

Aus dem Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitut des  
Reichsluftfahrtministeriums.

Sachbearbeiter: Stabsarzt Prof. Dr. O. F. Ranke.

**Versuche über die Bedeutung der Richtung beim Einwirken  
von Fliehkräften auf den menschlichen Körper.**

**Inaugural Dissertation**

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde an der  
Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

Vorgelegt von  
Oberarzt Leopold Bührlen, Lw. San. Staffel Erfurt.

Aus dem Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitut des  
Reichsluftfahrtministeriums.

Sachbearbeiter: Stabsarzt Prof. Dr. O. F. Ranke.

**Versuche über die Bedeutung der Richtung beim Einwirken  
von Fliehkräften auf den menschlichen Körper.**

**Inaugural Dissertation**

zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde an der  
Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

Vorgelegt von  
Oberarzt Leopold Bührlen, Lw. San. Staffel Erfurt.

Meinen Eltern gewidmet.

Gedruckt mit Genehmigung  
der  
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Siebeck  
Referent: Prof. Dr. Ranke  
Korreferent: Prof. Dr. Treudenburg

# LUFTFAHRTMEDIZIN

HERAUSGEGEBEN UNTER MITWIRKUNG  
VON STELLEN DER LUFTFAHRT

VON

L. BRAUER · H. REIN · H. STRUGHOLD

---

1. BAND

5. HEFT

---

L. Bührlen:

**Versuche über die Bedeutung der Richtung beim Einwirken  
von Fliehkräften auf den menschlichen Körper**

*Sonderdruck aus 1. Bd., 5. Heft*



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1937

Die Zeitschrift

„Luftfahrtmedizin“

wird nach Maßgabe des eingehenden Materials zwanglos in Heften herausgegeben, die zu einem Band von 20—25 Druckbogen zum Preise von RM 28.— vereinigt werden. Jährlich erscheint etwa 1 Band.

Die Verfasser erhalten ein Honorar von RM 6.— für die Seite.

Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskriptes und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht, und zwar bis zum 31. Dezember desjenigen Kalenderjahres, das auf das Jahr des Erscheinens folgt. Hieraus ergibt sich, daß grundsätzlich nur Arbeiten angenommen werden können, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind, und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Bei Arbeiten aus Instituten, Kliniken usw. ist eine Erklärung des Direktors oder eines Abteilungsleiters beizufügen, daß er mit der Publikation der Arbeit aus dem Institut bzw. der Abteilung einverstanden ist und den Verfasser auf die Aufnahmebedingungen aufmerksam gemacht hat.

Die Mitarbeiter erhalten von ihrer Arbeit zusammen 40 Sonderdrucke unentgeltlich. Weitere 160 Exemplare werden, falls bei Rücksendung der 1. Korrektur bestellt, gegen eine angemessene Entschädigung geliefert. Darüber hinaus gewünschte Exemplare müssen zum Bogennettopreise berechnet werden. Mit der Lieferung von Dissertationsexemplaren befaßt sich die Verlagsbuchhandlung grundsätzlich nicht; sie stellt jedoch den Doktoranden den Satz zur Verfügung zwecks Anfertigung der Dissertationsexemplare durch die Druckerei.

Alle Manuskriptsendungen sind zu richten an:

Herrn Prof. Dr. L. Brauer, Wiesbaden, Wilhelminenstr. 45,

Herrn Prof. Dr. H. Rein, Göttingen, Physiologisches Institut der Universität

oder Herrn Prof. Dr. H. Strughold, Berlin NW 40, Luftfahrtmedizinisches Forschungsinstitut, Scharnhorststr. 35.

Im Interesse der unbedingt gebotenen Sparsamkeit werden die Herren Verfasser gebeten, auf knappste Fassung ihrer Arbeiten und Beschränkung des Abbildungsmaterials auf das unbedingt erforderliche Maß bedacht zu sein. Dadurch wird es möglich, die Arbeiten in kürzester Frist zu veröffentlichen.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin W 9, Linkstr. 22/24

Fernsprecher: 21 81 11.

## Normale und pathologische Physiologie der Atmung

(Aufnahme und Abgabe gasförmiger Stoffe)

(Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, 2. Band)

Mit 122 Abbildungen. IX, 552 Seiten. 1925

RM 35.10; gebunden RM 39.96

### Inhaltsübersicht:

Allgemeines und Vergleichendes. Von A. Bethe-Frankfurt a.M. — Anatomie der Atmungsorgane. Von W. Felix-Zürich. — Physiologie der Atembewegung. Von F. Rohrer-Clavadel-Davos. — Die Physiologie der Luftwege. Von E. von Skramlik-Freiburg i.Br. — Chemismus des Lungen-gaswechsels. Von G. Liljestränd-Stockholm. — Regulation der Atmung. Von G. Bayer-Innsbruck. — Lungengeräusche. Von R. Geigel-Würzburg. — Patho-Physiologie der Luftwege. Von K. Amersbach-Freiburg i.Br. — Pathologische Physiologie der Atmung. Von L. Hofbauer-Wien. — Operative Verkleinerung der Lunge. Von A. Brunner und F. Sauerbruch-München. — Pharmakologie der Atmung. Von G. Bayer-Innsbruck. — Durchlässigkeit der Lunge für fremde Stoffe. Von W. Heubner-Göttingen. — Gasvergiftungen. Von F. Flury-Würzburg. — Staub-inhalation. Von R. Staehelin-Basel. — Atmungsrichtungen bei Pflanzen. Von O. Renner-Jena. — Sachverzeichnis.

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Aus dem Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitut des Reichsluftfahrtministerium Berlin.

## Versuche über die Bedeutung der Richtung beim Einwirken von Fliehkräften auf den menschlichen Körper\*.

Von

**L. Bührlen,**

Oberarzt der Luftwaffe.

Mit 10 Textabbildungen.

(Eingegangen am 11. März 1937.)

Die bisher bekannten Fortbewegungsmittel auf dem Boden und im Wasser erzeugen, mit ganz vereinzelt Ausnahmen, praktisch und gesundheitlich unbedeutende Beschleunigungs- und Fliehkräfte\*\*. Im Gegensatz hierzu lassen sich mit jedem einigermaßen leistungsfähigen Flugzeug schon so große Fliehkräfte erzielen, daß deren Erforschung technische und vor allem gesundheitliche Bedeutung hat. Mit den leistungsfähigsten Flugzeugen können Fliehkräfte erreicht werden, die vom menschlichen Körper kaum mehr ertragen werden. Hervorgerufen werden diese Fliehkräfte durch die gute Bewegungsmöglichkeit eines Flugzeuges in Kurven\*\*\*. Diese anderen Fortbewegungsmitteln gegenüber beinahe ideale Kurvungsmöglichkeit ist die Ursache der Sonderstellung des Flugzeuges in bezug auf Erzeugung von Fliehkräften. Eine Ausnahme hiervon macht das an einer senkrechten Zylinderwand infolge der Fliehkräfte horizontal laufende Motorrad, wie es oft in Ausstellungen gezeigt wird. Die beim Starten, einschließlich Katapultstart †, sowie bei Geschwindigkeitsänderungen auftretenden positiven und negativen Vorwärtsbeschleunigungen †† sind beim Flugzeug normalerweise ohne jede Bedeutung und werden nur gefährlich bei Bruchlandungen sowie besonders beim Zusammenstoßen oder Anprallen auf feste Gegenstände infolge des dadurch sehr verkürzten Bremsweges. Ebenso sind in dieser Hinsicht die Verhältnisse bei allen anderen Fortbewegungsmitteln †††.

Es liegt nahe, die Einwirkungen der Fliehkraft auf den Körper im Flugzeug selbst zu studieren, durch Kurvenfliegen oder Abfangen aus Sturzflügen. Dazu ist eine genaue Bestimmung der Fliehkraftgröße notwendig. Die beim Kurven sowie beim Abfangen aus Fliehkraft und Erdbeschleunigung resultierende

\* Dissertation der Medizinischen Fakultät der Universität Berlin.

\*\* Die Fliehkraft ist in Größe und Richtung mit der Zentrifugalkraft gleichzusetzen. Ihre Berechnung erfolgt daher nach den Gesetzen der Zentripetalbeschleunigungsberechnung in  $\text{m/sec}^2$ . Im nachfolgenden wird stets diese Berechnung und Größenangabe angewandt.

\*\*\* Die Fliehkraft berechnet sich aus Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  (s. Anmerkung \*, S. 308), Radius  $r$  in  $\text{m}$  nach der Formel:  $b = \omega^2 \cdot r \text{ m/sec}^2$ .

† Der Katapultstart erreicht 3—4 mal Erdbeschleunigung (3—4  $g$ ) und wird anstandslos ertragen, wenn gute, der Wirbelsäulenkrümmung angepaßte Polsterung und festes Ansnallen beachtet werden.

†† Die positive und negative Vorwärtsbeschleunigung ( $b$ ) in  $\text{m/sec}^2$  berechnet sich aus Anfangsgeschwindigkeit ( $v_a$ ) und Endgeschwindigkeit ( $v_e$ ) in  $\text{m/sec}$  sowie dem Bremsweg ( $s$ ) in  $\text{m}$  nach der Formel:

$$b = \frac{v_a^2 - v_e^2}{2s} \text{ m/sec}^2.$$

††† Ausgenommen den Raketenantrieb, der theoretisch beliebige Vorwärtsbeschleunigungen zuläßt.

Beschleunigungsgröße ergibt sich aus der Fluggeschwindigkeit und dem Kurvenradius, unter Einbeziehung des Erdbeschleunigungswertes. Bei hohen Fliehkräften kann für unsere Belange die Erdbeschleunigung praktisch vernachlässigt werden\*. Da die Geschwindigkeit und besonders der Radius wohl kaum leicht und genau zu erhalten sind, hat diese Berechnung geringen Wert für Versuche. Die Fliehkraft bei solchen Versuchen ist denn auch immer auf eine andere Art gemessen worden, und zwar mit den mehr oder weniger einfachen Beschleunigungsmessern, beschleunigungsregistrierenden Instrumenten, die fest am Flugzeug befestigt werden. Diese Instrumente haben leider eine Anzahl Fehlerquellen und können naturgemäß nicht den Anspruch auf Zuverlässigkeit erheben, wie z. B. die Beschleunigungsmessung bei einer Zentrifuge durch Berechnung aus der registrierten sekundlichen Umdrehungszahl und dem festen Radius. Die Ansichten über die Angaben der Beschleunigungsmesser gehen dementsprechend auseinander. Zu dieser Schwierigkeit der Fliehkraftgrößenbestimmung kommen die Behinderungen durch die Enge des Flugzeuges, Fahrtwind, Unruhe durch den Antrieb usw., und vor allem die Unmöglichkeit die Versuche zu leiten, ohne selbst den Fliehkrafteinwirkungen zu unterliegen. Dadurch ist es unmöglich, kritische Grenzwerte zu studieren, da hierbei der Pilot und der Versuchsleiter genau dieselben kritischen Fliehkräfte erleiden würden, wenn von individuellen Verträglichkeitsschwankungen abgesehen wird. Diese Tatsachen haben zur Suche nach einem geeigneten Ersatz des direkten Flugzeugversuches geführt, der sich in einer Zentrifuge bietet.

Die Zentrifugenkonstruktionen beruhen auf demselben Prinzip der Erzeugung von Fliehkraft durch Drehung einer Masse um einen Drehpunkt, welches im Flugzeug die Fliehkraft hervorruft. Um nun die Einwirkungen der Fliehkraft stationär und genau am Menschen studieren zu können, wurde im Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitut des Reichsluftfahrtministeriums in Berlin eine große Zentrifuge errichtet. Sie wurde erbaut auf Anregung und nach Plänen der Brüder H. u. B. v. *Diringshofen*.

Nach den bestehenden Vorstellungen<sup>1,2,3,4</sup> ist die Richtung der Beschleunigung (bzw. Fliehkraft) von Bedeutung für die Einwirkung auf den Organismus. Diese Anschauung gründet sich auf die Anordnung und das Verhalten des Blutkreislaufes. Die größten Blutgefäße verlaufen in der Längsrichtung des Körpers. Wirkt nun die Fliehkraft in dieser Richtung ein (z. B. Kopf-Gesäß), so lastet die Blutsäule mit einem entsprechend der Beschleunigungsgröße vergrößerten Gewicht auf den Blutgefäßen, die in Fliehkraftrichtung am weitesten außen sind (Beine). Mit dem Gewicht steigt proportional der Druck auf die Wand dieser peripheren Gefäße. Wäre nun das Blutgefäßsystem ein starres Röhrensystem, so hätten vermehrtes Gewicht und gesteigerter Druck keinen Einfluß auf den Kreislauf, außer einer praktisch unbedeutenden Vergrößerung der

\* Die resultierende Beschleunigung beim Kurven ( $b_{RK}$ ) in  $m/sec^2$  berechnet sich aus der Winkelgeschwindigkeit ( $\omega$ )  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ , wobei  $n$  die sekundliche Drehzahl ausdrückt, und aus dem Kurvenradius  $r$  in  $m$  nach der Formel:  $b_{RK} = \sqrt{g^2 + (r \cdot \omega^2)^2}$  oder aus der Fluggeschwindigkeit  $v$  in  $m/sec$  und dem Kurvenradius  $r$  in  $m$  nach der Formel:  $b_{RK} = \sqrt{g^2 + \left(\frac{v^2}{r}\right)^2}$ . Die resultierende Beschleunigungsgröße beim Abfangen wird ebenso berechnet aus der Winkelgeschwindigkeit und dem Radius unter Hinzufügen des Erdbeschleunigungswertes. Hierbei sind die beiden Anteile nach Größe und Richtung geometrisch zu addieren.

Reibung. Da jedoch das Gefäßsystem infolge der elastischen und muskulösen Gefäßwände ein außerordentlich veränderliches Volumen hat, ist anzunehmen, daß eine Ausweitung der peripheren Gefäße eintritt, die um so größer wird, je mehr die erhöhte Beschleunigung Gewicht und Druck der Blutsäule ansteigen lassen. Dadurch entsteht in den näher am Drehpunkt gelegenen Gefäßen eine zunehmend schwächere Füllung, schließlich müßten sie leer werden und der Kreislauf wäre zu Ende, wenn die Füllung in Herzhöhe ungenügend würde.

In die fliegerische Praxis umgesetzt heißt das: Bei normalem Sitz und normalem Kurvenflug mit sehr hoher Fliehkraft tritt zunächst mangelhafte Blutversorgung des Gehirnes, später Kreislaufstillstand ein, infolge Verblutens in die Gefäße der Beine und des Bauches. Die fliegerische Erfahrung hat gezeigt, daß sich das 1. Stadium

dieser theoretischen Folgerungen bestätigt. Bei sehr engen Kurven mit Hochleistungsmaschinen, ebenso beim Abfangen dieser Maschinen, kann es schwarz vor den Augen werden, eine Folge der schlechten Blutversorgung des Gehirnes. An eine weitere einwandfreie Bedienung der Maschine ist vor der Rückkehr des Gesichtssinnes natürlich nicht zu denken.

Wirkt die Beschleunigung (bzw. Fliehkraft) abersenkrecht zur Längsrichtung des Körpers ein, so trifft sie die großen Gefäße ebenfalls senkrecht, und eine so große

Einwirkung auf den Kreislauf wie vorher wird unmöglich. Die großen Gefäße könnten auch kaum abgeplattet bzw. zusammengedrückt werden, da der hydrostatische Druckausgleich in Brust- und Bauchhöhle dem entgegenwirkt. Es wäre nur an eine geringe Blutverschiebung in die rückwärtigen Körperteile zu denken. Bei Fliehkraftrichtung Brust-Rücken z. B. mit einer stärkeren Durchblutung der rückwärtigen Lungenpartien. Der Einfluß der Beschleunigungsrichtung auf die übrigen Körperfunktionen ist naturgemäß nicht von der beherrschenden Bedeutung wie auf den Kreislauf, so daß die Frage der Beschleunigungsrichtung für den ganzen Körper unter dem Gesichtspunkt des Kreislaufes betrachtet werden darf. Bei der Zentrifuge ist wie bei der Erdbeschleunigung und zum Teil auch im Flugzeug die Beschleunigungs- (bzw. Fliehkraft-) Richtung festgelegt. Dementsprechend muß die Stellung der Versuchsperson geändert werden, um die Fliehkraft in beliebiger Richtung zum Körper einwirken zu lassen. Wir haben folgende Bezeichnungen gewählt:

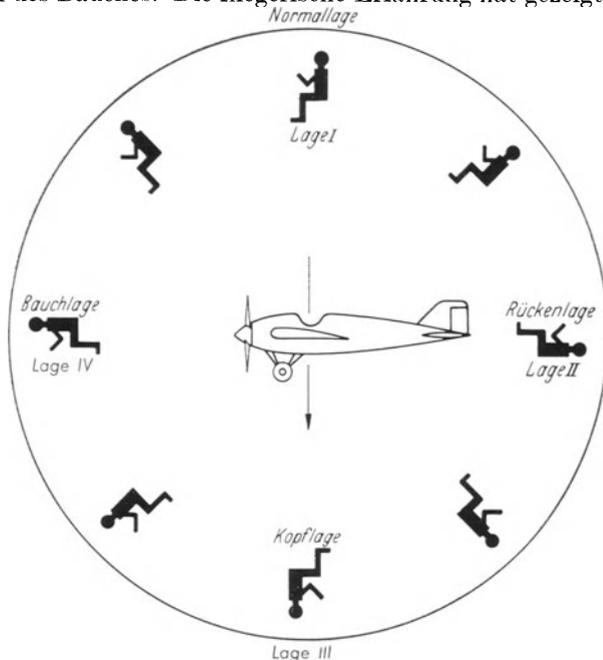


Abb. 1. Veranschaulichung der von uns gewählten Bezeichnungen für die verschiedenen Fliehkraftrichtungen, Lage I, II, III, IV.

1. Fliehkraftrichtung Kopf-Gesäß mit Lage I, 2. Fliehkraftrichtung Brust-Rücken mit Lage II, 3. Fliehkraftrichtung Gesäß-Kopf mit Lage III, 4. Fliehkraftrichtung Rücken-Brust mit Lage IV. Die Abb. 1 veranschaulicht diese Bezeichnungen.

*Zu Lage I.* Entspricht der Erdbeschleunigungsrichtung beim normalen Stehen, der negativen Vorwärtsbeschleunigung beim Aufgehen des Fallschirmes, der Fliehkraftrichtung im Flugzeug bei normalem Sitz in normalem Kurvenflug und Abfangen, der Fliehkraftrichtung in der Zentrifuge bei unserer beschriebenen 1. Lage (liegend Kopf innen).

*Zu Lage II.* Entspricht der Erdbeschleunigungsrichtung bei Lage auf dem Rücken, der positiven Vorwärtsbeschleunigung beim Katapultstart, der Fliehkraftrichtung im Flugzeug, z. B. bei einem auf dem Rücken liegenden M.G.-Schützen, im normalen Kurvenflug und Abfangen; der Fliehkraftrichtung in der Zentrifuge bei unserer 2. Lage (sitzend Rücken außen).

*Zu Lage III.* Entspricht der Erdbeschleunigungsrichtung bei Hängelage; der Fliehkraftrichtung im Flugzeug im normalen Sitz bei Überschlag vorwärts, sowie bei Rückenflugkurven.

*Zu Lage IV.* Entspricht der Erdbeschleunigungsrichtung bei Lage auf dem Bauch und der Fliehkraftrichtung im Flugzeug, z. B. bei einem auf dem Bauch liegenden M.G.-Schützen im normalen Kurvenflug und Abfangen.

Bei den ausgeführten Versuchen wurden lediglich die Lagen I und II gewählt. Die Lagen III und IV kamen für die Versuche nicht in Betracht, da diese Fliehkraftrichtungen sehr schlecht vertragen werden, wie die allgemeine Kunstflugerfahrung längst gezeigt hat\*, <sup>5</sup>. Es ist augenscheinlich, daß in Richtung Fuß-Kopf keine erheblichen Fliehkräfte einwirken können, ohne daß Gehirn und Augen in große Gefahr gebracht werden. Unsere Aufgabe war es zunächst, diejenigen Lagen zu untersuchen, die erfolgversprechend sind für die Überschreitung der bisher bekannten Grenzen, daher haben wir jede Fliehkraft in den Kopf und Bauch vermieden. Die Zwischenlagen verhalten sich entsprechend der Verschiebung wie die angeführten Hauptlagen, und stellen lediglich Zwischenwerte dar, so daß sich ihre Untersuchung vorläufig erübrigte.

Die Hauptaufgabe der folgenden Versuche war es nun zu klären, ob der menschliche Körper imstande ist, höhere Fliehkräfte zu ertragen als bisher bekannt, wenn die Fliehkraft in anderer, günstigerer Richtung als bisher einwirkt. Lage I wurde zuerst untersucht, da diese Normallage von der fliegerischen Praxis her bekannt ist und hierüber auch schon eingehende Untersuchungen vorliegen <sup>6</sup>.

Aus diesem Grunde sind die auch in anderen Arbeiten zum Teil schon veröffentlichten Messungen in Fliehkraftrichtung Kopf-Gesäß an einer wesentlich geringeren Zahl Versuchspersonen vorgenommen worden, als in Fliehkraftrichtung Brust-Rücken. Zu diesen Arbeiten sind die entsprechenden Messungen am Menschen im Flugzeug ausgeführt worden, daher sollten unsere Messungen

\* Der Verfasser hatte selbst Gelegenheit, in einigen Fällen die Auswirkung von Fliehkraftrichtung Gesäß-Kopf zu beobachten. Die betreffenden Flugzeugführer machten vorschriftswidrig mit Maschinen ohne Rückenflugvergaser (FW 44 und He 45) wiederholt Überschläge vorwärts bei sehr hohen Geschwindigkeiten. Gleich nach Beendigung gaben sie Kopfschmerzen an, die sich nach einigen Tagen verstärkten und etwa eine Woche anhielten. Ferner traten in fast allen Fällen starkes Vortreten der Augen und Blutungen in die Bindehäute auf.

auch dazu dienen, die Ergebnisse an der Zentrifuge zu vergleichen mit den im Flugzeug unter wesentlich schwierigeren Bedingungen gewonnenen Erfahrungen. Auf den hier gesammelten Erfahrungen wurden die Versuche in Lage II aufgebaut.

### Methodik.

Die Zentrifuge besteht aus einem horizontalen, starren Rohrrahmen, der fest mit einer vertikalen Achse verbunden ist, die von einem Elektromotor in Drehung gesetzt wird. In dem Rahmen befindet sich der Sitz für die Versuchsperson. Das untere Ende der Achse ist in Bodenhöhe gelagert, das obere Ende etwa in halber Zimmerhöhe im Treffpunkt von 3 starken Doppel-T-Trägern, die es mit den Haus- bzw. Zimmerwänden verbinden. Auf den Trägern befinden sich die Bedienungsanlage mit Triebmotor und Schalttischen, so daß von hier aus eine leichte Überwachung der Versuche möglich ist. Der Antriebsmotor wird mittels Leonhard-Aggregat vom Bedienungstisch aus ferngesteuert. Der Rahmen besteht aus 4 Stahlrohren von 80 mm Durchmesser und 5,40 m Länge, die durch eine Anzahl kürzerer Rohre von gleicher Stärke zu einem starren Kasten von 1 m Kantenlänge zusammengeschweißt sind. Mit der Achse ist dieses System in fester Verbindung durch 2 viereckige Stahlplatten, die oben und unten auf die Hauptrohre aufgeschweißt sind. Die Ströme für die Versuchslampen, den Motor des Kymographion usw. werden in der Nähe des oberen Endes der Achse durch ein Schleifringssystem auf die Zentrifuge übergeleitet. Der Sitz für die Versuchsperson ist beliebig zu befestigen in den Querverbindungen der Hauptrohre und kann infolgedessen in jede Lage gebracht werden, worauf weiter unten näher eingegangen wird. Der Gesamtdurchmesser der Zentrifuge beträgt 5,40 m, der Radius bis zum Sitz betrug bei den ausgeführten Versuchen bis zu 2,5 m. Die Festigkeit der Zentrifuge gestattet Beschleunigungen, die weit über die Verträglichkeitsgrenze hinausgehen.

Die Richtung der Fliehkraft geht horizontal radiär nach außen, da die Zentrifuge sich in der Horizontalebene um ihre vertikale Achse dreht. Die Größe der Fliehkraft ergibt sich aus Umdrehungszahl und Radius \*.

Die Versuche wurden geleitet nach dem von der Herstellerfirma gelieferten Anzeigeinstrument, das in  $\frac{1}{100}$  Umdrehung pro Sekunde geeicht ist und nach einer Aufklebetabelle, welche die für verschiedene Radien berechneten Fliehkräfte in g-Zahlen ablesen läßt. Bei einer Umdrehung pro Sekunde ist in 2,5 m Entfernung von der Achse, was der Entfernung des Oberkörpers in unserer 2. Lage entspricht, schon das 10fache der Erdbeschleunigung vorhanden (10 g). Die Auswertung der Versuche erfolgte jedoch nicht nach diesem Anzeigeinstrument, das sich als ungenau erwies, sondern nach einer direkten Messung der Umdrehungszahl. Dazu wurde durch eine im Versuchsraum aufgestellte Lampe ein Strahlenbündel in Richtung Zentrifuge ausgesandt. Bei jeder Umdrehung gelangte so der Lichtstrahl einmal in den Spalt des seitlich an der Zentrifuge angebrachten Kymographion und erzeugte auf dem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ablaufenden lichtempfindlichen Streifen einen Strich. Seitlich des Sitzes war eine Meßanlage aufgebaut mit einem Broemser'schen Glasplattenmanometer, einer Differentialkapsel und gelegentlich einem Frankschen Sphygmo-

\* Die Fliehkraft errechnet sich aus der Zentripetalbeschleunigung ( $b_z$ ), diese aus Umdrehungszahl ( $n$ ) pro Sek. und Radius ( $r$ ) in m nach der Formel:  $b_z = 4 \pi^2 r n^2 \text{ m/sec}^2$ .

graphen, welche die von Strichfadenlampen ausgehenden Strahlen auf den etwa 1,5 m entfernten Spalt des Kymographion warfen. Einer dieser Lichtstrahlen wurde mittels *Jaquet*-Uhr genau sekundlich unterbrochen. Das Kymogramm gestattet aus dem Abstand der Umdrehungsstriche und der Anzahl der dazwischenliegenden Sekundenstriche die genaue Umdrehungszahl zu berechnen.

*Versuchsanordnung bei Lage I.* Die Versuchsperson liegt horizontal in der Zentrifuge auf einem der Wirbelsäulenkrümmung angepaßten gepolsterten Brett, Kopf achsenwärts, Beine nach außen. Die Beine sind rechtwinklig angehockt, so daß Gesäß und Oberschenkel sich an einem senkrecht befestigtem Brett befinden, an welches sie beim Zentrifugieren gepreßt werden. Dieses Brett nimmt das durch die Zentrifugalkraft entstehende Gewicht auf. Ein Flugzeuggurt sichert vor Unfällen durch grobe Lageveränderung der Versuchsperson, z. B. bei Bewußtlosigkeit. Die Versuchsperson trägt in einer Hand eine sog. Totmann-Klingel, die ein lautes Klingelzeichen auf der Bedienungsanlage auslöst, sobald der durch den Daumen betätigte Druckknopf losgelassen wird. Mit Hilfe dieser Klingel wurden von den Versuchspersonen vorher verabredete

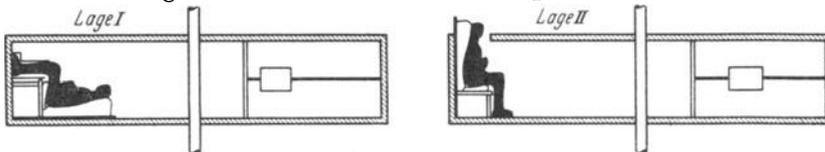


Abb. 2. Skizze vom Aufbau der Zentrifuge mit Veranschaulichung der gewählten Lagen.

Zeichen gegeben, da verständliches Sprechen schon bei den mittleren Beschleunigungen sehr schwer und unangenehm war, bei den hohen Beschleunigungen jedoch völlig unmöglich wurde. Außerdem mußte die Klingel als Sicherung gebraucht werden, um einer Bewußtlosigkeit der Versuchsperson sowie Übelkeit sofort entgegenzutreten zu können.

*Unterschenkelvolumenmessungen.* Der linke Unterschenkel lag völlig umgeben von einer Gummimanschette in einem Holzstiefel, der zur Lagerung diente und ein gleichbleibendes Volumen für die mit Luft zu füllende Manschette darstellte. Die Manschette wurde aufgepumpt auf 20 mm Hg Druck. Für die Versuchsperson war der geringe Druck in keiner Weise belästigend. Die Manschette besaß praktisch keine Möglichkeit, irgendwohin auszuweichen, jede Volumenänderung des Unterschenkels bedingte also eine Änderung des Druckes in der Manschette, die durch ein ausreichend volumkonstantes Schlauchsystem in Verbindung mit einem *Broemser-Rankeschen* Glasplattenmanometer<sup>7</sup> und einer *Frankeschen* Differentialkapsel<sup>8</sup> stand. Die Ausschläge dieser Instrumente wurden optisch aufgezeichnet. Die Eichung des Systems erfolgte durch Eindrücken von 50 ccm Wasser, wozu in den Stiefel zwischen Unterschenkel und Manschette ein länglicher leerer Gummibeutel eingelagert war. Dieser war durch einen Gummischlauch verbunden mit einem außen in der Reichweite der linken Hand angebrachten Gummiballon von 50 ccm Wasserinhalt. Eine Klemme verhinderte den Übertritt des Wassers beim Zentrifugieren aus dem achsennäherliegenden Ballon in den weiter außen liegenden Eichbeutel. Auf Zuruf wurde diese Klemme von der Versuchsperson gelöst und anschließend der Gummiballon durch Ausdrücken völlig in den Eichbeutel entleert. Gleichzeitig wurde mit Lichtsignalen, die durch Unterbrechung des

Zeitschreibungsstromes zustande kamen, auf dem Kymogramm der Zeitpunkt des Lösens der Klemme sowie der Eichung festgehalten. Der Eichversuch wurde bei verschiedenen Beschleunigungen, im Stand und bei verschiedenen Versuchspersonen gemacht. Auf dem Wege einer einfachen Verhältnisrechnung konnte nun aus dem bekannten Ausschlag des Manometers bei Volumenerhöhung um 50 ccm das Volumen für jeden beliebigen Manometerausschlag berechnet werden.

*Blutdruck- und Pulsmessungen.* Der Blutdruck wurde nach der Methode von O. Frank<sup>1</sup> gemessen. Dazu war am rechten Oberarm eine Blutdruckmanschette angebracht, die mittels Schlauchsystem verbunden war, einerseits mit einem Aufpumpgummiballon in der linken Hand der Versuchsperson, andererseits mit Manometer und Differentialkapsel. Weiterhin war ein Ventil eingeschaltet, dessen Einstellung die Geschwindigkeit des Druckabfalles bestimmte, beim gewöhnlichen Blutdruckgerät also der Schraube entspricht. Zunächst wurde eine Eichung vorgenommen. Dazu wurde die Manschette ersetzt durch ein Quecksilbermanometer und der Ausschlag des Glasplattenmanometers bei Drucken von 0—200 mm Hg abgelesen. Beim Versuch entleerte die Versuchsperson mit der linken Hand 5—8mal hintereinander zügig den Gummiballon und hielt dabei den rechtwinklig gebeugten rechten Arm möglichst ruhig. 5 Pumpenstöße erzeugten einen Druck von etwa 180 mm Hg. Er fiel entsprechend der Ventilöffnung ab, was im Kymogramm an der ebenfalls abfallenden Manometerlinie zum Ausdruck kommt. Geriet nun der Druck in die Nähe des systolischen Blutdruckes, war er z. B. von 180 auf 130 abgesunken, so begann die Schreibung der Differentialkapsel die ersten schwachen Pulsstöße aufzuzeichnen und zeigte den erreichten systolischen Druck an durch größte Pulsausschläge, den diastolischen Druck durch die plötzliche Verkleinerung der Ausschläge, wobei einige weitere Merkmale im Ablauf der Pulsschreibung gegeben sind<sup>9</sup>. Auf dem Kymogramm läßt sich also ohne weiteres aus dem durch die Differentialkapsel gegebenen Zeitpunkt des systolischen und diastolischen Druckes die Größe dieses Druckes an dem Manometerausschlag zu demselben Zeitpunkt ablesen. Die Ausschläge der Differentialkapsel gestatten im Verein mit der Zeitschreibung eine genaue Pulszahlbestimmung.

*Lage II (Fliehkraftrichtung Brust-Rücken).* Zu dieser Versuchsreihe war die Sitzanlage der Zentrifuge umgebaut worden, dergestalt, daß nunmehr die Versuchsperson aufrecht saß, Gesicht und Brust nach innen, Rücken nach außen an dem Brett und Polster, die vorher als Liegefläche gedient hatten. Die Entfernung des Körpers von der Zentrifugenachse war nun einheitlich 2,5 m, wobei die halbe Brustkorbtiefe als mittleres Maß gewählt wurde. Davon, daß die distalen Teile der Oberschenkel sowie die Unterschenkel 30—40 cm näher an der Achse lagen, kann abgesehen werden, da hierdurch höchstens ein ganz geringer Einfluß auf den allgemeinen Zustand möglich ist.

## Ergebnisse.

### Lage I.

#### Hohe Fliehkräfte und deren Einwirkungen.

Die Versuche wurden an 7 Personen durchgeführt und sollten zeigen, welche Fliehkraft vom Körper ertragen wird, ohne daß die Leistungsfähigkeit völlig eingeschränkt ist. Die Versuchspersonen wurden durch unmittelbar vorhergehende Vorversuche mit geringen Fliehkräften und dazwischenliegenden Pausen

von 5—10 Min. an die Versuchsanordnung gewöhnt, um psychische Einflüsse infolge der zunächst etwas befremdenden Zentrifuge möglichst einzuschränken. Die Vor- und Hauptversuche dienten gleichzeitig der Messung des Unterschenkelvolumens. Von den Versuchspersonen waren 5 im Alter von 23—27 Jahren und durchweg kräftig, 2 zwischen 30—40 Jahren und weniger kräftig. Vor Versuchsbeginn wurde den Versuchspersonen eingeschärft, daß der Kopf während und auch noch kurze Zeit nach dem Zentrifugieren (für 5—15 Min.) möglichst ruhig gehalten werden sollte, um das Auftreten von Schwindel zu verhüten. Außerdem war vereinbart, das Klingelzeichen zum Verringern der Fliehkraft nur zu geben, wenn starke Sehstörungen oder sonstige sehr starke Beschwerden vor dem Verlust des Sehvermögens schon auftreten würden.

Die Zentrifuge wurde langsam in Drehung versetzt und die Umdrehungsgeschwindigkeit langsam gesteigert, so daß die geringe seitliche Beschleunigung

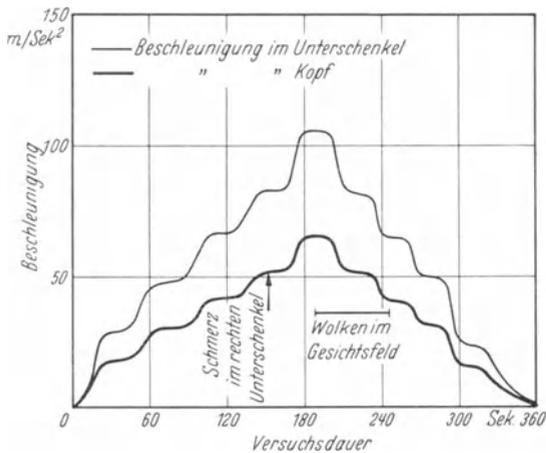


Abb. 3. Versuchsablauf (V5) bei Versuch mit hohen Fliehkraften in Lage I (Fliehkraftrichtung Kopf-Gefäß) unter gleichzeitiger Unterschenkelvolumenmessung (s. Abb. 4).

durch Zunahme der Winkelgeschwindigkeit bei den Änderungen der Umdrehungsgeschwindigkeit von keiner Versuchsperson unangenehm empfunden wurde. Da auch die Verringerung der Drehgeschwindigkeit langsam durchgeführt wurde, waren auch hier keine unangenehmen Empfindungen beschrieben worden. Im allgemeinen wurde die seitliche Beschleunigung gar nicht bemerkt. Versuchsablauf und Versuchsdauer wurden aus den registrierten Kurven entnommen. Ein Beispiel gibt die Abb. 3 (V5).

Um gleiche Bedingungen zu haben, wurde bei jeder Versuchs-

person möglichst in der gleichen Zeit auf 1, 2, 3 usw. g gegangen und ebenso auf den einzelnen g-Zahlen verharret. Die Versuche stimmen jedoch nicht so genau im Zeitablauf überein, daß ein strenger Vergleichsmaßstab angelegt werden könnte. Der Auswertung steht die grundsätzliche Schwierigkeit gegenüber, daß sich bei der Zentrifuge in dieser Lage für die einzelnen Körpergegenden im Verhältnis zu ihrem Abstand von der Achse wesentlich verschiedene g-Zahlen bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit ergeben. Daher sind im folgenden stets die g-Zahlen für Kopfmitte (K), Herz (H) und Unterschenkel (USch) nebeneinandergestellt, wobei die Kopfwerte führen. Von 0—3 g Kopf wurden keine besonderen Wahrnehmungen gemacht. Bei 3 g Kopf (3,7 g H 4,9 g USch) beginnen übereinstimmende Angaben über ein zunehmendes Zuggefühl am Unterkiefer, das mit steigenden Fliehkraften immer stärker wird. Zugleich tritt nun schon ein Kribbel- und Spannungsgefühl in den Waden auf, das zunächst nur von den dafür besonders empfänglichen Versuchspersonen wahrgenommen wurde und mit weiter ansteigender Beschleunigung bei den meisten Versuchspersonen zu einer ausgesprochenen Schmerzempfindung vom Charakter eines sehr heftigen Spannungsgefühles in den Waden führte. In einem Fall bedingte diese Erscheinung den Ab-

bruch des Versuches bei 5,4 g K, 6,6 g H, 8,9 g USch da die Versuchsperson das Gefühl hatte, als ob das Blut aus der Wade und dem Fuß spritzen wollte und deswegen ablätete. Da der linke Unterschenkel von einer unter Druck stehenden Volumenmanschette völlig umgeben war, traten die Beschwerden links wesentlich geringer als im rechten Bein auf. Der Kopf mußte bei den ersten Versuchen infolge des hohen Kopfpolsters der Unterlage angebeugt gehalten werden und unterlag so einer beträchtlichen Fliehkraftkomponente, die ihn völlig auf die Brust zu beugen suchte. Schon bei 4 g K, (4,9 g H, 6,6 g USch) war die Anstrengung der Kopfstrecker nicht gering und wurde bei den höchsten g-Zahlen schnell die beherrschende Wahrnehmung, der gegenüber alle anderen Beschwerden gering erschienen. Infolgedessen wurde später ein Kopfhaltgurt angebracht, der einmal entzwei-riß, und, nachdem die Versuchsperson den auf die Brust geschleuderten Kopf nicht mehr zurückholen konnte, bei 4,75 g K, (5,85 g H, 7,9 g USch) den Versuchsabbruch herbeiführte. Eine weitere Versuchsperson bekam von der Anstrengung starke Nackenschmerzen und brach deshalb bei 5,2 g K, (6,4 g H, 8,5 g USch) ab. Ohne Zweifel ist diese Erscheinung auf die fehlerhafte Form des Kopfpolsters zurückzuführen, das nach dieser Versuchsreihe geändert wurde, so daß der Kopf nun nahezu in Streckstellung gebracht werden kann. Die weiteren Versuche haben inzwischen ergeben, daß dadurch kaum mehr ähnliche Beschwerden auftreten. In einem Falle trat bei 5,25 g K, (6,4 g H, 8,6 g USch) Bewußtlosigkeit ein. Die Versuchsperson gab hernach an, daß es 10—20 Sek. vorher begonnen hatte dunkel zu werden, Beklemmungen auf der Brust aufgetreten waren und dann das Gesichtsfeld plötzlich ganz schwarz wurde. Zugleich war der Schmerz in beiden Beinen fast unerträglich. Diese Versuchsperson hatte dann an beiden Füßen und Unterschenkeln punktförmige Blutungen, sie war als Kollapstyp bekannt und gehörte zu den älteren, weniger kräftigen Versuchspersonen. In 2 Fällen war es möglich bis zum völligen Versagen der Augen zu kommen, wobei außer den Wadenschmerzen und einer mäßigen Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens keine besonderen Erscheinungen auftraten. Eine Versuchsperson bemerkte bei 5,1 g K, (6,2 g H, 8,4 g USch) das Auftreten schwarzer Wolken. Eine weitere bei 6,55 g K, (8,2 g H, 10,8 g USch), nachdem 10—20 Sek. diese g-Zahl eingewirkt hatte. In diesem letzten Fall konnte der Kopf ebenfalls nur mit äußerster Anstrengung gehalten werden und wurde noch vorübergehend bei abnehmender Fliehkraft auf die Brust gebeugt (s. Kurve). Es ist wahrscheinlich, daß die psychische Beeindruckung durch die ungewohnte, zunächst etwas unangenehm wirkende Versuchsordnung wohl in einigen Fällen den Abbruch der Versuche vor Eintritt des Versagens der Augen herbeigeführt hat. Nach den Versuchen war bei den meisten Versuchspersonen eine geringe Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens vorhanden, infolge Schwindelgefühl bei Bewegung des Kopfes. In den Waden, insbesondere rechts, traten Spannungs- und Ermüdungsgefühl auf, die in einigen Fällen bis zum nächsten Tag anhielten. Auch hatte sich der Wadenumfang rechts deutlich vergrößert. Sonstige örtliche und allgemeine Erscheinungen sind bei den Versuchen nicht beobachtet worden.

#### *Unterschenkelvolumenmessungen.*

Wie schon erörtert wird das Blutgefäßsystem bei Fliehkraftrichtung Kopf-Gesäß wie ein mit Flüssigkeit gefülltes dehnbares Röhrensystem beeinflusst. An der Innenseite, dem Kopf, herrscht bei zunehmender Beschleunigung

immer weniger Druck, an der Außenseite, den Füßen, lastet das entsprechend vermehrte Gewicht der Blutsäule und erweitert die Gefäße. Dank der Regulationsfähigkeit des Körpers wird diese Einwirkung auf den Kreislauf wesentlich abgeschwächt, voraussichtlich jedoch nur bis zu einer Beschleunigungsgröße, bei der die Regulationen nicht mehr ausreichen. Die elastische Spannung der Venenwände in der unteren Körperhälfte wird bei dieser kritischen und darüber hinausgehenden Beschleunigungen dem Blutdruck nicht mehr standhalten können. Die Gefäße der Beine und des Bauches werden gedehnt und lassen entsprechend große Anteile des Gesamtblutes versacken, wodurch die Blutversorgung des Oberkörpers mangelhaft wird. Es erhebt sich nun die Frage, ob die in den unteren Extremitäten versackte Blutmenge einen erheblichen Anteil an den Blutmangelerscheinungen im Oberkörper, besonders im Kopf hat<sup>10</sup> oder ob die Gefäße der Baueingeweide in erster Linie dafür in Frage kommen<sup>11</sup>.

Von Schwarz und Mateef ist beobachtet worden, daß der Kreislauf schon durch die Einwirkung der Erdbeschleunigung ( $1\text{ g} = 9,81\text{ m/sec}^2$ ) überraschend große Beeinflussungen erleiden kann. Im Normaldruck 760 mm Barometerstand ergab sich gegenüber der liegenden Stellung bei 20 Min. andauerndem ruhigem Stehen eine einheitliche Senkung des systolischen Blutdruckes. Im Unterdruck (5000 m Höhe) war diese Senkung durchschnittlich ein Vielfaches, und es wurden einige ausgesprochene Kreislaufkollapse beobachtet mit Bewußtlosigkeit. Wurde nun diesen kollabierten Versuchspersonen in 5000 m die Beine fest bandagiert, so fühlten sie sich beim Stehen dauernd so wohl wie vorher in der gleichen Höhe ohne Bandagen nur in liegender Stellung. Diese Versuche beweisen, daß in den Beinen eine erhebliche Blutmenge versacken kann, die gegebenenfalls ausschlaggebend den Kreislauf beeinflussen kann.

*Jongbloed* und *Noyons* haben an Kaninchen Fliehkraftversuche angestellt und neben zahlreichen aufschlußreichen Ergebnissen beobachtet, daß der Blutdruck bei Fliehkraft-richtung Kopf-Beine in der vorderen Körperhälfte (Carotis) bei kritischen Fliehkraften (2,5 g) bis auf nahezu Null sinkt. Wurde nun der Bauch der Versuchstiere fest eingehüllt oder unter leichten Luftdruck gebracht, so hielt sich der Blutdruck in der Carotis auch bei kritischen Fliehkraften (2,5 g) einige Sek., um dann allmählich abzusinken. Es ist nicht wahrscheinlich, daß durch die Einhüllung oder die geringe Unterdrucksetzung des Bauches die Durchströmung des Blutes zu den Beinen behindert worden ist, sondern eher anzunehmen, daß der Auffüllung der Bauchgefäße ein vorübergehender Widerstand entgegengesetzt wurde. Diese Versuche weisen auf die Rolle der Baueingeweide bei Beschleunigung hin und rechtfertigen den Schluß, daß auch die im Bauch versackende Blutmenge einen sehr großen Einfluß auf den Kreislauf hat.

Um in diese Frage einen Einblick zu bekommen, haben wir das Volumen des Unterschenkels bei Einwirkung von Fliehkraften gemessen. Die Versuchsanordnung dazu ist in der Methodik geschildert. Zur Auswertung der Ergebnisse mußten noch einige Fehlerquellen berücksichtigt werden. Die gemessene Volumenerhöhung bei Fliehkraften konnte bedingt sein durch Volumenvermehrung des Unterschenkels, wie auch dadurch, daß bei steigenden g-Zahlen der Unterschenkel einfach tiefer in den Stiefel gepreßt wurde. Tatsächlich zeigte sich, daß dieser Fehler 100 ccm und mehr hätte erreichen können. Er wurde dadurch ausgeschaltet, daß einmal der linke Unterschenkel mit beiden Händen zu Beginn der Versuche stark in den Stiefel gepreßt wurde, um einen brauchbaren Anfangsstand der Manometerschreibung zu erhalten, zum anderen der Blutstrom unterbunden wurde. Eine *Esmarchsche* Binde wurde am Oberschenkel fest angezogen, bis die Differenzialkapsel keine Pulsschwankungen im Unterschenkel mehr anzeigte. Nun wurde zentrifugiert, und bei 4 g USch hatte die Versuchsperson auf Zuruf den Esmarch zu lösen. Der Zeitpunkt der

Lösung wurde ebenfalls durch Lichtsignal auf dem Kymogramm vermerkt. Im Kymogramm ergab sich nun schon vor der Lösung des Esmarch eine schwache Zunahme des Volumens, um meist etwa 50 ccm, die nur durch die vermehrte Einpressung des Unterschenkels in den Stiefel erklärt werden kann, da eine mangelhafte Unterbindung der Blutzirkulation zu einer venösen Stauung mit erheblich größerer Volumenvermehrung hätte führen müssen. In der Tat war bei einigen Versuchen die Unterbindung wohl im Stand genügend, nicht aber bei der Fliehkrafteinwirkung, die den Blutdruck im Unterschenkel wesentlich erhöhte. Infolgedessen trat Stauung ein mit Volumenvermehrung um etwa 200 ccm. Die Schreibung der Differentialkapsel ließ in diesen Fällen den Puls-

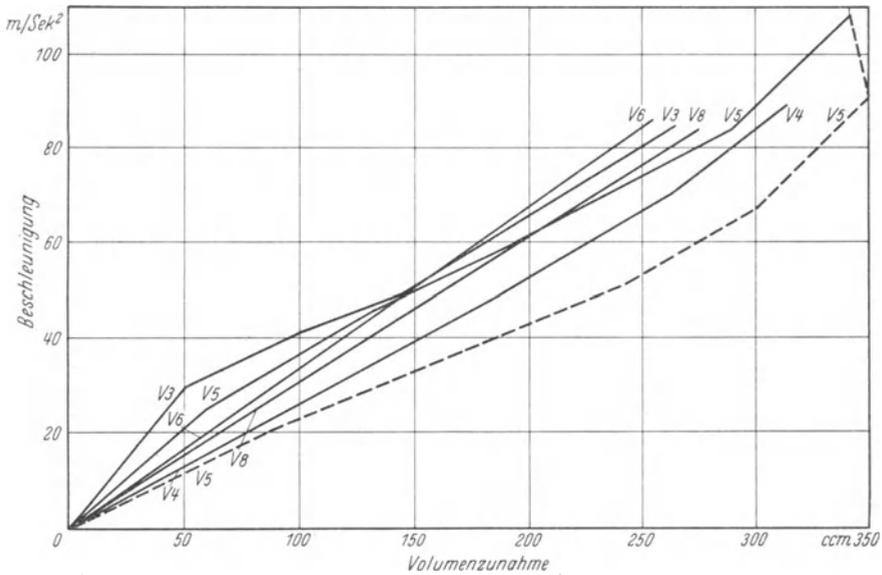


Abb. 4. Volumenzunahme des Unterschenkels bei Fliehkrafteinwirkung in Richtung Kopf-Gefäß. Die ausgezogenen Linien stellen das Volumen beim Ansteigen der Fliehkraft dar, die gestrichelte Linie beim Verringern. Der Übersichtlichkeit halber ist die letztere nur bei einem Versuch ( $V_5$ ) eingetragen worden, da sie bei den übrigen Versuchen gleichsinnig verläuft.

schlag im Unterschenkel bei der Beschleunigung deutlich erkennen, nachdem er im Stand weggeblieben war. Die Öffnung des Esmarch war auf dem Kymogramm zu sehen an dem Lichtsignal und besonders an dem plötzlichen Ausschlag des Glasplattenmanometers. Zur Auswertung der Versuche wurde nur dieser Ausschlag nach Öffnung des Esmarch genommen, nicht der durch die vermehrte Unterschenkeleinpressung hervorgerufene Ausschlag. Auch bei den Auswertungen der Messungen bei höheren Drehzahlen bis 10,8 g USch wurde der Fehler durch Einpressung auf diese Weise ausgeschaltet. Es gab noch eine kleine Fehlerquelle zu berücksichtigen. Der Druck in der Manschette verringerte sich während des Versuches infolge der Öffnung in der Differentialkapsel. Durch Vergleich des Anfangs- und Endwertes (20 mm Hg — 14 mm Hg) unter Einbeziehung der bei dem jeweiligen Meßwert verstrichenen Zeit ließ sich dieser Fehler ausgleichen. Die Abbildung 4 zeigt in 5 Einzelkurven die Volumenzunahme des Unterschenkels.

Aus den Kurven geht hervor, daß die Volumenvergrößerung linear ansteigt. Die Blutmenge, welche im Höchsthalle in einem Unterschenkel versackt, beträgt

demnach bei 10,8 g USch 350 ccm, in beiden Unterschenkeln also 700 ccm. Die Oberschenkel werden angehockt, also senkrecht zur Fliehkrafttrichtung gehalten und unterliegen infolgedessen für sich selbst der beschriebenen Säulenwirkung nicht, wohl jedoch in bezug auf den Gesamtkörper. Im Gegenteil, Gefäße und Weichteile erfahren hier eine Pressung, die das Volumen besonders der Venen verengern kann. Es erscheint aber wahrscheinlich, daß auch in den Oberschenkeln infolge ihrer peripheren Lage eine nicht unbeträchtliche Blutmenge versackt. Der größte Teil des dem Kreislauf der oberen Körperhälfte entzogenen Blutes dürfte jedoch in der unteren Rumpfhälfte und dem Becken, sowie besonders dem Splanchnicusgebiet, dessen Blutspeicherfähigkeiten aus der Physiologie und inneren Medizin hinreichend bekannt sind, zu suchen sein.

### Lage II.

(Fliehkrafttrichtung Brust-Rücken.)

Die Versuche wurden an 22 Versuchspersonen durchgeführt. Es waren zum größten Teil sehr kräftige und ausdauernde junge Männer, besonders Unterärzte der MA, im Alter von 23—27 Jahren \*. In 3 Fällen waren sie schon bei Lage I beteiligt. Wie bei Lage I wurden auch hier die Versuchspersonen durch Vorversuche, die ebenso wie auch der Hauptversuch zugleich Blutdruckmessungen dienten, an die Versuchsanordnung gewöhnt. In möglichst gleichbleibenden Zeiten wurden die Fliehkraftänderungen vorgenommen, um brauchbare Vergleichswerte zu erhalten. Die Durchführung stieß besonders bei der Fliehkraftsenkung auf Schwierigkeiten, da bei einer Anzahl Versuchspersonen infolge schwerer Beeinträchtigungen die Fliehkraft in kürzerer Zeit vermindert werden mußte. Aus den Kurven geht der zeitliche Versuchsablauf hervor. Die Versuche dauerten zwischen 3 und 5 Min. Die allgemeinen Maßnahmen (Totmannklingel usw.) wurden wie bei Lage I getroffen. Wie schon erwähnt, stellte diese Versuchsreihe die Hauptaufgabe dar und sollte beweisen, daß in Fliehkrafttrichtung Brust-Rücken der Organismus wesentlich höhere Beschleunigungen zu ertragen vermag. Gleichzeitig waren die dabei auftretenden Erscheinungen zu beobachten. Die beschriebene hydrostatische Einwirkung auf das Blutgefäßsystem kam bei dieser Lage in Wegfall, und es konnte nun lediglich zu einer geringen Verlagerung des Herzens und der großen Gefäße sowie zu einer ungleichmäßigen Verteilung des Blutes in der Richtung Brust-Rücken kommen. Keinesfalls konnte etwa die Blutversorgung des Gehirns bedeutend beeinträchtigt werden. Allein auf die Augen wäre eine Säulenwirkung zu denken gewesen, da deren Hauptgefäße nun in Längsrichtung verliefen<sup>12</sup>.

### Hohe Fliehkräfte und deren Einwirkungen.

Erstaunlicherweise wurden in dieser Lage bis nahezu zum 3fachen der im Kopf gemessenen Fliehkräfte der Lage I ertragen. Fliehkräfte von 10 und 12 g wurden anstandslos und ohne jegliche nachteilige Folgen von einsatzfreudigen Versuchspersonen ertragen, während andere sich „schon“ bei 8 und 9 g geschlagen gaben. Eine Ausnahme stellen die Versuchspersonen mit besonders labilem Gleichgewichtsorgan dar, die wohl unter Aufbietung großer Energie

\* Ich danke bei dieser Gelegenheit meinen Kameraden, daß sie sich in so selbstloser Weise in den Dienst der Luftfahrtmedizinischen Forschung gestellt haben.

12 g erreichten, hernach jedoch längere Zeit Beschwerden hatten durch Schwindelgefühl und Unwohlsein, Folgen der hohen Winkelgeschwindigkeit. Insofern ist die Zentrifuge nicht mit dem Flugzeug vergleichbar, da hier große Winkelgeschwindigkeit zum Erreichen dieser Beschleunigung notwendig ist, dort aber der Radius sehr groß ist und die Winkelgeschwindigkeit verhältnismäßig klein wird. Zunächst wurden die Versuche nur bis 10 g durchgeführt, um eine mögliche Schädigung zu vermeiden, da Erfahrungen noch nicht vorlagen, sowie um einen Überblick zu bekommen über etwa nachträglich auftretende Schäden. Nachdem sich gezeigt hatte, daß dabei nichts zu befürchten war, wurden die Versuche weitergeführt. Die Versuchspersonen wurden unterwiesen, daß das Klingelzeichen zur Verminderung der Fliehkraft nur dann zu geben sei, wenn sie sich nahe an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit fühlten, oder bei einer besonderen sonstigen Störung. Da die Beanspruchung des Gleichgewichtsorgans infolge der hohen Winkelgeschwindigkeit gerade hier bei den großen Fliehkräften eine beträchtliche war, wurde besonders auf Ruhighalten des Kopfes während des Versuches und auch noch einige Zeit nach Stillstand der Zentrifuge hingewiesen. Das Versäumen dieser Anweisung führte in einem Fall mit 17 g zu heftigem Erbrechen nach Stillstand der Zentrifuge, das sich eine halbe Stunde lang wiederholte. Das Anfahren der Zentrifuge wurde kaum einmal als unangenehm empfunden, ebensowenig die Fliehkräfte bis 3 g. Von 4 g ab wird eine deutliche Erschwerung der Brustatmung beobachtet, die rasch zunehmend zum beherrschenden Symptom wird und zuletzt bei 10—12 g völlig unmöglich ist. Versuchspersonen, die trotz der vorherigen entsprechenden Belehrung sich nicht rechtzeitig auf Bauchatmung umgestellt hatten, mußten deshalb oft schon bei 9—11 g aus Luftmangel ihre Zuflucht zur Klingel nehmen. Von den Versuchspersonen, die sich rechtzeitig auf Bauchatmung umgestellt hatten, wurden bei äußerst angestrenzter rascher Atmung 14—16 g, einmal sogar 17 g ertragen. In den meisten Fällen war die Zeit des Fliehkraftanstieges etwas kürzer gewählt als z. B. in dem in Abb. 5 gezeigten Versuch. Daher haben die Versuchspersonen, bei denen auf ihren besonderen Wunsch diese verkürzte Zeit der Fliehkrafteinwirkung gewählt wurde, bei 14—15 g die Empfindung gehabt, von seiten der Atmung noch etwas mehr auszuhalten. Es ist wahrscheinlich, daß bei Einhaltung der in der Kurve gezeigten Einwirkungs-dauer 15—17 g etwa die Höchstgrenze darstellen, deren Überschreitung durch die äußerst erschwerte Atmung unmöglich wird. Würde man den Fliehkraftanstieg noch wesentlich verlangsamen und auf den einzelnen g-Zahlen verharren, so daß der Körper Zeit hat sich auf jede Beschleunigungs- bzw. Fliehkraftgröße (1, 2, 3, 4, 5 usw. g) einzustellen, so würde man wohl kaum 15 g erreichen, da dann der Sauerstoffvorrat eher aufgebraucht wäre. In der fliegerischen Praxis jedoch kommen kaum so lang andauernde derartig hohe Fliehkrafteinwirkungen in Frage, jedenfalls nicht bei Sturzbombern, die in der Flug-

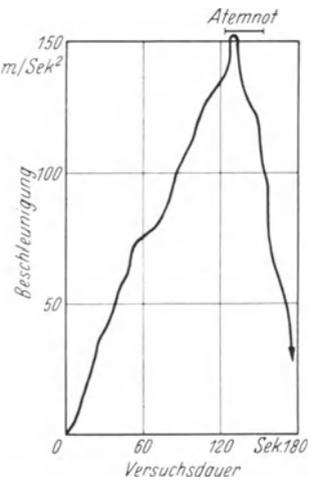


Abb. 5. Versuchsablauf (V24) bei Höchstbeschleunigung in Lage II (Beschleunigungsrichtung Brust-Rücken).

praxis wohl die höchsten Fliehkräfte erzielen. Die beschriebene Einwirkung auf die Atmung überrascht nicht, wenn man bedenkt, daß bei 5 g bereits die 5fache Arbeit aufzubringen ist, um irgendeinen Gegenstand gegen die Richtung der Fliehkraft zu bewegen, also auch für die Einatmung, die, abgesehen von der Flankenatmung, eine Erweiterung des Brustkorbes und Bauches nach vorn ist. Bei 10 g ist also schon die 10fache und bei 15 g die 15fache Arbeit hierfür zu leisten. Der Körper drückt bei 15 g mit 15fachem Gewicht auf die Unterlage, ein normalgewichtiger Mensch von 75 kg wiegt dann also 1125 kg. Mit der erschwerten Atmung trat von ungefähr 5 g ab ein ebenso zunehmendes

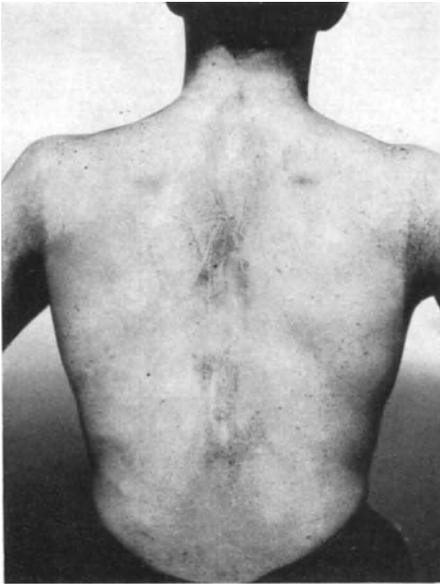


Abb. 6.



Abb. 7.

Abb. 6 und 7. Hautblutungen nach Fliehkrafteinwirkung in Größe von  $151,5 \text{ m/sec}^2$  (15,5 g) ( $V 24$ ) (s. Verlauf in Abb. 5) in Lage II — Fliehkraftrichtung Brust-Rücken —. Die Aufnahmen erfolgten einen Tag nach dem Versuch.

Druckgefühl auf Hals, Brust und Bauch auf, ferner etwa von 7 g ab zunehmender Hustenreiz, der bei den höchsten Beschleunigungen von verschiedenen Versuchspersonen oft kaum noch zu ertragen war. Vereinzelt wurden Schmerzen in der Gegend des Brustbeines geäußert, Kloßgefühl im Hals, sowie ein Gefühl, als ob das Zäpfchen nach hinten zentrifugiert würde. Bei den ersten Versuchen waren starke Beeinträchtigungen durch Kragen und Kragenkнопf entstanden, deshalb wurden diese in Zukunft weggelassen, was für die fliegerische Praxis von Bedeutung sein kann. Eine eigentümliche Wirkung zeigte sich auf die Beine. Diese konnten bei den hohen Fliehkräften nicht mehr zusammengehalten werden, so daß sie bei 8—10 g passiv in Grätschstellung gebracht wurden, soweit bis die Knie an der Sitzanlage Halt fanden. Nach dieser Erfahrung bei den ersten Versuchen wurden die Kniee zusammengebunden. Einer Versuchsperson wurde bei 8 g der unvorschriftsmäßig gehaltene Arm nach hinten geschleudert und konnte dann nicht mehr aus eigener Kraft zurückgeholt werden, so daß der Versuch abgebrochen werden mußte. Zu diesen auf die einfache mechanische

Einwirkung der Fliehkraft auf die entsprechenden Körperteile bzw. Organe zu erklärenden Beobachtungen kommen die Beeinflussungen des Blutkreislaufes. Bei allen daraufhin nachgesehenen Versuchspersonen waren bei Fliehkräften über 7 g punktförmige Hautblutungen vorhanden. Da an diese Einwirkung zunächst nicht gedacht wurde und die Versuchspersonen keinerlei Beschwerden äußerten, konnte diese Erscheinung erst bei dem letzten Drittel der Versuchspersonen festgestellt werden. Die Abb. 6, 7 und 8 zeigen, daß die Hautblutungen nur an den nicht aufliegenden Stellen des Rückens zu finden waren. Die Auflagefläche mit Flugzeuggurt zeichnete sich genau ab. Die Stärke dieser Petechien war proportional der Höhe der Beschleunigung, bei 7 g schwach, bei 10 g gut und bei 15 g sehr stark ausgeprägt. Bei den höchsten Fliehkräften wurde nun die vermutete Einwirkung auf die Augen beobachtet. In 4 Versuchen über 14 g trat der Verlust des klaren Sehvermögens ein, es wurden dunkle Wolken mit Sternen usw. wahrgenommen. Diese Erscheinungen hielten beim Zurückgehen bis zu etwa 13 g an und gerade diese Versuchspersonen betonten ausdrücklich, daß sie während dieser Zeit trotz natürlich angestrengtester Atmung keine Störung des Gehörs gehabt hätten. Im Gegenteil, jedes auf der Bedienungsanlage gesprochene Wort konnte von ihnen trotz des ziemlich großen Lärmes der Zentrifuge deutlich verstanden werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit und der Denkablauf scheinen jedoch gestört gewesen zu sein, da das Klingelzeichen weit über die notwendige Dauer ausgedehnt wurde. Auf nachheriges Befragen wurde erklärt, daß die vom Versuchsleiter zugerufene



Abb. 8. Hautblutungen nach Fliehkrafteinwirkung von  $78 \text{ m/sec}^2$  ( $V 23$ ) in Lage II, Fliehkraftrichtung Brust-Rücken. Die Aufnahme erfolgte einen Tag nach dem Versuch.

Verringerung der Fliehkraft wohl gut gehört und erleichternd bemerkt worden sei, ebenso das anhaltende Klingelzeichen. Der diesbezügliche Denkschluß, nämlich die Klingel durch Daumendruck wieder ruhigzustellen, wurde jedoch erst nach längerer Zeit gezogen. Diese Erscheinung dürfte wahrscheinlich eine Folge von Sauerstoffmangel im Gehirn sein, bedingt durch die sehr erschwerte ungenügende Atmung. In 4 Fällen trat nach Fliehkräften über 14 g ein teilweise bis zu 3 Tagen anhaltender schwacher Kopfschmerz auf, jedoch keine länger andauernden Störungen. Auch bei einigen weiteren Versuchspersonen, die Fliehkräfte von 10—14 g ertragen hatten, wurde einzeln leichter Kopfschmerz bemerkt. Die beigegefügte Tabelle gibt eine Zusammenstellung von 14 Versuchspersonen mit Angabe der jeweils erreichten Höchstfliehkraft, des Grundes für den Versuchsabbruch und der Gesamtzeit, wobei nur diejenigen Versuchspersonen berücksichtigt sind, die 10 g überschritten haben.

Versuchsnummer	Höchstfliehkraft	Grund des Abbruches	Gesamtzeit
V. 17	170 m/sec <sup>2</sup> 17,3	Vorherige Vereinbarung	240 Sek.
V. 24	151,5 „ 15,4	Versuchsleitung	174 Sek.
V. 6	144 „ 14,7	Sehstörung	Mehr als 105 Sek. über 6 g
V. 13	140 „ 14,3	Sehstörung	
V. 20	140 „ 14,3	Atemnot	
V. 8	136 „ 13,8	Sehstörung	Mehr als 60 Sek.
V. 19	130 „ 13,2	Atemnot	120 Sek.
V. 15	125 „ 12,7	Sehstörung	Mehr als 100 Sek. über 5 g
V. 21	118 „ 12	Beklemmung	130 Sek.
V. 14	115 „ 11,7	Atemnot	
V. 4	113 „ 11,5	Versuchsleitung	Mehr als 180 Sek.
V. 16	110 „ 11,2	Atmung	120 Sek.
V. 3	107,5 „ 11	Versuchsleitung	Mehr als 120 Sek.
V. 25	105 „ 10,7	Versuchsleitung	200 Sek.

#### *Blutdruck und Pulsmessungen.*

Es wäre außerordentlich aufschlußreich, gerade das Verhalten des Blutdruckes in Lage I und II kennenzulernen. In Lage I haben wir zu wenig derartige Messungen gemacht, als daß sich die Ergebnisse verallgemeinern ließen. In Lage II wurden zahlreiche Messungen vorgenommen, jedoch zeigte sich, daß hier wegen der erhöhten Zentrifugenumlaufzahl die oben angegebene Methodik zur genauen Bestimmung nicht ausreicht, da technische Schwierigkeiten, besonders die unvermeidlichen Erschütterungen, die Auswertung sehr stören. Es wird daher nur in den Abb. 9 und 10 das ermittelte Verhalten von Blutdruck und Puls wiedergegeben, ohne daß darauf großer Wert zu legen ist.

#### *Besprechung der wichtigsten Ergebnisse.*

Das Ergebnis unserer Versuche ist die Bestätigung der Annahme, daß die Richtung der Beschleunigung einen maßgebenden Einfluß hat auf ihre Verträglichkeit. In Fliehkraftrichtung Brust-Rücken, was im Flugzeug der Rückenlage entspricht, wird nahezu das 3fache an Beschleunigung ertragen als in Fliehkraftrichtung Kopf-Fuß, entsprechend der sitzenden Lage im Flugzeug. Es traten jedoch schon bei weniger als der Hälfte der erreichten Höchstfliehkraft Schäden auf, in Gestalt der Petechien. Diese Hautblutungen lassen sich auf zwei Wegen vermeiden. Erstens in der Rückenlage nicht über 7 g zu gehen, zweitens durch eine überall gleichmäßig anliegende Auflagefläche für den Rücken. Die erste Möglichkeit verdient immerhin Beachtung, obwohl es zuerst erscheint, als ob es dann vielleicht besser wäre, z. B. im Flugzeug die alte Stellung beizubehalten, in der ja auch bis zu 6 g und etwas darüber ertragen werden können. Diese Ansicht hält einer kritischen Würdigung nicht stand. In Fliehkraftrichtung Kopf-Fuß stellen auch bei ganz kurzer Einwirkungsdauer (5—15 Sek.) 6 g schon eine sehr große Belastung dar, bei der das Sehen einem großen Teil Versuchspersonen ganz unmöglich geworden ist und der Körper infolge der ungünstigen Blutverteilung nahe an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit steht. In Fliehkraftrichtung Brust-Rücken hingegen werden 6 g mehrere Minuten hindurch mit Leichtigkeit ertragen und die Leistungsfähigkeit wird lediglich beeinträchtigt durch die Erschwerung oder Unmöglichkeit größerer Bewegungen der Extremitäten und des Rumpfes infolge des entsprechend

der Beschleunigung vermehrten Gewichtes. Die zweite Möglichkeit wird durch eine geeignete Maßnahme, z. B. einen taucheranzugähnlichen Rückenschutz, ohne große Schwierigkeiten zu verwirklichen sein. Die Sicherheit des Fluggefühles darf hierdurch aber nicht leiden, z. B. infolge Einbeziehung des Gesäßes in diesen Anzug. Für die fliegerische Praxis ergibt sich nun die notwendige Schlußfolgerung, für alle Flüge, bei denen regelmäßig Beschleunigungen von 6 g und darüber auftreten, die Besetzung für die Dauer dieser hohen Fliehkrafteinwirkung in Rückenlage zu bringen <sup>1, 13</sup>. *v. Diringshofen* weist schon 1932 auf die diesbezüglichen Folgerungen *Vierecks* hin und kommt zu dem Ergebnis, daß die Verhältnisse zum Ertragen hoher Beschleunigungen beim Flugzeug im Liegen erheblich günstiger sind als im Sitzen. In der „Luftfahrtmedizin“ 1936 veröffentlicht *v. Diringshofen* Versuche über das Ertragen hoher Beschleunigungen im normalen Flugzeugsitz, also in Fliehkraftrichtung Kopf-Gesäß (Lage I). Aus den oben dargelegten Verhältnissen im Blutkreislauf bei Lage I ergibt sich, daß durch Verringerung der hydrostatischen Höhenunterschiede, also Verringerung der Höhendifferenz zwischen Gesäß und Kopf, auch die hydrostatischen Kräfte geringer werden. Gleichlaufend damit verbessert sich der Blutkreislauf, in die untere Körperhälfte versackt weniger Blut, in der oberen Körperhälfte bleibt die Gefäßfüllung besser erhalten. Die Beine können im Flugzeug ziemlich nach vorn gebeugt gehalten werden, liegen annähernd senkrecht zur Fliehkrafttrichtung und unterliegen dadurch für sich selbst nur zu einem geringen Teil der ungünstigen Einwirkung. Die Verkleinerung der Höhendifferenz läßt sich erreichen durch Zusammenkauern während der Fliehkrafteinwirkung. Kräftiges Rumpf-

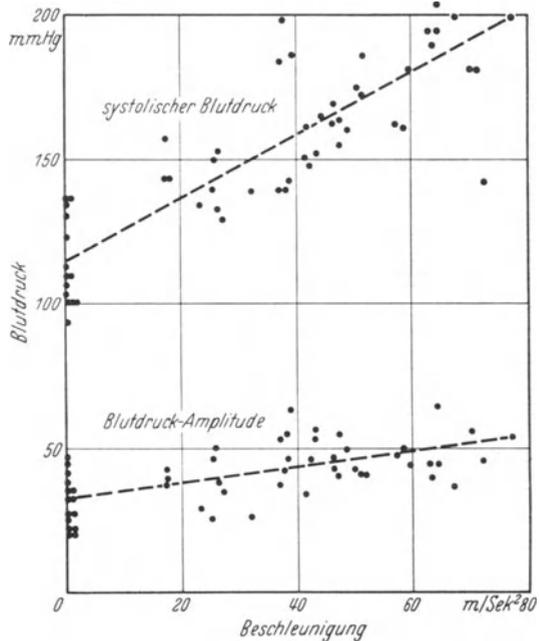


Abb. 9. Blutdruckmessung in Lage II.

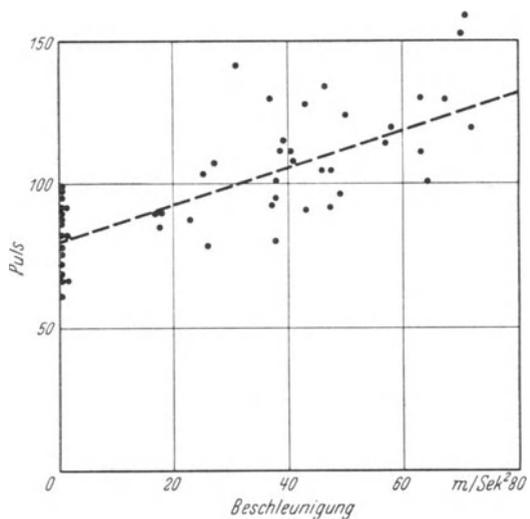


Abb. 10. Pulsmessung in Lage II.

beugen vorwärts bringt aber auch eine Anspannung der Bauchmuskulatur und Erhöhung des Bauchinnendruckes mit sich, die ihrerseits die Auffüllung des Bauchgefäßgebietes vorübergehend hemmen können. Diese zweite günstige Wirkung würde den Beobachtungen von *Jongbloed* und *Noyons* beim Zentrifugieren von Kaninchen mit fest eingehülltem oder unter geringen Luftdruck gebrachten Bauch entsprechen (s. S. 316). *v. Diringshofen* geht von denselben Voraussetzungen aus und gibt in der oben angezogenen Arbeit folgende Ergebnisse an: Von allen Versuchspersonen wurden 5—5,5 g zusammengekauert ohne jede Störung über 10 Sek. ertragen, während 4,5—5 g bei sämtlichen Versuchspersonen aufrechtsitzend Sehstörungen erzeugten. Bei 3 Versuchspersonen riefen 5—5,5 g aufrecht sitzend den völligen Verlust des Sehvermögens hervor, bei einer Versuchsperson 4mal Bewußtlosigkeit. *v. Diringshofen* hofft auf Grund seiner Versuchsergebnisse, daß eine Flugzeugbesatzung in zusammengekauerter Haltung auch noch Fliehkräfte, die das 8fache der Schwerkraft betragen, mehr als 15 Sek. hindurch störungsfrei ertragen kann, und damit der Mensch den heutigen Anforderungen der Praxis beim Fliegen von Hochleistungsflugzeugen, und voraussichtlich auch den für die nächsten Jahre zu stellenden, ausreichend angepaßt wäre.

Die *v. Diringshofenschen* Ergebnisse sind zweifellos von großem Wert, jedoch stehen den darauf fußenden weitgehenden Folgerungen erhebliche Bedenken entgegen. Zuerst ist darauf hinzuweisen, daß die Messung der Fliehkräfte im Flugzeug nicht ohne Fehlerquellen ist. Zudem entzieht sich die Genauigkeit dieser Angaben einer Beurteilung, da die Art der Messung nicht beschrieben ist. Angenommen jedoch, die Hoffnung *v. Diringshofens* bis 8 g zu kommen, geht in Erfüllung, so bleibt die Frage bestehen, ob es zu empfehlen ist, in der fliegerischen Praxis die Flugzeugbesatzungen, z. B. der Sturzbomber, den kritischen Fliehkräften von 4 g ab auszusetzen, ohne weitere Sicherungsmaßnahmen als entsprechende Belehrung und Einübung im Sinne der *v. Diringshofenschen* Versuche. Eine für die Praxis günstige Lösung ist dies keinesfalls, denn eine Flugsicherung, möglichst unabhängig von personellen Einflüssen, ist dadurch nicht gewährleistet, im Gegenteil, durch die Gefahr für die Besatzung, Gesichtssinn und Bewußtsein zu verlieren, wird eine völlig neue Note in die Flugsicherung hereingebracht. Es ist Sache der Flugsicherung, diese Angelegenheit zu prüfen. Wir glauben nicht, daß die *v. Diringshofensche* Ansicht mit gutem Erfolg (bei normalem Menschenmaterial) in die fliegerische Praxis umgesetzt werden kann, und verweisen auf unsere oben ausgeführten Vorschläge. Zuletzt muß gesagt werden, daß eine weitere Steigerung im Ertragen von Beschleunigungen über die von *v. Diringshofen* erhoffte Grenze von 8 g hinaus im Normalsitz, zusammengekauert, gänzlich unwahrscheinlich ist und damit dem Fortschritt große Hindernisse in den Weg gestellt wären. Aus diesem Grunde sei erneut auf unsere Vorschläge hingewiesen, die es ermöglichen, auch in der fliegerischen Praxis ohne Gefährdung der Flugsicherheit bis nahe an die Höchstgrenze des menschlichen Körpers für das Ertragen von Beschleunigungen heranzugehen. Insonderheit bei Sturzbombern mit ihren bekanntermaßen sehr hohen Fliehkräften beim Abfangen werden bei voller Ausnutzung der technischen Möglichkeiten höhere Fliehkräfte als 6 g auftreten. Die Hochleistungsmaschinen dieser Art bedürfen demnach einer schwenkbaren Sitzanlage, die es ermöglicht, bei Fliehkräften über 4—5 g automatisch oder mit einfachen Handgriffen aus der normalen Sitz-

stellung in annähernde Rückenlage und zurück zu gehen. Außerdem sollen die Beine in möglichst liegender Stellung gehalten werden. Die baldige Erprobung dieser Vorschläge wäre ein erfreuliches Zeichen der Zusammenarbeit von Forschung und Technik im Dienste der Weiterentwicklung der Luftfahrt.

### Zusammenfassung.

1. Auf der Zentrifuge des Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitutes des R.L.M. in Berlin wurden Fliehkraftversuche am Menschen in sitzender und liegender Stellung durchgeführt.

2. Die Fliehkraftmessung wurde durch optische Registrierung der Zentrifugenumdrehungen bis auf wenige Prozent genau durchgeführt.

3. In sitzender Stellung (Fliehkraftrichtung Kopf-Gesäß) wurden die gleichen Erscheinungen beobachtet, die aus der fliegerischen Praxis bekannt sind. Längere Beschleunigungseinwirkung über 5 g führt zu Sehstörungen.

4. In liegender Stellung (Fliehkraftrichtung Brust-Rücken) wurden bis 10 g außer einer geringen Beeinträchtigung der Atmung keine schwerwiegenden Störungen beobachtet, über 10 g wurde die Atmung bedeutend erschwert, ab 15 g fast unmöglich. Dazu kamen bei 14—15 g Sehstörungen, während Gehirn und Bewußtsein in keiner Weise beeinträchtigt wurden.

5. Zur Auswertung in der fliegerischen Praxis wird vorgeschlagen, praktische Versuche in Flugzeugen mit schwenkbarer Sitzanlage durchzuführen.

Für die Einarbeitung in die Beschleunigungsforschung und die Unterstützung bei dieser Arbeit, bin ich meinem Lehrer Stabsarzt Prof. Dr. O. F. Ranke zu großem Dank verpflichtet.

---

### Schrifttum.

- <sup>1</sup> *Diringshofen, H. v.*: Z. Flugtechn. Motorluftsch. **1932**, H. 6. — <sup>2</sup> *Jongbloed, J. u. Noyons*: Pflügers Arch. **233**, 67 (1933). — <sup>3</sup> *Schubert, G.*: Physiologie des Menschen im Flugzeug, 1935. S. 20, 21. — <sup>4</sup> *Ranke, O. F.*: 14. Tagg physiol. Ges. Gießen 1936. Ber. Physiol. **96**, 671. — <sup>5</sup> *Diringshofen, H. u. B. v.*: Acta aerophysiol. **1**, 48 (1933). — <sup>6</sup> *Jongbloed, J. u. Noyons*: Pflügers Arch. **233**, 67 (1933). — *Diringshofen, H. u. B. v.*: Acta aerophysiol. **1**, 48 (1933). — *Diringshofen, H. v.*: Luftfahrtmed. **1936**, 3. — <sup>7</sup> *Broemser u. Ranke*: Z. Biol. **90**, 467 (1930). <sup>8</sup> *Frank*: Z. Biol. **87**, 419 (1928). — <sup>9</sup> *Broemser u. Ranke*: Z. Kreislaufforsch. **25**, 11 (1933). — <sup>10</sup> *Schwarz u. Mateef*: Pflügers Arch. **336**, 77. — <sup>11</sup> *Jongbloed, J. u. A. K. Noyons*: Pflügers Arch. **233**, 76 (1933). — <sup>12</sup> *Ranke*: 14. Tagg physiol. Ges. Gießen 1936. Ber. Physiol. **96**, 671. — <sup>13</sup> *Diringshofen, H. v.*: Luftfahrtmed. **1**, H. 3 (1936).

# Einführung in die chemische Physiologie

Von

**Dr. E. Lehnartz**

a. o. Professor an der Universität Göttingen

Mit 66 Abbildungen. VIII, 420 Seiten. 1937

RM 18.—; gebunden RM 19.60

## Inhaltsübersicht:

**I. Die chemischen Bausteine des Körpers:** Kohlehydrate. Fette, Wachse, Phosphatide und Cerebroside. Sterine und Gallensäuren. Carotinoide. Eiweißkörper. Nucleinstoffe. Pyrrolfarbstoffe. Anorganische Stoffe. — **II. Die physiko-chemischen Grundlagen der Organtätigkeit:** Diffusion und Osmose. Die elektrolytische Dissoziation. — Die Wasserstoffionenkonzentration. Pufferung. Ampholyte. Grenzflächenerscheinungen. Kolloide und kolloidaler Zustand. Die biologische Permeabilität. — **III. Die Wirkstoffe des Körpers:** Vitamine. Hormone. Fermente und ihre Wirkungen. — **IV. Der Stoffwechsel:** Verdauung und Resorption. Der Stoffwechsel der Kohlehydrate, der Fette, der Eiweißkörper, der Nucleinsubstanzen. Die Leber. Blut und Lymphe. Die Muskulatur. Der Harn. Die Ausscheidungsfunktion der Haut und die Milch. — Sachverzeichnis.

Die Erörterung chemischer Vorgänge im lebendigen Organismus setzt die Kenntnis zahlreicher chemischer und physiko-chemischer Tatsachen und Gesetzmäßigkeiten voraus, die im allgemeinen in den chemischen und physiko-chemischen Lehrbüchern entweder gar nicht oder nur kurz oder doch nicht in biologischer Bedeutung abgehandelt werden. Es kommt hinzu, daß der Medizinstudent Werke dieser Art gewöhnlich kaum zur Hand nimmt. Um diesem Mangel in der Ausbildung des Mediziners zu begegnen, ist der Behandlung der eigentlichen physiologischen Fragen eine deskriptive Biochemie, d. h. eine Beschreibung der chemischen Stoffe, die von biologischer Bedeutung sind, vorangestellt. Eine solche „chemische Anatomie“ ist aber erst der Beginn und nicht das Ziel physiologischer Untersuchungen mit chemischen Methoden, dies liegt vielmehr in der Erforschung des physiologischen Vorganges. Die Umgebung, in der sich solche Vorgänge abspielen, wird von physiko-chemischen Gesetzmäßigkeiten beherrscht. Diese werden daher in einem besonderen Kapitel ebenfalls kurz behandelt. Da auf der Beschreibung der chemischen Vorgänge im Körper der Nachdruck liegt, ist dies Buch als eine Einführung in die chemische Physiologie und nicht in die physiologische Chemie bezeichnet worden. Dementsprechend erfahren die Wirkstoffe des Körpers, die Vitamine, Hormone und Fermente sowie ihre Funktion eine eingehende Behandlung. Die Darstellung wird abgeschlossen durch Kapitel über den intermediären Stoffwechsel der hauptsächlichsten Körperbausteine sowie des Stoffwechsels einiger Organe, soweit darüber z. Zt. hinreichende Klarheit besteht. Dagegen fehlt der Gesamtstoffwechsel, der in den Lehrbüchern der Physiologie ausführlich besprochen wird. Dem Charakter einer Einführung entsprechend ist nirgends auf lückenlose Vollständigkeit Wert gelegt worden, sondern das Hauptaugenmerk auf die Herausarbeitung der physiologischen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Bausteinen des Körpers und ihres Stoffwechsels gelegt. Die Auffassung der chemischen Physiologie als einer physiologischen Wissenschaft rechtfertigt es, daß in manchen Kapiteln Überschneidungen mit den entsprechenden Abschnitten physiologischer Lehrbücher bestehen, doch bringt es die Verschiedenheit der Ausgangspunkte mit sich, daß die Darstellung der gleichen Vorgänge und Tatbestände von verschiedenen Gesichtspunkten erfolgt.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

*Vor kurzem erschien:*

# Die Funktionsprüfung des Auges

## unter besonderer Berücksichtigung der Störungen des Farbensehens

Ein Leitfaden für Sanitätsoffiziere, Schiffs- und Bahnärzte, Amtsärzte, Studierende und als Vorbereitung für die augenärztliche Ausbildung

von

Professor Dr. **Oloff**  
Marine-Generalarzt a. D. in Kiel

und

Dr. **Podestà**  
Marine-Generalarzt a. D. in Torgau

Zugleich zweite, stark erweiterte Auflage von  
Stargardt-Oloff: Diagnostik der Farbensehstörungen

VI, 199 Seiten. 1937. RM 7.50

### Inhaltsübersicht:

Allgemeines. — Das Auge als optisches System. — Die Prüfung des zentralen Sehvermögens. — Die Akkommodationsprüfung. — Die Anomalien des Brechzustandes. — Die objektive Kontrolle des Brechzustandes. — Der Farbenseh: Allgemeines. Zweck und Bedeutung der Farbensehuntersuchung. Die Diagnose der Farbensehstörungen. Allgemeines. Die Schwellenwertprüfung. — Anhang I: Die für die verschiedenen Berufe vorgeschriebenen Anforderungen an die Augenbeschaffenheit. (Wehrmacht. [Reichswehr. Kriegsmarine. Flugwaffe.] Handelsmarine. Reichsbahn. Reichspost. Staatspolizei. Staatlicher Forstdienst. Privateisenbahnen. Kleinbahn- und Straßenbahnverkehr. Kraftfahrzeugverkehr, Ziviler Luftverkehr. Andere Berufe.) — Anhang II: Gang der Anomaloskop-Untersuchung. — Namen- und Sachverzeichnis.

Die Veranlassung zu einer Neuauflage ergab sich aus den vielseitigen, im Laufe des Krieges und in der Nachkriegszeit neu gewonnenen Kenntnissen und Erfahrungen, die ihrerseits wieder durch die inzwischen erfolgte gewaltige Zunahme des Verkehrs wesens zu Lande, zu Wasser und in der Luft und durch die Notwendigkeit der Abwehr der hieraus der Allgemeinheit drohenden Gefahren bedingt wurden. Wenn auch die Prüfung des Farbensehens, d. h. die Erkennung, Feststellung und Abgrenzung seiner Störungen, nach wie vor den Hauptgegenstand des Leitfadens bildet, so hatte es sich doch als zweckmäßig herausgestellt, die damit im engen Zusammenhang stehende Methodik der Untersuchung und Beurteilung des Gesichtssinnes in seiner Gesamtfunktion mit zu berücksichtigen, um dem nichtfachärztlich vorgebildeten Allgemeinpraktiker ein gewisses Mindestmaß von grundlegenden Kenntnissen auch hinsichtlich der Prüfung des Sehvermögens, des Lichtsinnes und der Augenmuskelfunktion usw. zu vermitteln. So stellt der vorliegende Leitfaden es sich zur Hauptaufgabe, den untersuchenden Arzt mit denjenigen Methoden der Funktionsprüfung bekannt zu machen, die nach dem heutigen Stande der Wissenschaft sich als die geeignetsten erwiesen haben, um ihm auf Grund seines Untersuchungsergebnisses ein möglichst sicheres und zuverlässiges Urteil über die Leistungsfähigkeit des für die Verkehrssicherheit besonders wichtigen Sehorgans zu ermöglichen. Dabei wurde ein Hauptaugenmerk darauf gelegt, nur die unentbehrlichen, allgemein als zuverlässig anerkannten und leicht zu handhabenden Untersuchungsmethoden zu berücksichtigen.

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN

## Lebenslauf.

Am 7. September 1909 zu Sankt Christoph als erstes Kind meiner Eltern geboren, wurde ich bis zum 11. Lebensjahr im Elternhaus erzogen und besuchte die Volksschulen, an denen mein Vater zu gleicher Zeit Schulleiter war. Vom Herbst 1920 bis zum Frühjahr 1929 an der Oberrealschule zu Rosenheim, verbrachte ich die ersten 6 Jahre im dortigen Schülerheim, die letzten 3 Jahre wieder bei den Eltern. Anschließend an die im Frühjahr 1929 abgelegte Reifeprüfung studierte ich in den folgenden 11 Semestern an der Universität zu München, ohne Unterbrechung in die medizinische Fakultät eingetragen.

Meine ärztliche Staatsprüfung beendete ich Ende Oktober 1934 und trat am 31. Oktober in die Wehrmacht ein. Nach einem Jahr Frontdienst, erst bei J. R. 19, dann in der Luftwaffe, wurde ich am 1. Oktober 1935 als Unterarzt übernommen, unter gleichzeitiger Versetzung zur Militärärztlichen Akademie Berlin, um dort das praktische Jahr abzulegen. Einen Teil desselben war ich am Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitut des R. L. M. zu Berlin und habe dabei die im Nachfolgenden vorgelegte Arbeit von Stabsarzt Prof. Dr. O. F. Ranke erhalten.

Mit Wirkung vom 1. Oktober 1936 erfolgte meine Beförderung zum Ass.-Arzt und Übernahme in das San. Offz.-Korps der Luftwaffe.