenen vorgenommen, nachdem eine Gewebstemperatur von 30–37° durch ein längeres Wasserbad erreicht worden war. Bei den menschlichen Neugeborenen wurde die durch das Wasserbad erreichte *Körpertemperatur von annähernd 37°*

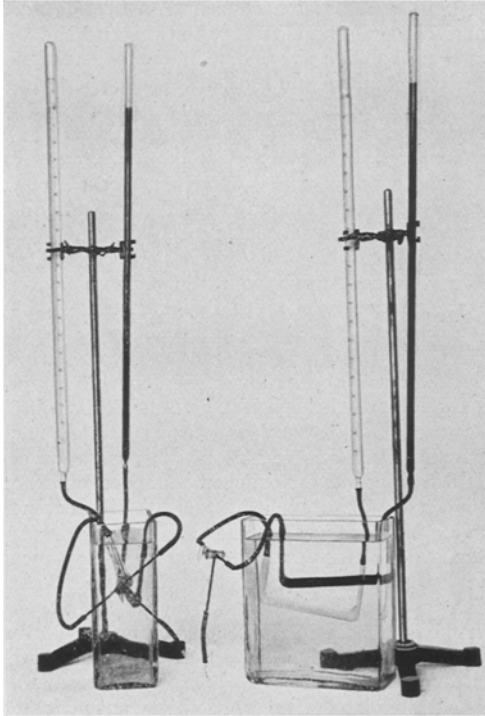


Abb. 1. Kalibrierte Buretten zur Einströmung kolloidaler Flüssigkeiten bei sinkendem Druck, aber konstanter Temperatur. Zwei verschieden gefärbte Testflüssigkeiten werden in zwei weiten U-förmigen Glasrohren durch das umgebende Wasserbad auf konstanter Temperatur gehalten; sie können durch eine gemeinsame Kanüle in unmittelbarem Wechsel dem Gefäßsystem zugeführt werden; der Inhalt der Buretten dient nur zur Mengenablesung, gelangt nicht in das Gefäßsystem.

peratur verzichtet, da es sich herausstellte, daß als Bedingung für eine der physiologischen angenäherte Durchströmungsweise die Temperatur der Gewebe der wichtigste Faktor und die Temperatur der Durchströmungsflüssigkeit von verhältnismäßig geringerer Bedeutung ist, wenn sie sich zwischen Zimmertemperatur und Körpertemperatur hält.

Selbst die *Aufrechterhaltung des physiologischen Druckes* ist beim Vergleich der Füllungszustände symmetrischer bzw. analoger Capillargebiete keine unerläßliche Bedingung; von den zu vergleichenden Gebieten wird zwar bei geringerem Druck ein jedes langsamer gefüllt, das Maß ihrer jeweiligen Füllung hängt aber, wenn beide Gebiete gleichzeitig unter demselben Druck des gemeinsam

durch rectale Messung, an den Gliedmaßen durch Messung im Hauptgefäßrohr überprüft; da das Gewebe eine höhere Wärmekapazität besitzt als das Wasser und das Wasserbad nach der Umgebung hin Wärmeverlust erleidet, so war nach längerer Erwärmung die Mastdarmtemperatur regelmäßig ein wenig höher als die Wassertemperatur. Die Durchströmung wurde in der Regel derartig ausgeführt, daß das Kind hierbei im Wasserbad untergetaucht verblieb. — Um die *Durchströmungsflüssigkeit* auf etwa die gleiche Temperatur zu bringen wie das Neugeborene, wurde ein Mehrfaches der für die Durchströmung benötigten Flüssigkeitsmenge in einem weiten U-Rohr, das sich in vertikaler Stellung befand, in das gleiche Wasserbad versenkt. Das eine Ende des U-Rohres war mit einem kurzen Schlauch an die Kanüle angeschlossen, das andere Ende mit dem eine verhältnismäßig geringe Flüssigkeitsmenge enthaltenden Druckgefäß in gleicher Weise in Verbindung (Abb. 1).

Hinsichtlich der *Temperatur* der Durchströmungsflüssigkeit wurde bei einer größeren Anzahl von Versuchen auf die Einhaltung der Körpertemperatur

zuführenden Hauptrohres stehen, nur von der Weite, das heißt dem Tonus der Capillaren in dem einen und dem anderen Vergleichsgebiet ab. Die vereinfachten Versuchsbedingungen — Durchströmung mit einer Flüssigkeit von Zimmertemperatur und von Büretten aus, bei sinkendem Druck — hatten bei symmetrisch vergleichender Untersuchung keine grundsätzlich anderen Ergebnisse wie die Untersuchungen mittels einer Flüssigkeit von Körpertemperatur und bei Durchströmung mit konstantem Druck. — Die Einstromung von kalibrierten Büretten aus bietet den Vorteil, daß die in der Zeit einströmende Menge für beliebig kurze Zeitabschnitte und kleine Mengen leicht gemessen werden kann. Ist die in jedem Zeitabschnitt eingeströmte Menge genau bekannt, so läßt die Beobachtung des ersten Auftretens und der weiteren Verteilung der Farblösung an bestimmten Punkten, z. B. der Haut, ein Urteil über die Verteilung einer bestimmten Menge zu und gestattet bei vergleichenden Versuchen zwischen verschiedenen Individuen die für die Beurteilung der Versuche notwendige genaue Abmessung kleiner Einflußmengen (z. B. 0,8 ccm zur Füllung einer Extremität bzw. 1,6 ccm zur gleichzeitigen, je nach den Versuchsumständen aber ungleich verteilten Füllung beider Beine).

Zur Deutung der autoptischen Füllungsbefunde der einzelnen Organe ist es unerlässlich, daß der jedesmalige Verteilungszustand der Farblösung auf eine bestimmte Gesamtmenge bezogen werden kann. — Gemäß der allgemeinen Annahme, daß die Blutmenge beim Neugeborenen etwa 10%, beim Meerschweinchen etwa 8% des Körpergewichts beträgt, wurde zur Durchströmung des Gesamtkörpers regelmäßig eine Menge verwendet, welche zu dem festgestellten Körpergewicht des Individuums in der genannten ziffermäßigen Beziehung stand; zur Durchströmung nur des arteriellen Systems wurden nur die Hälfte bis ein Drittel dieser errechneten Gesamtmenge verwendet, in manchen Fällen auch kleinere Mengen. In der Regel wurde der arteriellen Durchströmung mit einer Farblösung ein Vorlauf mit farbloser Gummiarabicumlösung, der etwa der einmaligen Füllung des arteriellen Systems entsprach, vorausgeschickt, um zu vermeiden, daß die Testflüssigkeit in ein leeres Gefäßsystem einströmt und dort einen zu geringen Widerstand oder etwaige Entfaltungswiderstände vorfindet. Durch eine solche einmalige Füllung des Arteriensystems mit einem der Testeinstromung unmittelbar vorhergehenden Vorlauf werden noch keine nennenswerten Gefäßveränderungen hervorgerufen, welche das System in unphysiologischer Weise beeinflussen, insbesondere tritt hierbei noch keine stärkere Durchlässigkeit der Capillaren und Ödem-bildung ein. Der Grundsatz, daß die experimentelle Durchströmung so kurzzeitig wie möglich sein soll, wird also hiermit nicht in einer für den Ablauf des Versuchs nachteiligen Weise durchbrochen. Größere als die genannten Mengen wurden nur in einzelnen Fällen verwendet, um Überfüllungszustände zu untersuchen, bis zum Extrem der Höchstfüllung des Gesamtorganismus.

Für die zumeist zur Durchströmung verwandte 5%ige Gummiarabicumlösung gilt ein Viscositätsverhältnis, verglichen zum Wasser gleicher Temperatur, wie es folgende Tabelle nach eigenen Messungen am Ostwaldschen Viscosimeter zeigt:

Tabelle 1.

	Durchflußzeiten bei			
	Viscosimeterdruck	Druck von 89 cm Wasser		
Temperatur . . . . .	20°	25°	30°	37°
Aqua destillata . . . .	97,5''		13''	9,4''
5% Gummilösung . . . .	311,3''	48,1''	44,1''	25,4''

Nach von mir ausgeführten Pyknometerbestimmungen ergeben sich folgende relativen Dichtigkeitswerte:

Temperatur . . . . .	20°	37°
Aqua destillata . . . .	5390	5375
5% Gummilösung . . . .	5480	5465

Hieraus ergibt sich ein Viscositätsverhältnis der G. A.-Lösung zum destillierten Wasser gleicher Temperatur: bei 20° wie 1:3, bei 37° wie 1:2,7.

Beim Vergleich verschiedener, unter *denselben* Bedingungen der Viscosität durchströmter Organe ist die Viscosität auf die Verteilungsart ohne Einfluß. Werden verschiedene Versuchsobjekte mit Flüssigkeit verschiedener Viscosität durchströmt, so wird die Durchströmung im Falle der höheren Viscosität durch den größeren inneren Widerstand langsamer erfolgen; die Verteilung innerhalb des Organismus wird aber hierdurch auch in diesem Falle nicht beeinflusst, sie muß also an dem mit Flüssigkeit höherer Viscosität durchströmten Versuchsobjekt den gleichen Charakter haben wie bei dem mit Flüssigkeit geringerer Viscosität durchströmten Objekt, vorausgesetzt, daß bei entsprechenden Objekten die gleiche Flüssigkeitsmenge eingespritzt wurde. Nur in zwei Fällen hat der Viscositätsgrad einen *Einfluß auf den Charakter der Verteilung* der Flüssigkeit im Körper. Der erste Fall kann *bei sehr hoher Viscosität* eintreten, indem die Strömung in engen Gefäßen zum Stillstand kommt; dies ist bei den gewählten Konzentrationen der Gummiarabicumlösung niemals der Fall. Die zweite Abweichung findet in Fällen statt, in welchen zum vergleichenden Versuch einzelne Organe oder Gliedmaßen des untersuchten Gesamtkörpers abgekühlt oder erwärmt werden; die *Temperaturänderung* bewirkt, indem sie sich der einströmenden Flüssigkeit mitteilt, eine Viscositätsänderung in den betreffenden Körperabschnitten. Die hierdurch hervorgerufenen Abweichungen gegenüber den normalen Verhältnissen der Durchströmung sind aber bei der 5%igen Gummiarabicumlösung nicht größer als sie bei den gleichen Temperaturänderungen für normales Blut wären, da die durch die Temperatureinflüsse hervorgerufenen Viscositätsänderungen sich innerhalb der Grenzen halten, die beim Blute unter den gleichen Bedingungen beobachtet werden.

Nur in wenigen Fällen (bei einer Anzahl von Neugeborenenversuchen) wurde *mit defibriniertem Tierblut oder Verdünnungen* von solehem durchströmt. Auffällige Verschiedenheiten hinsichtlich des Verhaltens der überlebenden Gefäße gegenüber dem Serum oder der Gummiarabicumlösung

ergaben sich bei den gewählten Versuchsanordnungen nicht. Auf die ausgedehntere Anwendung von Tierblut wurde verzichtet, weil nur Mischblut verschiedener Tiere von nicht immer festzustellender Beschaffenheit zu erlangen war und somit keine Gewähr bestand, daß die Versuche zu verschiedenen Zeiten mit einem gleich zu bewertenden Material ausgeführt wurden. Da wir ferner annehmen können, daß das körperfremde Blut im Gefäßsystem des überlebenden Neugeborenen selbst Veränderungen erfährt und seinerseits ändernd auf das Gefäßsystem einwirkt, so schien die Durchströmung mit Tierblut weniger geeignet, um eindeutige Untersuchungsergebnisse zu erzielen.

In welcher Weise das Verhalten der überlebenden Gefäße durch im Gefäßinnern befindliches Blut beeinflusst wird, geht aus Beobachtungen über *das in den Leichen der Neugeborenen abgesetzte Blut* hervor. Lividfärbung findet sich bei diesen in der Regel an den Füßen, an größeren Abschnitten des Rückens und am Hinterkopf, nicht selten aber auch vorwiegend auf der einen Körperseite; derjenigen auf der das Neugeborene nach dem Tode gelegen hat. Die Durchströmungsflüssigkeit tritt gewöhnlich in diese lividgefärbten Gebiete früher und in reichlicherem Maße ein. Die durch das Blut nach dem Tode erweiterten Gefäße reagieren nun auf die sonst am Überlebenden wirksamen Reize in deutlich geringerem Grade, es muß also eine *Lähmung* dieser Gefäße durch das lange Zeit verweilende Blut angenommen werden. Vergleichende Versuche, bei denen symmetrische Gliedmaßen unter verschiedenen Versuchsbedingungen stehen, werden am besten „über Kreuz“ ausgeführt, d. h. die eine Versuchsbedingung wird z. B. am linken Arm und rechten Bein eingehalten, die andere am rechten Arm und linken Bein. Bei einem gleichsinnigen Verhalten der gekreuzten Gliedmaßen kann das Versuchsergebnis auf die eingehaltenen Versuchsbedingungen bezogen werden; ein störender Einfluß, den eine etwa vorhandene, an der Oberfläche nicht deutlich in die Erscheinung tretende *einseitige* Blutsenkung haben könnte, kann in einem solchen Falle wohl den Füllungsunterschied verstärkt bzw. abgeschwächt haben, sie kann aber nicht die Ursache dieses Füllungsunterschiedes sein.

Auf eine *Beigabe von Sauerstoff oder Kohlensäure* zur Durchströmungsflüssigkeit zwecks Erzielung von den physiologischen Verhältnissen angenäherten allgemeinen Durchströmungsbedingungen wurde verzichtet, da dies mit den vorhandenen Mitteln nicht in befriedigender, vor allen Dingen nicht in gleichmäßiger Weise durchgeführt werden konnte. Hinsichtlich der *allgemeinen* Versuchsbedingungen sollten aber nach Möglichkeit alle schwankenden Faktoren, die eine Reizwirkung auf die Gefäße ausüben können, vermieden werden. Nur bei einheitlichen Durchströmungsbedingungen können die *experimenti causa* gesetzten Gefäßreize in ihrer Wirkung richtig eingeschätzt werden.

Es wurden endlich noch *Füllungen von Gefäßabschnitten oder Gefäßsystemen mittels einer im Röntgenbild sichtbaren Kontrastflüssigkeit* vorgenommen.

Mit dieser bereits kurz geschilderten Methodik wurde eine große Reihe von Darstellungen der Verteilung des Gefäßinhalts beim Neugeborenen und beim Versuchstier gewonnen, deren Wiedergabe in dieser Zeitschrift aus technischen Gründen nicht möglich ist. Die *Ergebnisse* dieser Versuchsreihen *stimmen im wesentlichen mit den Versuchen der Durchströmung mit kolloidalen Flüssigkeiten überein*. Ihre bildliche Darstellung nebst Erläuterungen sollen in einem besonderen Tafelbande veröffentlicht werden. Dort wird auch die nähere Erläuterung der Technik dieser Methode ihren Platz finden.

*Sämtliche Untersuchungsbefunde* über den Verbleib bzw. die Verteilung von in die Blutbahn eingeführten Flüssigkeiten wurden *durch autoptische Untersuchungen* in den Einzelheiten *sichergestellt*. Als beste Wegweiser für die Feststellung des Verbleibs von Durchströmungsflüssigkeiten bei den anatomischen Untersuchungen bewährten sich das Methylenblau und die chinesische Tusche. Die *Tusche bleibt stets innerhalb der Gefäßbahnen*. Das *Methylenblau diffundiert teilweise* in die umgebenden Gewebe, an warmen Körperteilen rascher, an kalten langsamer. In parenchymatösen Organen verbleibt die blaue Farbe für viele Stunden, ja Tage, mit dem kolloidalen Vehikel innerhalb der Capillaren und breitet sich am frischen Schnitt der Organe erst nach einigen Minuten an der Oberfläche aus. An den Oberflächen der unverletzten Bauch- und Brustorgane und des Gehirns werden kleinere Mengen Methylenblau erst sichtbar, wenn die Körperhöhlen einige Minuten eröffnet sind und die Organe kurze Zeit frei zutage gelegen haben. Die Ursache ist jedenfalls in einer Druckentlastung der Gewebe zu sehen; die Berührung der Oberfläche mit dem Sauerstoff der Luft kann nicht die Ursache der Erscheinung sein, weil dieses „Nachfärben“ in gleicher Weise auftritt, wenn man die soeben aus dem Körper entnommenen Organe unter Öl in Scheiben zerlegt.

## II. Teil.

### Die Daten über die Verteilung des Blutes und die Untersuchungsbefunde.

#### A. Übersicht der Füllungszustände der Gefäßräume; die Inhaltsverschiebungen und die Durchströmungsgrößen.

Die *Hyperämie* stellt eine Zunahme des Inhaltes der Gefäße in einem bestimmten Körperabschnitt oder eine Zunahme der denselben durchströmenden Blutmenge dar (vermehrter Gefäßinhalt und erhöhte Durchströmungsgeschwindigkeit, d. h. vermehrte Durchströmungsmenge). *Anämie* besagt dementsprechend eine Abnahme des Gefäßinhalts bzw. Verringerung der Durchströmungsmenge.

Bei der *arteriellen Hyperämie* handelt es sich im wesentlichen um eine vermehrte Durchströmung der Arterien des betreffenden Gebietes und beschleunigte Durchströmung<sup>1</sup> seiner Capillaren auf erweiterter Gesamtstrombahn (durch Erweiterung der Einzelcapillaren und Teilnahme einer größeren Anzahl von Capillaren an der Durchströmung). Die arterielle Hyperämie stellt sich klinisch dar als verstärkte Rötung des betreffenden Gebiets (zahlreicher gefüllte und erweiterte Capillaren) von lichtem Farbton (beschleunigte Durchströmung, daher verhältnismäßig geringere Sauerstoffzehrung), als erhöhte Temperatur des Gewebes (durch erhöhte Calorienzufuhr bei nicht in gleichem Maße gesteigerter Calorienabfuhr; in gewissem Grade auch durch vermehrte Umsetzung) und als Fortsetzung des arteriellen Pulses bis in die Capillaren, eventuell bis in die Venen hinein (erhöhte Wandspannung). Die arterielle Hyperämie ist eine *aktive Hyperämie*, weil hier ein infolge von Reizwirkungen eintretender aktiver Bewegungsvorgang an den Gefäßwänden (aktive Dilatation, eventuell auch andere aktive Wandbewegungen) eine vermehrte Förderung des Gefäßinhalts zur Folge hat.

Bei der *venösen Hyperämie* handelt es sich im wesentlichen um eine vermehrte Füllung der Venen des betreffenden Gebiets, regelmäßig in Verbindung mit einer verlangsamten Durchströmung dieser Venen; die Capillaren desselben Gebiets werden ebenfalls stärker gefüllt (und zwar in erheblicherem Grade als bei der arteriellen Hyperämie) und langsamer durchströmt. Die venöse Hyperämie ist eine *passive Hyperämie*, weil hier eine infolge von Abflußhindernissen eintretende passive Entfaltung und Dehnung der Capillaren vorhanden ist; die vermehrte Füllung der Gefäße und ihre verlangsamte Durchströmung sind also passiv bedingt. Der Typus der passiven Hyperämie ist die *venöse Stauungshyperämie*. Hat bei der künstlichen Stauungshyperämie eine Verlegung der abführenden Venen nur in dem Maße stattgefunden, daß bei unverminderter arterieller Zufuhr der durch die Staubeinde erzeugte verstärkte venöse Druck den venösen Abfluß wieder bis zur ursprünglichen Höhe hat ansteigen lassen, so besteht im gestauten Glied zwar eine vermehrte Blutfülle, aber keine verminderte Gesamtdurchströmung. Diese Art der Stauung stellt sich klinisch als lividrote Färbung bei leicht erhöhter Temperatur des Gewebes dar (zahlreiche, reichlich gefüllte Capillaren, verstärkte Sauerstoffzehrung; eine der Norm gleiche Calorienzufuhr bei etwas verminderter Calorienabfuhr an der Vene infolge längeren Verweilens des Blutes im Glied) — „*warme Stauung*“. Hat bei der künstlichen Stauungshyperämie eine Verlegung der abführenden Venen in solchem Maße stattgefunden, daß der verstärkte Venendruck den venösen Abfluß nicht bis zur Höhe der arteriellen Zufuhr zu steigern vermag,<sup>1</sup> so muß sich die Stauung in zunehmendem Maße verstärken, bis letzten Endes auch die arterielle Zufuhr in entsprechender Weise verringert worden ist. Das klinische Bild zeigt schließlich aschfarbenen Farbton bei herabgesetzter Temperatur des Gewebes (zahlreiche, stark mit stagnierendem Blut gefüllte Capillaren, Sauerstoffmangel; verminderte Calorienzufuhr) — „*kalte Stauung*“.

Aus dem Gesagten ergeben sich folgende Begriffsbestimmungen:

- Arterielle Hyperämie* = Steigerung der örtlichen Durchströmung und Füllung — aktiv.  
*Venöse Hyperämie* = Vermehrung der örtlichen Füllung bei verminderter oder bestenfalls gleichbleibender Durchströmung — passiv.  
*Anämie* = Verminderung der örtlichen Füllung und Durchströmung.

<sup>1</sup> Tannenbergs und Fischer-Wasels nehmen auch eine arterielle Hyperämie mit *verlangsamter* Strömung an, im wesentlichen der Hyperämie im exsudativen Stadium der Entzündung entsprechend. (Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 7, 2; S. 1612f. 1927.)

Stellen wir uns das Blut in den Gefäßen des Körpers zu einem bestimmten Zeitpunkte gleichmäßiger Durchströmung als plötzlich stillstehend vor, so *enthalten die verschiedenen Abschnitte des Gefäßsystems bestimmte Blutvolumina, welche einer durchschnittlichen Verteilung entsprechen*. Wir können das bei dem angenommenen Normalzustand in den einzelnen Gefäßgebieten vorhandene Volumen derart *in ein Schema*, z. B. auf Millimeterpapier, eintragen, daß ein Quadratmillimeter einem Kubikzentimeter Blut entspricht (**Tafel I**). Fassen wir die wichtigsten parallel geschalteten Gefäßgebiete (Organe, Gliedmaßen) und ebenso die wichtigsten hintereinander geschalteten Abschnitte (große Arterien, mittlere und kleine Arterien, Capillargebiet, kleine und mittlere Venen, große Venen) zu einheitlichen Füllungsgebieten zusammen, so können wir jedes derselben im Schema durch ein seinem Volumeninhalt entsprechendes Quadrat bzw. Rechteck darstellen. Werden diese den Volumenabschnitten entsprechenden Rechtecke sinngemäß nebeneinander bzw. hintereinander angeordnet, so gewinnt man einen *Überblick über die mengenmäßige Verteilung des Blutes im Körper*, sowie über die *Größe und die Lagebeziehung seiner Hauptsammelbecken*. Stellt man den Inhalt der hintereinander geschalteten Hauptgefäße bzw. Gefäßbäume in Rechtecken von solcher Gestalt dar, daß die Längsseite des Rechtecks, in Millimetern gemessen, der Längserstreckung dieses Gebietes in Zentimetern entspricht, so erhält man zugleich eine *Übersicht über die Weglänge, welche das Blut zurücklegen muß*, um aus dem einen Blutraum in den anderen zu gelangen. Bei einer solchen Darstellung erhalten die vorwiegend als Bahnen dienenden Gefäßräume die Gestalt mehr oder minder langgestreckter Balken und die als Hauptsammelbecken dienenden Gefäßräume erscheinen als breite, sich mehr oder minder dem Quadrat nähernde Rechtecke.

Soll in dem oben angenommenen Idealfall eines bei normaler Verteilung plötzlich stillstehenden Inhalts des Gefäßsystems eine örtliche *Hyperämie* eintreten, so muß *eine positive Inhaltsverschiebung* in der Richtung auf das betreffende Gebiet hin erfolgen, welcher eine negative Inhaltsverschiebung von anderen Gebieten her entspricht. Im Schema würde sich dies als Umfangszunahme eines oder einiger Rechtecke auf Kosten anderer darstellen. Im menschlichen Gefäßsystem kann eine Inhaltsverschiebung (außer bei künstlich aufgezwungenen Verhältnissen) *nur* in der Richtung von der Aorta *über* die Capillaren zur Lungenarterie erfolgen, d. h. in unserem Schema von links nach rechts. Die einfachste Form der *Blutverschiebung* ist also die aus vorgeschalteten in nachgeschaltete Gebiete, so z. B. bei der Stauungshyperämie. Um eine Blutverschiebung aus einem Gefäßgebiet *in ein parallel geschaltetes* zu ermöglichen, muß stets der Weg *über die ganze Länge des Kreislaufs* eingeschlagen werden.

Wir wissen nun, daß die „Blutverschiebungen“ sich nicht unmittelbar in der so dargestellten Weise abspielen, daß es sich vielmehr um ein

dauernd durchströmtes Kreislaufsystem handelt. *Eine Verschiebung ist nur als Teilerscheinung des Durchströmungsvorgangs denkbar* und kann nur im Sinne der Stromrichtung erfolgen. Die Durchströmung der Gefäße erfolgt im allgemeinen mit sehr großer Geschwindigkeit im Verhältnis zu der Geschwindigkeit derartiger Verschiebungen, so daß also, ehe sich das Gefäßvolumen in einem Organ auf das doppelte erhöht, die dem ursprünglichen Gefäßvolumen gleiche Blutmenge vielmals durch das Organ hindurchgeströmt ist. Bei zunehmender Gefäßfüllung eines Organs bleibt also doch *von jeder in einem Zeitraum durchströmenden Menge nur ein geringer Teil zur vermehrten Füllung* vorübergehend zurück. Bei bestimmten Formen der Hyperämie herrschen besondere Verhältnisse der *Inhaltsverteilung zwischen proximalen und distalem Abschnitt desselben Gefäßgebietes*, wie in den folgenden Untersuchungen gezeigt werden wird.

Die Verteilung des strömenden Inhalts muß dem *Bau des Gefäßsystems* entsprechen und, unter möglichst ausgeglichenen Durchströmungsverhältnissen, bei denen keine Änderung der Gefäßweiten eintritt, für den einzelnen Gefäßabschnitt nach dem Gesetz von *Poiseuille* erfolgen. Dieses besagt, daß jeder Rohrabschnitt in der Zeiteinheit von einem Volumen durchflossen wird, welches proportional dem Druckunterschied und dem Quadrat des Querschnitts, umgekehrt proportional der Länge ist. Trägt man in eine *schematische Darstellung der größeren Arterien des Menschen (Tafel II)*, bei der das gegenseitige Verhältnis hinsichtlich der Länge der Gefäße annähernd gewahrt ist, die *Durchmesser der Gefäße* an wichtigen Hauptpunkten ein, so erhält man eine Übersicht über das Verhältnis der Strömungsgeschwindigkeiten und der Durchflußmengen in den einzelnen Gefäßabschnitten. In den Internodien, wie *Thoma*<sup>1</sup> die Abschnitte von einer Gefäßteilung bis zur nächsten nennt, sind die *Durchflußmengen überall proportional dem Druckgefälle und der 4. Potenz des Durchmessers der Lichtung*. Wenn wir in dem genannten Gefäßschema die verschiedenen Gefäßabschnitte von dem Aortenbogen mit 32 mm Durchmesser beginnend in 6 Größenordnungen einteilen, von denen jede folgende im Durchschnitt die Hälfte des Durchmessers der vorhergehenden hat, so zeigt sich, daß die 1. und 2. Größenordnung der Lichtungsweite nur in der Aorta gefunden wird, während wir mit der 4. Größenordnung (durchschnittlich 4 mm Durchmesser) im Schädelinnern bis zum Circulus Willisii, am Gesichtsteil des Schädels bis zur Maxillaris interna, am Arm bis in die Nähe der Gefäßbögen der Hand, am Becken bis zur Glutaea inferior und Pudenda interna und am Bein bis in die Nähe der Gefäßbögen des Fußes gelangt sind. Bis zu diesen Punkten

<sup>1</sup> *Thoma, R.*: Die experimentell-mathematische Behandlung des Blutkreislaufes in Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 4, H. 5; S. 1183. 1924. Vgl. *Heß, W. R.*: Arch. f. Physiol. 168, 474 (1917) und *Hürthle, K.*: Arch. f. Physiol. 173, 159 (1918).



hat der am Aortenbeginn herrschende Druck höchstens um einige Millimeter Hg abgenommen, *das Druckgefälle ist* also bis in die Arterien 4. Größenordnung hinein nicht wesentlich verändert. Bis etwa zur 6. Größenordnung herab ist die Mehrzahl der Gefäße anatomisch einzeln benannt. Wir können in diesem ganzen Gebiet und auch für kleinere Arterien die *Durchflußmenge* in jedem einzelnen Gefäßabschnitt *aus den Gefäßquerschnitten* bzw. Durchmessern und dem Druckgefälle berechnen, wenn die in der Sekunde vom linken Herzen ausgeworfene Menge bekannt ist. Dies hat *Thoma* in der oben angeführten Arbeit unter besonderer Berücksichtigung der durch die Randzonen des Blutstroms gegebenen Verhältnisse ausgeführt (l. c. S. 1220).

*Thoma* findet bei Annahme eines gewissen Gleitens der plasmatischen Randzone an der Gefäßwand—Gleitungskoeffizient = 0,006, Breite der plasmatischen Randzone des Blutstromes = 0,0035 mm, folgende *Durchströmungsvolumina*:

Tabelle 2.

Durchmesser mm	Durchflußmenge mm <sup>3</sup> /Sek.	Geschwindigkeit in der Stromachse mm/Sek.	Reziproker Wert des Druckgefälles mm
22,4	82 500	417	4 749
12,0	19 367	341	1 644
8,0	8 226	325	754
4,0	1 584	249	235
2,0	242,6	150	89
1,0	31,6	74,9	38
0,2	0,57	11,3	6,2
0,1	0,114	7,42	2,8
0,056	0,034	7,39	1,3

Hierbei entspricht der *reziproke Wert des Druckgefälles* der *Länge der Strombahn, für welche 1 mm Hg verbraucht wird*. Der Druck in der Aorta ascendens von 125 mm Hg sinkt auf dem Wege bis zu den Capillaren durch das hohe Druckgefälle in den kleinen Arterien bis auf ungefähr 55 mm, in den Capillaren um weitere 25 mm und in den Venen um 30 mm. Nach Anschauung von *Campbell*<sup>1</sup> findet der stärkste Blutdruckabfall in den Arteriolen statt und in den Capillaren besteht nur ein Druckabfall von etwa 1 mm Hg bei einer Druckhöhe von 6—14 mm Hg. Die Aorta und ihre unmittelbaren Äste findet *Thoma* wesentlich (um  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ ) enger, als unserem Schema (vgl. Tafel II), welches die *Vierordtschen* Zahlen enthält<sup>2</sup>, entspricht, was wohl auf die Methode seiner Messung (Bestimmung der Durchmesser nach Füllung des Gefäßsystems mit Paraffin von 70° C) zurückzuführen ist (vgl. die weiter unten stehende Tabelle). Dies hindert nicht, daß bei der Einreihung der

<sup>1</sup> *Campbell*: The resistance of the blood-flow. J. of Physiol. 23, 301 (1898/99). *Fleisch*: In „Handbuch“ Bd. 7, 2, S. 1294.

<sup>2</sup> *Vierordt*: Anatomische usw. Tabellen, 3. Aufl. 1906, 172—179.

Gefäße in Klassen von Größenordnungen, von denen jede folgende den halben Durchmesser der vorhergehenden hat, die Gefäße im ganzen doch in derselben Klasse der Größenordnung verbleiben, gleichgültig ob man ihren Durchmesser nach *Thoma* oder nach *Vierordt* annimmt. Nur die Aorta ascendens findet sich bei *Thoma* mit 22,4 mm bereits an der oberen Grenze der 2. Größenordnung, die Bauchaorta mit 10,9 mm an der oberen Grenze der 3. Größenordnung. Von den in obiger Tabelle angeführten 9 Größenstufen entsprechen daher die ersten 6 den 6 Stufen unseres Schemas. Bildet man durch weitere Halbierungen des Gefäßdurchmessers weiterhin abnehmende Größenstufen, so gelangt man mit der 12. und 13. Stufe zu der Größenordnung der Capillaren (0,016 und 0,008 mm) (vgl. Erläuterung zu Tafel II). Von diesen Größenstufen der kleinen Gefäße entspricht die 8. (0,25 mm Durchmesser), die 9. (0,125 mm) und die 10. (0,063 mm) annähernd den letzten 3 in der obigen Tabelle von *Thoma* angeführten und hinsichtlich ihrer Durchflußmenge berechneten Gefäßweiten.

Über die Verteilung der am Aortenanfang vorhandenen Durchflußmenge auf die unmittelbaren Äste der Aorta hat *Thoma* folgende Übersicht gegeben (die Tabelle hat für den vorliegenden Zweck eine Umstellung erfahren):

Tabelle 3.

Nr.		Durchmesser mm	Durchflußmenge mm <sup>3</sup> /Sek.	
	Aorta ascendens . . . . .	22,4		82 500
1	Coronaria cordis sinistra . . . .	4,4	2 200	3 934
2	Coronaria cordis dextra . . . .	4,0	1 734	
3	Subclavia dextra . . . . .	6,934	6 389	21 829
4	Carotis comm. dextra . . . . .	6,512	5 554	
5	Carotis comm. sinistra . . . . .	6,192	4 953	
6	Subclavia sinistra . . . . .	6,180	4 933	
7	Bronchiales . . . . .	1,4	97 × 3	10 371
8	Intercostales . . . . .	2,6	560 × 18	
9	Verschied. kleine Arterien . . .	1,0	36 × 10	180
				180
10	Coeliaca . . . . .	7,0	6 522	14 739
11	Mesenterica superior . . . . .	6,0	4 610	
12	Mesenterica inferior . . . . .	5,4	3 607	10 406
13	Renalis sinistra et dextra . . .	6,180	4 933 × 2	
14	Spermatica interna . . . . .	2,0	270 × 2	
15	Lumbales . . . . .	2,0	270 × 10	
16	Sacralis media . . . . .	3,0	804	3 504
17	Iliaca comm. sinistra . . . . .	7,602	7 812	15 605
18	Iliaca comm. dextra . . . . .	7,594	7 793	
				80 748

Diese Tabelle zeigt in naher Übereinstimmung mit unserem Schema, daß von der Aorta 10 Hauptgefäße derselben Größenordnung abzweigen (2 Carotiden, 2 Subclaviae, Coeliaca, Mesenterica superior, 2 Renales und 2 Iliacae); durch diese strömen 58 432 mm<sup>3</sup>, d. h. rund  $\frac{2}{3}$  der

Gesamtmenge ab. Der vordere Körperabschnitt wird von  $36314 \text{ mm}^3$ , d. h.  $45\%$  der Gesamtmenge durchströmt, der hintere Körperabschnitt von  $44434 \text{ mm}^3$ , d. h.  $55\%$ . Der errechnete Gesamtbetrag der aus der Aorta pro Sekunde abströmenden Blutmenge von  $80748 \text{ mm}^3$  (bei Thoma versehentlich  $80716$ ) stimmt mit dem als Durchflußmenge für die Aorta ascendens berechneten von  $82500 \text{ mm}^3$  mit ausreichender Genauigkeit überein.

Der Druckunterschied in jedem Arterienabschnitt, welcher die Ursache seiner Durchströmung ist, läßt sich praktisch als der auf den Gefäßanfang durch das zugeführte Blut ausgeübte Druck von seiten des Herzens auffassen, vermindert um den am Ende des Rohres stattfindenden Druck, welcher seinerseits im wesentlichen von dem *Widerstand von seiten der Capillaren* bestimmt ist; der erstgenannte Faktor ändert sich der Hauptsache nach nur mit der Aktion des Herzens und zwar für alle Arterien in gleichem Sinne, der letztere ändert sich mit dem *Zustande der Capillaren*, welcher *stets nur in begrenzten Gebieten einheitlicher Natur* ist. Schwankungen der allgemeinen Blutversorgung werden also vom Herzen, Schwankungen der örtlichen Blutversorgung von den kleinen Gefäßen abhängig sein. In jedem hintereinander geschalteten Röhrensystem, in welchem ein bestimmter Abschnitt den größten Widerstand bietet, hängt, falls geringe Schwankungen der Rohrweite in allen Abschnitten auftreten können, die *Durchströmungsmenge* im wesentlichen von dem *Zustande des Röhrenabschnitts mit größtem Widerstande* ab, im Gefäßsystem also von dem Zustand der kleinsten Gefäße. Auch diese Überlegung führt somit zu dem Schluß, daß Änderungen in der örtlichen Blutverteilung von Änderungen im Verhalten der kleinsten Gefäße bestimmt werden.

Der periphere Widerstand nimmt entsprechend dem verringerten Querschnitt der Einzelgefäße zu, entsprechend dem vergrößerten Gesamtquerschnitt ab, der erstere Faktor überwiegt aber bei weitem (außer am Übergang der Präcapillaren zu den Capillaren). Die Widerstandszunahme nach den kleinen Gefäßen hin wird ferner außer durch die große Zahl dieser kleinen Gefäße (wodurch der vergrößerte Gesamtquerschnitt bedingt ist) auch durch die abnehmende Länge dieser Gefäße wesentlich eingeschränkt. Die *Widerstandszunahme durch Verringerung der Gefäßdurchmesser* ist rechnerisch dadurch festgelegt, daß nach Poiseuille bei Durchströmung von 2 Röhren von gleicher Länge, unter den gleichen Verhältnissen des Drucks und der Viscosität das Durchflußvolumen in der Zeiteinheit allein von dem Querschnitt abhängt und der 4. Potenz des Durchmessers proportional ist (vgl. die tabellarische Übersicht in der Erläuterung zu Tafel II). Der Widerstand wächst also mit dem reziproken Wert der 4. Potenz des Durchmessers am Einzelgefäß. Die *periphere Zunahme des Gesamtquerschnitts* bedeutet nach Heß<sup>1</sup> nicht in

<sup>1</sup> Heß, W. R.: Die Zweckmäßigkeit im Blutkreislauf, Basel 1918, S. 18 u. 29.

jedem Falle eine Widerstandsverringering; für das Gefäßsystem des Menschen ist nach ihm das Widerstandsmindestmaß erreicht, wenn die Summe der Astquerschnitte das 1,26fache ( $= \sqrt[3]{2}$ ) des Stammquerschnittes beträgt. Das Verhältnis der Zahl der Seitenäste zum Hauptgefäß und das Verhältnis der Längen der aufeinanderfolgenden Internodien ist noch wenig erforscht; es ist nur bekannt, daß die Internodien nach den Capillaren zu immer kürzer werden. Über die *Zahl der Äste* kann man sich am besten am Dünndarm unterrichten. *Mall* fand hier im Gefäßgebiet der Arteria mesenterica des Hundes von dem Hauptgefäß bis zu den in den Zotten befindlichen Capillaren eine Verzweigung zunächst auf 15 Äste, weiterhin das 3fache der Astzahl, dann das rund 40fache (Übergang auf die Darmwand), das 15fache, das 12fache (Übergang auf die Zotten), das 3fache und das 45fache (Übergang zu den Capillaren), im ganzen eine Zunahme von 1 auf 47 300 000 (Zahl der Capillaren). Dem entsprach eine *Abnahme der Gefäßdurchmesser von 3 mm auf 0,008 mm in den 8 Stufen* der Verzweigung. Diese Stufen entsprechen nun im wesentlichen durchaus dem *Prinzip der Abnahme des Gefäßdurchmessers um die Hälfte von einer Stufe bis zur nächsten*. Die Befunde und Rechnungsergebnisse von *Mall*, mit Ergänzungen von *Schleier*<sup>1</sup>, enthält die folgende Tabelle:

Tabelle 4.

Stufe		Zahl der Gefäße	Durchmesser mm	Ges. Querschnitt qcm	Länge cm	Geschwindigkeit cm/Sek.
4. — 5.	Mesaraica . . . . .	1	3,0	0,07	6,0	16,8
6.	Hauptzweige . . . . .	15	1,0	0,12	4,5	10,1
7.	Endzweige . . . . .	45	0,6	0,13	3,91	9,3
9.	Kurze und lange Darmart..	1 899	0,14	0,20	1,42	5,8
10.	Letzte Zweige derselben . .	26 640	0,05	0,57	0,11	2,1
11.	Zweige zu den Zotten . . .	328 500	0,031	2,48	0,15	0,48
12.	Arterien der Zotten . . . .	1 051 000	0,022	4,18	0,20	0,28
13.	Capillaren der Zotten . . .	47 300 000	0,008	23,78	0,04	0,05
	Mesenterialvene . . . . .	1	6,0	0,28	6,0	4,2

Nur die 8. Stufe fällt bei *Mall* aus.

Als Formel für die stufenweise erfolgende Abnahme der *Gefäßdurchmesser* haben wir die Reihe:  $\frac{a}{2}; \frac{a}{2^2}; \frac{a}{2^3}; \dots \dots \frac{a}{2^{12}}$  gefunden; eine ähnliche Reihe läßt sich für die stufenweise erfolgende Abnahme der Gefäßlängen aufstellen; diese Reihe hat in noch ausgesprochenerem Maße als die der Durchmesser ihre größte Regelmäßigkeit bei den kleinen Gefäßen und wird daher bei diesen am besten erkannt. Aus der Tabelle von *Mall* ergibt sich angenähert eine Reihe:

$$a; 6/10a; (6/10)^2a; (6/10)^3a \dots \dots (6/10)^{12}a.$$

<sup>1</sup> *Schleier*: Pflügers Arch. 173.

Während die Reihe der Durchmesser besagt, daß alle folgenden Glieder zusammen nicht so groß sind wie ein als Ausgangspunkt gewähltes, ist in der Reihe der *Gefäßlängen* nur die Summe zweier aufeinanderfolgender Glieder stets größer als die Summe aller folgenden, aber niemals doppelt so groß wie jene Summe.

Die Reihe der Größenordnungen aufeinanderfolgender Gefäßabschnitte gilt hinsichtlich der Gefäßlängen im wesentlichen nur für die im Parenchym liegenden Gefäße, nicht die großen zuführenden Hauptstraßen, welche wir als die Aorta und ihre (benannten) Hauptäste und Hauptzweige zusammenfassen können. Den eigentlichen *Ausgangspunkt* für

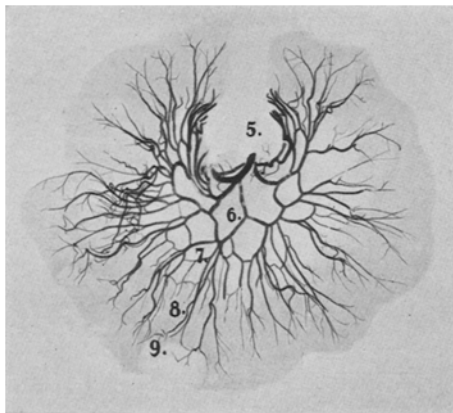


Abb. 2. Darstellung der unteren 6 Gefäßstufen im arteriellen Gefäßsystem an der Dünndarmschlinge eines Neugeborenen. (Röntgenaufnahme nach Kontrastmittelinjektion.)

*Injiziert:* 5. Stufe: Mesenterica sup. Durchmesser etwa 1 mm; 6. Stufe: Hauptzweige, grobes Netz. Durchm. etwa  $\frac{1}{2}$  mm = 0,5 mm; 7. Stufe: Nebenzweige, feinere Einzelschlingen. Durchm. etwa  $\frac{1}{4}$  mm = 0,25 mm; 8. Stufe: Kurze und lange Darmwandarterien. Durchm. etwa  $\frac{1}{8}$  mm = 0,125 mm; 9. Stufe: Letzte Zweige derselben. Durchm. etwa  $\frac{1}{16}$  mm = 0,063 mm; 10. Stufe: Zweige zu den Zotten. Durchm. etwa  $\frac{1}{32}$  mm = 0,031 mm (makroskopisch nur eben wahrnehmbar). — *Nicht injiziert:* 11. Stufe: Arterien der Zotten. Durchm. etwa  $\frac{1}{64}$  mm = 0,015 mm; 12. Stufe: Capillaren. Durchm. etwa  $\frac{1}{128}$  mm = 0,0078 mm.

Muskulatur bzw. in dicken Schichten des Fettgewebes nebeneinander und schließen an größere Zufuhrbahnen an, die entweder fächerförmig verteilt sind, wie im Nierenhilus und im Darmmesenterium, oder sich zu einem Gefäßring vereinigen, wie am Circulus Willisii, oder als geradlinig langgestreckte Straßen dahinziehen, wie in den Extremitäten. Die Dicke dieser Gewebsschicht, welche von den Gefäßbäumchen mit den 6 untersten Größenstufen durchsetzt wird, kann beim Menschen (Erwachsenen) auf 4 cm geschätzt werden, beim ausgetragenen Neugeborenen und beim

die Größenordnungsreihe bildet die bei verschiedenen Organen und bei Säugetieren sehr verschiedener Größe *annähernd einheitliche Größenordnung der Capillaren* mit etwa 0,5—1,0 mm Länge und 0,01—0,005 mm Durchmesser. Von den Capillaren aus gelangt man in 2—3 Stufen zu den *Arteriolen* von der Größenordnung  $1 \text{ cm} \times \frac{1}{10} \text{ mm}$  — und *von hier* in 3 Stufen zu den *kleinen Arterien* — Größenordnung  $5 \text{ cm} \times 1 \text{ mm}$ .

Die *untersten 6 Stufen* stehen den darüberliegenden Größenordnungen in verschiedener

Hinsicht gegenüber; sie stellen eine baumförmige Verästelung dar, welche sich auf einer Zone von einigen Zentimetern Dicke der Gewebsschicht verzweigt; sie liegen im Parenchym z. B. des Gehirns, der Niere, des Darms, in der

Kaninchen auf etwa 3 cm, beim Meerschweinchen auf 2 cm. Diese Größen entsprechen der Gesamtlänge der untersten 4—6 Größenstufen der Gefäße. Die Durchmesser von Organen wie Gehirn, Nieren, Darm und die Querdurchmesser der Extremitäten ordnen sich dementsprechend ein; *kein Capillargebiet* ist von den besprochenen *Hauptzufuhrstraßen*, die beim Kaninchen etwa 0,5 mm, beim Menschen etwa 1 mm Durchmesser in der untersten Größenstufe aufweisen, *weiter entfernt, als der angegebenen Gewebedicke entspricht*. Die Gefäße des Parenchyms — beim erwachsenen Menschen „die letzten 4 cm“ — stellen den Hauptwiderstand im gesamten Gefäßgebiet dar und den wichtigsten Kreislaufregulator; sie beanspruchen mehr als die Hälfte der Durchströmungszeit; auf dieser Strecke wird im wesentlichen die Blutwärme an die Gewebe abgegeben. Chirurgisch betrachtet sind dies die Gefäße, welche nicht „spritzen“, sondern nur eine parenchymatöse Blutung veranlassen; ihre Blutung steht auf Tupferkompression. Sie brauchen bei der Operation nicht geschont zu werden, da zahlreiche Seitenbahnen stets vorhanden sind.

Die aus den Stufen ersichtliche ziemlich gleichmäßige *Abnahme der Einzeldurchmesser* hat eine entsprechend gleichmäßige Zunahme der einzelnen Gefäßwiderstände und dementsprechende Geschwindigkeitsabnahme zur Folge. Das starke Absinken der Geschwindigkeit von der 10. zur 11. Stufe und wiederum von der 12. zur 13. Stufe ist, wie die Tabelle 4, S. 549 lehrt, durch die *starke Zunahme des Gesamtquerschnitts* bedingt, was gleichzeitig mit einer Verringerung des Gesamtwiderstandes verbunden ist. Außer der starken Vergrößerung des Gesamtquerschnitts wirkt von der 10. Stufe ab die *Kürze der Gefäße* (nur 1—2 mm Länge) in einem die Widerstandszunahme beschränkenden Sinne.

Berechnet man aus den Gefäßlängen und den Gesamtquerschnitten einerseits das Volumen der verschiedenen Größenstufen, aus den Gefäßlängen und den Geschwindigkeiten andererseits die *Durchströmungsgeschwindigkeit* einer jeden Stufe, so erhält man folgende Übersicht.

Die Übersicht zeigt hinsichtlich des vorliegenden Beispiels vom Dünndarm des Hundes, daß das *Volumen* der Arterien zu dem der Capillaren und Venen sich wie rund 3 : 1 : 11 verhält. Das Capillarovolumen macht also im Verhältnis zu dem der zuführenden Arterien einen nennenswerten Betrag aus, im Verhältnis zu dem Volumen der abführenden Venen erscheint es unbedeutend. Die *Durchströmungszeit* des Abschnittes: Arteria mesenterica — Capillaren beträgt nach der Zusammenstellung  $3\frac{1}{3}$  Sek., von denen  $2\frac{1}{2}$  Sek. auf die Arterien und 0,8 Sek. auf die Capillaren entfallen; die 16 cm lange Strecke vom Beginn der Arteria mesenterica bis zu den letzten Zweigen der Darmarterien wird in weniger als der Hälfte der Zeit durchlaufen (1,51 Sek.), die 4 mm lange Strecke von dem zur Zotte führenden Zweig bis durch die Capillaren *beansprucht mehr als die Hälfte der Gesamtzeit* (1,82 Sek.). Nehmen wir für Hunde der genannten Größe die Länge des Aortenabschnittes bis zum Abgang der

Tabelle 5.

Stufe	Länge cm		Volumen ccm		Zeit Sek.	
4.—5.	6,0	14,41	0,42	1,47	0,35	1,22
6.	4,5		0,54		0,45	
7.	3,91		0,51		0,42	
9.	1,42	1,68	0,28	0,71	0,24	0,60
10.	0,11		0,06		0,05	
11.	0,15		0,37		0,31	
12.	0,20	0,24	0,84	1,79	0,71	1,51
13.	0,04		0,95		0,80	
		16,02		3,97		3,33
Arterien . . .	15,98		3,02		2,53	
Capillaren . . .	0,04		0,95		0,80	
Venen. . . . .	16,29		11,17		9,58	
	32,31		15,14		12,91	

Arteria mesenterica mit 12 cm an und setzen die mittlere Geschwindigkeit in der Aorta nach Messungen von *Nicolls*<sup>1</sup> mit 346 mm pro Sekunde ein, so würde das Blut zur Zurücklegung der genannten Aortenstrecke nur rund  $\frac{1}{3}$  Sek. gebrauchen. Mithin würde das Blut von der ganzen Strecke: Aortenanfang — Capillaren in der 1. Hälfte der Zeit den Weg bis an die Zottenbasis zurücklegen und dann nochmals die gleiche Zeit für die kurze Wegstrecke bis durch die Capillaren nötig haben. *Mit Ablauf des 1. Viertels der Gesamtzeit* (0,92 Sek.) würde das Blut etwa die Wegstrecke vom Herzen bis zur Mitte des Mesenterialblattes zurückgelegt haben.

Die Venenstrecke von den Dünndarmcapillaren bis zur Hauptvene wird nach obiger Zusammenstellung in 9,58 Sek. zurückgelegt. Denken wir uns die Hauptvene in Art der *Eckschen* Fistel unmittelbar mit der Vena cava inferior vereinigt, so würde, wenn wir der Geschwindigkeit in den großen Venen nach den Berechnungen von *Burton-Opitz*<sup>2</sup> einen Mittelwert von 100 mm pro Sekunde zugrunde legen, die Reststrecke von der Vena cava bis zum rechten Vorhof in etwa 1 Sek. durchlaufen werden, d. h. rund  $10\frac{1}{2}$  Sek. für den ganzen Weg. Für die Durchströmung der Leber, welche unter natürlichen Verhältnissen in den Weg eingeschaltet ist, müssen wir aber noch einen erheblichen Zeitraum, etwa 1 Min., hinzurechnen (nach *Jolyet* und *Rosapelli*<sup>3</sup> gelangt eine in die Pfortader eingespritzte blutfremde Flüssigkeit in 60—70 Sek. einmal durch die Leber). Der Kreislaufabschnitt vom linken Herzen durch den

<sup>1</sup> *Nicolls*: J. of Physiol. 20, 418 (1896).

<sup>2</sup> *Burton-Opitz*: Zit. nach *Tigerstedt*: Physiologie des Kreislaufs, 2. Aufl. 3, 287.

<sup>3</sup> *Jolyet* u. *Rosapelli*: Zit. nach *Tigerstedt*: Physiologie des Kreislaufs, 2. Aufl. 3, 294.

*Dünndarm zum rechten Vorhof* würde hiernach beim Hunde im ganzen in etwa  $1\frac{1}{4}$  Min. und abgesehen von der Leber in  $14\frac{1}{4}$  Sek. durchlaufen werden.

Vierordt<sup>1</sup> hat die *Kreislaufdauer* von Jugularis zu Jugularis, von Cruralis zu Cruralis bzw. von Jugularis zu Cruralis beim Hunde gemessen und hieraus eine Kreislaufszeit von 16,7 Sek. berechnet. Bei diesen Messungen ist zu berücksichtigen, daß der Weg von einer Jugularis zur anderen eine sehr kurze Kreislaufbahn darstellt, daß bei Messung an der Cruralis Testproben von Blut zur Beobachtung gelangen, welche zum Teil durch die Capillargebiete des Oberschenkels (nicht des Fußes) hindurchgetreten sind, und daß die zuerst anlangende Portion aus dem schneller fließenden Achsenstrom der großen Gefäße stammt; es wird also nur die kürzeste Zeit festgestellt, in welcher das in den Blutstrom eingeführte Ferrocyanalium die betreffende Kreislaufbahn passieren kann. Tigerstedt<sup>2</sup> schätzt die *tatsächliche mittlere Geschwindigkeit* nur auf etwas mehr als die Hälfte der maximalen.

Die gleichen Überlegungen gelten für die Messungen, welche Koch<sup>3</sup> beim Menschen mittels Einspritzung von Fluorescein in die *Vena cubitalis* der einen Seite und Auffangen von Blutproben an der *Cubitalis der anderen Seite* angestellt hat; hier wurde ebenfalls die höchste Geschwindigkeit gemessen. Koch fand bei 43 gesunden Menschen von 25—40 Jahren eine *Kreislaufszeit von durchschnittlich 20,9 Sek.* Bei einem und demselben Menschen fand er das Testmittel nach 18 Sek. in der Armvene der Gegenseite, aber bereits nach 10 Sek. in der Arterie der Ellenbeuge; der Unterschied von 8 Sek. würde demgemäß für die kurze Wegstrecke von der Arterie der Ellenbeuge bis zur Vena cubitalis in Anspruch genommen werden. Erhebliche *Verlängerung der Kreislaufszeit* fand Koch bei Nephritikern mit Hypertonie (bis 43 Sek.), bei Polycythämie und Leukämie (bis 50 Sek.). Bei Kreislaufinsuffizienz wurde eine Kreislaufszeit von 30—60 Sek. festgestellt. Koch fand als kürzeste Kreislaufszeit auf der genannten Gefäßbahn beim Normalen 12 Sek., beim Anämischen 10 Sek.

Die *kürzeste Durchströmungszeit für eine Arterie und das zugehörige Capillargebiet* wird wohl bei der reaktiven Hyperämie nach plötzlicher Lösung eines Blutleereschlauches beobachtet (0,8—0,9 Sek. für den horizontal gehaltenen oder hängenden Arm), worauf Bier<sup>4</sup> neuerdings wieder hingewiesen hat. In origineller Weise haben Frank und Alwens<sup>5</sup> die Geschwindigkeit in den großen Venen beim Versuchstier bestimmt,

<sup>1</sup> Vierordt: Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeit des Blutes. Frankfurt a. M. 1858, 117f.

<sup>2</sup> Tigerstedt: l. c. 4, 61.

<sup>3</sup> Koch: Dtsch. Arch. klin. Med. 140, 39 (1922).

<sup>4</sup> Bier, A.: Über die Stromgeschwindigkeit des Blutes im Arm nach künstlicher Blutleere. Münch. med. Wschr. 1928, 27.

<sup>5</sup> Frank, O. u. Alwens: Münch. med. Wschr. 1910, 954.



indem sie Bismutöl in die Vena femoralis einspritzten und das Forttreiben der Ölkugeln bis zum rechten Vorhof vor dem Röntgenschirm verfolgten; sie fanden bemerkenswert lange Zeiten, nämlich 16—18 Sek. beim Hunde und 6 Sek. beim Kaninchen.

Die Kreislaufzeiten beim ruhenden Menschen und Versuchstier sind wohl für die Mehrzahl der Organe und somit auch für den Gesamtkörper als größer anzunehmen, als auf Grund der bisherigen Messungen zu erschließen ist. Wenn wir die *mittlere Umlaufszeit des gesamten Blutes des Menschen* berechnen wollen, so können wir hierfür die Zeit setzen, in welcher eine der *Gesamtblutmenge des Körpers gleiche Menge einmal durch das linke Herz hindurchgetrieben* wird. Rechnen wir die Gesamtblutmenge zu 4200 ccm und das Schlagvolumen der linken Herzkammer zu 60 ccm, so wirft das linke Herz mit 70 Pulsschlägen eine der Gesamtblutmenge gleiche Menge aus; dies geschieht in 60 Sek. Stellen wir uns ein streng symmetrisch dichotom verästeltes, von einem Hauptrohr ausgehendes und sich wieder zu einem Hauptrohr vereinigendes Röhrensystem vor, wie es ähnlich am Dünndarm vorliegt, so würden alle gleichzeitig in die Hauptarterie eintretenden Blutteilchen in annähernd gleichmäßiger Front durch alle Verzweigungen vorrücken und annähernd gleichzeitig an dem einheitlichen Abflußrohr wieder eintreffen; jedes würde seinen Weg erst mit abnehmender, dann mit zunehmender, im Verhältnis zu den anderen Teilchen aber gleichbleibender durchschnittlicher Geschwindigkeit zurücklegen. Werden in dieses System, das 4200 ccm umfassen soll, in 1 Min. 70 Volumina zu je 60 ccm eingeworfen, und ist das erste eingeworfene Quantum nach 1 Min. eben aus dem Abflußrohr ausgetreten, so beträgt die gesamte Durchströmungsdauer des Systems 60 Sek. und die für jede der parallel geschalteten Strombahnen ebenfalls 60 Sek. Beobachten wir nun an einem solchen System bei gleichbleibenden Einwurfsmengen auf einer Anzahl der parallel geschalteten Strecken, z. B. auf einem Viertel des Systems, die *3fache Durchströmungsgeschwindigkeit* (die durch eine Herabsetzung des Widerstandes in diesem Systemabschnitt irgendwie hervorgerufen sein mag), so wird dem Abflußrohr von der am Zuflußrohr eintretenden Menge auf diesem Viertel der Bahn das 3mal  $\frac{1}{4}$ fache der Gesamtmenge zugeführt und für die übrigen  $\frac{3}{4}$  der Strombahnen bleibt nur  $\frac{1}{4}$  der Gesamtmenge, d. h. für jede dieser Strombahnen  $\frac{1}{3}$  ihrer bisherigen Stromführung übrig. Es würde also ein Ausgleich stattfinden, wenn die *Strömung auf dem  $\frac{3}{4}$ -Anteil der Strombahn* 3mal so langsam erfolgte als zuvor. Durch die erste Strombahn flößen dann in der Zeiteinheit  $3x$  und durch jede der übrigen (drei) Strombahnen  $\frac{1}{3}x$ , d. h. wenn die Geschwindigkeit hier um das 3fache zunimmt, muß sie dort um das 3fache sinken, wenn die Gesamtförderung dieselbe bleiben soll. Ebenso müssen wir für den Kreislauf des Menschen annehmen, daß dem *Kreislaufgebiet von Ellenbeuge zu Ellenbeuge*, dessen Kreislaufzeit rund

20 Sek. beträgt und sich somit zur vorher errechneten mittleren Kreislaufszeit des Gesamtkörpers von 60 Sek. wie 1:3 verhält, Ausgleichsgebiete gegenüberstehen, in denen die Kreislaufszeit ein Mehrfaches der durchschnittlichen Kreislaufsdauer beträgt. Nehmen wir als mittlere (nicht kürzeste) Kreislaufszeit für die Arme 30 Sek. an, also die Hälfte der durchschnittlichen Kreislaufszeit des Gesamtkörpers, und schätzen wir das Ausgleichsgebiet auf das Doppelte dieses schneller durchströmten Gebietes ein, so würde sich die Kreislaufszeit für dieses größere Körpergebiet auf das Doppelte verlängern. Im ganzen gilt: *je kleiner das Zweiggebiet ist, auf welchem sich ein im Verhältnis zu dem durchschnittlichen beschleunigter Kreislauf vollzieht, desto geringer ist die den Ausgleich schaffende Verlangsamung* auf den anderen Bahnen zu veranschlagen. Rechnen wir nach *Ranke*<sup>1</sup> beim Kaninchen 29,20% des Gesamtblutes auf die ruhende Muskulatur und 35,83% auf die Organe des Pfortaderkreislaufs, so würden diese beiden parallel geschalteten Kreisläufe bei gleicher durchschnittlicher Stromgeschwindigkeit in der Zeiteinheit eine diesen Zahlenwerten entsprechende Blutmenge liefern. Wird die Muskulatur im ganzen um 60% rascher durchströmt als der mittleren Kreislaufszeit des Gesamtkörpers entspricht, so fördert sie in der gleichen Zeit 17,52% mehr vom Gesamtblut; haben die Organe des Pfortaderkreislaufs gleichzeitig nur die Hälfte der mittleren Durchströmungsdauer, so liefern sie 17,96% des Gesamtbluts weniger; in diesem Falle würden also beide Organsysteme zusammen dieselbe Menge liefern — rund 55% —, wie wenn sie beide mit gleicher Geschwindigkeit durchströmt würden.

Betrachten wir nun im Anschluß an die auf Seite 544/545 angestellten Erwägungen über „Blutverschiebungen“ den Sinn des Begriffes Hyperämie, welcher dort (S. 544) in bezug auf das Schema der Volumenverteilung des Blutes besprochen worden war, nunmehr auch im Hinblick auf das Durchströmungsschema (Tafel II).

Eine arterielle *Hyperämie* bedeutet im Durchströmungsschema eine *positive Inhaltsverschiebung* bei während der ganzen Dauer der Hyperämie vermehrter Durchströmung. Eine *beschleunigte Durchströmung* eines größeren Capillargebietes ist nicht möglich, wenn nicht zugleich die Geschwindigkeit in der dieses Gebiet versorgenden Arterie bei gleichem Querschnitt entsprechend zunimmt; findet nicht nur Strombeschleunigung in einem Capillargebiet statt, sondern außerdem (eventuell als Ursache der Beschleunigung) eine Verbreiterung der capillären Strombahn (Erweiterung der Capillaren, Zunahme der Zahl der durchströmten Capillaren), so muß auch letzten Endes die zuführende Arterie weiter sein. Dies gilt bei jeder Art der Hyperämie von längerer Dauer; es gilt aber nicht für den Zeitabschnitt, in welchem sich die Hyperämie

<sup>1</sup> *Ranke, I.:* Die Blutverteilung und der Tätigkeitswechsel der Organe. (1871), S. 80/81.

entwickelt. Wenn nämlich die Hyperämie wie jede Änderung örtlicher Durchströmungsverhältnisse von den Capillaren ihren Ausgang nimmt,

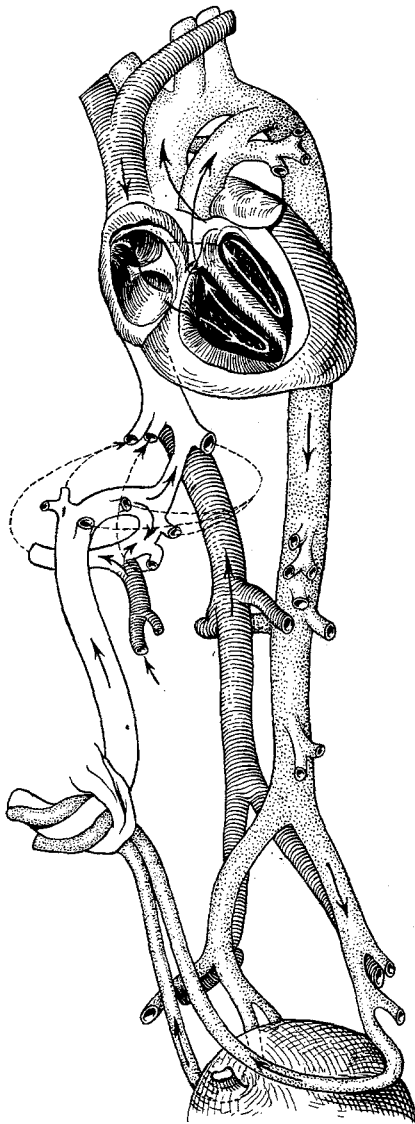


Abb. 3. Übersichtsschema des fetalen Kreislaufs (nach Spalteholz). Hell: arterielles Blut. Pünktelung: Mischblut. Schraffiert: venöses Blut.

so muß das sich erweiternde Capillargebiet den davor geschalteten Arterien über das Durchströmungsvolumen hinaus in zunehmendem Maße Blut entziehen, bis die Höhe der Hyperämie erreicht ist. Es ist also im Anfangsstadium der arteriellen Hyperämie mit einem Gegensatz von Füllungszustand der kleinsten Gefäße und der zuführenden Arterien zu rechnen. In welchem Umfange dies der Fall ist, werden die folgenden Untersuchungen lehren.—Nur die aktive, tonische Erweiterung der Capillaren hat eine beschleunigte Durchströmung zur Folge; sind die Capillaren gelähmt und durch das reichlich eintretende Blut gedehnt, so findet doch keine der Erweiterung der Einzelcapillare entsprechende Beschleunigung, vielmehr eine der Verbreiterung der gesamten capillären Strombahn entsprechende Verlangsamung der Durchströmung statt. Hat sich mit der Andauer der arteriellen Hyperämie die tonische Gefäßerweiterung von den kleinen Gefäßen bis auf die zuführende Hauptarterie fortgesetzt, so muß diese entsprechend ihrem nunmehrigen Durchmesser dem Aortensystem dauernd mehr Blut entziehen, was im Ausgleich zu einer Einsparung in der Versorgung anderer Aortenäste führen muß oder allenfalls durch eine dauernd

verstärkte Herzaktion ausgeglichen werden kann. Würde z. B. das eine Bein nebst Beckenhälfte — infolge besonderer experimenteller

Umstände (starke Erwärmung), infolge hochgradiger Entzündung oder infolge Bestehens einer stark durchströmten Geschwulst — eine Durchströmung von der Iliaca communis her beanspruchen, welche um 100% gesteigert ist, so würde die Aorta dieser Anforderung gerecht werden können, wenn sie den gesamten Abstrom am unteren Aortenende der betreffenden Iliaca communis zuwenden würde und die Iliaca communis der anderen Seite völlig unversorgt ließe. Dies geschieht natürlich nicht; es findet vielmehr eine Abflußbeschränkung an der Mehrzahl oder allen von der Aorta abgehenden Gefäßstämmen statt; die *Durchmesser dieser Abzweigungen*, wie sie in dem geschilderten Durchströmungsschema gegeben sind, und die *Durchflußmengen der Aortenäste*, wie sie in der Tabelle von Thoma aufgeführt sind, müssen sich vermindern. Man kann vermuten, daß die kompensatorische Beeinträchtigung in dem gewählten Beispiel an der Iliaca communis der anderen Seite am größten und an den ferner liegenden Aortenästen am geringsten ist. Über diese Ausgleichsvorgänge zwischen parallel geschalteten Kreislaufbahnen soll durch die Untersuchungen Tatsachenmaterial beigebracht werden. *Abweichungen* von diesem allgemeinen Ausgleichsschema werden sich besonders hinsichtlich derjenigen Organe ergeben, welche infolge ihrer bevorzugten funktionellen Bedeutung darauf angewiesen und gewohnt sind, ihre Versorgung mit arteriellem Blut durch Regelung des Widerstandes in ihrem Gefäßnetz auf konstanter Höhe zu erhalten. Welche Organe eine solche bevorzugte Selbststeuerung ihrer Versorgung besitzen, wird sich aus den folgenden Untersuchungen entnehmen lassen.

Tabelle 6. (Zu Seite 559.)

Stufe	Erwachsener	mm	Neugeborener	Stufe
1.	Aortenbogen . . . . .	32		1.
2.	Aorta descendens . . . . .	16		2.
3.	Hauptäste der Aorta . . . . .	8	Aorta . . . . .	3.
4.	Circulus Willisii; A. radialis, ulnaris; Tibialis ant. und post. . . . .	4	Ductus Botalli; A. iliaca, comm., Hypogastrica, Umbilicalis . . . . .	4.
5.	A. meningea media, Art. ophthalmica; Art. spermatica int. . . . .	2	A. subclavia, femoralis; A. renalis . . . . .	5.
5.—6.	Gefäßbögen an Hand und Fuß			
6.	A. chorioidea; A. suprarenalis media . . . . .	1	A. radialis, ulnaris; Tibialis ant. und post. . . . .	6.
7.	Aa. oesophageae, mediast. post., . . . . .	0,5		7.
8.	A. centralis retinae . . . . .	0,25	Gefäßbögen an Hand u. Fuß . . . . .	7.—8.
9.		0,125		8.
10.	Arteriolen der A. centralis retinae . . . . .	0,063		9.
11.		0,032		10.
12.	Präcapillaren . . . . .	0,016	Präcapillaren . . . . .	11.
13.	Capillaren . . . . .	0,008	Capillaren . . . . .	12.
				13.

Wenden wir uns jetzt der Betrachtung der *Gefäßräume* und ihrer *Maßverhältnisse beim Neugeborenen*, unserem näheren Untersuchungsobjekt zu.

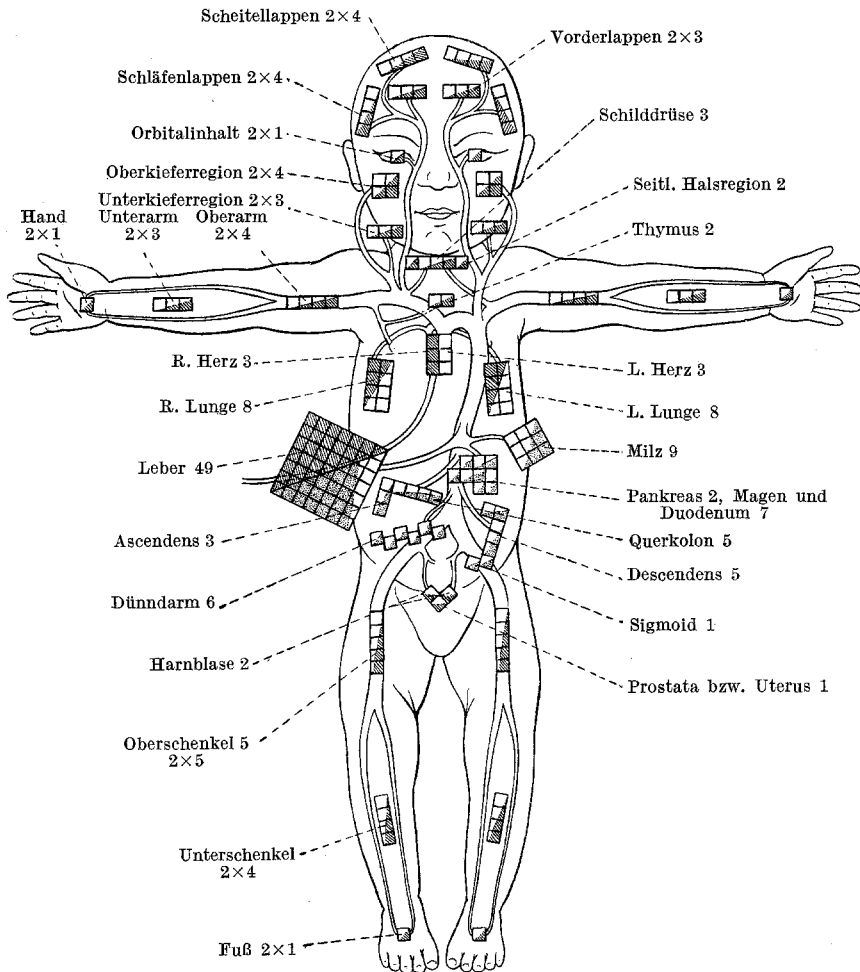


Abb. 4a. Schematische Darstellung der Gefäßvolumina beim Neugeborenen, eingetragen in ein Organschema (von vorn). Das gesamte Gefäßvolumen eines Neugeborenen von 3000 g Gewicht kann auf 300 ccm veranschlagt werden. Dieses Quantum verteilt sich in folgender Weise: Kopf 67 ccm (Großhirn 28 ccm, Kleinhirn 12 ccm, verläng. Mark 2 ccm), Hals 10 ccm, Arme 16 ccm, Brustregion 44 ccm (Herz 6 ccm, Lungen 16 ccm, Thymus 2 ccm), Bauchregion 143 ccm (Milz 9 ccm, Leber 49 ccm, Magen-Darm 32 ccm, Nieren 14 ccm, Nebennieren 2 ccm, Harnblase usw. 3 ccm, Ovar 2 ccm), Beine 20 ccm. Die diagonale Teilung in helle und schraffierte Bezirke soll andeuten, daß außer dem Capillarbezirk des betreffenden Organs sämtliche zuführenden Arterien und abführenden Venen in die Rechnung mit einbezogen sind; die diagonale Halbierung soll nichts über die wahre Verteilung der Volumina zwischen arteriellen und venösen Gefäßabschnitten aussagen (letzterer enthält ungefähr  $\frac{2}{3}$  des Blutes vgl. Tafel I). Die auf den portalen Gefäßabschnitt entfallenden Volumina sind durch Pünktelung angedeutet (ebenso wie bei Tafel I).

Die für das Neugeborene gültigen Durchschnittsmaße der Gefäßdurchmesser, sowie die sich hieraus ergebenden Größenordnungen der Hauptgefäße können, wie dies für den Erwachsenen geschehen ist, in

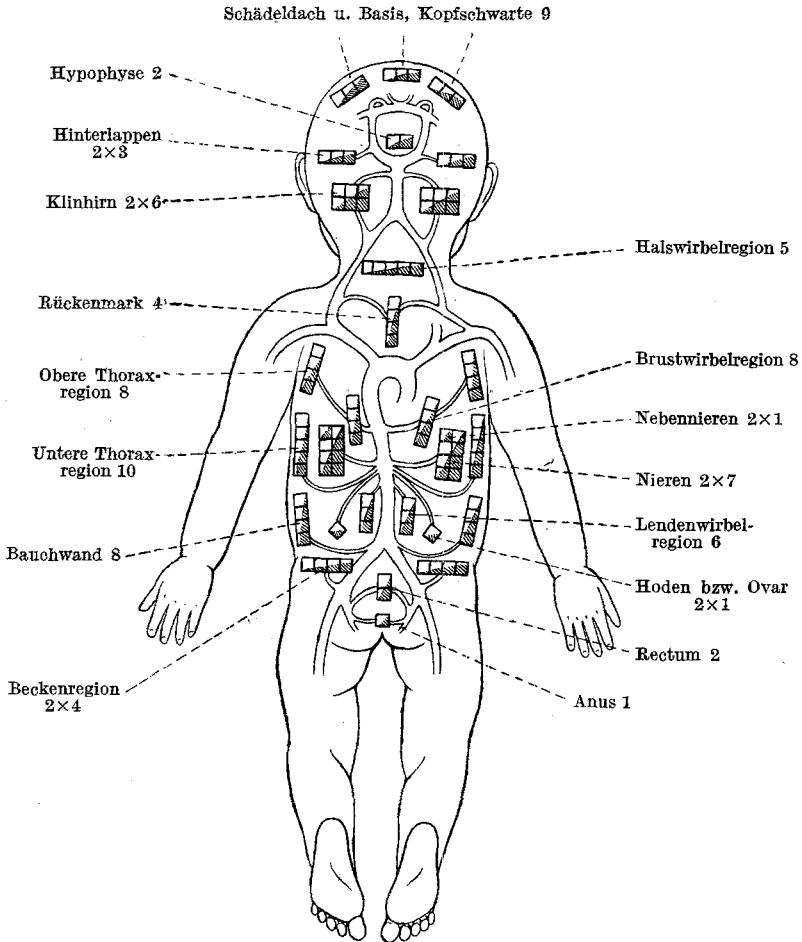


Abb. 4b. Schematische Darstellung wie bei Abb. 4a (von hinten).

schematische Darstellungen des Arteriensystems eingetragen werden (Tafel II, Abb. 2). Stellen wir eine Anzahl wichtiger Gefäße des Erwachsenen wie des Neugeborenen nach den Größenordnungen zusammen, so ergibt sich vorstehende Übersicht (Tabelle 6).

Die Gefäßdurchmesser nehmen von der Aorta an beim Erwachsenen rascher ab als beim Neugeborenen; dies bedeutet, daß die Äste der Aorta beim Neugeborenen verhältnismäßig weit, beim Erwachsenen

verhältnismäßig eng sind. Dem entspricht, daß sich der Aortenquerschnitt des Neugeborenen zur Summe der Astquerschnitte wie 0,58 zu 1,0 verhält; beim Erwachsenen ist dagegen der Aortenquerschnitt der Summe der Astquerschnitte gleich und übertrifft diese sogar nach dem 40. Lebensjahr (Verhältnis etwa 1,05 zu 1,0)<sup>1</sup>. — Zur Übersicht der allgemeinen Durchströmungsverhältnisse im fetalen Kreislauf dient eine halbschematische Darstellung (nach *Spalteholz*), welche die Verteilung sauerstoffreichen und sauerstoffarmen Blutes in den Hauptgefäßen zur Darstellung bringt (Abb. 3, s. S. 556).

Um einen Überblick über die mengenmäßige *Verteilung des Blutes* beim *Neugeborenen* zu gewinnen, kann man die Gefäßvolumina der wichtigsten Organgebiete mit ihren zu- und abführenden Gefäßen in einer schematischen Darstellung vereinigen, in welcher die Volumina durch Flächen dargestellt sind (ein Quadrat = 1 ccm); ein anschauliches Bild gewährt die Eintragung der die Gefäßgebiete wiedergebenden Feldflächen in ein Umrißschema des Körpers, entsprechend ihrer gegenseitigen Lage (Abb. 4a u. b, S. 558/559). Ein solches *Organschema* erwies sich als geeignet, um einmal den *mittleren Blutgehalt* und die *mittlere Durchströmungsgröße* der verschiedenen Organgebiete, dann aber in vergleichenden Eintragungen die Abweichungen zur Darstellung zu bringen, welche sich unter bestimmten Bedingungen des Versuchs hinsichtlich dieser verschiedenen Füllungen bzw. Durchströmungsgrößen ergeben (vgl. die Tafeln).

## B. Die Beobachtungen.

### 1. Versuche am lebenden Tier mittels Einspritzung kleiner Mengen eines Testfarbstoffs (Methode I).

a) Durchströmungsgeschwindigkeit und Durchströmungsgröße auf den verschiedenen Kreislaufbahnen (Tafel III, 1 u. IV).

Spritzt man einem Meerschweinchen 0,1 ccm einer mit Methylenblau versetzten Tuschelösung im Laufe von 5 Sek. ins linke Herz ein und bringt das Herz 15 Sek. nach Beendigung der Injektion durch Anlegen einer Klemme zum Stillstand, so findet sich der Farbstoff außer in der linken Herzkammer und der Herzwand beider Kammern im wesentlichen im Gehirn und im oberen Abschnitt des Rückenmarks. Am Gehirn findet sich die Tusche vorwiegend in den großen Zentren und der Hirnrinde, das Blau besonders am Hirnstamm, Hypophyse und 4. Kammer, an den Bulbi, am verlängerten Mark und oberen Rückenmarksabschnitt (Protokoll M. 57). — Verwendet man 0,2 ccm derselben gefärbten Lösung zur Injektion, spritzt man innerhalb von 17–19 Sek. ein und wartet 12–20 Sek., ehe man das Herz anhält, so findet man die Färbung regelmäßig auch auf das gesamte Rückenmark erstreckt, ferner stets die

<sup>1</sup> *Thoma, R.*: Untersuchungen über die Histogenese und Histomechanik des Gefäßsystems. Stuttgart 1893, S. 57.

Nebennierenrinde gefärbt und das rechte Herz sowie die Lungen beteiligt. Der Gegensatz vorwiegender Blaufärbung am Hirngrunde, vorwiegender Schwarzfärbung von großen Zentren und Hirnrinde macht sich noch geltend, ist aber weniger ausgesprochen; die blaue Farbe, welche zu diffundieren vermag, hat in ausgedehnterer Weise von den beim ersten Versuch genannten Gebieten Besitz ergriffen, während die Tusche auf kurzen Bahnen über die Coronargefäße bzw. Hirnbasis bereits in das rechte Herz und von hier in die Lungen gelangt ist. Wird eine Lunge durch teilweise Abklemmung etwas behindert, so tritt die Tusche hauptsächlich in der anderen Lunge auf. Die weiteren arteriellen Provinzen des großen Kreislaufs, welche bei dieser größeren Injektionsmenge und etwas längeren Durchströmungsdauer noch erreicht werden, nämlich das untere Rückenmark und die Nebennieren, werden im wesentlichen blau gefärbt gefunden. Ferner nimmt bei dieser etwas länger dauernden Zufuhr die Blaufärbung der Hypophyse, besonders ihres mittleren Lappens, an Stärke erheblich zu. Will man diese Intensitätszunahme der Färbung auf eine besonders hohe Durchträngungsfähigkeit der Hypophyse beziehen und eine solche auch für die Nebennierenrinde in Anspruch nehmen, so ist doch für die Nebennieren jedenfalls einwandfrei dargetan, daß diese einen größeren Anteil der einzelnen Schlagvolumina vom Herzen zugeführt bekommen als die in ungefähr gleicher Entfernung vom Herzen befindlichen Nieren und sonstigen Bauchorgane, da letztere in keinem der untersuchten Fälle zu einem so frühen Zeitpunkt nach dem Beginne der Einspritzung Farbstoff aufwiesen (vgl. Protokolle M. 56, M. 60, M. 61). — In einem weiteren Versuche wurden 0,3 ccm der gleichen Farblösung in 20 Sek. eingespritzt und nach weiteren 20 Sek. das Herz angehalten. Zu diesem Zeitpunkt findet man das Blau bis zur Nasen- und Luftröhrenschleimhaut vorgedrungen; es färbt jetzt das Gehirn in fast allen seinen Teilen, die Hypophyse bleibt aber bevorzugt. In den Rückenmarksgefäßen ist das Blau besonders an der Vorderseite des Rückenmarks sichtbar und man sieht, daß es dorthin jetzt auch durch den Rückenmarksast der Intercostalgefäße gelangt ist. An den Bauchorganen ist das Blau immer noch auf die Nebennierenrinde beschränkt. Die Tusche ist auf dem Wege über die Nebenniere bereits in die untere Hohlvene gelangt (vgl. Protokoll M. 63). — In dem letztgenannten Versuch war das Herz 40 Sek. nach Beginn der Einspritzung stillgestellt worden; in diesem Zeitabschnitt wurden nur 52 Herzkontraktionen gezählt (gegenüber 230 pro Minute in der Norm) und die Schlagvolumina waren eher etwas kleiner geworden als im Augenblick der Freilegung des Herzens, jedenfalls nicht vergrößert. Die Durchströmungsgeschwindigkeit mußte unter diesen Umständen verringert sein, die Verteilungsart war aber gegenüber den Versuchen mit annähernd normal schlagendem Herzen nicht verändert. — In einem weiteren Versuch wurde eine etwas größere Menge von schwarzer Farbflüssigkeit (1 ccm) bei entsprechend



verlängerter Injektionsdauer (60 Sek.) in das nur langsam schlagende Herz eingeführt. In diesem Falle wies das Großhirn in allen seinen Teilen und das gesamte Rückenmark Schwarzfärbung auf; ebenso wurde das Schwarz reichlich in den Nebennieren gefunden, und zwar vorwiegend in ihrem Inneren, weniger in der Rinde. Zu diesen auch sonst erreichten Gebieten traten aber noch die Nieren hinzu, ferner die Arterien des Pankreas und der Leber sowie solche an der Rückseite des Bauchfells. Ferner zeigten die Hauptgefäße an den proximalen Abschnitten der Vorderbeine Schwarzinjektion, am Halsquerschnitt fand sich eine solche in der Muskulatur und sogar in den Wirbelknochen. In Anbetracht der sehr verringerten Kreislaufgeschwindigkeit war das Herz erst 30 Sek. nach Schluß der Einspritzung zum Stillstand gebracht worden. Der Versuch zeigt die an die vorhergehende anschließende Etappe der Verteilung. — Injiziert man das linke Herz unter Bedingungen, wie bei dem vorhergehenden Versuch, gleichzeitig aber das rechte Herz mit derselben Menge einer Methylenblaulösung, so erhält man eine Verteilung der schwarzen Farbe in der geschilderten Weise, außerdem aber reine Blaufärbung im rechten Herzen und den Lungen und ferner am verlängerten Mark und dem Hirngrunde bis zu den Sehnerven. Unter den Bedingungen des Versuchs läßt sich hier beim verlangsamten Kreislauf beobachten, wie sich auf den kurzen Bahnen vollständige Kreisläufe — vom rechten Herzen zum linken Herzen über die Lunge — zu vollziehen vermögen, während auf längeren Bahnen des sog. großen Kreislaufs noch nicht einmal die arterielle Weggälfte zurückgelegt ist (vgl. Protokoll M. 2).

Zusammenfassend läßt sich aus den vorhergehenden Versuchen ableiten: *die am raschesten vom linken Herzen aus versorgten Organe* sind: 1. Die Herzwand, 2. Hirnstamm, verlängertes Mark und insbesondere der mittlere Abschnitt der Hypophyse; außerdem das Großhirn bis zu den Bulbi, das Kleinhirn und der oberste Abschnitt des Rückenmarks, 3. die Nebennieren; die mittleren und unteren Rückenmarksabschnitte. *Die am raschesten vom rechten Herzen aus versorgten Organe* sind: Die Lungen, das verlängerte Mark und die Hirnbasis (Tafel III, Abb. 1).

Ein Organ kann aus 2 Gründen „rasch vom Herzen versorgt“ sein: einmal weil der Weg vom Herzen zum Organ nur kurz ist, 2. weil der *Weg vom Herzen zum Organ* und durch die Capillaren des Organs hindurch von der Strömung *mit großer Geschwindigkeit zurückgelegt* wird. Nur in letzterem Falle ist die rasche Versorgung ohne weiteres als eine *bevorzugte Versorgung* zu betrachten, während im ersteren Falle der längere Weg nur dann eine mangelhaftere Versorgung bedeuten würde, wenn auf dem längeren Wege eine Qualitätsverschlechterung des Blutes oder eine Verringerung der Menge durch Verluste auf der zurückgelegten Bahn oder schließlich eine Geschwindigkeitsabnahme als Folge der Weglänge eintritt. Die bisher angeführten Versuche beziehen sich nur auf die

in mäßiger Entfernung vom Herzen gelegenen Organe, die infolge des verhältnismäßig kurzen Weges zunächst von den vom Herzen ausgeworfenen Blutmengen erreicht werden müssen. Sie zeigen nun, daß *zwischen in gleicher Entfernung zum Herzen gelegenen Organen erhebliche Unterschiede bestehen hinsichtlich des Zeitpunktes, in denen diese Organe zuerst durch ein Blutquantum erreicht werden und hinsichtlich des Grades, mit der sie versorgt werden* (Hypophyse bzw. Nebennieren einerseits, Gehirn bzw. Nieren andererseits).

Für Organe, welche verschieden weit vom Herzen entfernt sind, kann aus dem späteren Auftreten der Farbflüssigkeit auf eine mit zunehmender Entfernung geringere Versorgung nur geschlossen werden, soweit der Bau und die Eigenschaften des Gefäßsystems quantitative und qualitative Einbußen und Geschwindigkeitsverlust zur Folge haben. Für die Aorta und die Arterien trifft die Annahme, daß die Blutbeschaffenheit unverändert bleibt, jedenfalls weitgehend zu; die Geschwindigkeit muß aber mit der Zunahme der Einzelwiderstände eine ständige Verringerung erleiden; die Menge muß durch die Seitenäste unaufhaltsame Verluste erfahren. Daraus folgt für die tatsächlichen Verhältnisse des des Kreislaufs schließlich doch für die vom *Herzen entfernteren gelegenen Gebiete eine mangelhaftere Versorgung*, die nur durch besondere Regelungseinrichtungen zeitweise wettgemacht oder überkompensiert werden kann.

Wird durch eine größere, dem linken Herzen über längere Zeit zugeführte Menge von Testfarbstoff eine allgemeinere Versorgung der Organe mit diesem erzielt, so zeigt sich, daß *gewisse Organe in der Versorgung regelmäßig zurückbleiben*. Auch für diese „am spätesten vom Herzen versorgten Organe“ gilt die Betrachtung, daß die späte Versorgung nur insoweit als geringere Versorgung angesehen werden darf, als sie mit einer geringeren Durchströmungsgeschwindigkeit des Organs und entsprechend verlangsamter Zufuhr verknüpft ist. Um nun diese *in der Versorgung zurückstehenden Organe* zu ermitteln, wird die Einspritzung besser an größeren Versuchstieren (Schweinen) ausgeführt, da die größere und über längere Zeit hin eingeführte Menge, welche für solche Versuche erforderlich ist, von diesen Tieren leichter ohne Beeinträchtigung der Herztätigkeit ertragen wird und in seiner Ausbreitung am Körper auch leichter verfolgt werden kann.

Spritzt man einem Ferkel von rund 20 kg Gewicht 20 ccm Tusche-lösung im Laufe von 30 Sek. ins schlagende linke Herz und nach einer Pause von 20 Sek. wiederum 20 ccm einer diesmal mit Methylenblau gefärbten Gummiarabicumlösung ein und bringt hierauf den Blutumlauf durch Festhalten des Herzens und Zuziehen von Umschnürungen an Hals und Unterbauch möglichst rasch zum Stillstand, so beobachtet man, daß das Blau in der kurzen Zeit seines Einströmens vom linken Herzen aus einerseits durch die Aorta Hirnstamm und Hirnbasis

bis nach den Riechlappen zu, ferner verlängertes Mark und Rückenmarkshäute erreicht hat, andererseits durch die Arteria coronaria in die gesamte Herzwand und den Herzbeutel, das Innere des rechten Herzens und die Lungen eingetreten war (hauptsächlich die linke Lunge, welche vorwiegend gearbeitet hatte, da die rechte infolge einer Pleuraverletzung zusammengefallen war). Am Hirngrunde trat besonders die Hypophysenmitte durch ihre reichliche Blaufärbung hervor, unter den Bauchorganen zeigte sich Blau ausschließlich in beiden Nebennieren. Diese Verteilung entspricht im wesentlichen der bei den Meerschweinchen nach kurzzeitiger Einspritzung mit einer kleinen Farbmenge beobachteten. Die der blauen Farbe vorangeschickte Tuscheinspritzung, welche bereits 50 Sek. länger im Blute zu kreisen Gelegenheit hatte, muß natürlich in der Zwischenzeit bereits weitere Organe erreicht und durchströmt haben. Sie fand sich an der Hirnkonvexität, in Schnauze und Zunge, in den Muskeln des Halsquerschnittes und in den Bauchorganen einschließlich der Nieren, ferner in den Bauchdecken und der Beckenmuskulatur. Auch die Extremitäten waren erreicht. Die Haut an Kopf wie Gliedmaßen war teilweise grau gefärbt; an den Ohren war die schwarze Farbe deutlich bis in die Ohrvene gelangt. Die rechte, zusammengefallene Lunge zeigte im Gegensatz zur linken nur Tuschefärbung. Die erste Portion, welche 20—50 Sek. gekreist hatte, war also im wesentlichen auf die Bauchorgane, auch die Leber, in 2. Linie auch auf Muskulatur und Haut verteilt; die vorderen Extremitäten hatten einen reichlicheren Anteil aus dieser Portion erhalten als die hinteren. Am auffälligsten bleiben in der Versorgung die Knochen zurück, und zwar an der Spongiosa der Schädelknochen wie an der der Extremitäten; am ehesten wird von den Knochen noch die Spongiosa der Wirbel und des Kreuzbeins erreicht, wie dies im vorliegenden Versuch (Protokoll Sch. 1) zutraf (vgl. Tafel III, Abb. 1).

In 3 weiteren Versuchen an weiblichen Ferkeln von 19330 und 37260 und 33350 g Gewicht, bei denen die 1. wie die 2. Einspritzung nur aus 10 ccm Farbstoff bestand (Zufuhrdauer 30 bzw. 25 bzw. 15 Sek.; Zwischenpause 5 bzw. 10 Sek.; in einem Falle wurde die Blaulösung vorangeschickt), ergab sich eine analoge Verteilung der beiden gefärbten Blutanteile sowohl hinsichtlich des Zeitpunktes, zu welchem die Organe von der betreffenden Portion erreicht wurden, als auch hinsichtlich der Intensität der Färbung, welche stets ein Ausdruck reichlicher Capillarfüllung ist. Im einzelnen ist noch zu erwähnen: die Schilddrüse erwies sich als ebenso früh und annähernd ebenso reichlich durchströmt (d. h. also stark gefärbt) wie die Hypophyse und Nebenniere. — Die Rippengefäße waren, falls es zum Zusammenfallen der einen Lunge durch Pleuraverletzung gekommen war, bereits rasch und reichlich auf der gegenüberliegenden Seite von der 2. Portion durchströmt, als auf der kollabierten Seite noch die 1. Portion in ihnen anzutreffen war;

das Rippenmark zeigte aber auf beiden Seiten, also auch auf der mit besser durchbluteten Intercostalgefäßen, nur eine ganz schwache Graufärbung. — Die Nieren waren im Verhältnis zum Darm reichlich durchströmt; so zeigte sich in einem Falle das Parenchym beider Nieren schwarzgrau von der 1. Portion, die Gegend der Nierenkelche und das Nierenbecken reichlich blau von der 2. Portion, während am Gekröse erst die 1. Portion in die Gefäße der Mesenterialwurzel eingetreten war. Hinter der Versorgung des Gehirns blieb aber doch die der Nieren in den Versuchen etwas zurück. — Der *Knochen* wurde innerhalb der Durchströmungszeit von der Farbprobe nur hier und da erreicht und ein wenig gefärbt, doch bestand ein deutlicher Unterschied zwischen der Versorgung der Wirbelsäule und der Schädelknochen einerseits und der Extremitätenknochen andererseits. Am besten versorgt war die Spongiosa der Wirbel, besonders an der Halswirbelsäule, und am Kreuzbein. Die späte und geringfügige Versorgung der Spongiosa an den Extremitätenknochen fand sich ohne Ausnahme bei allen Versuchen an lebenden und überlebenden Tieren, am überlebenden Neugeborenen und abgesetzten Gliedmaßen, am frischen Organismus und längere Zeit nach dem Tode und bei jeder Methodik der Durchströmung bzw. Füllung. — Von den parenchymatösen Organen spielen eine ähnliche Rolle hinsichtlich der langsamen und spärlichen Zufuhr eines auf die Arterien verteilten Quantums die *Hoden* und *Eierstöcke* (außer beim trächtigen Tier). Spät erreicht und spärlich versorgt wird schließlich am Kopfe das *Wangenfett*. In allen 3 Fällen können wir aus allgemein funktionellen Gründen voraussetzen, daß der durchschnittliche Umsatz keine besonders rasche Durchströmung erfordert; hinsichtlich des Knochenmarks sowie der Geschlechtsdrüsen lehrt auch die anatomische Betrachtung, daß hier verhältnismäßig ausgedehnte Berieselungssysteme nur auf langen und engen Zu- und Abstromwegen mit größeren Gefäßen in Verbindung stehen. Die allgemein funktionellen Gründe für den durchschnittlich geringeren Umsatz sind freilich in den drei genannten Fällen durchaus verschieden.

Soweit gewisse Teile von Organen spärlich oder gar nicht von Blutgefäßen durchzogen werden (weiße Substanz von Gehirn und Rückenmark; Hornhaut, Linse und Glaskörper; Knorpel), kommt natürlich für diese Teile eine unmittelbare Versorgung nicht in Betracht; aus dem Übergang des Methylenblaus durch Transsudation in derartige Gewebe lassen sich aber Schlüsse auf ihre *mittelbare Versorgung von der Blutbahn her* ziehen. Auch für das Herz und die großen Gefäße kommt wohl eine Ernährung durch Durchtränkung der Intima unmittelbar von dem kreisenden Blutstrom her in Betracht. Es scheint bemerkenswert, daß an Orten, an denen der Blutstrom stark mechanisch auf die Intima einwirken muß (Herztrabekel; Konvexität des Aortenbogens) die Durchtränkung wesentlich verstärkt ist; auf der erwärmten Seite

des Kopfes bzw. Halses zeigte sich die Carotiswand reichlicher durchtränkt als auf der nicht erwärmten. Auch an der Oberfläche von Gehirn und Rückenmark scheint die Imbibition von den Piagefäßen her neben der Capillarversorgung eine wesentliche Rolle zu spielen; dagegen wurde bei den kurzen Durchströmungszeiten ein Übertritt von Farbstoff aus dem Blut auf Brust- und Bauchfell nicht beobachtet, wohl aber an der Schleimhaut der zuführenden Luftwege.

Wenn, wie bei den letztangeführten Versuchen am Schwein, die Zehen der Hinterbeine von der Testfärbung erreicht bzw. durchströmt sind, ist die längste arterielle Wegstrecke vom Herzen her zurückgelegt; hinsichtlich von Organen, welche zu diesem Zeitpunkt von der Testflüssigkeit noch nicht erreicht sind (Geschlechtsdrüsen, Knochenmark), müssen andere Umstände als nur die Weglänge dahin gewirkt haben, daß sie verhältnismäßig später erreicht werden. Wir sehen hier wie bei der Betrachtung der besonders früh erreichten Organe einen Faktor wirksam der zur Folge hat, daß hinsichtlich der reinen Weglänge *gleichweit vom Herzen entfernte Organe mit verschiedener Geschwindigkeit vom Herzen aus erreicht werden*; dieser Faktor muß in den Organen selbst gesucht werden. Sind doch die zuführenden Bahnen bis unmittelbar an die das Organ speziell versorgende Arterie dieselben oder analoge und ist doch selbst diese zuführende Arterie im Falle der frühen Versorgung nicht immer verhältnismäßig weit, im Falle der späten Versorgung nicht immer relativ eng.

Daß die Zeit — frühes Erreichtwerden, spätes Erreichtwerden — bei den Beobachtungen als Faktor für die Beurteilung einer besseren oder schlechteren Versorgung mit eingesetzt ist, könnte Bedenken erregen, weil es selbstverständlich ist, daß ein vom Herzen entfernt liegendes Organ erst später erreicht werden kann als ein ihm nahe liegendes; die *Zurücklegung der Entfernung* bedarf natürlich einer gewissen Zeit, welche, wenn es sich um eine einfache Verschiebung von festen Körpern, z. B. Dominosteinen, auf längeren oder kürzeren Bahnen handelte, der Weglänge proportional sein müßte; bei gleichraschem Vorrücken solcher Dominosteine einerseits über eine kurze, andererseits über eine lange Kreislaufbahn müßten aber in der Zeiteinheit am entferntesten Punkte jeder Bahn dieselbe Anzahl von Dominosteinen eintreffen, d. h. die Versorgung wäre die gleiche. Wenn nun auch auf den Hauptgefäßbahnen bis herab zu etwa 4 mm Durchmesser, welche oben erwähnt wurden, das Druckgefälle sehr wenig abnimmt, so daß der Druck und die Stromgeschwindigkeit z. B. im Arcus volaris pedis noch nicht erheblich von Druck und Stromgeschwindigkeit in der Aorta abzuweichen braucht, so sind doch die Strom- und Druckverhältnisse in einem so weit vom Herzen entfernt liegenden Gefäßrohr bereits sehr schwankende durch die stark schwankende Inanspruchnahme des Aortenvolumens von seiten der zahlreichen auf dem Wege bis zur Beinarterie abzweigenden Äste. Diesen starken Schwankungen angepaßt sind auch die

Gefäßabschnitte der Extremitäten, ja der gesamten unteren Körperhälfte viel eher in der Lage, eine Blutsperre von einiger Dauer (durch Anlegen eines Gummischlauchs) zu ertragen; die Organe der Brusthöhle, Gehirn und Auge sind bereits nach kurzer Blutsperre in der Funktionsfähigkeit vernichtet. — Wenn wir aber einmal annehmen wollten, daß in der Tat durch die Aortenäste allen Organen und Gliedmaßen das Blut aus dem Windkessel der Aorta wie in zahlreichen Springbrunnen, deren jedesmalige Stärke dem Durchmesser der Äste entspricht, zuströmen würde, so müßte doch zugegeben werden, daß diese Organe und Körperabschnitte nicht entsprechend jenen Gefäßdurchmessern versorgt werden. Das schlagendste Beispiel hierfür sind wohl die Extremitäten im Verhältnis zum Kopf oder den Nieren; denselben oder ähnlichen Gefäßdurchmessern am Zufuhrrohr stehen hier extrem gegensätzliche Versorgungsgrößen gegenüber, wenn wir die Versorgungsgröße auf das Durchflußvolumen pro 100 g Organ beziehen. *Diese Gegensätze erklären sich durch die großen Unterschiede im Widerstand*, den die einzelnen Körperabschnitte bzw. Organe bieten. Die kurze Wegstrecke von der Nierenarterie bis zur Nierenvene bietet einen sehr viel geringeren Widerstand als die lange Strecke von der Arteria zur Vena femoralis. Die große Breite der Gesamtstrombahn, welche ein riesiges Capillargebiet wie das des Beines bietet, müßte eigentlich einen Ausgleich schaffen können, indem der Widerstand mit der Breite der Gesamtstrombahn abnimmt. Es ist aber zu bedenken, daß die Gesamtstrombahn an einer Extremität nur selten gleichzeitig allerorten verbreitert ist, während dies bei der Hyperämie der Niere ohne weiteres der Fall ist. Ferner kann die Verbreiterung der Gesamtstrombahn nur dann zu einer beschleunigten Durchströmung führen, wenn das Zufuhrgefäß einer vermehrten Anforderung von vornherein durch seine Weite gewachsen bzw. ihr durch Erweiterung zu entsprechen vermag und wenn der Gefäßtonus allenthalben aufrechterhalten bleibt.

Die vorliegenden Versuche waren nur bestimmt, einen Überblick über die verhältnismäßige Versorgung der einzelnen Organe im Durchschnitt zu geben, damit auf Grund dieser Beobachtungen die Wirkungen, welche mechanische, thermische und chemische Bedingungen bzw. Reize im Sinn einer erhöhten Versorgung bestimmter Gebiete und damit einer veränderten Blutverteilung ausüben, von dieser Normalversorgung ausgehend zutreffend beurteilt werden konnten. *Das Bild, welches die Versuche hinsichtlich der relativen Versorgung der Organe darbieten*, stimmt in allem wesentlichen mit den Anschauungen über die relative Durchströmung überein, welche durch Zusammenstellung der Messungsergebnisse an einzelnen Organen im Tierkörper gewonnen worden sind.

Über das Verhalten der einzelnen Organe hinsichtlich ihrer Durchströmungsgröße liegen eine größere Reihe von Einzelbeobachtungen vor,

die im wesentlichen am Hunde gemacht worden sind und zwar durch Einbinden einer Stromuhr in die betreffende Arterie bzw. Vene. Die älteste dieser Beobachtungen, von *Chauveau* und *Kaufmann* (1887), ist am Pferde angestellt worden und zwar am *Musc. levator propr. labii sup.*, in der Ruhe und bei der Kautätigkeit; die Messung fand durch Zählung der aus der Muskelvene fallenden Tropfen statt. Das Verhalten des Skeletsystems in dieser Beziehung wurde erst in letzter Zeit untersucht (*Drinker* und *Lund* 1922) und zwar durch Messung der aus der Vena nutritia der Tibia abfließenden Blutmenge; in ähnlicher Weise wurde zuletzt das Auge untersucht (*Kaneko* 1925).

Die Ergebnisse dieser Messung der mittleren Blutversorgung der einzelnen Organe hat neuerlich *Hürthle* zusammengestellt<sup>1</sup> und einen Faktor für die spezifischen Stromstärken und die spezifischen Widerstände der einzelnen Organe berechnet. Die *spezifische Stromstärke* (sp. St.) bedeutet die durch ein Organ von 100 g Gewicht und unter einem Druck von 1 cm Wasser in 1 Sek. fließende Blutmenge von der Viskosität  $\eta = 0,04$ . Als *Einheitsmaß des Widerstandes* (WE) wählt *Hürthle* eine Röhre, durch welche in 1 Sek. unter einem Druck von 1 cm Wasser 1 cm destilliertes Wasser von 20° C strömt; dies ist z. B. bei einer Röhre von 1 cm Durchmesser und rund 24 m Länge der Fall. — *Hürthle* hat nun die absoluten Stromvolumina der einzelnen Organe auf Grund ihrer absoluten Gewichte und ihrer spezifischen Stromvolumina für einen Hund von 13 kg Gewicht und einen mittleren Blutdruck von 95 mm Hg berechnet und deren Summe zu der aus der Aorta abfließenden Blutmenge, welche durch Untersuchungen über das Minutenvolumen bzw. die mittlere Umlaufzeit des Blutes bekannt ist, in Beziehung gesetzt. Wird die in der Sekunde durch die Aorta fließende Blutmenge zu 33 ccm angenommen (ein mittlerer Wert zwischen dem nach der *Fickschen* Methode erhaltenen — 28,5 ccm — und dem von *Stewart* angegebenen — 42 ccm), so ergibt sich folgende Übersicht (Tabelle 7, S. 569).

Nach dieser Zusammenstellung fließen beim Hunde fast ein Drittel des Aortenvolumens durch das Skeletsystem und mehr als ein Fünftel durch die ruhende Muskulatur; die Bewegungsorgane erhalten also zusammen etwa 54% des gesamten Blutes. Demgegenüber strömt den Organen der Bauchhöhle nur 15% und den Nieren nur 8% des gesamten Stromvolumens zu. Das Gehirn erhält gar nur 7,4% und der Herzmuskel 5,1%.

In der gegebenen Übersicht sind die Durchströmungsziffern, welche den größten Anteil des gesamten Durchströmungsvolumens ausmachen, leider am wenigsten zu verbürgen, da sie auf Messungen einzelner Muskeln oder, wie bei der Haut, nur auf Schätzung beruhen. Alle der

<sup>1</sup> *Hürthle*: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Bd. 7, 2, S. 1472 f, 1927.

Tabelle zugrunde liegenden Messungen sind außerdem zu verschiedenen Zeiten und von verschiedenen Untersuchern und auch an Tieren von verschiedenem Körpergewicht vorgenommen worden.

Tabelle 7.

Organ	Organgewicht		Stromvolumen	
	absolut g	in % des Körper- gewichts	absolut ccm/Sek.	in % des Aorten- stromes
Lungenkreislauf, Druck 23 mm Hg				
Lunge . . . . .	173	1,33	33	100
Körperkreislauf, Druck 95 mm Hg				
Herz . . . . .	145	1,12	1,6	5,11
Schilddrüse . . . . .	1,3	0,01	0,12	0,04
Speicheldrüsen . . . . .	14,3	0,11	0,16	0,05
Gehirn . . . . .	130	1	2,3	7,4
Magen. . . . .	169	1,3	0,66	2,0
Pankreas . . . . .	19,5	0,15	0,23	0,08
Leber (Arterien) . . . . .	377	2,9	1,6	5,1
Milz. . . . .	70	0,54	0,66	2,0
Darm . . . . .	410	3,2	1,9	6,1
Nebennieren . . . . .	1,3	0,01	0,10	0,03
Nieren . . . . .	104	0,8	2,5	8,0
Skelet . . . . .	3 472	26,7	10,0	32,2
Muskulatur (ruhend) . . . . .	7 770	29	6,7	21,6
Haut . . . . .	2 177	16,75	3,88	11,7
Sinnesorgane, Geschlechtsorgane, Fett und Bindegewebe . . . . .	967	7,4	0,6	1,8
Blut . . . . .	1 000	7,7		
Summe	13 000	100	33,0	103

Bei der vorliegenden Methode, welche die verhältnismäßige Versorgung der Organe vergleichend am selben Individuum untersucht und das Einbinden von Stromuhren oder anderen Meßinstrumenten vermeidet, ist eine ziffernmäßige Angabe über die Durchströmungsgröße nicht möglich, wohl aber ist es möglich, eine Skala der Versorgungsgrößen aufzustellen von den bestversorgten bis zu den am mangelhaftesten durchströmten Organen. Um diese Beobachtungen mit den Werten der Stromuhrmessungen an den Einzelorganen zu vergleichen, setzen wir unsere Befunde, nach 6 Stufen der durchschnittlichen Versorgungsgröße geordnet, neben die auf Grund des Schrifttums bei Tigerstedt<sup>1</sup> und bei Hürthle<sup>2</sup> zusammengestellten bzw. berechneten Werte. Zur besseren Übersicht werden diese Tabellen hier inhaltlich in der Weise wiedergegeben, daß die Durchströmungsgröße jedes Organs, pro Minute berechnet, in Verhältnis gesetzt wird zu dem Organgewicht; die angegebenen Ziffern bedeuten also, daß durch je 100 g der Masse des betreffenden Organs x ccm

<sup>1</sup> Tigerstedt: Die Physiologie des Kreislaufs. 4. S. 310, 2. Aufl. 1923.

<sup>2</sup> Hürthle: In Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Bd. 7, 2, S. 1476 f, 1927.



Blut fließen oder einfacher ausgedrückt, das Organ wird in der Minute von einer Blutmenge durchströmt, welche  $x\%$  seines Eigengewichtes beträgt (wenn man das spezifische Gewicht des Blutes und des Organs gleichsetzt). Die Organe sind in der Tabelle im allgemeinen dem Lauf der Aorta folgend geordnet:

Tabelle 8. *Durchströmungsvolumina pro Minute*

(d. h. durch je 100 g der Masse des Organs fließen in der Minute  $x$  ccm Blut).

	<i>Tigerstedt</i>	<i>Hürthle</i>	Versorgungs- größe
Herz . . . . .		66,2	(1.)
Schilddrüse . . . . .	591	553,8	1.
Speicheldrüsen . . . . .	68	67,1	4.
Sinnesorgane . . . . .		3,7	
Hypophyse . . . . .			1.
Gehirn . . . . .	138	106,2	2.
Kopf . . . . .	16		
Rückenmark . . . . .			2.
Magen . . . . .	21	23,4	4.
Pankreas . . . . .	80	70,3	4.
Leberarterien . . . . .	26	25,5	5.
Milz . . . . .	58	56,6	4.
Darm . . . . .	31	27,8	4.
Nebennieren. . . . .	700	461,5	1.
Nieren . . . . .	151	144,2	3.
Geschlechtsorgane . . . . .		3,7	6.
Skelet . . . . .		17,3	6.
Muskulatur . . . . .	13	10,7	5.
Fett und Bindegewebe . . . . .		3,7	6.
Haut . . . . .		10,7	5.
Extremitäten . . . . .	3		
Lunge . . . . .	420	1144,5	(1.)

Aus der Tabelle ergibt sich, daß die 1. Stufe der Versorgungsgröße durch die Nebennieren und die Schilddrüse vertreten ist; in dieser Hinsicht befinden sich unsere vergleichenden Beobachtungen in Übereinstimmung mit den Stromuhrangaben — rund 5fache Durchströmung pro Minute; zu dieser 1. Stufe gehört nach unseren Beobachtungen auch die Hypophyse, welche stets im Verhältnis zum übrigen Gehirn bevorzugt versorgt war. Der rasche Übertritt des Blutes vom Anfang der Aorta durch die Herzwand zum rechten Vorhof und durch die Lungen zur Aorta zurück und zum Gehirn weist auf eine große Durchströmungsziffer nicht nur der Lungen, sondern auch der Herzwand hin. — Der 2. Stufe der Versorgungsgröße gehört nach unseren mit den Stromuhrmessungen übereinstimmenden Beobachtungen das Gehirn (rund 100 bis 150%, d. h. bis  $1\frac{1}{2}$ fache Durchströmung) an; wir fanden außerdem das Rückenmark in dieser Größenstufe der Versorgung. Die Nieren, welche nach den Stromuhrmessungen noch etwas besser versorgt sind als das Gehirn, bleiben nach unseren vergleichenden Beobachtungen

eher etwas dahinter zurück. — Die 3. *Stufe* umfaßt nach den Stromuhrmessungen Speicheldrüsen und Pankreas (rund 70<sup>0</sup>/<sub>0</sub>); nach den vergleichenden Versuchen haben Speicheldrüsen und Pankreas im Ruhezustande eine geringe Versorgung und sind mit zur 4. Stufe zu rechnen. Das Verhalten der Milz ist, wie an Hand der späteren Versuche noch näher besprochen werden wird, ein sehr wechselndes. Die Nieren gehören nach unseren Beobachtungen der 3. Versorgungsstufe an, d. h. sie stehen in dieser Hinsicht zwischen Gehirn und Darm in der Mitte. Die 4. *Stufe* wird hauptsächlich durch Magen und Darm (rund 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) vertreten. Die Leber ist von der Arterienseite nach unseren Beobachtungen nicht im gleichen Maße versorgt. Der 5. *Versorgungsstufe* gehören nach den vergleichenden Beobachtungen wie nach den Berechnungen Muskulatur und Haut an; die Messungen ergeben ein Durchströmungsvolumen von etwa 12<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Die letzte, 6. *Stufe*, bezieht sich einerseits auf die Geschlechtsdrüsen, andererseits auf Fett und Bindegewebe (nach den Messungen 3,7<sup>0</sup>/<sub>0</sub>). Nach unseren Beobachtungen gehört zu dieser untersten Versorgungsstufe außerdem das Skeletsystem. Dieses sollte, nach der von *Hürthle* (auf Grund der Messungen von *Drinker* und *Lund* an 3 Hunden) aufgestellten Berechnung besser versorgt sein als die ruhende Muskulatur. Angesichts der geringen Durchströmungsgrößen, die für die Gesamtextrimitäten mit der Stromuhr ermittelt worden sind, ist ein so hoher Wert wenigstens für das Extremitätenskelet auffällig. Nach unseren vergleichenden Beobachtungen bestehen hinsichtlich der Versorgungsgröße innerhalb der verschiedenen Teile des Skeletsystems erhebliche Unterschiede; die Spongiosa der Wirbelkörper erweist sich im Verhältnis zu der der langen Röhrenknochen als entschieden bevorzugt, wir befinden uns also in Übereinstimmung mit denjenigen Stromuhrmessungen, welche den Gesamtgliedmaßen eine geringe Versorgungsgröße zusprechen und halten die Versorgungsgröße der Extremitätenknochen für geringer als die der Weichteile.

Die *Befunde der Stromuhrmessungen* sind zur besseren Übersicht und zum Zwecke des Vergleichs mit den in obigen Versuchen erhobenen Befunden in einem Körperschema zusammengestellt (Tafel IV, Abb. 1 u. 2). Zur Eintragung wurde das Organschema eines Neugeborenen, welches oben bereits beschrieben worden ist, benutzt, um so den Vergleich mit den Befunden am Neugeborenen übersichtlicher zu gestalten, welche auf Grund der im 2. Abschnitt wiedergegebenen Untersuchungen in solche Schemata eingetragen sind. Es ist aber festzuhalten, daß die hier zusammengestellten Stromuhrbefunde sich streng genommen nur auf den Hund beziehen. Wir verwenden diese Beobachtungen, welche ja in Absicht auf den Menschen angestellt worden sind, weil ihre Ergebnisse sich nicht grundsätzlich von den beim Menschen anzunehmenden Verhältnissen unterscheiden dürften. Unmittelbare Untersuchungen am Menschen über die Durchströmungsgröße der einzelnen Organe

sind mit den bisher bekannten Methoden nicht möglich; die im nächsten Abschnitt näher besprochenen Untersuchungen am überlebenden Neugeborenen sollen soweit als möglich eine Grundlage für die Beurteilung der Verhältnisse beim Menschen schaffen.

Das wiedergegebene Organschema bezieht sich auf das durchschnittliche *Blutvolumen*, welches (beim Neugeborenen) in den Organen vorhanden ist; *die Zahl, welche angibt, wie oft dieses Blutvolumen pro Minute erneuert wird, ist die wahre Durchströmungsgröße des Organs*. Das Blutvolumen der einzelnen Organe ist aber bisher nur unzureichend bestimmt. Die in dem Schema durch Zahlen und Farben eingetragenen Durchströmungsgrößen beziehen sich auf diejenige Blutmenge, welche nach den Versuchen am Hunde für je 100 g Organgewicht in der Minute das betreffende Organ durchströmt.

Organgewicht und mittleres Blutvolumen des Organs gehen nun keineswegs proportional. Nehmen wir an, daß ein Organ in hohem Maße von Gefäßen durchzogen ist, daß also das Organgewicht bei ihm *im wesentlichen durch das in ihm enthaltene Blutvolumen bestimmt wird* (etwa Milz, Schilddrüse), so ist in diesem Falle die Zahl, welche die Durchströmungsgröße in Prozent des Organgewichts ausdrückt, derjenigen nahezu gleichzusetzen, welche die Durchströmungsgröße in Prozent des Blutvolumens ausdrückt. Diesen sehr blutreichen Organen stehen solche gegenüber, bei denen entsprechend der Gefäßverteilung in ihrem Innern *die im Durchschnitt in ihnen enthaltene Blutmenge nur einen mäßigen Hundertsatz ihres Gesamtgewichts ausmacht* (z. B. beim Gehirne bzw. beim Gesamtknochen etwa 10—20%). In den letztgenannten Fällen entspricht einer auf das Organgewicht berechneten Durchströmungsgröße die 5—10fache Durchströmungsgröße, wenn man letztere auf das Inhaltsvolumen der das Organ durchziehenden Gefäße berechnet. *Diese auf das Gefäßvolumen des Organs bezogene Durchströmungsgröße kommt bei der vorliegenden Untersuchungs- und Darstellungsweise im wesentlichen in Betracht*; nur für sie gilt die unmittelbare Beziehung zwischen dem Gefäßinhalt des Organs und der Durchströmungsgeschwindigkeit:

$$\text{Gefäßinhalt} \times \text{Durchströmungsgeschwindigkeit} = \text{absolute Durchströmungsgröße.}$$

Die Durchströmungsgröße auf das Gefäßvolumen eines Organs zu beziehen bietet auch Vorzüge für die Beurteilung von praktisch vorkommenden Verhältnissen bei klinischen Fällen. So kann z. B. ein Kavernom, auf je 100 g der Neubildung berechnet, dieselbe Durchströmungsgröße aufweisen wie ein solides Carcinom; in einem solchen Falle wird aber das von wenigen, engen Gefäßbahnen durchzogene Carcinom sehr lebhaft durchströmt sein, während die Strömung in dem Kavernom nur träge dahinfließt. Die Betrachtung des Gefäßvolumens und der Durchströmungsgeschwindigkeit gewährt hier ein zutreffenderes

Bild von den wahren Versorgungsverhältnissen als die Feststellung der Blutmenge, welche die Neubildung, auf je 100 g ihres Gewichts berechnet, durchströmt.

Im ganzen läßt sich aus den Beobachtungen über den Verbleib kleinster Farbstoffmengen unter Heranziehung der mittels Stromuhr oder anderweitig an den einzelnen Organen gewonnenen Zahlen über die Durchströmungsgröße ungefähr folgendes Bild des Kreislaufs entwerfen. Es lassen sich im wesentlichen 5 *räumlich getrennte Kreislaufgebiete* unterscheiden, welche ein *funktionell selbständiges* Verhalten zeigen:

1. Das *Kreislaufgebiet des Herzens* — Arteria coronaria, Herzwand-capillaren, Vena magna cordis;

2. das *Kreislaufgebiet des Gehirns und oberen Rückenmarks* — Arteria carotis interna bzw. Arteria vertebralis; die Weichteile des Gesichtschädels, die Schädelknochen und die Haut sowie das Halsgebiet gehören funktionell nur in bedingtem Maße zu diesem Kreislauf und schließen sich eher dem Verhalten des übrigen Skeletsystems, der Muskulatur und der Haut an Rumpf und Gliedmaßen an; eine Sonderstellung nimmt die Schilddrüse ein;

3. das *Kreislaufgebiet des Dünndarms und der übrigen* von der Aorta aus versorgten *Baucheingeweide* — Arteria coeliaca, Mesenterica superior und inferior;

4. das *Kreislaufgebiet des Harngeschlechtssystems*, insbesondere der Nieren — Arteria renalis, Arteria spermatica; hier schließen die von den Eingeweideästen der Arteria hypogastrica versorgten Organe an, ferner die Nebennieren;

5. das *Kreislaufgebiet der Extremitäten einschließlich der Rumpfwand* — Arteria axillaris bzw. subclavia, Arteria iliaca externa.

Von diesen 5 Kreislaufgebieten sind das 2., 3. und 5. jedes für sich imstande, einen erheblichen Anteil des Gesamtblutes aufzunehmen; ihre Hauptgefäße, in deren Kaliber sich ihre Versorgung ausdrückt, haben beim Erwachsenen sämtlich annähernd denselben Durchmesser von 9 mm <sup>1</sup>.

A. carotis comm. dextr.	9 mm	A. coeliaca	9 mm
A. carotis comm. sin.	8,6 mm	A. mesent. sup.	9,6–10,1 mm
	Aa. axillares	9 mm	
	Aa. iliaca ext.	9,6 mm	
	Aa. femorales	9 mm	

In jedem dieser 3 Gebiete besteht ein großes Blutvolumen; die Strombreite nimmt in ihnen peripherwärts stark zu. Demgegenüber ist beim 1. und 4. System das Blutvolumen nicht von erheblicher Größe und auch die Durchmesser ihrer zuführenden Hauptgefäße betragen nur ein Drittel der oben angeführten Maße:

A. coronaria dextra	3,6 mm	Aa. renales	5,6–6,8 mm
A. coronaria sinistra	2,8 mm		

<sup>1</sup> Vgl. Vierordt: Anatomische usw. Tabellen, 3 Aufl., 1906.

Andererseits handelt es sich bei diesen kleineren Kreislaufgebieten um eine verhältnismäßig kurze und nicht so vielfältig verzweigte Strombahn mit infolgedessen starkem Stromgefälle.

Das 1. Gebiet — die Herzwand — steht in der Versorgung stets voran; es ist an Rauminhalt das unerheblichste, an Lebenswichtigkeit aber das bedeutungsvollste. Das 2. Gebiet — das Gehirn — erträgt ebensowenig wie das erste eine auch nur kurzzeitige Unterbrechung des Kreislaufs und zeigt wie jenes nur vorübergehende und in mäßigen Grenzen bleibende Schwankungen in der Versorgungsgröße. Es steht hinsichtlich der durchschnittlichen Versorgung zusammen mit dem Herzwandkreislauf allen übrigen Gebieten voran. Das 3. Gebiet — der Darm — geht dem letzten Gebiet — Bewegungsorgane — im allgemeinen vor, wenn nicht in diesem die Muskeltätigkeit eine reichlichere Versorgung bedingt. Das 4. Gebiet — die paarigen Organe an der hinteren Bauchwand umfassend — ist in seinem funktionellen Verhalten am wenigsten einheitlich. Von seinen 3 auch in bezug auf die Zufuhrgefäße im wesentlichen von einander getrennten Abschnitten — Nebennieren, Nieren, Geschlechtsorgane — zeigen die ersten eine Durchströmungsgröße, wie sie im übrigen nur dem Coronarkreislauf und den bestversorgten Teilen des Gehirns zukommt, und zwar auf kürzester Strombahn. Die Nieren nähern sich hinsichtlich der Versorgungsgröße den Verhältnissen des Gehirns; sie stehen hierin den Organen des 3. Gebiets im allgemeinen, denen des 5. Gebiets stets, und zwar erheblich, voran. Die Geschlechtsorgane schließen sich hinsichtlich ihrer Versorgung den Organen der Bauchhöhle insofern an, als die Durchströmung sehr erheblich von den funktionellen Zuständen abhängt; entsprechend den funktionellen Verhältnissen wechselt aber die Versorgung in über längere Zeit sich erstreckenden Phasen; bei der Schwangerschaft steigt die Versorgungsgröße in dem Maße, daß die Arteria uterina, sonst ein unbedeutender Zweig des vorderen Astes der Arteria hypogastrica, sich zu einem Durchmesser von 7 mm erweitert, d. h. so weit wird wie die Arteria hypogastrica selbst. Zu Zeiten der funktionellen Ruhe bilden die Geschlechtsdrüsen ein Gebiet sehr spärlicher Durchströmung. Das 5. Gebiet — die Bewegungsorgane — schwankt hinsichtlich seiner Versorgungsgröße erheblich, einmal gemäß den funktionellen Zuständen der Bewegungsorgane und 2. entsprechend den Temperaturbedingungen der Umgebung; die Schwankungen in diesem Kreislaufgebiet stehen mit denen im 3. Gebiet, dem der Eingeweide in einem gewissen alternierenden Verhältnis. In diesem 5. Gebiet steht das Skeletsystem in der Versorgung am weitesten zurück.

Nach unseren Beobachtungen läuft das Blut so rasch auf dem Wege der Kranzschlagadern und -venen ins rechte Herz und durch die Lunge zum linken Herzen zurück, daß es von hier aus für die Versorgung z. B. des verlängerten Marks bereits wieder zur Verfügung steht, wenn ein Quantum, das gleichzeitig mit dem betrachteten das linke Herz in

Richtung auf das Hirn verlassen hatte, inzwischen eben erst vom Hirnstamm nach den peripheren Hirngefäßen gelangt ist. In ähnlicher Weise ist der Kreislauf vom linken Herzen durch das Hirn und über die Lungen zum linken Herzen zurück zweimal oder mehrmals vollendet, ehe derjenige durch die Organe der Bauchhöhle oder die Extremitäten einmal vollständig stattgefunden hat. Eine Mischung des Blutes dieser verschiedenen Kreisläufe auf den ihnen gemeinsamen Bahnabschnitten findet, wie die Beobachtungen von *Sérégé*<sup>1</sup> zeigen, in den großen Venen kaum statt; selbst in der Lunge scheinen sie noch teilweise getrennt zu bleiben (*Kretz*<sup>2</sup>, *Lagus*<sup>3</sup>) im linken Herzen wird aber wahrscheinlich jedesmal eine völlige Durchmischung vollzogen.

Beobachtungen und Maßnahmen aus dem Gebiete der Chirurgie zeigen, daß die weitgestreckten Bahnen des 5. Gebietes großenteils für längere Zeit ausgeschaltet oder selbst in erheblichem Umfange dauernd beseitigt werden können, ohne daß der übrige Kreislauf eine auch nur vorübergehende eingreifende Störung erleidet (Abschnürungen, Absetzung von Gliedmaßen). Selbst der größte Teil des 3. Kreislaufgebietes — den Darm umfassend — und vom 4. Gebiet wenigstens die im Becken liegenden Organe können für die Zeitdauer z. B. einer Operation ausgeschaltet werden (*Momburgs*che Blutleere), ohne daß die lebenswichtigen Kreisläufe im 1. und 2. Gebiet in entscheidender Weise beeinflußt werden. Diese beiden lebenswichtigen Kreisläufe einschließlich des Gebiets der Nebennieren und Nieren sind, wie wir oben gesehen haben, die am raschesten durchströmen und die am gleichmäßigsten und damit auch für die Dauer am besten versorgten. Sie selbst können auch nicht für kurze Zeit ausgeschaltet werden, in ihnen läuft das Blut aber bei zeitweiliger Ausschaltung der übrigen Kreisläufe ohne wesentliche Behinderung um.

#### b) Verhalten einzelner Abschnitte des Gefäßsystems gegenüber Reizen (Tafel III, 2 u. 3).

Hinsichtlich des Verhaltens einzelner Abschnitte des Gefäßsystems bei bestimmten Gefäßreizen wurden folgende Fälle von Gefäßreaktionen untersucht:

1. Die Wirkung der zeitweise erfolgenden Ausschaltung (Abschnürung) — reaktive Hyperämie,
2. die Wirkung der Erwärmung von einzelnen Körperabschnitten (Extremitäten) (Tafel III, Abb. 2 a, b),
3. die Wirkung eines chemischen Reizes (Milch) auf den Dünndarm (Tafel III, Abb. 2 c),
4. die Wirkung von in das linke Herz eingebrachtem Suprarenin auf die Verteilung des Blutes (Tafel III, Abb. 3).

<sup>1</sup> *Sérégé*: C. r. Soc. Biol. Paris 1903, 1384 u. 1907, 503.

<sup>2</sup> *Kretz*: Arch. path. Anat. 220, 179 (1915).

<sup>3</sup> *Lagus*: Skand. Arch. Physiol. 38, 57 (1919).

Ferner wurde die Suprareninwirkung einmal (5.) mit der Abschnürung, ein anderes Mal (6.) mit der Erwärmung verbunden.

Beobachtet man beim Ferkel an der Haut der Gliedmaßen den Zeitpunkt, zu welchem eine in das linke Herz gespritzte Farbstofflösung (10 ccm) am reichlichsten die Haut durchströmt, so erhält man folgende Übersicht:

	Vordere Extremitäten	Hintere Extremitäten
a) <i>Normales Verhalten</i> , 122–126 (–160) Pulsschläge in der Minute; (Durchströmungsgeschwindigkeit wahrscheinlich durch die Narkose und den Eingriff etwas herabgesetzt) . . . .	30–40"	50–60"
b) Verhalten <i>nach Abschnürung</i> für 10 bzw. 10 $\frac{1}{2}$ Min.		10"
c) Verhalten <i>nach Erwärmung</i> für 5 Min. mit heißen Tüchern		10–20"
d) Verhalten <i>nach Einspritzung</i> von 10 ccm <i>Suprarenin</i> -Farblösung 1:10 000 in das linke Herz .		10–15"
e) Verhalten bei <i>Zusammenwirken</i> von c und d .		5"
f) Verhalten bei <i>Zusammenwirken</i> von b und d .		1–5"

Die Übersicht zeigt, daß an den Extremitäten durch örtliche Einwirkung sowohl bei der *reaktiven Hyperämie* als auch bei der *Wärmehyperämie* eine *örtliche Beschleunigung des Blutumlaufs* um etwa das 3- (bis 5-)fache erzielt wird; der unter gewöhnlichen Verhältnissen deutlich hervortretende Unterschied im Sinne eines gewissen Zurückbleibens der hinteren Gliedmaßen tritt hierbei nicht mehr deutlich in die Erscheinung. Dieselbe Beschleunigung in der Versorgung der Extremitäten, welche durch diese örtliche Einwirkung erzielt wird, wird auch erreicht, wenn man 10 ccm einer *Suprarenin*-Lösung 1:10 000 vom linken Herzen aus in den Kreislauf schickt. Eine *noch stärkere Beschleunigung* findet statt, wenn man die Suprareninwirkung mit der Erwärmung oder mit der vorübergehenden Abschnürung vereint wirken läßt. In diesem Falle kann der Zeitabschnitt, in welchem der Farbstoff vom Herzen in die Hautgefäße der Gliedmaßen gelangt, auf wenige Sekunden zusammengedrängt werden. Die unter Einwirkung der Gefäßreize rascher versorgten Gebiete sind zugleich reichlicher durchströmt; dies zeigt sich während des Versuchs an der stärkeren Färbung in dem betreffenden Gebiet und, falls das Herz rasch stillgestellt wird, an der reichlicheren Füllung der betreffenden Organe (vgl. *Tafel III, Abb. 2 u. 3*).

Hinsichtlich des *Wärmeversuchs* (*Tafel III, Abb. 2a, b*) ist zu bemerken, daß die reichlichere Versorgung sich auch auf das linke Ohr und die linke Augenbindehaut erstreckt (durch Miterwärmung der Haut dieser Gebiete), ferner auch auf die linke Lunge (Einwirkung also auch auf den Lungenkreislauf).

Die Einwirkung des Verdauungsreizes durch *Einbringen von Milch in eine Dünndarmschlinge* (*Tafel III, Abb. 2c*) trat besonders deutlich in die Erscheinung,

wenn der Testfarbe Suprarenin zugesetzt war; die Bauchorgane wurden hierbei infolge der Suprareninwirkung nur spärlich versorgt, doch hob sich die mit Milch gefüllte Schlinge durch reichlichen Farbstoffgehalt deutlich ab. Bei dem Versuch darf die Schlinge nicht vor das Bauchfell gezogen werden, weil sie hierbei unter Umständen eine Abklemmung erleiden kann und auch bei Zurücklagerung in die Bauchhöhle einen Reiz durch die Luft erfahren haben kann; bei solchem Vorgehen wurde Hyperämie der Schlinge ohne Farbfüllung beobachtet. Das exakte Vorgehen erfordert Milcheinjektion der Schlinge von einer kleinen Fläche des freigelegten Peritoneums aus unter Leitung des Auges. — Die zusammengefallene *Lunge* ist träger und spärlicher versorgt als die normal bzw. vikariierend arbeitende. Bei der großen Geschwindigkeit des Lungenkreislaufs wird stets die unmittelbar vor dem Herzstillstand eingespritzte Farbportion in den Lungen gefunden, wohin sie auf den kürzesten Wegen über die Herzwand bzw. den Gehirnkreislauf gelangt ist. Daß eine Lungenhälfte, welche auf einer von außen erwärmten Körperseite liegt, frühzeitiger und reichlicher versorgt wird als der andere Lungenflügel, wurde bereits beim Wärmeversuch erwähnt. — Eine Einwirkung von Harnstoff auf die *Niere* wurde in der Weise vorgenommen, daß einmal 2 ccm einer 5%igen Harnstofflösung mittels Einspritzung in dem Parenchym der einen Niere verteilt wurden, ein anderes Mal 1 ccm 20%iger Harnstofflösung langsam zentralwärts in die Nierenarterie eingespritzt wurde; in beiden Fällen wurde die mit Harnstoff durchspülte Niere später und spärlicher von dem Testfarbstoff versorgt als die Vergleichsniere.

Bei den *Suprareninversuchen* (Tafel III, Abb. 3) zeigte sich übereinstimmend ein reichlicherer Übertritt der mit Suprarenin versetzten Portion zum Gehirn und Rückenmark sowie in die Gliedmaßen, besonders deren periphere Abschnitte. Magen, Darm und Milz blieben in diesen Fällen erheblich zurück. Dieser Antagonismus entspricht weitgehend dem als Splanchnicuswirkung bei dem Wechsel von Verdauungstätigkeit einerseits und Muskulararbeit andererseits beobachteten. Die Versorgung der Nieren scheint durch Suprarenin gefördert zu werden. Infolge der langsameren und spärlicheren Versorgung von Magen und Darm wurde die Leber innerhalb der Versuchszeit nicht von der Farblösung erreicht. Die untere Hohlvene zeigte in solchen Fällen nichtsdestoweniger das mit der 1., ja das mit der 2. Testprobe gefärbte Blut, welches auf dem Weg über die Nieren bzw. die Nebennieren dorthin gelangt war; ebenso waren die Venen der Extremitäten infolge der Suprareninwirkung während der Beobachtungszeit bereits erreicht worden. Daß die obere Hohlvene auch ohne Suprareninwirkung frühzeitig erreicht wurde, versteht sich aus dem oben über den Gehirnkreislauf Gesagten.

### Zusammenfassung.

1. Die Verfolgung des Verbleibs kleiner, in das Herz des lebenden Versuchstiers eingeführter Farbstoffmengen gestattet die *Beurteilung der Versorgungsgröße der Organe und Gliedabschnitte am Gesamtorganismus* durch die Feststellung, in welchen Capillargebieten die gefärbten Schlagvolumina am frühesten (früher als in gleichweit vom Herzen entfernten Gebieten) und am reichlichsten auftreten.

2. Auf Grund der nach dieser Methode geschätzten Versorgungsgröße der einzelnen Organgebiete lassen sich diese in *6 Größenstufen der Versorgung* einteilen; die 1. Stufe entspricht, verglichen mit den Stromuhrmessungen, einem Durchströmungsvolumen von rund 500 ccm Blut in der Minute auf 100 g Organgewicht; die 2. Stufe entspricht einem Durchströmungsvolumen von 100—159 ccm, die 3. einem solchen von



50—100 ccm, die 4. einem von 25—50 ccm, die 5. einem von 10 bis 25 ccm und die 6. einem solchen von weniger als 10 ccm.

3. *Übereinstimmend nach unserer vergleichenden Beobachtung am Gesamtorganismus wie nach den Stromuhrmessungen gehören zur 1. Stufe Schilddrüse und Nebennieren, zur 2. das Gehirn, zur 3. (nach den Stromuhrmessungen noch zur 2.) die Nieren, zur 4. der Darm, zur 5. die Muskulatur und Haut und zur 6. Geschlechtsorgane und Fettgewebe. Höher als dies nach den direkten Messungen an eröffneten Gefäßen geschieht, scheint nach den vorliegenden Beobachtungen die Versorgung der Herzwand veranschlagt werden zu müssen; dasselbe scheint für das Auge zuzutreffen. Geringer als sich aus den Stromuhrmessungen berechnen läßt, scheint nach der unmittelbar vergleichenden Beobachtungsmethode die Versorgung der Skelettmuskulatur, insbesondere die der Gliedmaßen zu sein.*

4. Organe, welche bisher nicht gemessen wurden, sind die Hypophyse und das Rückenmark. Nach den vorliegenden Untersuchungen hat die *Hypophyse*, besonders ihr mittlerer Abschnitt, die *reichlichste Versorgung von allen Organen*; Schilddrüse und Nebennieren haben bestenfalls dieselbe Versorgung wie die Hypophyse. Das *Rückenmark* schließt sich hinsichtlich seiner Versorgung derjenigen des Groß- und Kleinhirns falls dieselbe Versorgung wie die Hypophyse. Das *Rückenmark* schließt an. Innerhalb des Skeletsystems bleiben die *Extremitätenknochen* in der Versorgung hinter Schädelknochen und Wirbelknochen zurück. Die gesamte *hintere Extremität* ist gegenüber der vorderen etwas benachteiligt. Von dem Fettgewebe scheint die *spärlichste Versorgung* das *Wangenfett* zu haben.

5. Die *Aufteilung der Schlagvolumina auf die Kreislaufgebiete* und die einzelnen Organe erfolgt nicht entsprechend dem mittleren Durchmesser der Aortenäste (Thomasches Schema), sondern entsprechend den Widerständen, welche die Kreislaufgebiete und einzelnen Organe bieten; die *Versorgungsgröße läßt sich also nicht ausschließlich nach den Durchmesser der zuführenden Gefäße berechnen*, sondern nur aus der vergleichenden Beobachtung der Organe erfahrungsmäßig bestimmen.

6. Von den 5 wichtigsten Kreislaufgebieten gehört das 1. — die *Herz- wand* — sowie das 2. — *Gehirn und Rückenmark* — der 1. bzw. 2. Versorgungsgröße an, das 3. Kreislaufgebiet — die *Organe der Bauchhöhle* — einer mittleren (der 3. und 4.) Versorgungsstufe, das 5. Kreislaufgebiet — *Gliedmaßen und Rumpfwand* — den letzten Versorgungsstufen (der 5. und 6.). Das 4. Kreislaufgebiet — *Harngeschlechtssystem* — nimmt mit den Nebennieren an der 1. Versorgungsstufe teil, mit den Nieren an der 3. und mit den Geschlechtsorganen an der untersten, der 6.

7. Wurde dem Blute ein *imbibitionsfähiger Farbstoff* (Methylenblau) zugemischt, so wurde ein Übergang des Farbstoffs auf die Wand der größeren Gefäße beobachtet und ein rasches Hindurchtreten durch

die Gefäßwand an den Gefäßen der *Pia* auf die Oberflächen von Hirn und Rückenmark; transsudationsfähige Bestandteile des Blutes können also zweifellos auch schon auf dem Wege zu den Capillaren, d. h. in den Arterien, in die Gefäßwand eindringen und wenigstens an den Arterien der *Pia* durch die Gefäßwand hindurch zu den Geweben gelangen. Ein rascher Übertritt aus den kleinen Gefäßen auf die *serösen Häute* der Brust- und Bauchhöhle wurde nicht beobachtet, wohl aber ein Aus-treten des Farbstoffs an *Schleimhautflächen* (Nasen- und Tracheal-schleimhaut).

8. Eine für 10 Minuten *abgeschnürte* Extremität wird etwa um das 3—5fache rascher durchströmt und entsprechend reichlicher versorgt; eine ähnliche Wirkung wird erzielt, wenn man die Extremität 5 Minuten in *heiße Tücher* einwickelt. Ein Zusatz von *Suprarenin* 1: 10 000 zur Testprobe zeigt eine die Extremitätendurchblutung in gleichem Maße fördernde Wirkung. Läßt man die suprareninhaltige Testprobe einer Extremität nach Erwärmung oder Abschnürung zuströmen, so wird die Durchströmung nochmals um etwa das Doppelte beschleunigt; nach der Abschnürung kann die Beschleunigung einen Höchstwert erreichen (etwa 1 Sek.). Bei der Suprarenineinspritzung bleiben Magen, Darm und Milz gegenüber dem Zentralnervensystem und den Gliedmaßen erheblich zurück. Eine mit *Milch* gefüllte Dünndarmschlinge wird von der am Herzen eingeführten Testfarbe rasch erreicht und reichlich gefärbt.

9. Die *atmende Lunge* wird besser durchströmt als die durch Pleura-verletzung ruhig gestellte; das gleiche gilt für das Durchströmungs-verhältnis an der kräftig atmenden Brustkorbhälfte gegenüber der ver-hältnismäßig ruhenden. — Bei einseitiger *Wärmewirkung* wird die Lunge der betreffenden Körperseite reichlicher durchströmt.

10. Die *Durchtränkung der Gefäßwand* ist an *mechanisch stark bean-spruchten Abschnitten* — Konvexität des *Aortenbogens* — reichlicher als an anderen Orten; Erwärmung der Arterien fördert die Durchtränkung ihrer Wand.

## 2. Versuche am Überlebenden; Durchströmung mit gefärbten kolloidalen Lösungen (Methode II).

(Versuche an 71 Neugeborenen und an einer größeren Zahl von Gliedmaßen Erwachsener.)

### a) Hydrodynamische Bedingungen (Tafel V).

Läßt man an der Leiche eines im Wasserbade auf Körpertemperatur gehaltenen Neugeborenen eine kolloidale Farbstofflösung unter Aorten-druck in den vom Herzen isolierten Aortenbogen einfließen, so tritt die Farblösung in Gestalt kleiner, häufig kleeblattförmig zu kleinen Gruppen vereinigter Flecken zunächst an bestimmten Punkten und Körper-gegenden auf; allmählich werden in zunehmendem Maße flächenhafte

Gebiete von einer dichten Aussaat solcher Farbfleckchen bedeckt, so daß das Neugeborene schließlich faßt am ganzen Körper gesprenkelt ansieht; nur vereinzelte kleinere Hautbezirke bleiben in der Regel ungefärbt. Die Art der Verteilung dieser Hautflecken ist in den verschiedenen Stadien ihres Auftretens eine charakteristische. Bei fortgesetztem Einströmen schließen sich die Flecken weiterhin in bestimmten Bezirken zu einheitlichen Farbflächen zusammen.

Folgende Hautstellen werden in der Regel zuerst von der Durchströmungsflüssigkeit erreicht: Stirnmitte, Nasenwurzel, innerer bzw. äußerer Augenwinkel, untere Brustbeingegend; obere Kreuzbeingegend

*Typische Regionen bevorzugter Hautversorgung.*

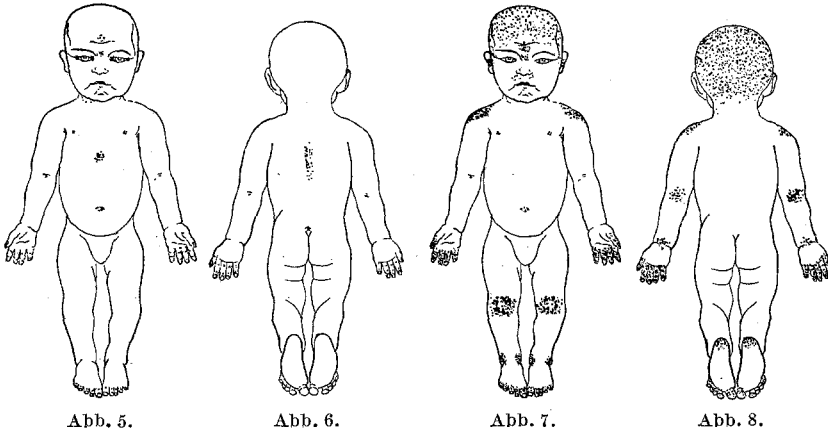


Abb. 5.  
Am frühesten erreichte Hautbezirke.  
Doppelversorgung von zwei getrennten  
Gefäßprovinzen aus.

Abb. 7.  
Typische Verteilung eines Überschuß-  
quantums auf knochenüberspannende  
Hautabschnitte — mehrfache Versorgung  
von getrennten Gefäßstäben aus.

und (nicht so regelmäßig) ein Hautstreifen längs der Brustwirbeldorne; wie ersichtlich liegen die Mehrzahl dieser Punkte in der Medianlinie des Körpers, sämtliche Punkte bilden Zusammenflußgebiete von 2 oder mehr Arterien, von denen wenigstens die eine aus größerer Tiefe zu kommen pflegt. Dieser Umstand hängt im wesentlichen damit zusammen, daß es sich um die Verschlußstellen frühembryonaler Spalten handelt (Abb. 5 u. 6). Findet das fernere Einströmen langsam statt, so wird in der weiteren Ausbreitung der Sprengelung im allgemeinen die Reihenfolge vom Kopf über Hals, Brustkorb und Arme und schließlich Bauch und Beine eingehalten, d. h. wenn an Brust und Armen die Flecken noch ziemlich vereinzelte sind, ist der Kopf schon ziemlich reichlich besät usw. Zum Zusammenfließen der Flecken kommt es besonders leicht an den Augenlidern, den Lippen (von den Mundwinkeln ausgehend), den Brustwarzen und am After. Von größeren Hautgebieten bleibt

gewöhnlich die vordere Bauchgegend lange zurück; kleinere Gebiete, die meist ungefärbt bleiben, sind die Ohr läppchen und ein Bezirk in der Wangenmitte (in dessen Zentrum manchmal noch spät ein kleines kräftiges Fleckchen auftritt). — Vgl. die Ausbreitungsweise verschiedener Exantheme.

Aus hydrodynamischen Gründen muß bei einem Röhrensystem, bei welchem von einem Hauptrohr eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Zweigrohren abgehen, der Druck in jedem folgenden Seitenrohr geringer sein als im vorhergehenden. Wenn wir die capillaren Widerstände in der Haut als allenthalben gleichgroß ansehen, so müssen diese Widerstände in den Gebieten, welche von den ersten Zweigrohren versorgt werden, leichter, d. h. rascher überwunden werden als in den nachfolgenden. Das Vorhandensein eines solchen zeitlichen Unterschieds kommt beim Kreislauf des Lebenden nur deshalb nicht zum deutlichen Ausdruck, weil die Vorgänge sich sehr rasch hintereinander abspielen, so daß sich die zeitlichen Unterschiede verwischen. Diesen *beschleunigten Ablauf* kann man im Versuche am Neugeborenen dadurch nachahmen, daß man in einem zentralen Gebiet eine erhebliche Flüssigkeitsmenge unter beträchtlichem Druck ansammelt, indem man sie oberhalb oder unterhalb einer um den Bauch gelegten Gummibinde aufstaut; wird der elastische Verschuß durch den wachsenden Druck zu einem gegebenen Zeitpunkt überwunden, so breitet sich die Flüssigkeit plötzlich in der bisher versperrt gewesenen Körperhälfte aus und die *Sprenkelung* der Haut tritt scheinbar *gleichzeitig an den verschiedenen Körpergegenden* (z. B. am Kopf und beiden Armen) auf, weil die geringen Zeitunterschiede nicht mehr erkannt werden.

Bei erheblichem Innendruck der Gefäße, wie er beim Neugeborenen nur zu erzielen ist, wenn man das Gefäßsystem unter Aortendruck einmal bis zur vollständigen Füllung durchströmt, und nun, nach Verschuß der Nabelarterien, noch eine Überschußmenge unter entsprechendem Drucke einfließen läßt, tritt eine *typische, streng symmetrische Verteilung* dieser *Überschußmenge auf bestimmte Hautbezirke* in dem Sinne ein, daß die knochenüberspannenden Hautabschnitte eine bevorzugte Versorgung erfahren. Es sind dies folgende Gebiete: Die Gegend des Schädeldaches, des Akromions, der Kniescheiben und der Knöchel, des Ellbogens, der Handwurzel und des Hackens, ferner Finger und Zehen. Dieses sind Gebiete, welche eine *mehrfache* Versorgung von getrennten, einander gegenüberstehenden Gefäßästen aus erfahren, *die von Nachbargebieten über die Knochenfläche greifen*. Unter den gleichen Bedingungen wurden von den früher erwähnten Gebieten noch die Stirnmitte, die Nasenwurzel, das Innere der Ohrmuschel und die Oberlippe versorgt, Gebiete, bei denen das Zusammentreffen mit aus der Tiefe aufsteigenden Ästen eine Rolle spielt; hierzu gehören auch die Gegenden der Schädelfontanelle (Abb. 7 u. 8).

Die bisher aufgeführten Versuche zeigen, daß bei Einführung einer

kolloidalen Lösung *unter dem Normaldruck* in die Aorta eine regelmäßige und in hohem Grade *symmetrische Verteilung* dieser Durchströmungsflüssigkeit nach der Haut hin stattfindet (über Abweichungen, welche durch in der Leiche abgesenktes Blut bestehen, ist bei Erläuterung der Technik berichtet). Wird dieselbe Flüssigkeitsmenge einem Gefäßgebiet unter demselben Druck plötzlich angeboten, so ändert sich nichts in der grundsätzlichen Verteilungsweise, die Verteilung erfolgt nur dementsprechend rascher. Der oben geschilderte Versuch, bei welchem die Haut von Kopf, Brust und Armen schlagartig eine Sprengung durch die Einstömungsflüssigkeit erfuhr, zeigt, daß bei rascher Einführung der Flüssigkeit dieselbe symmetrische Verteilung erfolgt wie bei langsamer Einführung, er läßt aber die Möglichkeit offen, daß bei der raschen Auswirkung desselben Druckunterschieds das betreffende Gefäßgebiet insgesamt etwas reichlicher in der Haut versorgt wird. Daß eine solche reichlichere Durchströmung der Haut z. B. an der unteren Körperhälfte am *Lebenden* stattfindet, wenn das Blut nach Entfernung einer um den Bauch gelegten elastischen Schnürung sich in die mehr oder minder blutleeren Beinarterien ergießt, zeigt die chirurgische Beobachtung bei der Abschnürung mit einem *Momburgschen Schlauch*.

Diese „*reaktive Hyperämie*“, welche nach Abnahme einer Blutleerebinde eintritt, ist, wenn sie auch wegen ihrer kurzen Dauer nicht therapeutisch verwendbar ist, doch für die prinzipielle Erforschung von Kreislaufvorgängen von allergrößter Bedeutung, insbesondere da Beobachtungen über ihr Verhalten auch am lebenden Menschen ohne jede Schwierigkeit angestellt werden können. *Die Untersuchungen von Bier haben gezeigt*, daß irgendwelche *Nerveneinwirkung als Ursache der reaktiven Hyperämie auszuschließen ist* — sie tritt auch in dem Falle ein, wo das arterielle System einer Extremität nur durch eine Glaskanüle mit dem Rumpfe in Verbindung stand; *daß die reaktive Hyperämie dennoch ein echter Lebensvorgang ist, nicht etwa nur ein rein mechanischer Druckausgleich* —, je länger die Blutleerebinde liegt, desto stärker und nachhaltiger ist die Rötung der Haut; *daß die reaktive Hyperämie durch das erhöhte Sauerstoffbedürfnis der Gefäße ausgelöst bzw. unterhalten wird* — die reaktive Rötung schwindet, wenn das Versuchstier plötzlich asphyktisch gemacht wird, um wiederzukehren, wenn die Asphyxie behoben wird. Die Erscheinungen der reaktiven Hyperämie zeigen besonders sinnfällig, daß ein Vorgang am lebendigen Organismus, der rein mechanisch ausgelöst wird, und dessen Ablauf zu einer rein mechanischen Erklärung, wie sie *Katzenstein* versucht hat, außerordentlich einläßt, bei näherer Erforschung sich als ein sehr verwickeltes *Zusammenspiel von biologischer Ursache und biologischer Wirkung* darstellt, *welches von den sich selbst versorgenden Geweben unmittelbar geleitet wird*.

Daß nach Beseitigung einer Sperre und rascher Neufüllung entleerter Strombahnen durch den schnellen Ausgleich des Druckunterschieds

eine *Stoßwirkung* am Ende der Strombahn seitens der einströmenden Flüssigkeit stattfindet, entspricht den Regeln der Physik; daß eine solche auch an den Capillarschlingen der Finger nach Entfernung der Blutleerebinde zu beobachten ist, habe ich in einer früheren Arbeit<sup>1</sup> gezeigt. Diese Stoßwirkung muß sich in gewissem Grade auch an den Gefäßbahnen bis zu den Capillaren hin geltend machen; sie würde eine *leichte Hyperämie im Augenblick des Einströmens* und kurze Zeit danach rein *mechanisch* zu erklären gestatten. — Vergleicht man an der Leiche des Neugeborenen während einer Durchströmung die rechte, nicht abgeschnürte Extremität mit der linken, welche nach fester Anlegung einer Gummibinde plötzlich befreit wird, so zeigt sich, daß es von dem bei der Durchströmung angewandten Druck abhängt, in welchem Maße die freigegebene Extremität im Verhältnis zum Vergleichsglied von der Durchströmungsflüssigkeit gefärbt wird (weil von der Höhe des Drucks die Größe der Stoßwirkung abhängt). Ist der Druck in der Aorta gering, so kann eine solche Färbung vollständig ausbleiben, mindestens bleibt das freigegebene Glied erheblich in der Färbung zurück; entspricht der Druck in der Aorta dem physiologischen oder ist er etwas höher, so tritt die Färbung an dem freigegebenen Glied (zunächst besonders distal) *stärker* auf als an dem Vergleichsglied, doch ist dieser Unterschied nie so erheblich, wie er beim Lebenden beobachtet wird. Gleichbleibende Druckverhältnisse während der Durchströmung vorausgesetzt, ist es beim Versuch am Neugeborenen auch für die Intensität gleichgültig, wie lange die Binde gelegen hat. Im größten Gegensatz zu den Vorgängen beim Lebenden steht das Verhalten an dem von der Binde unmittelbar verursachten *Schnürring*. Dieser am ausgiebigsten entleerte Bezirk bleibt



Abb. 9. Neufüllung abgesperrt gewesener Gebiete bei normalem zentralem Druck. Versuch K. 43: Einströmung von Tusche- lösung bei gebundenem linkem Arm und rechtem Bein. Dann Nachfließen von Methylblaulösung bei freigegebenen Gliedmaßen. Versorgung an den zuvor abgesperrten Gliedmaßen (hauptsächlich distal) stärker als an den Vergleichsgliedern.

<sup>1</sup> Hintze, A.: Die Füllungszustände der Blutcapillaren und die auf sie einwirkenden Ursachen. Arch. klin. Chir. 118, 361.

an der Leiche stets ohne nennenswerte Neufüllung, während er am Lebenden eine zwar etwas verspätete aber besonders kräftige und langandauernde Rötung aufweist. Sehr bemerkenswert ist ferner, daß an der Leiche proximal vom Schnürring eine reichlichere Fleckung auftritt, während beim Lebenden die Haut proximal vom Schnürring, solange die Binde liegt, etwas hyperämisch ist, nach Abnahme der Binde aber keine Rötung mehr zeigt (Abb. 9). — Die folgenden Untersuchungen werden zeigen, daß das Blutgefäßsystem an der Leiche des Neugeborenen durchaus als überlebend zu betrachten ist, weil es noch mannigfaltige Reaktionen des Lebens aufweist; hinsichtlich der plötzlichen Überfüllung eines abgesperrt gewesenen Gliedes müssen wir aber annehmen, daß es sich bei der vorliegenden Versuchsanordnung *an der Leiche des Neugeborenen* nur um den *mechanischen Anteil dieses Wiederfüllungsvorgangs* handelt, während der biologische Faktor, die Reaktion, ausbleibt.

Die bisherigen Betrachtungen gehen von dem Grundschema eines sich in zunehmendem Grade verzweigenden Gefäßsystems aus, dessen Verzweigungen bis zu den kleinen Verästelungen hin voneinander getrennt bleiben; soweit ein solches System symmetrisch gebaut ist, muß eine dasselbe durchströmende Flüssigkeit sich symmetrisch verteilen; diese Symmetrie in der Verteilung ist von der Höhe des Drucks am Hauptrohr unabhängig. Es gibt nun im arteriellen System neben einer größeren Zahl von kleinen Anastomosen einige wichtige Körpergegenden, an denen verhältnismäßig große Arterien nach Zurücklegung längerer getrennter Wegstrecken einander wieder begegnen und *sich zu einer einheitlichen Strömung vereinigen*. Dies sind die sog. „Gefäßbögen“ an Hand und Fuß, ferner die Arteria basilaris nebst dem Circulus Willisii. Diese Abschnitte des Gefäßsystems müßten, wenn der Zustrom von den verschiedenen Seiten her ungeregelt erfolgte, ohne weiteres als „*Mischgebiete*“ (Tafel V, Abb. 2—4) angesprochen werden; da wir aber wissen, daß im Blutgefäßsystem ähnlich wie in einem Flußsystem sich vereinigende Ströme in dem gemeinsamen Bette noch längere Zeit getrennt bleiben, so können wir vermuten, daß auch bei Vereinigung einander entgegengerichteter Ströme jeder Zustrom sein Sonderrecht behaupten und von den anschließenden Zweiggebieten einen bestimmten Abschnitt regelmäßig versorgen wird. Dies läßt sich in der Tat zeigen, wenn man an einem amputierten Unterarm oder Unterschenkel jede der beiden Hauptarterien z. B. mit einer 5%igen Gummiarabicumlösung, auf der einen Seite einer blau gefärbten, auf der anderen Seite einer gelb gefärbten, bei dem gleichen Drucke von 60 cm (Unterarm) bzw. 80 cm (Unterschenkel) durchströmt. Für den *Unterarm* ergibt sich hierbei, abgelesen an der Färbung der Haut, eine deutliche scharfe Grenze zwischen dem Gebiet der Radialis und Ulnaris, die sich an der Vorder- wie Rückseite des Unterarms, der Mittellinie entsprechend, ziemlich scharf abgrenzt; *an der*

*Volarseite* der Hand halbiert die Grenzlinie den Mittelfinger, *an der Dorsalseite* dagegen den 4. Finger, so daß die Rückseite des Mittelfingers gänzlich zum radialen Gebiet gehört (Tafel V, Abb. 3a u. 3b). — Am *Unterschenkel* zieht sich die Grenzlinie vorn streng auf der Tibiakante entlang und wendet sich vor dem inneren Knöchel in der Gegend des *Chopartschen* Gelenkes zur Fußsohle, überquert diese und steigt hinter dem äußeren Knöchel lateral von der Achillessehne nach aufwärts, um an der Wade unter strenger Einhaltung der Medianlinie auszustreichen (Tafel V, Abb. 4a u. 4b). Findet die Durchströmung in der Weise statt, daß die Flüssigkeit in eines der beiden Gefäße unter stärkerem Druck eingeführt wird, so wird an der Hand bzw. dem Fuß die Grenze zu ungunsten des anderen Versorgungsgebietes verschoben; erhöht man den Druck einmal auf der einen, das andere Mal auf der anderen Seite, so bildet sich ein *Mischgebiet* aus, welches *an der Volarseite der Hand* vorzugsweise *die einander zugewandten Seiten des 3. und 4. bzw. des 4. und 5. Fingers*, an der Dorsalseite die zugewandten Seiten des 4. und 5. Fingers umfaßt, im wesentlichen also auf der Ulnarseite liegt. Die Ursache dafür, daß sich die *Arteria ulnaris* auf der Volarseite weiter gegenüber der *Arteria radialis* durchsetzt als auf der Dorsalseite, ist darin zu suchen, daß der *Arcus superficialis* seinen stärkeren zuführenden Stamm von der *Arteria ulnaris* her bekommt (vgl. Tafel II). Am Fuß erstreckt sich das Mischgebiet im wesentlichen auf den nach vorn von der geschilderten Grenze gelegenen Abschnitt der Fußsohle und schließt die Plantarseite der Zehen ein. Läßt man also die abwechselnde Druckerhöhung an einem und dem anderen Gefäße in gleichem Ausmaße erfolgen, so bildet sich das Mischgebiet an der Hand auf Kosten des Gebiets der *Ulnaris*, am Fuß auf Kosten des Gebiets der *Antica* aus. Wird der Druck nur auf der einen Seite erheblich erhöht, oder erfolgt gar nur von einem der beiden Gefäße aus der Zustrom, so erobert natürlich das betreffende Gefäß die gesamte Hand, bzw. den ganzen Fuß. Derselbe Vorgang wurde an einer Anzahl von abgesetzten Gliedmaßen beobachtet, bei denen die eine der zuführenden Arterien z. B. infolge einer alten Schußverletzung oder durch den Druck einer Geschwulst völlig verlegt worden war. — Die geschilderten regelmäßigen Grenzen bzw. wohlbegrenzten Durchmischungsgebiete können nur an Gliedmaßen mit einem verhältnismäßig normalen Gefäßsystem beobachtet werden, wie sie in dem Amputationsmaterial selten und auch an einem Leichenmaterial bei vorgerückterem Lebensalter (aus äußeren Gründen in der Regel nur das Bein verwendbar!) nicht häufig zur Verfügung stehen.

Das wichtigste „Mischgebiet“ stellt die *Arteria basilaris* und der *Circulus Willisii* dar. Da sich die *Äste der Vertebralis* im spitzen Winkel vereinigen und der Blutstrom sich gleichsinnig im gemeinsamen Bette der *Basilaris* fortsetzt, so ist in diesem Gefäß damit zu rechnen, daß die *Stromfäden getrennt bleiben*, und daß sie auch die Versorgung der



jederseitigen Aa. cerebelli superiores getrennt übernehmen und getrennt zum Hinterlappen und in den Circulus Willisii übertreten. Wird aber der Circulus Willisii gleichzeitig von den Carotiden her unter dem entsprechenden Druck versorgt (den Verhältnissen am Lebenden gemäß), so kann man, wenn zu den Durchströmungen von verschiedenen Seiten her verschiedenfarbige Flüssigkeiten benutzt werden, feststellen, daß *der von den Carotiden kommende Zustrom den größten Teil des Circulus Willisii versorgt*, und selbst ohne wesentliche Mischung zum Hinterlappen und in die oberen Kleinhirnarterien gelangt. *Die von den Vertebrales kommenden Zuströme gelangen nach vorn nur bis in die Aa. communicantes posteriores und versorgen gemeinsam mit den Carotisströmen insbesondere die Hypophyse* (Tafel V, Abb. 2). Man kann dem einen Vertebralisaste (in der Abbildung ist es der linke) das Übergewicht in der A. basilaris verleihen, wenn man dem Zustrom an der entsprechenden A. subclavia etwas Suprarenin hinzusetzt; die nähere Erläuterung einer solchen Versuchsanordnung wird weiterhin bei Besprechung der „Durchströmung mit Flüssigkeiten unter Suprareninzusatz“ (vgl. Tafel VIII) erfolgen.

Die stärkste einseitige Bevorzugung im Versuch bedeutet es, *wenn man ausschließlich auf einer Seite die Farbflüssigkeit einströmen läßt*. Beim Einströmen einer geringen Menge, z. B. von 6 ccm in eine Carotis communis (Versuch K 27), erhält man zunächst nur mäßigen Übertritt in Gebiete der Carotis externa der anderen Kopfseite, so an der Nase, am Auge, besonders oberhalb in der Brauengegend, und im Bereich der vorderen Fontanelle; reichlicher ist der Übertritt im Gebiet der Carotis interna, er erstreckt sich auf den Schädelgrund wie auf die Innenseite des Schädeldachs, auf das Großhirn einschließlich des Hinterlappens, und vermag rückläufig durch die andere Carotis interna das Auge, durch die Arteria basilaris das Kleinhirn und das verlängerte Mark zu erreichen.

Bei fortgesetztem Einströmen zeigt sich nun, daß spätere Portionen in zunehmendem Maße nach der anderen Seite hinübergelangen und zwar in bestimmte Abschnitte der gegenüberliegenden Kopfhälfte (und in gewissem Umfange auch nach dem gegenüberliegenden Arm). So zeigte sich in einem derartigen Versuch, in welchem nach einem farblosen Vorlauf von 20 ccm eine staffelweise Durchströmung mit insgesamt 37 ccm blauer Gummiarabicumlösung von der Arteria anonyma aus stattfand (Versuch K 30), neben einer wohlverteilten ausgiebigen Durchströmung der rechten Kopfhälfte und des rechten Armes eine *bevorzugte Blaufärbung der linken Seite hinsichtlich des Schläfenhirns und des Hinterhirns und der linken Schläfenschuppe*; die entsprechenden Teile auf der rechten Seite waren weniger gefärbt, der rechte Hinterlappen sogar fast frei. Die ersten Kubikzentimeter der Blaulösung traten fast gleichzeitig an beiden Augenlidern in die Erscheinung; nachdem weitere 1½ ccm eingeflossen waren, wurde der größte Teil der rechten Gesichts-

hälfte und außerdem die rechte Schulter und Achsel blau gefleckt und die rechte Hälfte der Kopfschwarte annähernd homogen gefärbt, aber auch links färbte sich die Nachbarschaft des Oberlides, ferner die Gegend oberhalb des Ohrs, das Ohr selbst und die linke Halsseite; außerdem wurde auch noch die linke Achsel blau gefleckt. Der rechte Mundwinkel und die diesem benachbarte Schleimhaut wurde reichlich blau gefärbt, in der Schleimhaut nahe dem linken Mundwinkel fand sich nur ein kleiner blauer Strich. Die Durchströmung wurde unterbrochen; es fand innerhalb der nächsten 20 Minuten eine fast vollständige Abblassung der linken, eine etwas geringere der rechten Kopfseite statt, hier besonders in der vorderen Wangengegend und um das Auge herum; die Nasolabialfalte hebt sich aber weiterhin deutlich blau ab. Es wurden *nochmals* 5,25 ccm der Blaulösung eingelassen, wobei die gefärbt gewesenen Gebiete aufs Neue hervortreten und die Färbung sich auch auf weitere Gebiete, besonders nach dem rechten Unterarm hin, ausbreitete; am Gesicht ging die Färbung wieder nach links hinüber und machte nur an der Stirn- und Scheitelgegend in der Mittellinie Halt. Am linken Arm traten vereinzelte Fleckchen bis hinunter zur Hand auf. Nach der 3. *Einströmung* von 25,25 ccm Blaulösung ist die rechte Kopfhälfte und der rechte Arm bis zum halben Unterarm am stärksten gefärbt. Links hat sich die Blaufleckung noch ein wenig ausgebreitet und ist jetzt besonders auch in der linken Mundbodengegend und an der linken Wangenschleimhaut festzustellen. Es hat den Anschein, als ob *der kräftige Zustrom der rechten Carotis den schwächeren von der rechten Vertebralis nach links hinüberdrängen kann* (so ist es wohl auch zu erklären, daß bei forcierter einseitiger Weitereströmung schließlich der abgewandte Arm stärker durchströmt wird als der zugewandte, nämlich auf dem Wege über die Vertebralis der anderen Seite, in welche der Strom von der rechten Vertebralis rückläufig hineingedrängt wird).

Ein solches Hinüberdrängen des Vertebralisstromes, der in der Basilaris vereinigt ist, könnte bei einseitiger Verlegung der Carotis (Schußverletzung, Unterbindung) eine Rolle für die ausreichende *Versorgung der betroffenen Hirnhälfte* spielen.

Ein Kriegsverletzter, der wegen eines *Durchschusses der rechten Carotis communis* in die Klinik aufgenommen war und nach einigen Wochen verstarb, hatte, wie sich bei der Sektion herausstellte, *zugleich einen Durchschuß der linken Arteria vertebralis* erlitten; ich fand bei der Sektion einen zusammenhängenden Thrombus, der von der rechten Carotis durch den R. communicans posterior derselben Seite und die Arteria basilaris in die gegenüberliegende Vertebralis bis zur verletzten Stelle hinabreichte. Der Tod war offenbar eingetreten, sobald die beiderseitigen Thromben sich in der Arteria basilaris bzw. der betreffenden Seite des Circulus Willisii vereinigt hatten. Die Hirnhälfte auf der Seite der Carotisverletzung muß bis dahin von der Vertebralis der gleichen Seite und einem gewissen hinüberwechselnden Teilstrom von der Carotis der anderen Seite her versorgt worden sein. Der im Falle eines ausschließlichen einseitigen Carotisverschlusses durch *beide* Vertebrales erfolgende Zustrom war im vorliegenden Falle *auf die Hälfte seiner Stärke*

herabgesetzt und ein Hinüberdrängen dieses geschwächten Stromes durch die Carotisströmung zur notleidenden Hirnhälfte hin konnte bei zunehmendem Wachstum der wegsperrenden beiden Thromben *nicht* stattfinden.

Das Ergebnis der Versuche wurde in einer Anzahl von Fällen *farbenphotographisch* festgehalten; aus äußeren Gründen konnten diese Aufnahmen im allgemeinen erst am Tage nach der Durchströmung vorgenommen werden, zu einem Zeitpunkt, an welchem das zierliche Muster kleeblattartiger Fleckchen an der Haut stets schon einer verschwommenen Blaufärbung gewichen war.

In dem in der Abb. 10 wiedergegebenen *Fall (K 61a)* waren in die



Abb. 10. *Geringer Übertritt* einer in die Carotis communis geschickten gefärbten Gummiarabicumlösung (K 61a) bei Injektion der gleichen Menge ungefärbter Lösung in die gegenüberliegende Carotis; kein Übertritt von einer Subclavia in das gegenüberliegende Subclaviagebiet. — Injektion gefärbter G.A.-Lösung in die R. Carotis comm. 2,5 ccm; Injektion gefärbter G.A.-Lösung in die R. Subclavia 1,2 ccm. Die Vergleichsseiten wurden mit gleichen Mengen ungefärbter Lösung injiziert. Übertritt auf die linke Seite trotz dort vorhandener arterieller Füllung, und zwar in einem streifenförmigen Gebiet nahe der Stirnmitte und am linken inneren Augenwinkel. — Darstellung nach Farbenphotographie.

*rechte Carotis communis* 2,5 ccm, in die *rechte Subclavia* 1,2 ccm blaufärbter Gummilösung eingelassen, in die *linksseitigen Gefäße* die gleiche Menge ungefärbter Lösung. Man sieht, daß die *Verteilung an rechter Schulter-Brustwarzengegend und Kopfseite im allgemeinen* der von K 27 bzw. K 30 (1. Füllungsstaffel) *wiedergegebenen entspricht*; angesichts der gleichzeitigen Füllung der linksseitigen Gefäße und der geringen Mengen der Füllungsflüssigkeit war der Übertritt nach der linken Gesichtshälfte kein weitgehender (dagegen findet bei Suprareninwirkung auf *einer* Seite reichliches Hinübertauschen zur anderen Seite statt, s. später). Am Arm pfllegt eine so geringe Menge, wenn sie auch bis zur Hand vordringt,

daselbst doch keine ausgedehntere Färbung zu erzeugen; im vorliegenden Falle hat jedenfalls der Zustand venöser Stauung in der rechten Hand das Vordringen dorthin begünstigt. — Im Falle K 30 und ähnlich liegenden wird auf der Seite des Zustroms sogar bei reichlicher Durchströmung die *Hand* vernachlässigt, wenn für den Einstrom (der in die A. anonyma erfolgte) der Weg nach der Carotis communis frei ist. Die *Bevorzugung* der linken Hand gegenüber der Haut des übrigen Armes erklärt sich im Falle K 30 (wie die der rechten bei K 61a) *durch* bereits vorher vorhanden gewesene Lividfärbung, d. h. *Blutansammlung* in den Gefäßen *nach dem Tode*.

Betrachten wir eine Durchströmung in ihrem Gesamtverlaufe, indem wir den Verbleib einer nach farblosem Vorlaufe einströmenden gefärbten Portion verfolgen, die wir ihrerseits durch ungefärbte Gummilösung oder durch anders gefärbte oder gleich gefärbte Portionen vorwärtschieben, so läßt sich, wenn man eine genügende Anzahl von Neugeborenen in dieser Weise untersucht hat, ein gewisser Typus erkennen, sowohl hinsichtlich der *Reihenfolge*, in der die einzelnen Organe gefärbt werden, als auch hinsichtlich der *relativen Menge* der Farblösung, mit der dies geschieht. Ob die Durchströmung von der Aorta aus unter vollem Aortendruck oder unter einem geringeren Druck erfolgt, hat auf die Art der Verteilung keinen erkennbaren Einfluß, ebenso ob die Strömung ununterbrochen oder in kleinen Stromstößen erfolgt; der Verteilungsvorgang spielt sich bei höherem Druck und bei pulsierender Einstromung nur rascher ab. Unterbricht man die Einstromung für einige Zeit, z. B. um Beobachtungen anzustellen und um eine anders beschaffene Flüssigkeit nachströmen zu lassen, so stellt sich regelmäßig heraus, daß die neuerdings eingeführte Portion bei demselben Druck rascher einfließt als der letzte Teil der vorher eingelassenen; dies erklärt sich einerseits dadurch, daß in dem elastischen System die erste Portion auch ohne fortwirkende vis a tergo weitergeflossen ist (so vorwiegend bei den Arterien), andererseits dadurch, daß die Gefäßwand unter der Einwirkung der in ihr befindlichen Flüssigkeitssäule etwas nachgegeben hat (so insbesondere bei den Venen). In den kleinen Gefäßen (zu welchen beim Neugeborenen auch die Mesogastrium- und Mesenterialgefäße gehören) schiebt nun die folgende Portion die vorausgegangene, im Gefäß zur Ruhe gekommene, einfach vor sich her; in den großen Gefäßen aber, im wesentlichen Aorta und ihren Hauptästen, findet in einem solchen Falle eine *Durchmischung der zweiten Portion mit der ersten* statt, wie sich besonders schön zeigen läßt, wenn man zunächst eine Stärkelösung und nach kurzer Unterbrechung eine Jod-Jodkalilösung einströmen läßt. Offenbar dringt der Stromfaden, wie es der *Poiseuille*-schen Strömung entspricht, in der Achse des Stromweges am weitesten vor, während die Wandzone verhältnismäßig zurückbleibt. Wir wissen, daß im Kreislauf des *Lebenden* eine Durchmischung in den großen

Gefäßen kaum eine Rolle spielt; eine zeitweise Stilllegung des Stromes in einer größeren Gefäßbahn kommt ja hier auch kaum in Betracht.

Ebenso wie der Druck am Orte des Einstromens, d. h. am Aorten-anfang die *Verteilungsart* nicht beeinflusst, ist diese auch *von der Viscosität unabhängig* (soweit Druck und Viscosität in annähernd physiologischen Grenzen bleiben). — Nur wenn die Einstromungsmenge sich innerhalb der Grenzen hält, die durch eine einmalige Durchströmung des gesamten Kreislaufs gesetzt sind, erhält man typische Bilder. Eine längere und zur *Überfüllung* führende Durchströmung führt zu einer verhältnismäßig starken Ansammlung der Durchströmungsflüssigkeit in der Leber und von den übrigen Bauchorganen vorwiegend in der Dünndarmwand, ferner in der Zungen- und Mundbodengegend, an den Lidern und an der übrigen Körperhaut. Bei äußerster Überfüllung dringen die letzten Portionen ausschließlich an die Oberfläche, d. h. in das Unterhautgewebe und die Haut. — Bei den geschilderten kurzzeitigen Durchströmungen, welche das Prinzip unserer Versuchsanordnungen bilden, kommt es zu keinerlei Überfüllung; andererseits ist aber auch der *Abfluß* entsprechend der frühzeitigen Unterbrechung des Stromes ein geringer oder fehlt völlig. Um beim Neugeborenen ein Bild der Verteilungsverhältnisse bei geschlossener arterieller Bahn zu erhalten, muß man die *Nabelarterien* abklemmen. Will man einen arteriellen Verteilungsmodus untersuchen, der dem Zustande des Embryonalkreislaufs entspricht, so muß durch Erhaltung der Nabelschnur oder auf andere Weise für einen genügenden Stromwiderstand an den Nabelarterien gesorgt werden.

Bei der *Durchströmung am geschlossenen Organismus* kommt nur der *Abfluß* durch die Venen *nach dem rechten Herzen* hin in Betracht, die Durchströmung verläßt hierbei also nicht die Strombahn an eröffneten Gefäßen, noch wird sie durch Unterbindungen an ihrer natürlichen Ausbreitungsmöglichkeit gehindert. Nur so, bei Erhaltung des vollständigen anatomischen Zusammenhanges der Gefäßbahn, sind wir im Stande, die Verteilung einer von der Aorta aus vordringenden Flüssigkeitsmenge zu studieren. Die Versuche zeigen nun, daß eine *Verletzung der Gefäßbahn* an irgendeiner Stelle und gar ein Abfließen in Körperhöhlen oder nach außen *die Art der Verteilung völlig ändert*; im allgemeinen kann man sagen, daß die Durchströmungsflüssigkeit nach dem Orte der Gefäßverletzung in erhöhtem Maße hinströmt und zwar nicht nur in dem Grade, in welchem der Abfluß durch die Ausdehnung der Gefäßverletzung sich rein hydromechanisch erklären würde, sondern darüber hinausgehend und, wenigstens bei der Gummiarabicumlösung, in ständig zunehmendem Maße. Dieses *ständige Zunehmen der Abströmung* erklärt sich zunächst in der Weise, daß die Verletzungsstellen an den Gefäßen sich unter dem Einfluß der Strömung erweitern, und daß die so vermehrte Abstrommöglichkeit einen verstärkten Stromarm an die Verletzungsstelle heranzieht. Außerdem findet aber eine *vermehrte Durchströmung*

*der dem verletzten Gebiete benachbarten Organe* bzw. Organabschnitte statt, die, soweit man nur ein System elastischer verzweigter Röhren in Betracht zieht, wohl so erklärt werden kann, daß der durch den vermehrten Durchstrom gedehnte Hauptast auch die weiter oben abzweigenden, nicht unmittelbar zum verletzten Gebiete gehörenden Seitenäste nun stärker versorgt. Die bei der Blutung am Lebenden wirksamen Momente: allmähliches Nachlassen des zentralen Druckes und Verklebung durch Gerinnselbildung bzw. Verschluß durch Thromben, fallen im Durchströmungsexperiment natürlich fort. Es wurde aber auch keinerlei Spontankontraktion an den in anderer Hinsicht doch zweifellos als überlebend zu betrachtenden Gefäßen beobachtet, welche dem vermehrten Abströmen Einhalt getan hätte. Bemerkenswert ist jedenfalls der im Experiment am Überlebenden zu beobachtende vermehrte Zustrom zu der gesamten Gegend, in der die Gefäßverletzung liegt, nicht nur dem verletzten Gefäße selber (kollateraler Abfluß). Arbeitet man an abgesetzten Gliedmaßen, so sind auf keine Weise den physiologischen ähnliche Abflußbedingungen zu erzielen, da die Einstromflüssigkeit reichlicher als dies in der Norm der Fall ist an der Schnittfläche, also zentralwärts, wieder zu entweichen Gelegenheit hat; eine Unterbindung der kleineren Gefäße an der Schnittfläche unter Offenlassen nur der Hauptvenen bedeutet eine noch weitere Abweichung von der Norm. Die Versuche an Gliedmaßen von Neugeborenen wurden, *soweit die Gliedmaßen gesondert durchströmt wurden*, in der Regel so angestellt, daß sie *während des Versuches am Rumpfe belassen wurden*.

Wird das Neugeborene *im Wasserbad auf Körpertemperatur* gebracht und auf dieser während der Durchströmung erhalten, so zeigt die Verteilung der Durchströmungsflüssigkeit weitgehendste Regelmäßigkeit; bei Zimmertemperatur zeigen sich Abweichungen besonders hinsichtlich der Milz, manchmal auch der Nieren oder des Thymus, indem die Durchströmungsflüssigkeit an diese Organe herantritt, ohne weiter in sie einzudringen. Liegt die Temperatur des Neugeborenen wesentlich unter Zimmertemperatur, so daß sich die Haut talgig, unelastisch anfühlt, so leidet die Verteilung nach der Haut hin, und bei Temperaturen von etwa 10° und darunter wird die Durchströmung aller kleinen Gefäße sehr erschwert. Die *Temperatur der Durchströmungsflüssigkeit* hat auch am überlebenden Neugeborenen, wie wir weiterhin sehen werden, ebenso wie die Temperatur des durchströmten Gewebes einen erheblichen Einfluß auf das Verhalten der Gefäßwände und damit auf den Durchströmungsvorgang. Dies läßt sich aber nur zeigen, wenn man verschiedene Körperabschnitte auf verschiedene Temperaturen bringt oder mit Flüssigkeit von verschiedenen Temperaturen durchströmt. Wird das auf Körpertemperatur gebrachte Neugeborene mit einer Flüssigkeit von Zimmertemperatur (20°) durchströmt, so zeigt der Verteilungstypus keine auffälligen Abweichungen gegenüber dem der Durchströmung mit körperwarmer Flüssigkeit.

Bei Beurteilung aller Durchströmungsversuche am Neugeborenen muß die Begünstigung berücksichtigt werden, welche ein *infolge von Blutsenkung* lividverfärbter Körperabschnitt bei der Durchströmung erfährt; es muß also vor der Durchströmung festgestellt werden, welche Hautbezirke livid verfärbt sind, bzw. auf welcher Seite das Neugeborene nach dem Tode gelegen hat.

Aus den obigen Überlegungen geht hervor, daß das typische Bild der Verteilung einer Durchströmungsflüssigkeit nicht an der Leiche jedes Neugeborenen ohne weiteres zu erhalten ist, und daß es, um aus einer größeren Reihe von Versuchen das Bild der typischen Verteilung abzuleiten, nötig ist, die das Bild im Einzelfalle *überlagernden Momente*, soweit deren Deutung einwandfrei möglich ist, *in Abzug zu bringen*.

Im folgenden soll nun ein *Überblick* darüber gegeben werden, *in welcher Weise* sich eine *von der Aorta aus eingeführte Flüssigkeit über die Organe* insbesondere des *Körperinnern* verteilt. Der Zeitpunkt, zu welchem ein Organ von der Durchströmungsflüssigkeit erreicht wird, und die relative Menge der Farblösung, mit der es durchströmt wird bzw. sich gefüllt zeigt, geben die Anhaltspunkte für die Durchströmungsgröße der einzelnen Organe, wie sie sich im Versuch am Neugeborenen darstellt. Wenn dieser *Grundtypus der relativen Durchströmung* in seinen Einzelheiten bekannt geworden ist, läßt sich weiterhin zeigen, in welcher Weise dieses typische Bild unter Einwirkung von Reizmitteln, welche auch am überlebenden Gefäßsystem noch wirksam sind (Wärme, chemische Reizmittel, Hormone), Änderungen erfährt.

Die Übersicht über die Versorgungsgröße der einzelnen Organe unter den geschilderten Umständen des Versuchs bietet das Schema des Neugeborenen (Vorder- und Rückseite *Tafel V, Abb. 1a u. 1b*).

Die *5 Hauptstufen der Versorgungsgröße* sind hier mit den Farben: Purpur, Zinnober, Ziegelrot, Orange und Gelb bezeichnet. Wir sehen, daß der *1. Stufe* außer der Herzwand Hypophyse und verlängertes Mark und vom Großhirn besonders die nahe der Falx gelegenen Abschnitte angehören. Unter den Bauchorganen hat nur das Jejunum eine ähnliche, meist aber doch hinter der des Gehirns zurückbleibende Versorgung. Die *2. Stufe* nimmt die Hauptabschnitte des Großhirns und Kleinhirns nebst den Bulbi ein, ferner das Rückenmark. Im Bauch gehört der *2. Stufe* das Ileum an, ferner die Nieren und der Anus. Die *3. Stufe* wird am Halse durch die Schilddrüse und im Bauche durch den Querdarm dargestellt. Die *4. Stufe* wird von der Muskulatur und der Haut eingenommen; sie umfaßt Kopfschwarte, Gesicht, Hals, Rumpfwand und die Muskulatur und Haut der proximalen Gliedmaßenabschnitte, sowie Hand und Fuß; von den Bauchorganen reihen sich hier der Magen sowie das Colon ascendens und descendens an. Auffällig ist, daß in dieser Stufe verhältnismäßig geringer Versorgung sich auch

Thymus und die Nebennieren befanden; so regelmäßig auch die in sie eintretenden Hauptgefäße den Farbstoff erhalten hatten, ihr eigentliches Parenchym war doch in der Mehrzahl der Fälle frei davon. Die *letzte Stufe* mit verhältnismäßig schwächster Versorgung umfaßt Unterarm und Unterschenkel, ferner die Bauchwand und von den Organen der Bauchhöhle Pankreas und Sigmoid, schließlich die Harnblase und die Geschlechtsdrüsen. Zu dieser Stufe mangelhaftester Versorgung, ja an ihr unterstes Ende gehören die Knochen, wenigstens die Knochen der Extremitäten; diese konnten in das Übersichtsschema nicht gesondert aufgenommen werden. Eine Sonderstellung nimmt die *Milz* ein, deren Versorgungsgröße sehr wechselnd war, im allgemeinen näherte sie sich der des Magens bzw. des Querdarms. Von den nicht von der Aorta aus unmittelbar versorgten Organen entsprachen die Füllungsverhältnisse der *Leber* der durchschnittlichen Versorgung der Bauchorgane. Bei den *Lungen* fanden sich sehr verschiedenartige Füllungszustände. An letzteren beiden Organen wurde die Beurteilung auch durch die direkte Mitversorgung von seiten der Aorta (Aa. bronchialis; Aa. hepaticae) erschwert. Will man den Anteil, welchen letztere Gefäße an der Versorgung des betreffenden Organs haben, bestimmen, so schickt man zweckmäßiger Weise z. B. in die Pfortader bzw. die Pulmonalvene Jod-Jodkalilösung, in die Aa. hepaticae bzw. bronchiales von der Aorta aus Stärkelösung. Auch hierbei erhält man ausgedehnte Färbungen mit blauer Jodstärke, die Venen dieser Organe sind also Mischgebiete; es handelt sich hierbei um eine 3. Art von *Mischgebieten*, die durch Zusammentreffen eines arteriellen mit einem beim Lebenden CO<sub>2</sub>-reichen Strome entstehen. — Im ganzen lehrt diese Übersicht, daß bei der *Durchströmung des überlebenden Neugeborenen mit Gummiarabicumlösung* eine Verteilung auf die einzelnen Organe stattfindet, welche hinsichtlich der Menge (Grad der Färbung) und der Geschwindigkeit (Zeitpunkt des ersten Auftretens und Zeitpunkt, zu dem ein hoher Färbungsgrad erreicht ist) eine weitgehende *Analogie mit dem Verteilungsschema* aufweist, wie es sich bei der ersten Versuchsreihe mit der Methode der *Einspritzung kleiner Mengen am lebenden Tier* ergeben hatte. Nur die *Nebennieren* zeigen bei den Neugeborenenversuchen eine viel geringere Versorgung als im Tierversuch; auch die des Thymus erscheint auffällig gering. Für die Versorgung der Nebennieren am Lebenden, die eine der reichhaltigsten von allen Organen ist, müssen noch besondere, im strömenden Blut oder im lebenden Organ wirksame Einflüsse zur Erklärung herangezogen werden.

Soweit der Gefäßtonus am körperwarmen, überlebenden Neugeborenen dem des lebenden Individuums gleicht, oder insofern er nur in einheitlichem Sinne hiervon abweicht, dürfen wir die Verteilungsart als der des Lebenden entsprechend ansehen. Für viele Organe des Körpers scheint diese Voraussetzung zuzutreffen. Dort wo *Abweichungen*



der Verteilungsart gegenüber den Verhältnissen, die wir beim Lebenden feststellen können oder annehmen müssen, beobachtet werden, z. B. an den Nebennieren und dem Thymus, wäre es die weitere Aufgabe, diejenigen Bedingungen bzw. Reizstoffe aufzusuchen, welche den Gefäßtonus in den betreffenden Organen beherrschen. Den genannten Organen müßte also eine mehr aktive Blutversorgung zugeschrieben werden, während bei anderen endokrinen Organen z. B. der Hypophyse, bereits die passive Versorgung einen hohen Durchströmungswert aufweist.

Da Druck und Viscosität bei der geschilderten Versuchsanordnung die Art der Verteilung nicht merklich beeinflussen, muß diese bei gegebenem Gefäßsystem sich ausschließlich nach den Widerständen in den einzelnen Systemabschnitten richten. Der Widerstand wird im wesentlichen durch die Rohrweite bestimmt, sowohl an den zuführenden Hauptgefäßen, als auch in dem Aufsplitterungsgebiet der Capillaren.

Die Durchströmungsgröße eines Rohres nimmt bei laminarer Strömung mit der 4. Potenz des Durchmessers zu<sup>1</sup>; umgekehrt wird also auch ein Rohr von halbem Durchmesser und gleicher Länge bei gleichem Druck nur von  $\frac{1}{16}$  der Flüssigkeitsmenge in der Zeiteinheit durchströmt und 4 Rohre vom halben Durchmesser, die in ihrer Gesamtheit nur die Hälfte des Querschnitts haben wie das Hauptrohr, liefern doch nur  $\frac{1}{4}$  der Durchflußmenge. Erst wenn der Strom aus dem Hauptrohr in 16 gleichlange Rohre vom halben Durchmesser übergeleitet würde, wäre der Widerstand in den Verzweigungen nicht größer als im Hauptrohr; der Gesamtquerschnitt wäre hierbei auf das 4fache gewachsen. Ein verzweigtes Röhrensystem weist also in allen Gesamtquerschnitten gleichen Widerstand auf, wenn bei Abnahme der Röhrendurchmesser auf  $\frac{1}{x}$  der Gesamtquerschnitt um  $x^2$  und die Gesamtzahl der Zweige in einem Gesamtquerschnitt um  $x^4$  gestiegen ist. Eine so große Steigerung des Gesamtquerschnitts und der Zahl der kleinen Äste findet beim Menschen keineswegs statt, wenn man, wie es erforderlich ist, der Berechnung von  $x$  das Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Aorta — 32 mm — und dem Durchmesser der einzelnen Capillaren — 0,008 mm — zugrunde legt. Es ist vielmehr nach den Capillaren zu eine sehr erhebliche Widerstandsvermehrung festzustellen, die nach neueren Anschauungen in den Präcapillaren ihren Höhepunkt erreicht. Daß der Widerstand am größten vor den Capillaren sein muß, läßt sich schon daraus schließen, daß die Gefäßdurchmesser in etwa gleichen Stufen abnehmen, während der Gesamtquerschnitt von den Haupt-

<sup>1</sup> Dies entspricht dem Gesetz von Poiseuille, welches nach Tigerstedt (Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. 5, S. 1030) „als ein vorläufiger Ausdruck für den Zusammenhang zwischen Widerstand, Druck und Stromvolumen, welcher im Kreislauf stattfindet, aufgefaßt werden kann“. Nach Heß: Handbuch usw. Bd. 7, 2, S. 914 sind „im Blutkreislauf die Bedingungen für die Gültigkeit des Poiseuilleschen Gesetzes weitgehend erfüllt“.

arterien nach den kleinen Arterien hin nur allmählich zunimmt, *von den kleinsten Arterien nach den Capillaren zu* aber sprunghaft seinen Höhepunkt erreicht (vgl. S. 549—551). Der Widerstand, welcher bei unseren Versuchen wie am Lebenden im wesentlichen die Verteilung bedingt, hängt also vorwiegend von der Weite, d. h. dem Tonus der Gefäße und erst in zweiter Linie von der Zahl der Verzweigungen ab. So ist es zu erklären, daß Organe, welche ein dichtes Netz von feinen Gefäßverzweigungen aufweisen, infolge der besonderen Umstände des Versuchs oder, beim Lebenden, infolge besonderer Funktionsverhältnisse verhältnismäßig spärlich versorgt sein können, und daß dieselben Organe, bestimmten Reizmitteln ausgesetzt, im Versuch wie am Lebenden eine reichliche Durchströmung aufweisen können. — Neben der Gefäßweite und der Zahl der Verzweigungen spielt die Länge der Strombahn hinsichtlich des Widerstandes nur eine untergeordnete Rolle. Zwar wächst der Widerstand proportional der Länge der Strombahn; die meisten Organe befinden sich aber in annähernd gleichgroßen Entfernungen vom Aorten- anfang, z. B. beim Erwachsenen etwa 25 cm (Gehirn) bzw. 30—50 cm (Bauchorgane). Nur für die Gliedmaßen steigt die Weglänge auf 1 m bis 1½ m, nur bei ihnen könnte also die durch die Weglänge entstehende Widerstandszunahme einen nennenswerten Einfluß ausüben. Soweit der Faktor der Weglänge überhaupt eine Rolle spielt — und hinsichtlich der Gliedmaßen lassen sich aus unseren Versuchen Anhaltspunkte hierfür entnehmen —, müssen jedenfalls die Verhältnisse am Lebenden genau dieselben sein wie am Überlebenden, so daß sich Versuchsergebnisse vom letzteren in dieser Hinsicht unmittelbar auf den Lebenden übertragen lassen. Aus einem ganz anderen Grunde spielen freilich die Weglängen beim Kreislauf des Lebenden eine außerordentlich große Rolle, nämlich weil sie sich im Körper zu kürzeren bzw. längeren Kreisläufen zusammenschließen, von denen die einen ihr Blut in der Zeiteinheit einmal durch die Lunge schicken, während es von den anderen in derselben Zeit vielleicht 20—30mal geschieht. Der aus der größeren Weglänge sich ergebende größere Widerstand muß sich z. B. für den Fuß bei der Annahme einer Weglänge von 2mal 170 cm von diesem Gesichtspunkte aus zum Widerstand der Kranzgefäße, diese auf 2mal 5 cm Weglänge geschätzt, wie 1:34 verhalten; dies wäre das Verhältnis des Anteils der Widerstände auf jeder der beiden Strombahnen, der ausschließlich auf die Weglänge zurückzuführen ist; gegenüber dem Gesamtwiderstande geringfügig, ist er doch bei einem Verhältnis 34:1 nicht zu vernachlässigen. Durch diese Umstände, die durch die Weglänge hervorgerufenen Widerstände, erklärt es sich, daß die Herzwand die mehrfache Durchströmungsgröße aufweist wie der Fuß, während die zuführenden Gefäße des Fußes etwa dieselben Durchmesser haben wie die Coronararterien.

A. dorsalis pedis . . . 3,4 mm	A. coronaria dextra . . 3,6 mm
A. plantaris pedis . . 3,4 mm	A. coronaria sinistra . . 2,8 mm.

Die verschiedene Beschaffenheit des Capillarsystems in beiden Fällen wird natürlich hinsichtlich des Gesamtwiderstandes ebenfalls erheblich mitsprechen. Wollen wir Organe mit ähnlichen capillaren Verhältnissen vergleichen, so müssen wir die *Unterschiede der Durchströmung* der Hand einerseits, des Fußes andererseits betrachten (und zwar in horizontaler Rückenlage, um die hydrostatisch bedingten Umstände auszuschalten). Der Einfluß, den die Weglänge hat, kann hier natürlich nur ein geringerer sein, da die Weglänge zu den Zehen nur etwa das Doppelte der Weglänge zu den Fingern beträgt und da ein erheblicher Teil der größeren Weglänge auf die infolge ihres großen Durchmessers nur geringen Widerstand bietende Aorta entfällt.

Zur Ergänzung der oben (S. 592) gegebenen Übersicht über die hydrodynamisch bedingte Verteilungsweise einer von der Aorta aus eingeführten Flüssigkeit soll eine *nach Organen geordnete Zusammenstellung typischer Befunde* dienen, welche durch ihr regelmäßiges Auftreten oder ihre charakteristische Eigenart sich als *durch den Bau des Gefäßsystems bedingt* darstellen und nicht durch andere, im Einzelfall etwa vorhandene Sonderumstände hervorgerufen sein können. Wie an anderen Stellen dieser Arbeit sind in der Regel nur einzelne Vertreter der Belegfälle namhaft gemacht. Bei den einzelnen Organen und Gliedabschnitten ist das *Gewicht*, wie es sich bei einigen Neugeborenen von etwa 3000 g durchschnittlich für ein solches Gesamtgewicht ergeben hatte, hinzugefügt, ferner das in jedem Organ bzw. Gliedabschnitt (einschließlich zu- und abführender Gefäße) beim Lebenden durchschnittlich anzunehmende *Blutvolumen*, berechnet auf ein Gesamtblutvolumen von 300 g (entsprechend dem „Organschema“ des Neugeborenen). Ferner sind die *Durchmesser der zuführenden Hauptgefäße*, soweit hierüber Messungen beim Neugeborenen vorliegen, angegeben.

**Gehirn (und Rückenmark):** Gewicht 290 g, Gefäßvolumen 42 cm, Carotis comm. 3,1 mm (E)<sup>1</sup> 9 mm, Carotis int. (E) 6,2 mm, Vertebralis (E) 4,5 mm.

Die reichlichste Versorgung weist stets der *Hirnstamm* nebst verlängertem Mark und *Hypophyse* auf. Vom Großhirn ist die *Sylvische Furche* mit ihren Ausläufern bevorzugt, entsprechend der Versorgung durch das weiteste Hirngefäß (Cerebri media 4,5 mm) (K 23, 21). In zahlreichen Fällen zeigen sich allerdings die der Falx cerebri zugekehrten Abschnitte noch stärker durchströmt als das Gebiet der *Sylvischen Furche* (K 19, 20). Die Bevorzugung der nach der Mediane zu gelegenen Gebiete erklärt sich wahrscheinlich durch das Zusammentreffen der beiderseitigen Ströme sowohl von den Carotiden als auch von den Vertebrales her (K 27); dies gilt für das Großhirn (Fissura Rolandi, — A. cerebri ant.) wie für das *Kleinhirn*. Von 2 hintereinander eingelassenen Portionen (von z. B. 50 bzw. 40 cm) hat die erste gewöhnlich Dura und Hirnoberfläche erreicht, während die zweite eben in die medianen Hirnabschnitte eingetreten ist (K 26). — Die Versorgung des *Rückenmarks* durch die relativ engen Aa. spinales ist nur eine mäßige (vgl. auch S. 599); hat keine Erwärmung auf Körpertemperatur stattgefunden, so bleibt die Füllung dieser Gefäße leicht mehr oder minder vollständig aus (K 21, 23). Hinsichtlich der *Beein-*

<sup>1</sup> E = Gefäßdurchmesser beim Erwachsenen.

*flussung des Vertebralisstromes durch den Carotidenstrom* läßt sich beobachten, daß bei bevorzugter Einströmung in die rechte Carotis (Anonyma) der von der A. vertebralis in die Basilaris gelangende schwächere Strom in die Cerebri posterior und den linken Hinterlappen hinübergedrängt wird. — Bei *Senkungs- und Hebungsbewegungen* am Kopf (in Rückenlage) findet deutliches Nachrücken von zwei verschieden gefärbten, nach der Einströmung zur Ruhe gekommenen Portionen statt (K 35).

**Augen (und Orbitalinhalt):** Gewicht 8 g, Gefäßvolumen (Orbitalinhalt) 1 cem, A. ophthalmica 1,7 mm, A. infraorbitalis von der Maxillaris ext. (Carotis ext.) Kommunikationen vom Gebiet der Carotis ext. durch A. angularis (zur Dorsalis nasi der A. ophthalmica), durch A. meningea media (zur A. lacrimalis der A. ophthalmica).

Das Auge ist *das einzige Organ im Kopf, welches von außen sichtbar die Versorgung des Gehirns teilt*; an dem Aussehen der Sklera läßt sich also weitgehend die derzeitige Hirnversorgung beurteilen. Da die A. ophthalmica vor dem Abgang der Hirngefäße von der Carotis interna abzweigt, wird das Auge in den Austausch des Blutstromes von einer Seite zur anderen nicht unmittelbar einbezogen (K 25); von der gegenüberliegenden Carotis kann nur dann gefärbte Flüssigkeit zum Auge gelangen, wenn ein teilweiser Rückstrom in der Carotis interna stattgefunden hat. Das Auge *nimmt demgemäß an den Kreislaufzuständen der anderen Hirnhälfte entweder gar nicht oder nur in abgeschwächtem Maße teil* (K 27, 21).

**Schädelbasis und -dach; Kopfschwarte:** Gesamtgewicht 240 g, Gefäßvolumen 9 cem, A. pharyngea asc. (E) 1 mm, Meningea media (E) 3,5 mm, A. temporalis superficialis (E) 2,8 mm, A. occipitalis (E) 2,8 mm.

Dieses zu der Carotis externa gehörige Gebiet steht hinsichtlich der Versorgung häufig in einem gewissen *Gegensatz zur Versorgung des Gehirns*, der allerdings gewöhnlich nur in Erscheinung tritt, wenn bei der Durchströmung besondere Bedingungen (Kopfstellung, halbseitige Erwärmung u. dgl.) eingehalten werden. Die *Schädelknochen bleiben im Verhältnis zur Dura* wie im Verhältnis zur *Kopfschwarte* regelmäßig erheblich *zurück* (K 17); gelangt bei reichlicher Durchströmung die Farbflüssigkeit zu ihnen, so kann man eine strahlige Injektion im Verknöcherungszentrum der platten Schädelknochen feststellen (K 35). Von den Hirsinsinus aus tritt Gefäßinhalt *durch die Emissarien* in die äußeren Schädelvenen über und wird demzufolge an der Kopfschwarte sichtbar; somit läßt sich aus dem Auftreten einer Färbung z. B. *in der Stirn-Scheitelgegend* nahe der Mittellinie erschließen, daß der Längssinus von der Farbflüssigkeit durchströmt wird (K 26). Nähere Einzelheiten über die Verteilung an der Kopfschwarte sind in dem Absatz über das erste Auftreten der Durchströmungsflüssigkeit an der Haut gegeben.

**Gesicht** (Augenlider, Nase, Ohr, Lippen, Wangen): Gesamtgewicht 85 g, Gefäßvolumen 8 cem, A. maxillaris ext. (E) 4 mm, A. auricularis post. (E) 1,7 mm.

Von der *Augengegend* ist in der Regel am frühesten der innere Augenwinkel versorgt, jedenfalls auf Grund des Zusammentreffens mit der A. dorsalis nasi (A. ophthalmica, d. h. Carotis interna-Gebiet); nach dem inneren Augenwinkel (K 35) wird gewöhnlich auch der äußere bald gefärbt und es tritt ziemlich rasch homogene Färbung der Lider, zunächst besonders der *Oberlider*, ein. Ähnlich ist der Verlauf der Färbung an den Lippen; die Färbung beginnt an den *Mundwinkeln* und überzieht von hier aus allmählich homogen die ganze Oberfläche, auch hier wieder zunächst an der *Oberlippe*; auf Querschnitten sieht man, daß die Färbung an der Oberfläche der Lippe stets der Färbung in der Tiefe entspricht. — Von der *Nase* ist die *Nasenwurzel* das bestversorgte Gebiet, jedenfalls durch das Zusammentreffen der aus der Tiefe kommenden A. dorsalis nasi mit den oberflächlichen Arterien (K 24); demnächst folgt der *Nasenrücken*, der mit Stirn und Augenlidern gleichzeitig gefärbt zu werden pflegt; weiterhin folgt die *Nasenflügelgegend*, welche mit

gleichzeitiger Färbung der vorderen Wangengegend und des Ohres einhergeht (K 17). Die *Nasenspitze* bleibt bei nicht sehr weitgehender Injektion häufig äußerlich und auf dem Schnitt frei von Farblösung. Es handelt sich hier offenbar um einen „toten Winkel“ (K 21), der, obgleich sich hier Gefäße von 2 Seiten begegnen (vom Nasenrücken her Äste der A. angularis, von der Scheidewand her Äste der A. ethmoidalis ant. bzw. post. — aus der A. ophthalmica —), doch im ganzen nicht günstige Versorgungsverhältnisse bietet und nur unter den normalen Blutdruckverhältnissen des Lebenden gut durchblutet ist (Spitzwerden der Nase beim Exitus). Die hauptsächliche Versorgung liefern am Lebenden jedenfalls die durch die Nasenscheidewand herantretenden Gefäßäste, wie Abklemmungsversuche an dem einen und dem anderen Teil der Nase lehren. — Ein drittes Gebiet relativ frühzeitiger, homogener Färbung bildet das *Innere der Ohrmuschel* (K 24). Der Ohrrand bleibt demgegenüber gewöhnlich zurück (K 18). Am *Ohr läppchen* verzögert sich der Eintritt der färbenden Flüssigkeit gewöhnlich außerordentlich (K 17, 18, 28, 30); wird das Ohr läppchen schließlich versorgt, so tritt meist zugleich auch an der Kopfhaut gegenüber dem Ohr läppchen die Färbung auf, was sich durch den nahen Zusammenhang der betreffenden Gefäßäste erklärt. Die späte Versorgung des Ohr läppchens ist ein weiteres Beispiel für die Wirkung des „toten Winkels“, der wir auch noch in anderen Körperregionen begegnen werden. An wichtigen Stellen des Körpers, an welchen die allgemeinen anatomischen Verhältnisse die Entstehung eines „toten Winkels“ in der Versorgung begünstigen würden, ist eine Abhilfe durch die Anordnung des Gefäßsystems, die *Ausbildung eines Arcus*, geschaffen, so besonders an den Enden der Extremitäten. Durch den Arcus wird eine zu weit gehende Verschmälerung der Endarterie und die hieraus folgende zu erhebliche Druckabnahme nach der Peripherie hin vermieden. — In Fällen, in welchen die Flüssigkeit sich besonders dem Schädelinnern zugewandt hat und das Blut in die Sinus gedrängt hat, kann man einen *Gegensatz zwischen der Gegend um die Nasenflügel und die Mundwinkel herum einerseits und der Stirngegend andererseits* beobachten. Während erstere blaß aussieht oder auf Grund äußerer Umstände (Nachobenliegen der betreffenden Kopfseite; Einwirkung von Gefäßreizen) abbläßt, wird letztere durch das durch die Emissarien heraustretende Blut dunkelrot gefärbt und ändert diese Farbe nicht (K 36). — Eine besondere Rolle spielt die *vordere Wangenregion*; hier kann man bei den Durchströmungsversuchen deutlich eine kreisförmige Ausparung beobachten, die auch nach sehr weitgehender Färbung aller Teile des Gesichts nicht schwindet; es handelt sich offenbar um den spärlicher von Gefäßen versorgten Bezirk zwischen der A. transversa faciei einerseits und der A. maxillaris externe andererseits; nur venöses Blut wird in den betreffenden Bezirk hineingedrängt, so daß er sich allmählich tief rötet; bei fortgesetzter Einströmung tritt aber schließlich in der Mitte des roten Fleckes ein farbiges Pünktchen heraus, welches sich allmählich vergrößert; es entspricht einer aus der Tiefe aufsteigenden Arterie, einem Aste der A. infraorbitalis.

Bemerkenswert ist bei überfüllender Durchströmung (besonders bei Anwendung von Ringerlösung) das zunehmende Abfließen der Flüssigkeit aus der Nase. Wahrscheinlich handelt es sich um einen Durchtritt durch den Sinus cavernosus und durch die kleinen Venen der Nasenschleimhaut.

**Mundhöhle** (Zunge, Gaumen); **Ober- und Unterkiefer**: Gesamtgewicht 35 g, Gefäßvolumen 6 ccm, A. pharyngea asc. (E) 1 mm, A. maxillaris int. (E) 4,5 mm, A. maxillaris ext. (E) 4 mm, A. lingualis (E) 3,4 mm.

Die *Zunge* zeigt sich gewöhnlich zunächst nur in zwei Längsstreifen, dann wie der Mundboden fleckweise gefärbt; am harten Gaumen findet sich häufig eine hufeisenförmige Färbungsfigur (K 21). Die *Unterkieferspeicheldrüse* weist ebenso wie die *Ohrspeicheldrüse* keine erhebliche Färbung durch die Durchströmungsflüssigkeit auf; sie ähneln in diesem Verhalten dem Pankreas. Spärlich ist auch die

Versorgung der Spongiosa an *Oberkiefer* und *Unterkiefer*, wenn auch nicht so gering wie an den platten Schädelknochen und der Mehrzahl der Extremitätenknochen.

**Hals** (Knochen, Muskulatur, Haut), **Schilddrüse**, **Kehlkopf**: Gesamtgewicht 100 g, Gefäßvolumen 10 cem, A. thyreoidea sup. (E) 3,4 mm, Truncus thyreo-cervicalis (E) 5,6 mm, Truncus costo-cervicalis (E) 2 mm.

Bei langsamer Durchströmung wird eine Versorgung der Haut und Muskulatur am Halse gewöhnlich erst beobachtet, wenn Gesicht und Gehirn schon weitgehend gefärbt sind. In den *Wirbelkanal* der Halswirbelsäule gelangt der Gefäßinhalt rasch von der A. vertebralis her, und auch die *Halswirbel* erhalten hierbei eine etwas bevorzugte Versorgung (K 22). Am reichlichsten von den Halsorganen ist stets die *Schilddrüse* durchströmt (K 22, 38). Durch die Versorgung von zwei Seiten her (Carotis externa und Truncus thyreo-cervicalis) entsteht in der Schilddrüse ein „*Mischgebiet*“, welches sich dadurch kundtut, daß z. B. beim Nacheinander-einströmen von gelber und blauer Lösung in die Aorta in der Schilddrüse Grünfärbung auftritt, während z. B. in Hirn, Schädelknochen, Skleren, Gaumenbögen, Wirbelkanal und Thymus die hintereinander eingelassenen Portionen getrennt bleiben (K 35). Wohl infolge dieses Umstandes wurde mehrfach bei Durchströmung mit zwei verschiedenen gefärbten Flüssigkeiten eine gegensätzliche Färbung zwischen Schilddrüse und dem übrigen Halsquerschnitt beobachtet; in denjenigen Fällen, in denen die Schilddrüse die eine der eingeströmten Portionen ungemischt aufwies, während die andere den *übrigen Halsquerschnitt* färbte, können wir von einem Antagonismus sprechen; ein solcher wurde besonders beobachtet in Fällen, bei denen zu der einen Lösung Suprarenin hinzugesetzt war. — Der *Kehlkopf* wird entsprechend seiner nahen Beziehung zur Schilddrüse gleichzeitig und von den gleichen Portionen der Durchströmungsflüssigkeit versorgt, doch erhält er von diesen nur einen sehr geringen Anteil.

**Brustkorb**, Brustwirbelsäule, Zwerchfell. — **Thymus; Speiseröhre**: Gesamtgewicht 485 g, Gefäßvolumen 22 cem. Aus der Subclavia: A. mammaria int. (E) 3,4 mm, A. transversa colli (E) 3 mm. Aus der Axillaris: A. thoracalis suprema (E) 2,3 mm, A. thoraco-acromialis (E) 2,8 mm, A. thoracalis lat. (E) 3 mm, A. subscapularis (E) 4 mm. Aus der Aorta, Aa. oesophageae (E) 0,6—1 mm, Rr. pericardiaci und mediastinales (E) 0,6 mm, Aa. intercostales (E) 2,8 bis caudalwärts 3,4 mm.

Am Brustkorb läßt sich *das Gebiet bis zur oberen Kante der 5. Rippe* von dem abwärts hiervon gelegenen streng scheiden; bis zu der genannten Grenze nach unten erstreckt sich beim Neugeborenen der Zustrom aus den Intercostalästen der Mammaria interna, während abwärts hiervon die Thoraxwand ausschließlich von den Aa. intercostales also von der Aorta aus gespeist wird (K 28, 29). Vergleicht man die Versorgung der Wirbelsäulengegend am Thorax mit den entsprechenden Abschnitten am Hals und in der Lendenregion, so kann man feststellen, daß im *Wirbelkanal*, um das Rückenmark herum, die Versorgung annähernd in allen Abschnitten die gleiche ist oder allenfalls caudalwärts ein wenig abnimmt; das Rückenmark selbst zeigt sich gewöhnlich nur von diffundiertem Methylenblau angefärbt. Die *Muskulatur* längs der Wirbelsäule ist im Brustabschnitt reichlicher gefärbt als in Hals- und Lendenabschnitt (K 22). Die Spongiosa der *Wirbel* findet sich öfter von dem Farbstoff erreicht als dies bei den Extremitäten der Fall ist; die chinesische Tusche führt nicht selten embolieartig hier und da zu einer fleckweisen Anhäufung des Farbstoffs in der Wirbelspongiosa. An der *Haut* der vorderen und hinteren Thoraxregion tritt gewöhnlich die erste Färbung in der Medianlinie auf, vorn in der *Gegend des Brustbeins* (K 24, 22), besonders an dessen unterem Ende (K 35, A. epigastrica sup. aus der Mammaria int.), hinten längs der Dornfortsätze (K 20, 22). Eigenartig ist ein *scapulierartiges Füllungsgebiet am Rücken*, welches vollkommen dem größeren unteren Abschnitt des Musculus trapezius entspricht und ein

gleichschenkliges Dreieck bildet, dessen untere Spitze am 12. Brustwirbel liegt. Ein derartig abgegrenztes Feld capillarer Füllung wurde unter besonderen Umständen (Kältereiz K 17, Adrenalinzusatz zur Durchströmungsflüssigkeit K 36) beobachtet. — Das *Zwerchfell* weist an seiner Oberseite ein Gefäßgeflecht auf, welches einerseits von der A. pericardio-phrenica aus der Mammaria interna, andererseits durch direkte Aortenäste gespeist wird; am kräftigsten sind die an seiner Unterseite gelegenen, unmittelbar unterhalb des Hiatus aorticus von der Aorta abzweigenden Aa. phrenicae inferiores entwickelt, je 2,3 mm Durchmesser (E). Gewöhnlich zeigt sich das Zwerchfell nur reichlicher gefärbt, wenn die Organe der Bauchhöhle reichlich durchströmt sind. Von den dem Zwerchfell anliegenden Organen der Bauchhöhle, insbesondere der Leber einerseits und von der Brusthöhle, den Lungen andererseits, dringt diffundierender Farbstoff ganz gewöhnlich in die serösen, das Zwerchfell bedeckenden Häute; dieselbe Erscheinung wird auch an der die Seitenwände der *Brust- und Bauchhöhle auskleidenden Serosa* und am *Herzbeutel* beobachtet. Bei Überfüllung des Kreislaufs tritt auch Methylenblau bzw. eosin gefärbte Flüssigkeit in den serösen Höhlen, besonders Herzbeutel und Bauchhöhle auf (K 22, 38). Bei wenig ausgiebiger Durchströmung ist das Perikard gewöhnlich fast ungefärbt (K 17). — Der *Thymus*, von der Mammaria interna aus versorgt, zeigt regelmäßig eine Füllung des zuführenden rechten und linken Gefäßbäumchens; eine Färbung der Drüsensubstanz selbst findet meist nicht statt (höherer Druck, K 22, Wärmereiz, K 18, bzw. hormonaler Reiz, Suprarenin K 25, 26, fördern die Versorgung des Parenchyms des Thymus). — Sehr spärliche Füllungen lassen sich an den die *Speiseröhre* begleitenden Gefäßen nachweisen; ihre Muskulatur ist gewöhnlich, ihre Schleimhaut regelmäßig ungefärbt (K 21).

**Herz:** Gewicht 22 g, Volumen 6 ccm, A. coronaria dextra (E) 3,6 mm, A. coronaria sinistra (E) 2,8 mm.

Bei jeder Einströmung in den Anfangsteil der Aorta wird sofortige flächenhafte Färbung der *Wand des linken Herzens* unmittelbar nach Füllung der sichtbaren Gefäße beobachtet. Auch die Färbung der *rechten Herzwand* schließt sich unmittelbar an, bleibt aber an Intensität etwas zurück. Auf dem Querschnitt erscheint die Herzwand wie die meisten Organe unmittelbar nach dem Durchschneiden ungefärbt; sie färbt aber dann rasch in allen Teilen nach. Wird das *Herzinnere* selbst durchströmt, z. B. von der Nabelvene aus, so wird die innere Herzwand von imbibitionsfähigen Farbstoffen reichlich gefärbt; verwendet man zu einer solchen Durchströmung z. B. Eosin und Methylenblau, so nimmt auffälligerweise das gesamte Herzinnere bis in die Aorta hinein den roten Farbstoff an, nur die rechte Vorkammer färbt sich blau und zwar geschieht dies, gleichgültig welche von beiden Lösungen zuerst hineingeschickt wurde und auch wenn sie wiederholt abwechselnd eingelassen wurden. Ein Übertritt der Färbung von der Intima des Herzens auf die Muskulatur wurde nicht beobachtet (K 25, 26). Bei vom Aortenanfang aus hintereinander einströmenden verschieden gefärbten Portionen beobachtet man *keine Mischung in der Herzwand*; bei Einströmung von der Nabelvene aus in das Herzinnere findet *Mischung* verschieden gefärbter Portionen statt, und zwar wird sie *vorwiegend im linken Herzen* beobachtet (K 35). — Der geringen Eigenversorgung des *Herzbeutels* und des Übertritts von diffundierendem Farbstoff von der Herzwand her auf das Perikard wurde oben bereits Erwähnung getan.

**Lungen:** Gesamtgewicht 70 g, Gefäßvolumen 60 ccm, A. pulmonalis (E) 28 mm, (N) 9 mm, Ramus dexter (E) 21 mm, sinister (E) 19 mm, (N) je 6,8 mm, Ductus Botalli (N) 5 mm vgl. Aorta asc. (N) 8,2 mm, Aa. bronchiales (E) 1–2,3 mm.

Eine Durchströmung der Lungen von der A. pulmonalis aus gestattet keinen unmittelbaren Vergleich mit den übrigen Organen, weil alle übrigen Organe hierbei hinter die Lunge geschaltet sind. Bei Durchströmung von der Nabelvene aus wird der Lunge die Farbflüssigkeit vom Herzen bzw. den großen Gefäßen aus in

annähernd derselben Weise angeboten wie anderen unweit des Herzens gelegenen Organen, so daß das Verhalten der in der Lunge befindlichen Gefäße gegenüber diesem Angebot vergleichend geprüft werden kann. Hierbei zeigt sich, daß die Lunge ähnlich den parenchymatösen Organen *nur bei einer der Körperwärme angenäherten Gewebstemperatur für den Zustrom gut zugängliche Capillaren zeigt* (K 3, 18). Erhöht man aber z. B. durch eine um den Bauch gelegte Gummibinde den *Druck* in den großen Gefäßen über das Normalmaß hinaus, so wird die Lunge gleich den parenchymatösen Organen und dem Thymus reichlich injiziert (K 22). Findet die Durchströmungsflüssigkeit kopfwärts einen *Abfluß*, wie z. B. bei einer Schädelperforation, so werden die Organe der oberen Körperhälfte reichlicher durchströmt als die der unteren und die Lungen nehmen an dieser reichlicheren Durchströmung teil. Bei der Durchströmung der Lungen *von der Nabelvene aus* findet nicht nur eine Füllung der Lungenarterien, sondern, wenn auch langsamer, eine rückläufige *Füllung der Lungenvenen* statt; läßt man in einem solchen Falle einer Stärkelösung eine Jod-Jodkaliumlösung folgen, so kann man eine Durchmischung der nacheinander eingelassenen Portionen in der Lunge feststellen, die natürlich unter den Umständen des lebenden Organismus bei schlagendem Herzen nicht auftreten würde (K 4, vgl. K 19). Beschränkt man bei der Versuchsanordnung die Durchströmung auf A. pulmonalis und Aorta, so müßte eine Durchmischung zeitlich aufeinanderfolgender Portionen in der Weise stattfinden können, daß die erste Portion durch die Bronchialarterien zu demselben Zeitpunkt in die Lungenvenen gelangt, zu welchem die zweite Portion auf direktem Wege über die Lungenarterien dort eintrifft, da Verbindungen *vom Gefäßsystem der Bronchien zu den Lungenvenen* bestehen; einer derartige Durchmischung wurde aber nicht beobachtet. Die *Bronchialarterien haben ihr Abflußgebiet* offenbar vorwiegend *nach der V. azygos und V. cava superior* zu. Dies entspricht Beobachtungen, die seinerzeit *Küttner* an den Lungen von Hunden angestellt hat <sup>1</sup>. Bei den Versuchen am Neugeborenen erwiesen sich in der Regel die *Oberlappen* als von der Durchströmung *bevorzugt* (K 17, vgl. 18, 20); *bei Seitenlage* war die *unten befindliche Lunge ausgebreiteter gefüllt* (K 17, 18, 20). *Auch wenn das Kind nicht geatmet hatte*, wurden die Lungen bei Durchströmung des Neugeborenen von der Nabelvene aus beim erwärmten Kinde regelmäßig durchströmt, und zwar nur in wenig geringerem Maße, als wenn das Kind geatmet hatte; die Füllung der Lungengefäße fand hierbei im weiteren Verlauf der Durchströmung in annähernd gleichem Maße von der rechten Kammer, wie (retrograd) vom linken Vorhof aus statt und führte zu der beschriebenen, nur im Versuch eintretenden Durchmischung. *Hat das Kind geatmet*, so erfolgt die Gefäßfüllung unter gleichen Einstromungsbedingungen ausschließlich von der Seite der Lungenarterie her; die Lungencapillaren werden also in solchen Fällen erst gefüllt, wenn eine Injektion anderer, von der Aorta aus versorgter Gebiete, z. B. der Thymusarterie beobachtet wird, die *Durchströmungsgröße* entspricht aber nicht der bei getrenntem Kreislauf üblichen (Erschwerung des Abstroms zum linken Herzen, das nicht entleert wird) und bleibt z. B. hinter der der Nieren zurück; von zwei hintereinander eingelassenen Farbportionen befindet sich die erste noch in der Lunge, während gleichzeitig in den Nieren die erste Portion schon durch die zweite verdrängt ist (K 25, 26). — Hat das Kind geatmet, ist aber die eine Lunge durch Eröffnung der Pleura zusammengefallen, so ist diese im Gegensatz zur nicht kollabierten anderen Lunge bei kurzzeitiger Durchströmung *regelmäßig frei von der Farbflüssigkeit* (K 35); ebenso wird am lebenden Tier die zusammengefallene Lunge von einer nur kurze Zeit kreisenden Testflüssigkeit nicht erreicht, während die atmende Lunge reichlich von ihr durchströmt ist (vgl. S. 564). Befunde an der Außenseite des Körpers, der Oberfläche des Brustkorbs oder am Arm, lassen unter bestimmten Umständen Schlüsse auf die Durchströmungsgröße der Lunge zu; so

<sup>1</sup> *Küttner, K.*: Arch. path. Anat. 73, 1878.



läßt sich zeigen, daß eine durch Wärmereiz auf der einen Brustkorbhälfte und an einem Arm erzielte reichlichere Durchströmung mit einer reichlicheren Durchströmung der betreffenden Lungenhälfte einhergeht. Der Schluß von der Oberfläche auf die Tiefe trifft also in solchen Fällen zu, obgleich es sich um zwei Gebiete mit vollkommen getrennter Gefäßversorgung handelt, offenbar weil die Gefäßbreite auf jedes der beiden Capillargebiete in gleichem Sinne einwirken.

**Magen, Dünndarm und Dickdarm:** Gesamtgewicht 90 g, Gefäßvolumen 29 cem, A. coeliaca (E) 9 mm, hiervon A. gastrica sin. (E) 4,5 mm, A. gastrica dextra (E) 1,5 mm, A. gastro-duodenalis (E) 3,4 mm, A. pancreatico-duodenalis sup. (E) 1,8 mm, A. gastro-epiploica dextra (E) 3 mm, id. sinistra (E) 2,3 mm. — A. mesenterica sup. (E) 9,6–10,1 mm, A. mesenterica inf. (E) 3,8 mm.

Die Füllung der Gefäße des Magendarmkanals im Durchströmungsversuch ist im allgemeinen eine einheitliche, wenn auch gemäß der geringeren Dichte der Gefäßverteilung am Dickdarm dieser in der Versorgung hinter dem Dünndarm zurückbleibt. Hinsichtlich der *Stärke der Versorgung* ergibt sich folgende absteigende Stufenfolge: 1. Jejunum, 2. Ileum, 3. Querdarm, 4. Magen, Ascendens, Descendens, 5. Sigmoid (K 19, 12, 20, 21). Legt man eine Gummibinde einigermaßen fest um den Bauch, so wird die Füllung der Mesenterialgefäße des Dünn- und Dickdarms verhindert, während Leber und Milz eine solche wenigstens in den größeren Gefäßen des in diesen Organen liegenden Gefäßbaumes erfahren; durch entsprechende Wahl der Stärke des elastischen Druckes auf die Bauchhöhle kann man eine *bevorzugte Durchströmung der Milz und auch der Leberarterien* auf Kosten der Durchströmung des Darms erzielen (K 18, 22). *Am Magen* wird, entsprechend den sich in Arkaden begegnenden Magenarterien, *Durchmischung* hintereinander in den Kreislauf eintretender Portionen beobachtet (K 35); *am Darm* ist dies niemals der Fall, vielmehr ist das Dünndarmgekröse der klassische Ort, um zu beobachten, wie eine Farbflüssigkeit bei der Durchströmung die vorangehende *unter* streng gleichmäßigem, *zonenweisem Vorrücken* in allen Ästen verdrängt; ein Austausch innerhalb der Querverbindungen wird hierbei nicht beobachtet. — Hat (z. B. bei geschlossenen Nabelarterien) bereits eine einigermaßen *reichliche* Durchströmung und *Füllung des Gefäßsystems* stattgefunden, so tritt eine *neuerlich eingelassene Portion* an Magen und Dickdarm besonders in die Gefäße der *nach der Bauchseite* zu liegenden Wandabschnitte, d. h. also an die Vorderwand (K 15). Hinsichtlich des Magens ist noch im einzelnen zu erwähnen, daß von zwei nacheinander einströmenden Farbportionen die erste noch im Fundus und ganz besonders im Pfortner verweilt, während im Gebiete der *großen und kleinen Krümmung* die erste Portion bereits durch die zweite verdrängt ist (K 38). Der bevorzugten Füllung bzw. Durchströmung von Abschnitten des Magen-Darmtractus unter der Reizwirkung von Wärme bzw. von in das Lumen eingebrachten Nahrungsmitteln, der verringerten Durchströmung beim Zusatz von Suprarenin zur Durchströmungsflüssigkeit ist bei Besprechung der Reizwirkung auf die Gefäße näher Erwähnung getan.

**Leber (und Gallenblase):** Gewicht 100 g, Gefäßvolumen 49 cem, A. hepatica (E) 5,6 mm, Aa. hepaticae propr. R. sinister (E) 2,8 mm, R. dexter (E) 3,4 mm, A. cystica (E) 1 mm, Vena portae (E) 16 mm, (N) 3,5–5,1 mm, Vv. hepaticae (E) 14–18 mm.

Für die Leber tritt beim Neugeborenen an Stelle des Zustroms venösen Blutes von der Pfortader, der nur geringfügig ist, der Zustrom arteriellen Blutes von der Nabelvene her; demgemäß werden die Portalvenen der Leber auch im Durchströmungsversuch bei dem geringsten Druck, bei welchem überhaupt ein Einfließen bemerkbar wird — 16 cm Wasser — sofort reichlich gefüllt (K 35); der Abstrom erfolgt wie beim Kreislauf des Erwachsenen nach den Lebervenen, der Vena cava inferior hin. Findet eine länger fortgesetzte Durchströmung von der Nabelvene aus statt, so wird die Leber — in ähnlicher Weise wie die Lunge —

auch retrograd, also durch die *Lebervenen* erreicht; ferner strömt ihr in die Aorta übergetretene Flüssigkeit auf dem Wege über die *Leberarterien* zu. Demgemäß treten nacheinander einfließende Stärkelösung und Jod-Jodkalilösung gemischt auf und werden an Querschnitten als blaue Jodstärke sichtbar. Die retrograde Versorgung durch die Lebervenen ist analog wie die retrograde Füllung der Lungen eine durch die Versuchsumstände hervorgerufene Erscheinung, die am lebenden Organismus, bei welchem das Herz den Ort des höchsten Gefäßdruckes bildet, nicht vorkommt. Wohl aber findet am Lebenden eine *Durchmischung des Pfortaderblutes* (beim Neugeborenen auch des Nabelvenenblutes) mit dem von den *Leberarterien her eintretenden Blute* statt, weil die Leberarterien — im Gegensatz zu den oben zum Vergleich herangezogenen Bronchialarterien — nur einen mit dem venösen Hauptstrom gemeinsamen Abfluß aufweisen. Dieser Vorgang läßt sich am Neugeborenen nach Unterbindung der Lebervenen an ihrer Einmündung an der unteren Hohlvene als *Füllungsbild*, bei Eröffnung der Venen leberwärts von der Unterbindungsstelle als *Durchströmungsbild* zur Darstellung bringen. — Die *Verteilung* einer Durchströmungsflüssigkeit *innerhalb der Leber* erfolgt gewöhnlich sehr regelmäßig in der Weise, daß zunächst eine Anzahl kugelig, an der Oberfläche sich als Kreisflächen darstellender Versorgungsgebiete sichtbar wird, welche sich bei weiterer Durchströmung vergrößern und schließlich mehr und mehr zu homogenen Füllungsgebieten konfluieren; auf dem frischen Schnitt sieht man den Farbstoff wie bei den anderen parenchymatösen Organen im ersten Augenblick nur in den größeren Gefäßen, sehr rasch aber tritt das eben beschriebene typische Verteilungsbild auch auf dem Schnitt hervor und dies wiederholt sich an jedem neu angelegten Schnitt. Die *Überzahl der capillären Provinzen* befindet sich *nach der Oberfläche der Leber zu*, während das Zentrum und der nach den zuführenden Hauptgefäßen gelegene Bezirk vorwiegend von dem Gefäßhilus durchzogen ist; läßt man zwei verschieden gefärbte Flüssigkeitsportionen nacheinander in die großen Lebergefäße einströmen, so tritt dieser Verteilung der Gefäßabschnitte entsprechend eine *gegensätzliche Färbung der Randteile* (durch die erste Portion) und *der zentralen Leberabschnitte* (durch die zweite Portion) auf (K 25, K 26). — Bei einseitiger Druckwirkung auf die Leber durch eine um den Bauch gelegte Gummibinde ist die Füllung der einzelnen Gefäßprovinzen eine ungleichmäßige (K 18, vgl. 22). Auffällig ist, daß bei mäßiger Füllung der Lebergefäße regelmäßig eine mehrere Millimeter bis zu  $\frac{3}{4}$  cm breite *Grenzzone des linken Leberlappens*, die dem rechten Leberlappen unmittelbar benachbart ist, in der Durchströmung erheblich zurückbleibt (K 20, 19); es handelt sich hier ähnlich wie bei den anderen oben angeführten Fällen von „totem Winkel“ um ein im Sinne der Versorgung peripheres Gebiet, das nur *eine* relativ schmale Zufuhrstraße hat und in dem keine Arkaden ausgebildet sind; weshalb die der Trennungsfläche zugekehrte Grenzzone des rechten Leberlappens nicht die gleiche Erscheinung aufweist, läßt sich aus den Versuchen nicht beurteilen; jedenfalls erwies sich die Trennungsfläche bei den Durchströmungen stets als tatsächliche Grenze zwischen den beiden Durchströmungsgebieten des rechten und linken Astes. — An der *Gallenblase* wurde bei der gewöhnlichen kurzzeitigen Durchströmung des Körpers keine Füllung der Wandarterien erzielt und niemals zeigte sich die Farblösung an der Schleimhautseite (K 20 u. a.); *nur* unter besonderen Versuchsbedingungen, z. B. *bei plötzlichem*, durch Erhöhung des Druckes bedingtem raschen *Vorrücken der Durchströmungsflüssigkeit* wurde die *Wand der Gallenblase gefüllt*; auch hierbei blieb aber die *Schleimhaut ungefärbt*. Diese Befunde haben ihr völliges Analogon in dem Verhalten der Harnblase bei den Durchströmungen.

**Milz:** Gewicht 15 g, Gefäßvolumen 9 ccm, A. lienalis (E) 6,2—6,7 mm, hiervon mehrere Rr. lienales zur Milz.

Die Milz wird im Versuch beim *nicht erwärmten Neugeborenen* bei kurzzeitiger Durchströmung im Gegensatz zu den übrigen Organen der Bauchhöhle *nicht*

gefärbt (K 3, 4, 12); am erwärmten Kinde findet eine Durchströmung gewöhnlich statt und zwar etwa im gleichen Ausmaße wie die Durchströmung des Magens oder die arterielle Durchströmung der Leber (K 38). Die durch einen leichten elastischen Druck auf die Bauchwand zu erzielende Milzdurchströmung bei sehr eingeschränkter Versorgung des Darmes ist oben erwähnt worden (K 18, vgl. 22). Werden in einem Versuche ohne örtliche Beeinflussungen Leber und Milz von den Arterien her nur wenig ausgiebig durchströmt, so bleibt der Darm hinsichtlich der Durchströmung stets noch erheblicher zurück. — Auch an der Milz kann man wie an der Leber durch hintereinander einfließende, verschiedenartige Farblösungen den Gegensatz zwischen Hilusgebiet und Rindengebiet deutlich machen (K 25, 26). Schickt man mehrere verschieden gefärbte Flüssigkeiten hintereinander durch das Gefäßsystem und erzielt so für die späteren Portionen eine gewisse Durchmischung, die sich an den verschiedensten Organen bei der Autopsie durch eine Füllung ihrer Gefäße mit einer Mischfarbe zu erkennen gibt, so bleibt die Milz einheitlich gefärbt, offenbar weil die in sie eingetretene Flüssigkeit nur so langsam vorwärts kommt, daß die inzwischen in den großen Gefäßen vorhandene Mischfarbe nicht mehr in sie eintreten konnte; aus dem gleichen Grunde erweist sich bei Durchströmung des Körpers mit zwei aufeinanderfolgenden Farblösungen die Milz bei autoptischer Untersuchung in der Regel als einheitlich gefärbt, während Nieren und Hirn auf dem frischen Schnitt die erste Farbe und nach kurzem Zuwarten die zweite aufweisen, also schon die zweite Portion in ihrem zuführenden Gefäßsystem enthalten (K 35 vgl. 36).

**Bauchfell:** Das Bauchfell zeigt im Durchströmungsversuch an seinem *visceralen Blatt* allenthalben fleckweise oder diffus die Färbung der unterliegenden Organe; dies gilt nicht nur für die Organe der Bauchhöhle im engeren Sinne, sondern auch vornehmlich für die Nieren. Enthält die Durchströmungsflüssigkeit einen imbibitionsfähigen Farbstoff wie das Methylenblau, so färbt dieser von der Oberfläche der Organe auch auf das *parietale Blatt* über, ähnlich wie das auf die Pleura parietalis von den Lungen her geschieht. So zeigt sich die Harnblase, welche regelmäßig nur spärlich von der Durchströmungsflüssigkeit erreicht wird und infolgedessen kaum eine Wandfärbung, noch weniger eine Schleimhautfärbung aufweist, ganz gewöhnlich von dem Peritonealüberzuge her mit Methylenblau angefärbt. — Fand sich ein Erguß in Pleura, Perikard oder Bauchhöhle (der in Anbetracht der mäßigen Durchströmungsmenge als bereits vor dem Versuch vorhanden angesehen werden mußte), so war dieser nach wechselnder Füllung mit methylenblau- bzw. eosin-gefärbter Gummiarabicumlösung vom Eosin gefärbt worden, das Methylenblau war aber nicht in ihn übergegangen (K 38). — Bei den Durchströmungsversuchen mit Gummiarabicumlösung unter Aortendruck entsteht, auch wenn mehrere 100 ccm durch das Gefäßsystem geflossen sind und bereits eine erhebliche Überfüllung des Gefäßsystems und Schwellung der Organe stattgefunden hat, doch kein Erguß in der Bauchhöhle (K 2, 3). Wird die Durchströmung aber unter höherem als Aortendruck ausgeführt und wird gar Ringerlösung zu diesem Zweck benutzt, so tritt neben einer starken Durchtränkung aller Organe ein erheblicher Erguß in der Bauchhöhle ein, selbst wenn hierbei ein ständiges Abfließen aus den Nabelarterien und an der Nase (s. oben) stattfindet (K 1, vgl. K 4). Die Färbungen am Zwerchfell erwiesen sich größtenteils als Anfärbungen des peritonealen oder pleuralen Zwerchfellüberzuges; ein Durchfärben imbibitionsfähiger Stoffe vom Bauchfell nach der Brusthöhle zu oder umgekehrt wurde nie beobachtet.

**Mastdarm und After:** Gesamtgewicht 12 g, Gefäßvolumen 3 ccm, A. haemorrhoidalis superior (Endast der A. mesent. inf.) (E) 2,5 mm. A. haemorrhoidalis media (direkt aus A. hypogastrica) (E) 1,7 mm, A. haemorrhoidalis inf. (aus A. pudenda int., Ast der A. hypogastrica). A. sacralis media (Endast der Aorta) (E) 2,8 mm.

Der *Mastdarm* erweist sich im Versuch stets als der *am mangelhaftesten durchströmte Abschnitt* des gesamten Magen-Darmschlauchs; nur die Speiseröhre zeigt, wenn man den gesamten Verdauungskanal betrachtet, ähnliche Verhältnisse. Ganz im Gegensatz dazu ist das *Aftergebiet* regelmäßig *reichlich versorgt*; durch rasche Ansammlung der Farbflüssigkeit in den Hämorrhoidalvenen tritt die Färbung besonders kräftig in die Erscheinung. Auch wenn nach kurzzeitiger Durchströmung die benachbarte Haut erst sehr spärlich versorgt ist, hebt sich gewöhnlich der Analring schon durch intensive Färbung ab; auch ohne Erwärmung des Neugeborenen, also bei Zimmertemperatur, wird eine reichliche Füllung der Analgegend beobachtet.

**Nieren, Nebennieren:** Gesamtgewicht: L. 30 g, R. 24 g, Gesamtvolumen L. + R. 16 ccm, Aa. renales (E) 5,6–6,8 mm, (N) 1,5 mm, Aa. suprarenales mediae (E) 1 mm, dazu Rr. suprarenales superiores (aus der A. phrenica inf.) und Aa. suprarenales inferiores (aus den Aa. renales).

Bei den Nieren bleibt wie bei anderen parenchymatösen Organen (Milz, allenfalls auch Lungen) der im Parenchym liegende Gefäßbaum unter Umständen völlig frei, falls nämlich eine Durchströmung *bei Zimmertemperatur* mit einer mäßigen Flüssigkeitsmenge stattfindet; in solchen Fällen wird das zuführende Gefäß bis hart an den Eintritt in das parenchymatöse Organ gefüllt (K 3; Gegenbeispiel K 17). — Wird durch eine um den gesamten Bauch gelegte Gummibinde ein mäßiger *Druck auf die Bauchorgane* ausgeübt, so bleiben Nieren und Nebennieren frei von jeder Durchströmung, während eine solche gleichzeitig an der Leber wie an der Milz, wenn auch nicht in der gewohnten regelmäßigen Verteilung, beobachtet wird (K 18, 22). Bei jeder Durchströmung der Nieren bleiben die *Papillen* zunächst frei; sie nehmen erst nach etwas längerer Durchströmung an der Färbung teil und bleiben in dieser Hinsicht hinter der Rinde stets zurück (K 20, 17). Das die Nieren und Nebennieren umgebende Fett zeigt im Veruch selten eine nennenswerte Färbung; die in der Tunica adiposa liegenden Anastomosen treten also hierbei gewöhnlich nicht in Erscheinung (K 21). Bei Aufeinanderfolge verschiedenfarbiger Durchströmungsflüssigkeiten im Kreislauf erweisen sich die Nieren regelmäßig als frühzeitig von der ersten Portion erreicht und sind von dieser bereits wieder verlassen und *von der 2. Portion durchströmt, während die 1. Portion sich noch in anderen Organen* z. B. der Milz oder dem Thymus *aufhält* (K 25); ebenso verhalten sich die Nebennieren. Häufig kann man an Nieren wie Nebennieren beobachten, daß auf dem Schnitt zunächst noch die Farbe der 1. Portion sichtbar wird, während nach kurzer Zeit die der 2. Portion mehr und mehr hervortritt und schließlich überwiegt (K 35, 38). An den *Nebennieren* findet sich beim Durchströmungsversuch als typischer Befund *eine reichliche Färbung* der Mitte und fehlende oder nur geringe Färbung der Rindenschicht (K 20, 19). In letzterer Hinsicht besteht also ein Gegensatz zu den Befunden am lebenden Tier, bei welchem Methylenblau regelmäßig in der Rinde, nur Tusche einmal vorwiegend im Zentrum gefunden wurde.

**Geschlechtsorgane und abführende Harnwege:** Gesamtgewicht: Harnblase (mit Prostata) 19 g, Uterus 5 g, Ovarien bzw. Hoden mit Nebenhoden 2–20 g, Gefäßvolumen: Harnblase mit Prostata 3 ccm, Ovarien bzw. Testikel 2 ccm. — Aa. spermaticae int. (E) je 2,3 mm, ihr Endast A. testicularis bzw. ovarica anastomosiert mit der A. deferentialis (E) 0,6 mm bzw. dem R. ovarii der A. uterina (E) 2,8 mm (in der Schwangerschaft 7 mm). — A. hypogastrica (E) 7 mm bzw. ihre Äste, außer den genannten die A. vesicalis sup. (E) 2,3 mm und inf. (E) 1,7 mm, sowie die A. pudenda interna (E) 3,4 mm, letztere zu den äußeren Geschlechtsteilen. Schließlich die A. spermatica externa bzw. A. lig. teretis uteri aus der A. epigastrica inf. (A. iliaca externa).

**Hoden und Eierstöcke** erwiesen sich im Durchströmungsversuch *stets* als *sehr mangelhaft gefärbt*, wenn auch die Farbflüssigkeit in die zuführenden Gefäße

und zur Epididymis gelangt war; dies gilt nicht nur bei Durchströmungen unter Zimmertemperatur, sondern auch bei einer Körperwärme zwischen 30° und 37° (K 3, 21, 20, 38). *War das Innere des Hodens vom Farbstoff erreicht, so war regelmäßig auch der Hodensack gefärbt* (K 25), doch galt dies nicht umgekehrt (K 19). Hinsichtlich des natürlichen Gefäßzustandes ist bemerkenswert, daß vereinzelt eine natürliche Stauung an den Venen des *Plexus pampiniformis* der einen — rechten — Seite beobachtet wurde (K 20); in diesem Falle blieben die Hodengefäße beiderseits frei von Durchströmung. Die *äußeren Geschlechtsteile* zeigten im allgemeinen eine erheblichere Durchströmung als die inneren, die einzelnen Anteile aber in sehr verschiedenem Maße. Vom Penis wurde besonders die Umgebung der Harnröhre gefärbt, weniger das Gebiet der Corpora cavernosa (K 21). Die *Glans penis* wies *zuweilen* aber nicht regelmäßig eine *bevorzugte Färbung* auf. An dem weiblichen Geschlechtsteil wurde zunächst die *Klitoris* gefüllt, während die großen Labien und die Scheide zurückblieben (K 17). — Findet sich beim Neugeborenen eine *Hydrocele testis*, so färbt sich bei einer Durchströmung *mit eosinhaltiger Gummiarabicumlösung* deren Inhalt rötlich (K 26; vgl. denselben Vorgang beim Ascites oder perikardialen Erguß s. oben). Führt eine sehr reichliche Durchströmung mit Gummiarabicumlösung zu *Gefäßüberfüllung* und Gewebsdurchtränkung, so können *Hautblasen* am Hodensack wie auch an der Bauchwand auftreten; in einem solchen Falle traten der Durchströmungsflüssigkeit zugesetztes Methylenblau und Anilingelb nicht in den Inhalt der frisch gebildeten Blasen über (K 3). Der *Hodensack* wird in der Regel *gleichzeitig* mit den benachbarten Abschnitten der *Unterbauchgegend* von der Durchströmungsflüssigkeit erreicht und in gleichem Maße von ihr versorgt; der *am frühesten erreichte Punkt* in dieser Körpergegend betrifft aber die Falte links und rechts am *Übergang* von der Hodensackhaut zum Oberschenkel (K 30); hier tritt sehr regelmäßig ein einheitlicher oder zweigeteilter kräftiger Farbfleck auf, der auch nachhaltig bestehen bleibt, wenn die Farblösung einige Zeit nach beendigter Durchströmung wie gewöhnlich wieder aus den obersten Hautschichten zurücktritt, so daß also *hier kein Ablassen* erfolgt (K 28).

Von der **Harnblase** ist oben schon erwähnt, daß die Füllung ihrer Gefäße im Durchströmungsversuch meist nur eine spärliche ist; *allenfalls* stellt sich eine Füllung der Gefäße *an der Vorderwand nahe der Mittellinie* ein (K 21); die Schleimhautseite ist stets frei von Farbstoff (K 20). Die Anfärbung des die Harnblase überziehenden Peritonealabschnittes von der Bauchhöhle her wurde ebenfalls oben erwähnt.

**Rumpfwand und Becken:** Gesamtgewicht 185 g, Gefäßvolumen 32 ccm, Aa. lumbales (E) 2,3—2,8 mm, parietale Äste der A. hypogastrica, hauptsächlich R. posterior (E) 5 mm, A. ilio-lumbalis (E) 2,3 mm, Aa. sacrales lat. sup. et inf. (E) 2,3 mm, A. glutea sup. (E) 5 mm; ferner vom R. anterior die A. obturatoria (E) 2,8 mm und A. glutea inf. 4 mm. — Von der A. iliaca ext. die A. epigastrica inf. (E) 2,8 mm und die A. circumflexa ilium (E) 2,3 mm, schließlich aus der A. femoralis die A. epigastrica superficialis (E) 1,7 mm, A. circumflexa ilium ext. (E) 1 mm und Rr. inguinales (E) 0,6—1 mm.

An Rumpfwand und Becken besteht wie an Schädel und Brustkorb das Verhältnis, daß nächst den größeren Gefäßen die *Haut* am stärksten durchströmt wird, die Muskulatur bleibt hierin erheblich zurück, am wenigsten erhält der Knochen. Immerhin werden die Lendenwirbel ebenso wie die Brustwirbel häufiger in der Spongiosa gefärbt gefunden, als dies bei den langen Röhrenknochen der Fall ist. Die meist nur *geringfügige Durchströmung der vorderen Bauchwand* wurde oben bereits erwähnt, ebenso die *bevorzugte Durchströmung* gewisser Bezirke wie der *Regio epigastrica*; daß in letzterem Falle ein von mehreren Seiten versorgtes Durchmischungsgebiet vorliegt, läßt sich durch getrennte Injektionen von Stärkelösung

und Jod-Jodkalilösung feststellen (K 4). Bei übergroßen Gefäßfüllungen wird an der Bauchhaut *Blasenbildung* beobachtet (K 3).

**Gliedmaßen:** Gesamtgewicht: Arme je 130 g, Beine je 225 g; Gefäßvolumen: Arme zusammen 16 ccm, Beine zusammen 20 ccm. — Aus der A. axillaris: A. circumflexa humeri ant. (E) 1,5 mm, posterior (E) 3,4 mm. A. brachialis Anfang (E) 7 mm, Ende 5,6 mm, A. profunda brachii (E) 3,4 mm, A. collateralis uln. sup. (E) 1,7 mm, A. radialis (E) 4 mm, A. ulnaris (E) 5 mm, Arcus volaris sublimis ulnar (E) 2,8 mm, radial (E) 1 mm, Arcus volaris profundus (E) ulnar 1,1 mm, radial (E) 2,3 mm. — A. femoralis (E) 9 mm, (N) 1,6 mm, hiervon A. profunda femoris (E) 7 mm und A. articularis genus suprema (E) 3,3 mm; schließlich A. poplitea oben (E) 7 mm, unten 6,2 mm, hiervon A. tibialis antica (E) 3,4 mm und A. tibialis post. oben (E) 5 mm, unten 3,4 mm.

In den Extremitäten des Neugeborenen verteilt sich eine *geringe Einlaufmenge*, unter dem physiologischen Druck an der Hauptarterie eingelassen, auf die gesamte Extremität bis zu den *digitalen Endgliedern* (z. B. 0,5 ccm beim Arm, 1,0 ccm am Bein, K 27). An der amputierten Extremität des Erwachsenen kann bereits nach mäßiger Durchströmung von seiten der Antica ein Abfließen durch Kollateralen nach der Postica hin beobachtet werden und umgekehrt (B 4); bei gleichzeitiger Durchströmung von beiden Gefäßen aus kommt es zu der oben geschilderten Verteilung der Farbflüssigkeiten bzw. zur *Mischung am Fuß*. Die im allgemeinen bevorzugte Versorgung von Oberschenkel und Fuß (bzw. Oberarm und Hand) im Verhältnis zum Unterschenkel (Unterarm) wurde erwähnt. An der allgemein bevorzugten Versorgung der oberen Rumpfhälfte und des Kopfes im Verhältnis zur unteren Rumpfhälfte nehmen die Arme teil. Unter dem Einfluß von passiven Bewegungen findet stets eine erhebliche Förderung des Arterieninhalts nach den distalen Gefäßabschnitten zu statt; so breitet sich eine bis zur Ellenbeuge herabreichende Fleckung nach einigen Bewegungen bis zum halben Unterarm aus (K 30), eine geringe Fleckung der Fußsohle wird nach einigen Bewegungen erheblich verstärkt (K 34). Ein derartiges distales Vorrücken der Farblösung kann an den Extremitäten nur innerhalb der Arterien stattfinden, da die Venen auch am Überlebenden durch die Wirkung der Klappen nur eine proximalwärts gerichtete Strömung zulassen; retrograde Füllung der Extremitätenvenen ist auch am Überlebenden nur unter besonderen Umständen möglich. — Die Muskulatur wird auch an den Extremitäten im allgemeinen weniger reichlich durchströmt als die Haut, der Knochen bleibt stets am weitesten in der Versorgung zurück. Auch wenn bei etwas längerer Durchströmung Haut und Muskelgewebe in den großen und kleinen Gefäßen reichlich gefüllt sind, zeigt das Periost nur Injektion in den großen Gefäßen; das Knochenmark und die Epiphysen zeigen auch beim erwärmten Neugeborenen unter diesen Umständen der im übrigen reichlichen Durchströmung häufig keine Färbung, die Corticalis ist stets frei (B 4; K 17, 18, 21, 22, 29, 30). An der Muskulatur macht sich auf dem Querschnitt die Injektionsfarbe zunächst nur in den Gefäßquerschnitten geltend, erst nach einiger Zeit tritt sie homogen auf dem gesamten Querschnitt hervor, und zwar nicht nur an der proximalen Schnittfläche (etwaiges Nachfließen vom Rumpf her), sondern auch an der distalen. Der Sartorius färbte vereinzelt reichlicher nach als die übrige Oberschenkelmuskulatur (K 21). Einer bevorzugten Ausbreitung auf einzelne Muskelgebiete entsprach im allgemeinen auch eine bevorzugte Färbung der darüberliegenden Hautregion (z. B. an der Adductorengegend, an der Fibularseite der Wade (K 29).

**Haut:** Die als sichtbare Färbung an der Haut auftretende capillare Durchströmung zeigt sich gewöhnlich in Gestalt einer *tigerungsartigen Fleckung*, so besonders an der Vorderseite des Thorax, an den Armen und am Gesicht (K 3); in vielen Fällen haben die Flecken etwa kleeblattförmige Gestalt (K 17). Diejenigen Körperstellen, welche regelmäßig zuerst durchströmt werden, sind oben bereits im einzelnen

aufgeführt; die weitere Verteilungsweise an den einzelnen Körperregionen ist bei Betrachtung der einzelnen Körperabschnitte ebenfalls näher besprochen. Dort, wo sich die *Haut äußerlich gefärbt* zeigt, finden sich regelmäßig auf dem Schnitt auch die Gefäße der *Subcutis* mit dem entsprechenden Farbstoff gefüllt (K 21). In *Mischungsgebieten* wie der Fußsohle läßt sich bei Injektion verschiedenfarbiger Flüssigkeiten von den beiden Hauptgefäßen aus die *Farbmischung* auch in den Gefäßen des *Unterhautbindegewebes* stets gut beobachten (K 4, B 4). — Wird eine Durchströmung unterbrochen, so erfolgt an der frisch amputierten Extremität regelmäßig das mehrfach erwähnte *Ablassen an der Haut*; bei erneuter Durchströmung kehrt die Farbe zurück, um dann wiederum abzulassen; dies Spiel läßt sich einige Male wiederholen (B 2, 3). Auch am Neugeborenen erfolgt ein solches Ablassen der Haut, wenn auch etwas verzögert (K 28); durch Erwärmen kann die Färbung wieder zum Vorschein gebracht werden. Eine besonders *günstige Örtlichkeit für die Beobachtung des capillär bedingten Farbwechsels* stellt der „*Wangenfleck*“ dar, welcher bald als rundliche Fläche, bald als ringförmige Zone erscheint und je nach dem Zustande des Neugeborenen und den Versuchsbedingungen durch besondere Blässe oder grellrote Farbe von der Umgebung absticht und diese Färbung unter dem Versuch mit der gegenteiligen vertauscht oder in anderen Fällen infolge der Durchströmung mit verschiedenfarbigen Flüssigkeiten die Farbe wechselt bzw. im Zentrum gegenteilig gefärbt ist wie in der Peripherie (K 34, 38, 40). — Übt man *auf die Haut* (z. B. an einer von einer Farblösung durchströmten amputierten Extremität), nachdem die Strömung zur Ruhe gekommen ist, an einer Stelle einen mäßigen *Druck* aus, so daß an der entstehenden Delle eine Ablassung eintritt, so *kehrt die Capillarfüllung* in der gleichen Weise, wie man es beim Lebenden beobachtet, *irisblendenförmig zurück*, zwar nicht so rasch wie beim Lebenden, aber doch rascher als sich die durch den Druck gebildete Delle wieder ausgleicht (B 2, 3). Wird ein *starker Druck* auf die Haut ausgeübt, z. B. durch die Umschnürung einer Extremität mit einem Gummischlauch, so treten auch an der überlebenden Extremität *Sugillationen* in der gequetschten Haut zutage. Werden die Lagen des schnürenden Schlauches nicht dicht nebeneinander herumgeführt, so kann man die *Bildung von Ödem und Blasen* an den *abgeschnürten Hautpartien* beobachten (K 37); Methylenblau dringt nicht von den Gefäßen her *in solche Hautblasen* ein (K 41), wohl aber *Eosin* (K 38). Daß bei Überfüllung des Gefäßsystems, besonders mit Ringerlösung, schließlich ein allgemeines Ödem auch in der Haut entsteht, wurde oben bereits erwähnt (K 1, 2). Wird bei völlig unverletztem Organismus und Durchströmung von der Nabelvene aus der Abfluß an den Nabelarterien verhindert, so treten *bei bereits reichlicher Füllung des Gefäßsystems* die *letzten Portionen zur Haut* und nicht mehr in die bei mäßiger Überfüllung als Reservoir dienenden Bauchorgane (K 3); unter solchen Umständen wird auch die Bildung von Hautblasen besonders an Bauch und Scrotum beobachtet, deren Inhalt keinen Übertritt von Methylenblau vom Gefäßsystem nachweisen läßt (K 3).

### Zusammenfassung.

11. Bei der Durchströmung des überlebenden Neugeborenen oder einer abgesetzten Extremität des Erwachsenen mit gefärbten kolloidalen Lösungen kann man die *relative Durchströmungsgröße der einzelnen Organe* nach dem Grade der Färbung (Capillarfüllung) und nach dem Zeitpunkt, zu welchem jedes Organ im Verhältnis zu gleichweit vom Aortenanfang entfernten Organen von der oder den Testproben erreicht bzw. verlassen wird, *vergleichend für den überlebenden menschlichen Organismus abschätzen*.

12. Die relative Durchströmungsgröße hängt ab: a) Von dem *Bau der Strombahn*, b) von dem *Verhältnis des örtlichen Gesamtwiderstandes* zum allgemeinen Gesamtwiderstand; die Widerstände sind außer durch den Bau der Strombahn im wesentlichen durch den Gefäßtonus bedingt.

13. Ein *Gefäßtonus* ist auch beim überlebenden Neugeborenen bzw. der frisch amputierten Extremität *vorhanden*; er wirkt sich besonders aus, wenn das Gewebe auf Körpertemperatur erwärmt ist. Übereinstimmung der Durchströmungsverhältnisse am überlebenden menschlichen Organismus mit denen am lebenden Versuchstier läßt darauf schließen, daß die beobachtete Verteilungsweise durch den Bau der Strombahn oder durch nervenunabhängigen Gefäßtonus bedingt ist; Abweichungen sind auf irgendwelche Besonderheiten des Lebendigen zurückzuführen (Beschaffenheit des lebendigen Blutes, der lebenden Gewebe, Austausch zwischen Blut und Geweben, Funktion des Nervensystems).

14. Verlangsamte bzw. unterbrochene Durchströmung, Durchströmung mit einer oder mehreren abgemessenen Testproben gestatten es, die am Lebenden infolge der Geschwindigkeit des Ablaufs und der Schwierigkeit, einzelne Portionen zu unterscheiden, unklaren *Verteilungsverhältnisse* schrittweise in *Einzelphasen* aufzulösen.

15. Die *Verteilung* einer unter Aortendruck in den Aortenanfang eingelassenen *kolloidalen Farblösung* erfolgt an der *Haut* in kleeblattförmigen Gruppen kleiner Farbflecken, die sich über den ganzen Körper verbreiten, an Dichte zunehmen und schließlich zusammenfließen. Die *Reihenfolge* des ersten Auftretens beginnt am Kopf und setzt sich über Hals, Brustkorb und Arme zu Bauch und Beinen fort; Punkte, an denen 2 oder mehr Arterien zusammenfließen (besonders in der Medianlinie des Körpers) gehen voran — Stirnmitte, Nasenwurzel, die Augenwinkel, untere Brustbein- und obere Kreuzbeingegend; vordere Bauchregion, Ohrläppchen und Wangenmitte bleiben am längsten zurück. Bei mäßiger Überfüllung des Arteriensystems wird eine *reichlichere Versorgung knochenüberspannender Hautabschnitte* (zu denen aus verschiedenen Richtungen eine Anzahl von Gefäßästen treten) in symmetrischer Verteilung beobachtet — Gegend des Schädeldachs, des Akromions, der Kniescheiben, der Knöchel, des Ellbogens, der Handwurzel, des Hackens, ferner die Finger und Zehen.

16. *Füllung eines entleerten Abschnitts* des Arteriensystems bei physiologischer Druckhöhe der strömenden Flüssigkeit in der Aorta erfolgt mit großer Geschwindigkeit und unter einer Stoßwirkung auf die Capillaren (so z. B. wenn eine abgeschnürt gewesene Extremität gegenüber dem unter normalem Druck durchströmten Rumpf freigegeben wird). Die Stoßwirkung hat eine vermehrte Füllung der Capillaren zur Folge, verglichen mit einer unter demselben Druck, aber mit geringerer Geschwindigkeit durchströmten Extremität. Dieser Vorgang ist als



Teilerscheinung auch bei der „reaktiven Hyperämie“ am Lebenden vorhanden; *diese weist aber darüber hinaus Erscheinungen auf, welche sich nicht rein hydrodynamisch erklären lassen.*

17. Der Aortenstrom wird durch die größeren Arterien in eine Anzahl von Hauptströmen zerlegt, welche nach Aufteilung in die einzelnen von ihnen versorgten Capillargebiete in die entsprechenden Hauptvenen zurückkehren, derart, daß die Hauptstromadern ohne erhebliche gegenseitige Durchmischung bis in die Venae cavae erhalten bleiben. Orte, an denen verhältnismäßig große Arterien nach Zurücklegung längerer, getrennter Wegstrecken einander wieder begegnen und sich zu einer einheitlichen Strömung vereinigen, bilden im Gegensatz hierzu bis zu einem gewissen Grade *Mischgebiete*. Solche „Mischgebiete“ finden sich besonders im Bereiche der Gefäßbögen *an Hand und Fuß* und *im Bereiche des Circulus Willisii im Schädelinnern*. Bei gleichmäßiger Durchströmung von den zuführenden Arterien her, wie sie den normalen Verhältnissen des Lebenden entspricht, besteht ein Gleichgewichtszustand entsprechend dem Durchmesser der zuführenden Gefäße und das Gebiet tatsächlicher Durchmischung muß sich auf schmale Grenzzonen beschränken, deren Lage sich durch den Versuch bestimmen läßt; bei einseitig bevorzugter oder ausschließlich einseitiger Durchströmung, wie sie unter physiologischen Bedingungen (einseitige Erwärmung) und pathologischen Umständen (einseitige Thrombose, einseitiger Verschuß durch Geschwulst, einseitige Unterbindung) vorkommen, muß sich die Versorgungsweise dieser Gebiete und die Lage und Ausdehnung der Mischgebiete ändern; die hierdurch entstehenden hydrodynamischen Verhältnisse lassen sich im Durchströmungsversuch beobachten.

18. Bei unverändertem Druck fließen unmittelbar aufeinanderfolgende Portionen in das Arteriensystem mit unveränderter oder mit langsam abnehmender Geschwindigkeit ein; nach jeder Unterbrechung erfolgt der Eintritt der unmittelbar folgenden Portion rascher als in der unmittelbar vorhergegangenen; auf die Verteilungsweise haben derartige Unterbrechungen keinen erkennbaren Einfluß. Bleibt der Einstromungsdruck und die Viscosität der Durchströmungsflüssigkeit innerhalb der physiologischen Grenzen und erfährt letztere nicht örtliche Änderungen (z. B. durch örtliche Erwärmung der Gewebe), so ist die *Verteilungsweise* von dem *Einstromungsdruck* und der *Viscosität weitgehend unabhängig*. — Bei *Überfüllung* des Gefäßsystems findet eine stärkere Ansammlung der Durchströmungsflüssigkeit in der Leber und den übrigen Bauchorganen (vorwiegend Dünndarmwand), ferner in der Zungen- und Mundbodengegend, an den Lidern und der übrigen Körperhaut statt. — Eine *Verletzung* der Gefäßbahn hat am Überlebenden einen vermehrten Zustrom zum Orte der Verletzung und auch in die benachbarten Gefäßgebiete zur Folge; in der Regel verstärkt sich der Abstrom bei gleichmäßiger Fortsetzung der Durchströmung; eine Verminderung des

Abstroms durch eine Kontraktion der verletzten Gefäße, wie sie am Lebenden eintritt, wird am Überlebenden nicht beobachtet.

19. Befindet sich das Neugeborene auf Zimmertemperatur statt auf Körpertemperatur, so erfolgt die Einstromung langsamer und die Durchströmung der verschiedenen Organe ist unregelmäßiger, besonders die Milz, öfter auch die Nieren lassen die Durchströmungsflüssigkeit nicht eintreten; bei noch stärkerer Abkühlung leidet die Durchströmbarkeit der Haut und schließlich ist die Durchströmung aller kleinen Gefäße sehr erschwert. — *Infolge von Blutsenkung lividverfärbte Körperabschnitte erfahren im Durchströmungsversuch einen vermehrten Zustrom der Testflüssigkeit.* — Um das typische Bild der Verteilung einer Durchströmungsflüssigkeit zu gewinnen ist es nötig, eine größere Anzahl von mit körperwarmer Flüssigkeit durchströmten Individuen zu vergleichen und die infolge von Blutsenkung oder durch andere zufällige Umstände bewirkten Abweichungen in der Verteilung hierbei in Rechnung zu ziehen.

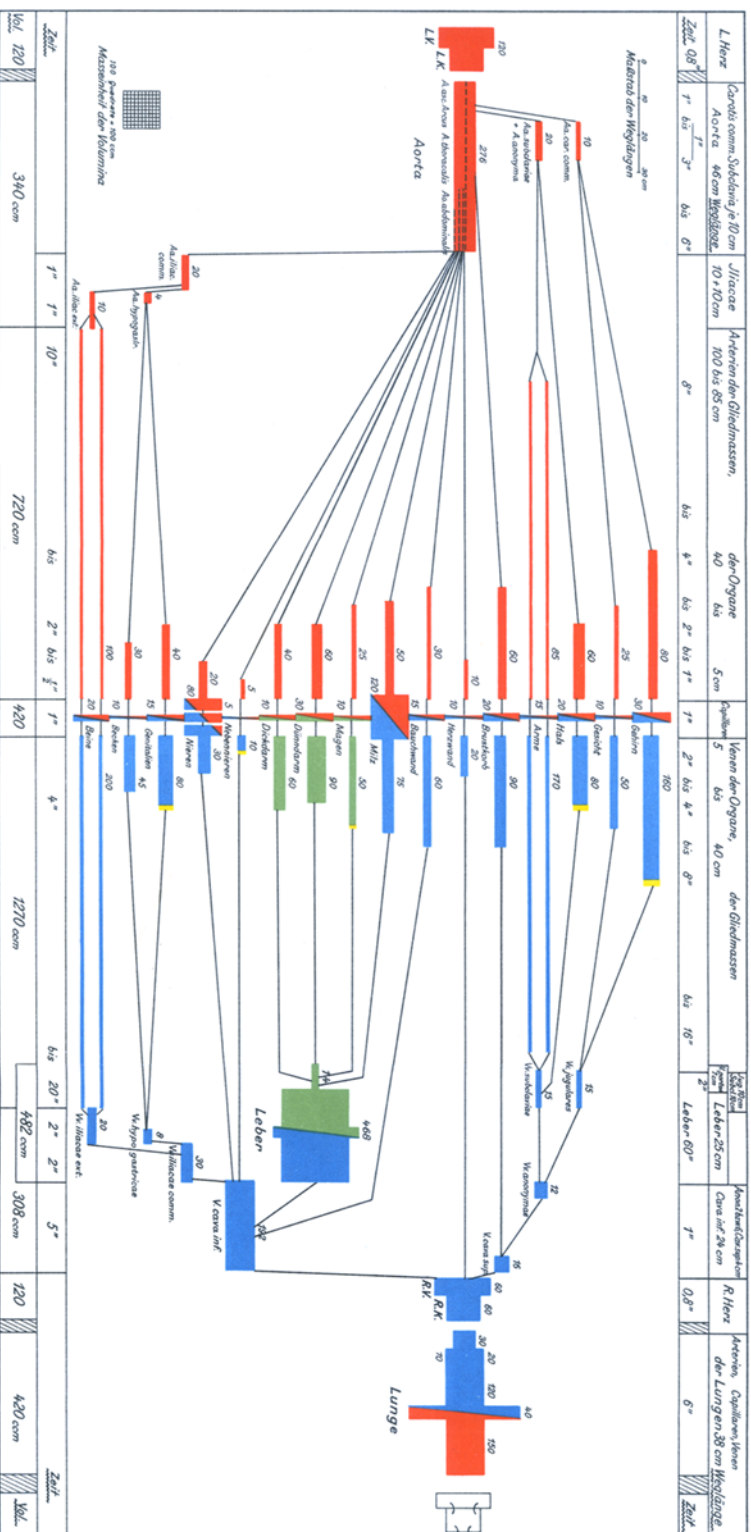
20. Der *Grundtypus der relativen Durchströmung der Organe* läßt hinsichtlich der Versorgungsgröße 5 *Hauptstufen* unterscheiden; dieser Grundtypus der Verteilung einer Durchströmungsflüssigkeit am überlebenden Neugeborenen *entspricht im wesentlichen der Verteilungsweise*, wie sie sich bei der ersten Versuchsreihe mit der Methode der Einspritzung kleiner Testmengen *am lebenden Tier* ergeben hatte; nur die Nebennieren zeigen bei den Neugeborenenversuchen eine viel geringere Versorgung als im Tierversuch.

21. *Abweichungen* gegenüber dem Grundtypus der relativen Durchströmung müssen im wesentlichen auf eine Änderung der örtlichen Widerstände zurückgeführt werden, welche ihrerseits auf der Zahl der für die Durchströmung geöffneten kleinen Gefäße und auf deren Durchmesser, d. h. *letzten Endes auf dem Gefäßtonus beruhen*. Momente, welche auch am Überlebenden den Gefäßtonus in einer die Verteilung der Durchströmungsflüssigkeit wesentlich beeinflussenden Weise ändern, sind die thermischen und eine Anzahl von chemischen bzw. hormonalen Reizen.

22. Um ein einigermaßen vollkommenes Bild der Verteilungsweise einer Durchströmungsflüssigkeit zu gewinnen, ist nicht nur die Betrachtung der Versorgung jedes Organs im Verhältnis zu den übrigen Organen, sondern auch der *Vergleich der Versorgung bestimmter Teile eines Organs im Verhältnis zu anderen Teilen* desselben Organs erforderlich. Von dem so festgestellten im wesentlichen hydrodynamisch bedingten Grundtypus der relativen Versorgung aus ist die durch örtliche Reize bedingte Hyperämie und Anämie zu beurteilen, auf ihn ist der *hormonal* beeinflusste Grundtypus der relativen Versorgung und schließlich der außerdem unter Einwirkung des *Gefäßnervensystems* stehende des Lebenden aufzubauen.

# Gefäßvolumina und Wegstrecken im menschlichen Kreislauf.

Wiedergabe  $\frac{1}{10}$  der Originalgröße.





Durchschnittliche Blutversorgung der Organe beim Tier  
(nach vergleichenden Beobachtungen).

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| Herzwand,<br>verläng. Mark, Hypo-<br>physe, Nebennieren | Nieren, Milz,<br>Dünndarm     |
| Groß- u. Kleinhirn,<br>Rückenmark                       | ruhende<br>Muskulatur         |
| Nieren, Milz,<br>Dünndarm                               | Genitaldrüsen,<br>Knochenmark |

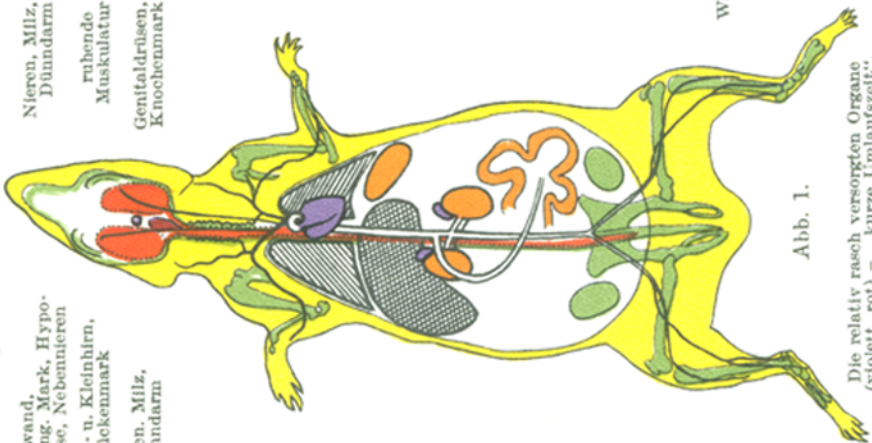


Abb. 1.

Die relativ rasch versorgten Organe  
(violett, rot) – „kurze Umlaufzeit“.  
Die relativ langsam versorgten Organe  
(gelb, grün) – „lange Umlaufzeit“.

Veränderte Blutverteilung beim Tier durch  
thermische, chemische und hormonale Einflüsse.

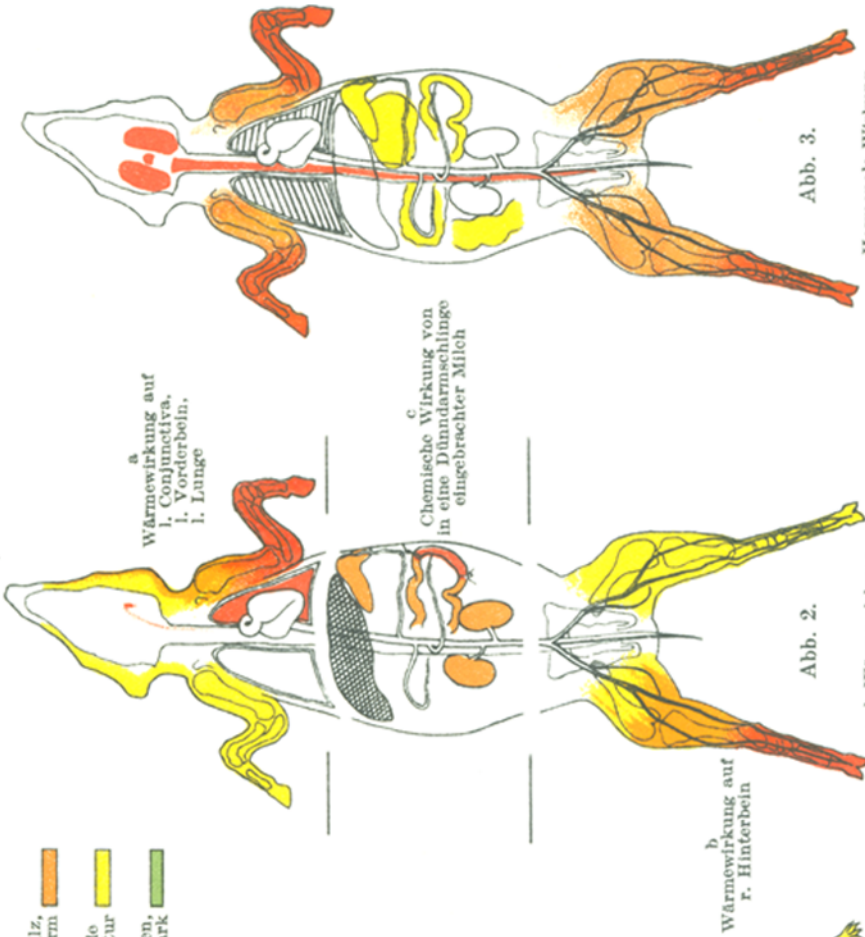


Abb. 2.

Hormonale Wirkung  
von 10 cem Suprarenin 1:10 000,  
in das l. Herz eingebracht

Abb. 3.

Relative Durchströmung der Organe  
(nach direkten Messungen beim Tier)  
pro Minute in % des Organgewichts.

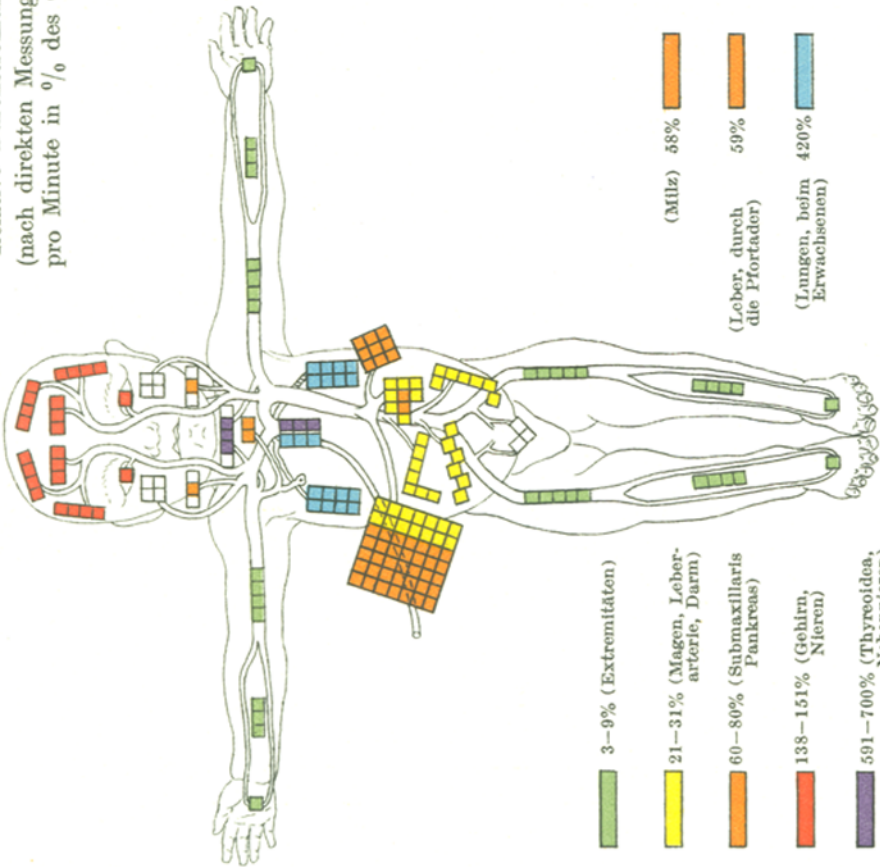


Abb. 1

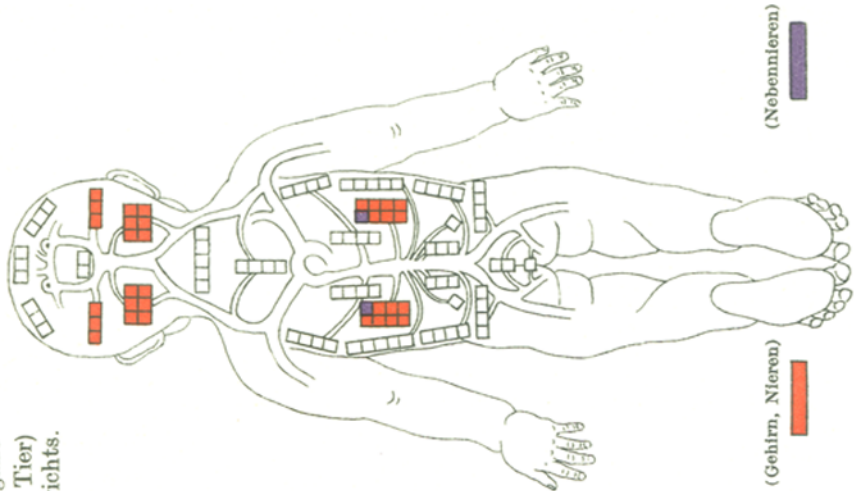


Abb. 2



Grundtypus der relativen Durchströmung nach Versuchen am Neugeborenen.

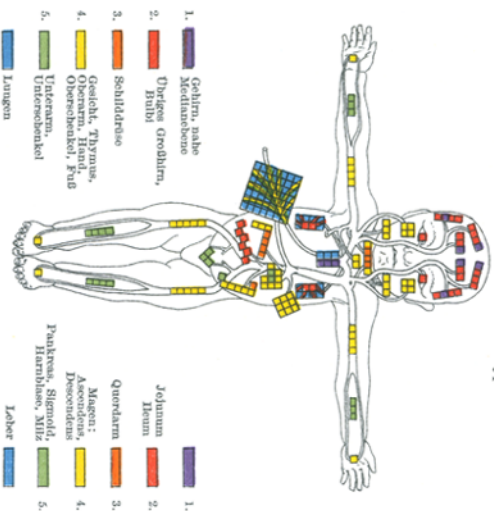


Abb. 1a.

Mischgebiete.

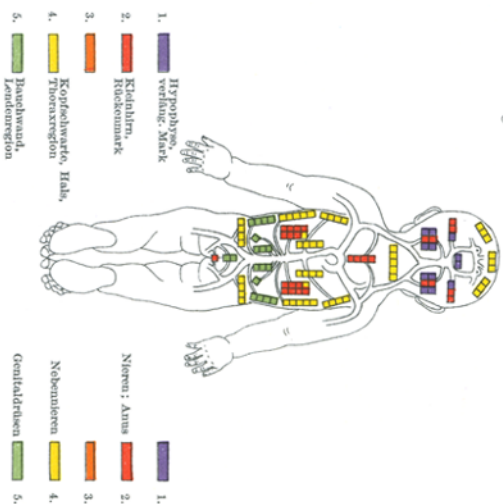


Abb. 1b.



Abb. 3b.

Abb. 3a.

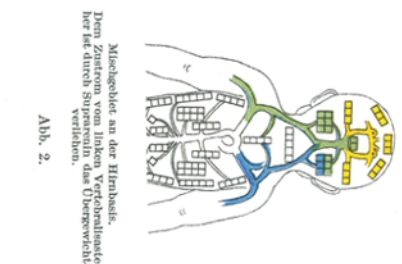


Abb. 2.



Abb. 4a.

Abb. 4b.

Hydrostatische Bedingungen  
bei Durchströmung von der Aorta aus.

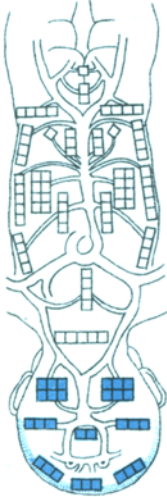
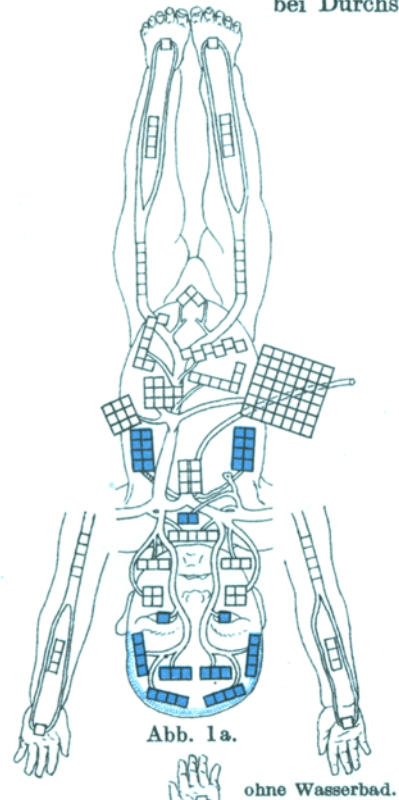


Abb. 1b.

Kopfstellung

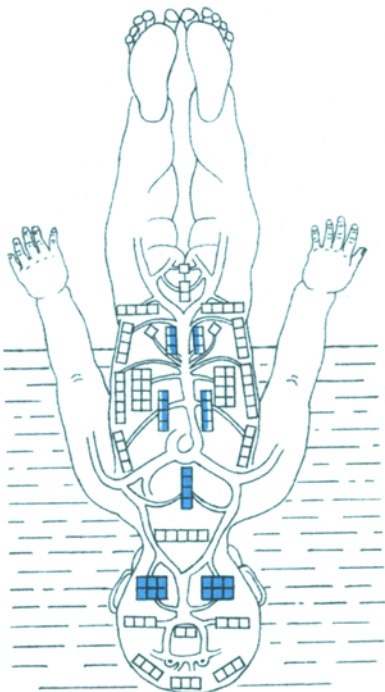
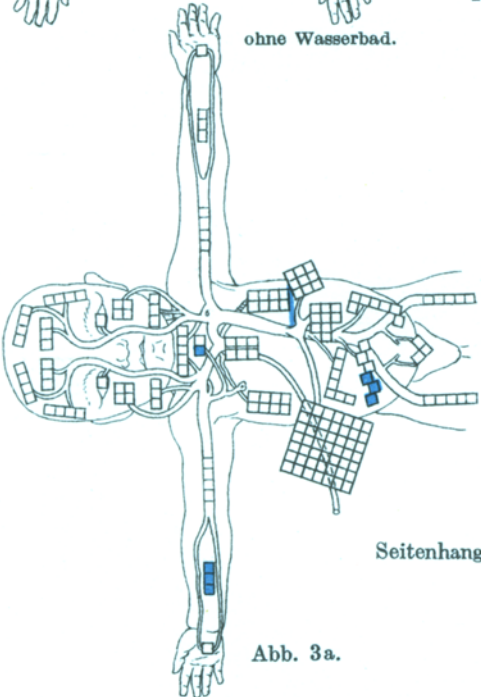


Abb. 2.  
im Wasserbad.



Seitenhang

Abb. 3a.

Der Schwerkraft entsprechende Füllung  
untenliegender Organbezirke.

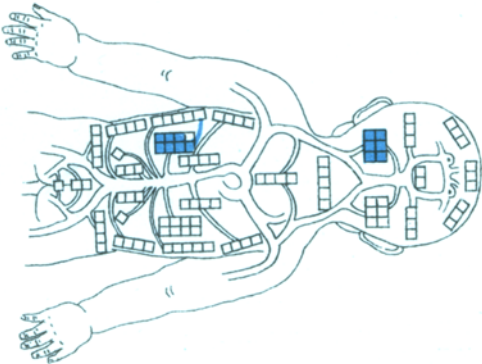
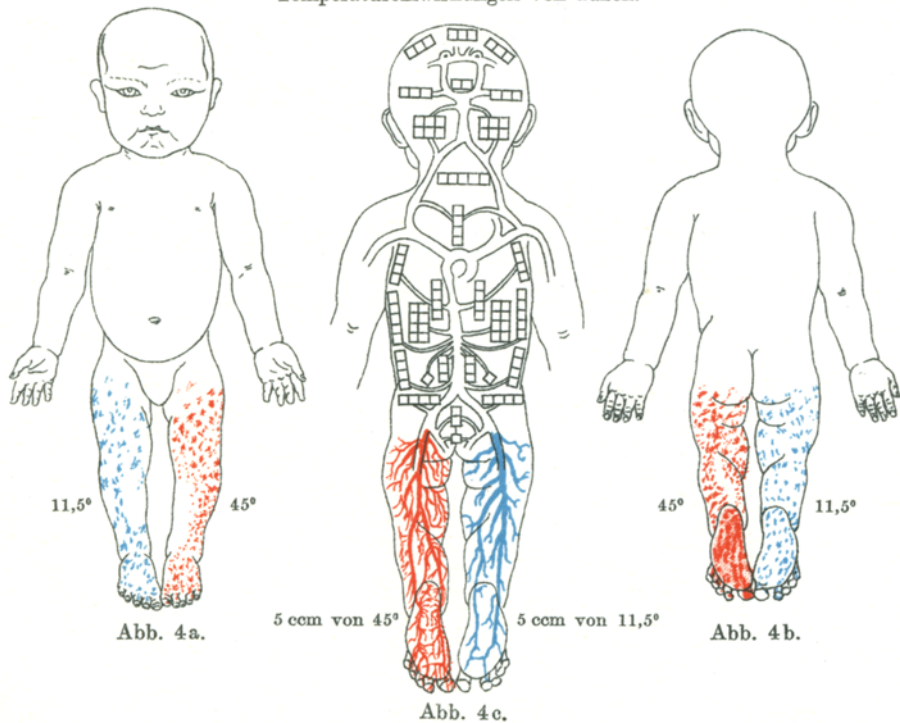
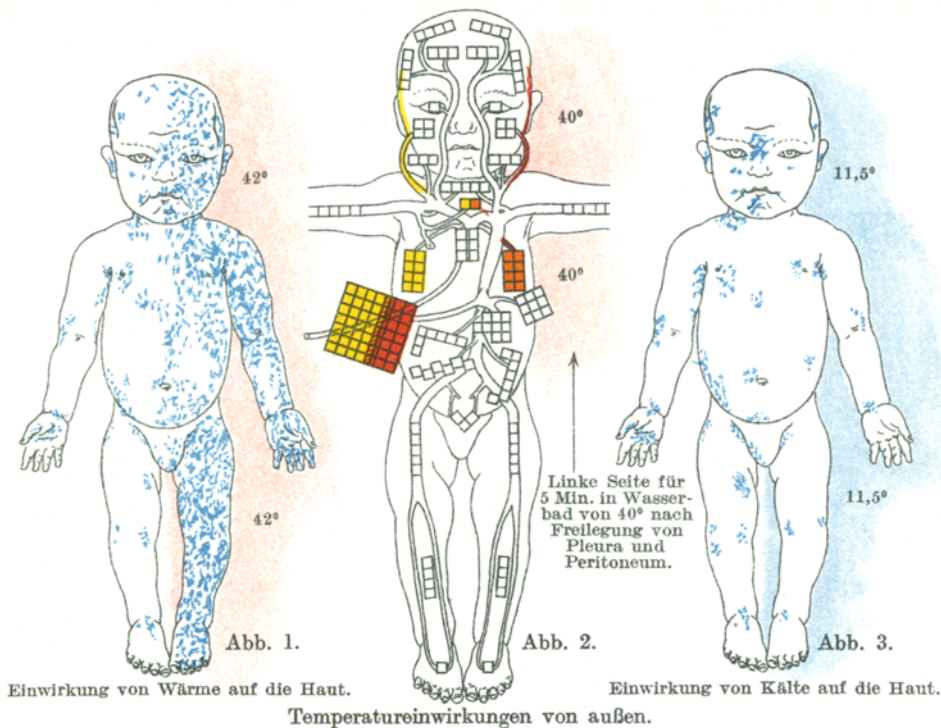


Abb. 3b.  
Paradoxe Füllung obenliegender Organbezirke.



Wirkung differenter Temperaturen.



Verteilung eines gleichgroßen Flüssigkeitsquantums von verschiedener Temperatur.  
Temperatureinwirkungen vom Gefäßinnern aus.

Wirkung von Suprarenin.

