

Der Mensch im Medium Wasser

Ein Beitrag zur Problematik der Rettungsweste

Von

JOST BERNHARDT, Hamburg

Sonderdruck aus der Fachzeitschrift „Schiff und Hafen“

Jahrgang 11 · Heft 3 · März 1959

Druck und Verlag: C. D. C. Heydorns Buchdruckerei, Uetersen bei Hamburg

Der Mensch im Medium Wasser

Ein Beitrag zur Problematik der Schwimmweste

Von Jost Bernhardt, Hamburg.

Ein Thema wie das vorstehende liegt zwar in der Randzone unseres eigentlichen Stoffbereichs, aber dafür, daß es in unserer Zeitschrift herausgestellt wird, liegen zwei gewichtige Gründe vor:

- 1) Es handelt sich hier um grundlegende Sicherheitsfragen menschlichen Lebens in Seenot;*
- 2) Es ist ein Musterbeispiel für das Ergebnis eines sinnvollen Zusammenwirkens zwischen Arzt, Ingenieur und fortschrittlichem, verantwortungsbewußtem Unternehmer. Eine Idee ist hier über Forschung und Versuch zu einer Erkenntnis gereift, die erstmalig die wissenschaftlichen technischen Grundlagen für Schwimmrettungsmittel (Westen oder Gürtel) liefert. Erstmals ist auch die sinngemäße Anwendung der im Schiffbau geläufigen Begriffe „Schwimmfähigkeit“ und „Schwimmelage“ auf den menschlichen Körper bzw. seine einzelnen Teile, wobei die stabile Schwimmelage in diesem Falle eine besondere Bedeutung hat.*

Diese langwierigen und kostspieligen Forschungs- und Versuchsarbeiten sind bisher ohne behördliche Mitarbeit oder Unterstützung durchgeführt worden. Es erscheint nunmehr angebracht, daß die zuständigen Stellen, denen die Verantwortung für das Rettungswesen unserer Seeleute und Fahrgäste obliegt, sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ernsthaft auseinandersetzen und sachlich prüfen, ob die gewonnenen Erkenntnisse gegebenenfalls zu einer Änderung der bisherigen Rettungsmittel und einer Neufassung der vorhandenen Vorschriften führen müssen. Uns erscheint ein baldiges Aufgreifen dieses Themas mit Rücksicht auf die 1960 stattfindende Internationale Konferenz zum Schutze des menschlichen Lebens auf See (Internationaler Schiffssicherheitsvertrag) zweckmäßig.

Die Erkenntnis liegt vor; es ist zu hoffen, daß sie sich nützlich auswirken möge.

Die Schriftleitung.

Zum Schutze des menschlichen Lebens auf See werden vielseitige Sicherheitseinrichtungen geschaffen. Bei bestimmten Situationen im Seenotfalle kommt der Schwimmweste eine besondere lebenserhaltende Bedeutung zu. Oftmals bietet ein derartiges, unmittelbar zum einzelnen Menschen gehörendes Wasserrettungsgerät die einzige Möglichkeit, nach dem Untergang eines Schiffes die nachfolgende Phase schwimmend und lebend zu überstehen. Die Auftriebskräfte eines Schwimmkörpers müssen den Körper des im Wasser Treibenden tragen, und zwar unabhängig davon, ob er des Schwimmens kundig ist oder nicht, ob er bei Bewußtsein ist oder erschöpft bzw. ohnmächtig.

Können überhaupt "Schwimmwesten" und "Rettungsgürtel" diese Forderung unter allen Umständen erfüllen? Mit nachfolgenden Ausführungen soll versucht werden, die schwimmphysikalischen Eigenschaften des menschlichen Körpers im Wasser zu erfassen. Hierzu sind historische Untersuchungen bekannt, im Zusammenhang mit dieser Ausarbeitung werden sie jedoch nur gestreift. Die geschichtliche Darstellung der Entwicklung der Schwimmhilfsmittel soll einem späteren Artikel vorbehalten bleiben.

Zur Lebenserhaltung ist der Mensch im Medium Wasser an die Sauerstoffaufnahme aus der Luft gebunden. Er befindet sich somit in einer Grenzsituation zwischen Luft und Wasser, weil seine Atmungsöffnungen in Medium Luft verbleiben müssen.

Ein Wasserrettungsmittel muß daher unter allen Umständen die Atmungsöffnungen (von kurzzeitigen Überspülungen durch Wellen abgesehen) freihalten, und zwar unabhängig von evtl. durch Schwimmbewegungen zusätzlich erzeugtem dynamischem Auftrieb. Zur Prüfung dieser Bedingungen sind nun verschiedene Überlegungen und Untersuchungen notwendig.

Über die spezifischen Eigenschaften des Menschen im Wasser berichtet der Abt P a o l i M o c c i a in einer umfangreichen Schrift "System der Schwimmkunst" aus dem Jahre 1794. Zahlreiche Versuche und Beobachtungen werden geschildert. Moccia selbst wurde zu diesem Thema angeregt, da er im Wasser, oftmals vor zahlreichem Publikum, regelrecht gehen konnte, was allerdings nicht verwunderlich erscheint, da er als äußerst korpulent bezeichnet wird.

B o r e l l i und A l t i e r i, so wird von Moccia berichtet, stellen durch umfangreiche Messungen - unabhängig voneinander - an zahlreichen Versuchspersonen, die sie in Überlaufgefäße eintauchen ließen, fest, daß die Menschen spezifisch unterschiedlich und meistens leichter seien als Wasser. Wenn trotzdem so viele ertrinken würden, so folgerte man, läge es an ungeschickten Handlungen und Bewegungen und an der Unkenntnis darüber, daß das Wasser den Körper zu tragen vermag.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts berichtet Oronzio de B e r n h a r d i ebenfalls über „die Kunst, das Schwimmen zu erlernen“, und zwar ohne Hilfsmittel wie Kork, Blasen, Binsen, Flaschen. Wichtig sei erst einmal, dem Menschen das Gefühl zu vermitteln, daß das Wasser den Körper trägt und daß seine Glieder im Wasser viel leichter sind als in der Luft. Dem damaligen kritischen Betrachter war nur schwerlich die Möglichkeit gegeben, diese Darstellungen durch einen praktischen Versuch zu überprüfen, weshalb man diese Thesen zu Unrecht stark angezweifelt hat.

Wir wissen heute aus eigener Erfahrung vom Baden, daß ein normaler Mensch bei etwa halbgefüllter Lunge die Gesichtspartie, im Wasser schwebend, gerade über die Wasseroberfläche zu halten vermag (Abb. 1), und zwar ohne zusätzliche Schwimmbewegungen.

Wenn er ausatmet, sinkt der Körper ab.

Ein spezifisch besonders leichter, d. h. ein dicker Mensch, vermag in dieser Lage aus- und einzusatmen, ohne mit der Gesichtspartie unter die Wasseroberfläche zu tauchen.

Ein spezifisch schwerer Mensch vermag im allgemeinen, voll eingatmet, gerade noch eine schwebende Lage einzunehmen.

Neben diesen körperbaubedingten spezifischen Eigenschaften hat auch noch die unterschiedliche Atmungskapazität Einfluß auf den statischen Auftrieb.

Der Schwankungsbereich in anatomisch-physiologischer Hinsicht sowie zwischen dem Residualzustand der Lunge (voll ausgeatmet) und ihrer Vital-Kapazität (voll eingatmet) ist im Mittel mit 3 dm^3 (1) anzunehmen, was im Wasser einen Auftrieb von 3 kg bedeutet.

Bei der weiteren Betrachtung möge jedoch dieser Schwankungsbereich sowie die Fragen, ob Süß- oder Salzwasser, ob mit oder ohne Bekleidung, außer acht bleiben, um erst einmal die grundsätzlichen hydrostatischen Verhältnisse zu behandeln.

Man kann von einer Person mit normalem Körperbau und normalen spezifischen Bedingungen ausgehen, die in einer konstruierten Wasserlage (Abb. 2) schwebt.

Das Gewicht des Gesamtkörpers ist gleich dem Auftrieb, d. h.

$$P = A$$

$$P_{\text{Körper}} + P_{\text{Kopf}} = \gamma \cdot (V_{\text{Körper}} + V_{\text{Kopf}}) + A_f$$

Wie eingangs erwähnt, müssen zur Lebenserhaltung jedoch der Kopf und damit die Öffnungen der Atmungsorgane, Mund und Nase, ganz aus dem Wasser herausragen, und zwar so weit, daß sie nicht schon von kleinsten Wellen ständig überspült werden (Abb. 3).

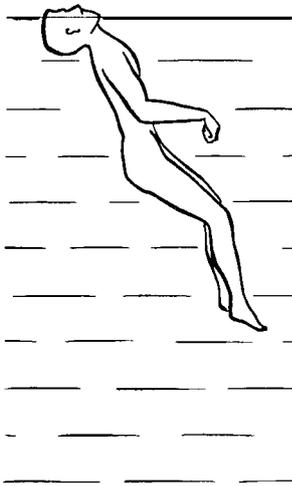


Abb. 1

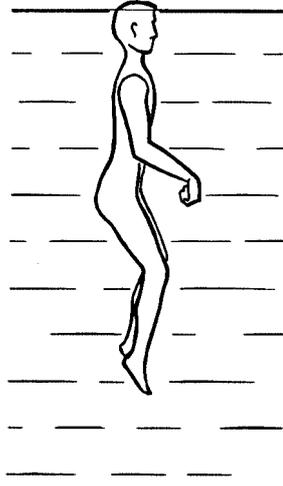


Abb. 2

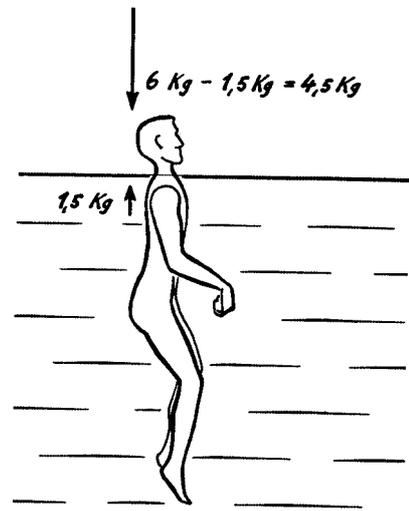


Abb. 3

Bei einem Kopfgewicht von ca. 6 kg und einem Kopfvolumen von ca. 4,5 dm³ (1) muß also der ganz getauchte Körper zusätzlich einen Auftrieb von ca. 1,5 kg haben, um trotz des spezifisch schwereren Kopfes gemäß Abb. 2 frei zu schweben.

Dieser zusätzliche Auftrieb von $A_{\text{frei}} = 1,5 \text{ kg}$ reduziert effektiv das Kopfgewicht von 6 kg auf 4,5 kg.

Es ist also eine Kraft von 4,5 kg notwendig, um den Körper in dieser Lage wie Abb. 3 zu halten.

Die Gleichung lautet hierfür:

$$P_{\text{Körper}} + P_{\text{Kopf}} = \gamma \cdot (V_{\text{Körper}} + V_{\text{Kopf}}) + A_{\text{frei}} + A_{\text{erforderlich}}$$

Hierin wird $V_{\text{Kopf}} = 0$ (ragt aus dem Wasser heraus).

$$A_{\text{frei}} = A_f = P_{\text{Kopf}} - \gamma \cdot V_{\text{Kopf}} \text{ für die Lage in Abb. 2}$$

$A_{\text{erforderlich}}$, im vorliegenden Falle 4,5 kg, muß durch Auftriebskräfte eines Schwimmkörpers mindestens geleistet werden, um den Kopf aus dem Wasser herauszuhalten. Beim schwimmenden Menschen wird der hierfür notwendige Auftrieb, um den Körper im hydrostatischen Gleichgewicht zu halten, durch Schwimmbewegungen, d. h. dynamisch, erzeugt.

Die bisherige konstruierte Zwangslage des Körpers im Wasser ist instabil. Beim entspannten Körper (bei Schwäche bzw. Ohnmacht) sinkt der Kopf infolge der S-förmigen Rückgratkrümmung mit nach vorn gerichteter Biegung der Halswirbelsäule auf die Brust (Abb. 4). Der Gewichtsvektor P_{Kopf} wandert also über die Mittellachse des stehenden Körpers hinaus. Es entsteht ein vornüberdrehendes Moment.

$$M_b = P_{\text{Kopf}} \cdot b$$

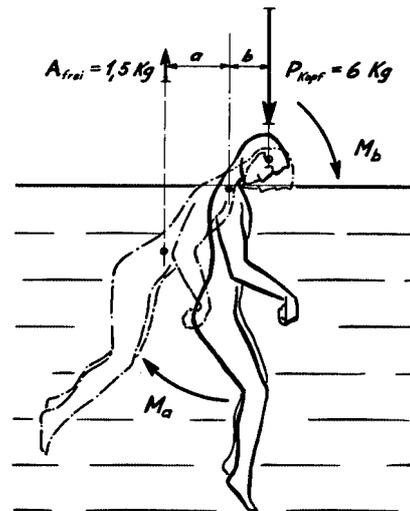


Abb. 4

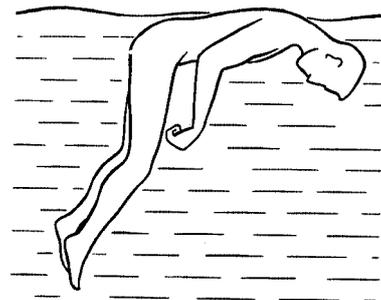


Abb. 5

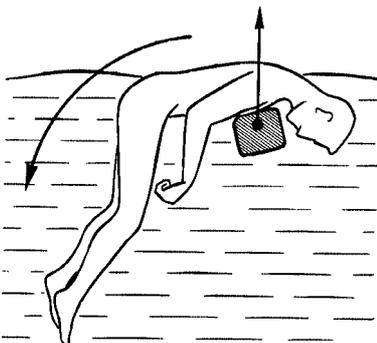


Abb. 6

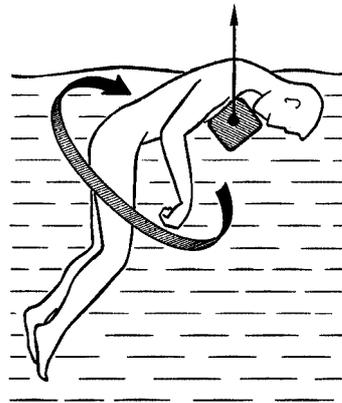


Abb. 7

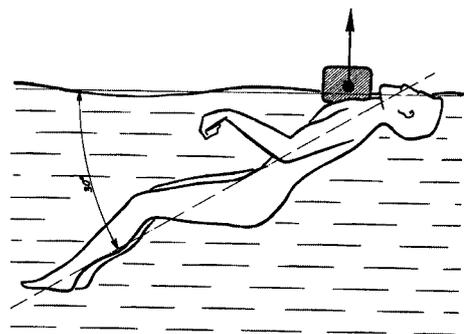


Abb. 8

Dieses Moment bewirkt, daß der Vektor des freigewordenen Auftriebes A_{frei} über die andere Seite der unter Einwirkung von M_b sich neigenden Mittelachse hinauswandert. Hier entsteht ein aufdrehendes Moment

$$M_a = A_{\text{frei}} \cdot a$$

Beide gleichsinnig drehenden Momente M_b und M_a drehen nun den Körper in eine Bauchlage (Abb. 5).

Dieselbe Wirkung tritt auch beim ganz getauchten Körper gemäß Abb. 2 auf.

Bei gefüllter Lunge ragt die Rückenpartie etwas aus dem Wasser heraus, und der Körper befindet sich jetzt im hydrostatischen Gleichgewicht.

Auch der Ertrunkene nimmt diese typische Wasserlage ein, wobei jedoch das Gesäß infolge Ausfalls des Lungenauftriebs in den höchsten Punkt rückt. Schleifspuren an der Stirn, den Handrückenflächen, den Knien, den Zehen beweisen bei Ertrunkenen mit Bodenberührung diese typische Lage.

Ein Rettungsschwimmkörper muß außer seiner eigentlichen Auftriebswirkung auch noch dieser vornüberneigenden Tendenz des menschlichen Körpers im Wasser entgegenwirken.

Ein oberhalb der Brustpartie angebrachter Auftriebskörper hebt den Oberkörper an, der Unterkörper sinkt etwas ab (Abb. 6).

Der Auftriebskörper dreht, in dem Bestreben, bis zum Auftriebsgleichgewicht aus dem Wasser herauszukommen (Abb. 7), den Körper in eine Rückenlage (Abb. 8).

Durch das Herausragen aus dem Wasser verliert der Auftriebskörper jedoch einen Teil seines Auftriebes, so daß der Kopf noch nicht weit genug aus dem Wasser herauskommt. Ein in der Nackenpartie angebrachter zweiter Auftriebskörper (Abb. 9) hebt den Kopf weit genug aus dem Wasser heraus, verhindert jedoch noch nicht das seitliche Abkippen des Kopfes. Auch eine seitliche Stütze des Kopfes wird daher notwendig (Abb. 10).

Brust- und Nackenauftrieb müssen in einem bestimmten Verhältnis verteilt werden. Ein zu großer Nackenauftrieb könnte z. B. den Kippunkt des Kopfes nach vorn, der bei etwa 80° liegt, begünstigen, so daß dann das Moment des Kopfes (Abb. 4) einen anatomisch richtig angebrachten Brust-Auftriebskörper, sofern er nicht genügend groß ist, niederdrückt und der Körper eine stabile Bauchlage einnimmt.

Durch den anatomisch-physiologischen Schwankungsbereich des Körperbaues, durch den im Salzwasser zusätzlich wirksam werdenden Auftrieb des Körpers, durch die Art der Bekleidung und des Tascheninhaltes darf die Rückenschräglage nur in einem Bereich von 30° bis 60° variieren. Innerhalb dieses Bereiches kippt der Kopf immer noch nach hinten, ohne jedoch soweit einzutauchen, daß Mund und Nase überspült werden.

Der oben ermittelte, normalerweise notwendige Auftrieb ($A_{\text{erforderlich}}$) von mindestens 4,5 kg reicht noch nicht aus, um unter Berücksichtigung des veränderlichen Atemvolumens und des aufgezeigten Schwankungsbereiches die Wasserlage gemäß Abb. 10 sicherzustellen. Stärkere Auftriebskräfte als 4,5 kg müssen daher in den Schwimmkörpern wirken.

Der für den schwersten Menschen innerhalb des vorerwähnten Schwankungsbereiches notwendige zusätzliche Auftriebsteil des Schwimmkörpers muß beim normalen Menschen in der Rücken-schräglage über Wasser liegen (Abb. 10, kariert).

Diese Auftriebsreserve muß auch eine durch Schwimm- und Wellenbewegungen gestörte Rückenschräglage jederzeit wiederherstellen. Der durch Schwimmbewegungen möglicherweise erzeugte zusätzliche Auftrieb kann wohl die Rückenschräglage verhindern. Im Erschöpfungszustand müssen die Auftriebskräfte die stabile Rückenschräglage jedoch immer wieder bewirken. Sie müssen den Körper wie ein „Stehaufmännchen“ tragen; der Formschwerpunkt muß automatisch immer wieder über den Gewichtschwerpunkt gebracht werden. Das Verbund-System Mensch-Rettungsschwimmkörper muß gewichtsstabil sein.

Bei den meisten Rettungsgürteln und Schwimmwesten traditioneller Bauart mußte der im Wasser Treibende ständig nicht unwesentliche Kräfte anwenden, um den Körper im Gleichgewicht zu halten. Es wurden an falscher Stelle des Körpers Auftriebskräfte wirksam, die durch ständige Schwimmbewegungen kompensiert werden mußten.

In Abb. 11 wird ein zirkulär angebrachter Rettungsgürtel bzw. Schwimmweste gezeigt, wie immer noch allgemein gebräuchlich.

Ein Westenkörper mit etwa 8 kg Auftrieb hebt einerseits die 4,5 kg des Kopfes heraus. Andererseits wird auch noch ein Teil der Schulter im Gewicht von ca. 3,5 kg aus dem Wasser herausgehoben. Das Gewicht der herausragenden Körperteile entspricht damit dem Auftrieb von ca. 8 kg.

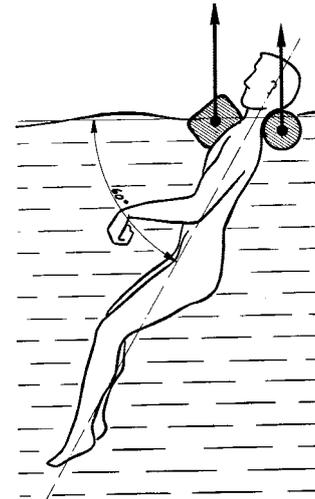


Abb. 9

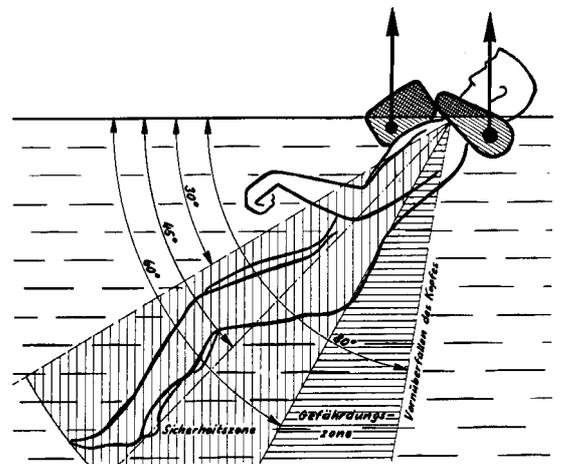


Abb. 10

Das vornüberdrehende Moment des Kopfes wird größer, das aufdrehende Moment des Körpers wird durch den Rettungsgürtel noch verstärkt.

Entsprechend Abb. 4 ergibt sich bei Ohnmachtsanfall oder Erschöpfungszustand unmittelbar eine stabile Bauchlage. Nur ständige rudernde Bewegungen können diese gefährliche Lage verhindern.

Anatomisch richtig angebrachte Auftriebskörper bedingen noch keine gewichtsstabile Rückenlage, sofern die Brust- oder Nackenteile nicht groß genug sind, um den Schwankungsbereich aufzufangen.

Da der Brustauftrieb zu klein ist (Abb. 12), kann die Rückenschräglage nicht sichergestellt werden. Der Körper kann in eine vertikale Lage von ca. 80° kommen. Wird der Körper nun durch

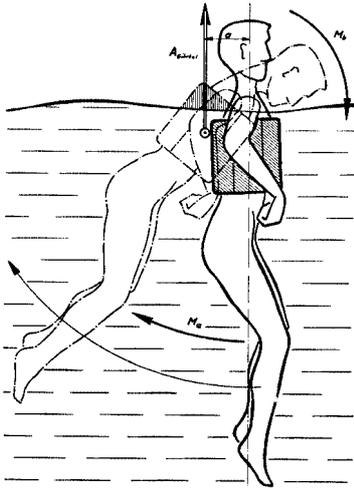


Abb. 11

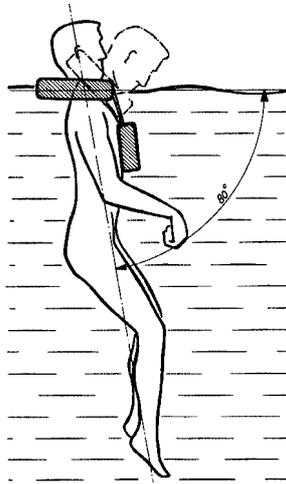


Abb. 12

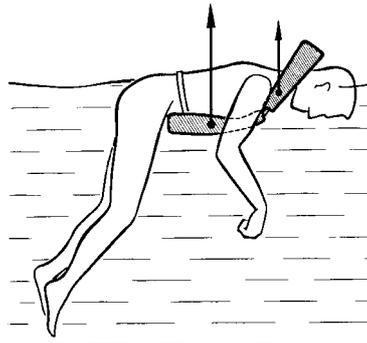


Abb. 13

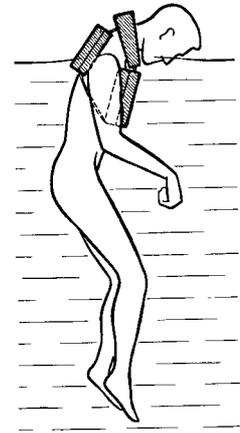


Abb. 14

Wellenbewegungen vornübergedrückt, so wird er nicht durch die Brustauftriebskräfte in die stabile Rückenschräglage zurückgebracht, da das rückdrehende Moment nicht groß genug ist. Ist der Brustauftrieb groß genug, liegt er aber zu tief (Abb. 13), so richtet er den Körper nicht auf, sondern wirkt stabilisierend, wenn durch Wellenbewegung oder Ohnmachtsanfall beim Brustschwimmen die Bauchlage gegeben war. Die freischwebenden Arme verhindern ein seitliches Drehen und tragen noch zur Stabilisierung dieser Bauchlage bei.

Jeder Rückenauftrieb oder zu starker Nackenauftrieb, sofern der Brustauftrieb nicht überdimensioniert ist, verhindert die anfangs geforderte Rückenschräglage und machen die gefährliche Kopf-vornüberlage in noch einem größeren Maße wie in Abb. 13 gezeigt, stabil (Abb. 14).

Zusammenfassend muß festgestellt werden:

Die notwendigen Auftriebskräfte eines Rettungs-Schwimmkörpers vereinigen sich mit dem Körperauftrieb zum Gesamtauftrieb und greifen im gemeinsamen Formschwerpunkt F an (Abb. 15).

Der Formschwerpunkt muß immer über dem Gewichtsschwerpunkt G liegen, dort verbleiben bzw. bei zwangsgestörter Lage wieder dorthin führen, damit die den hydrostatischen und biologisch notwendigen Verhältnissen entsprechende gewichtsstabile Rückenschräglage immer gewährleistet bleibt.

Erläuterungen der gebrauchten Bezeichnungen:

- P = Gewicht [kg]
- A = Auftrieb [kg]
- γ = spez. Gewicht des Wassers [kg/dm³]
- V = Volumen [dm³]
- M = Moment
- F = Formschwerpunkt
- G = Gewichtsschwerpunkt
- P_{Körper} = Gewicht des Körpers ohne Kopf
- V_{Körper} = Volumen des Körpers ohne Kopf
- A_f = Überschüssiger Körperauftrieb, wird beim Herausragen des Kopfes aus dem Wasser zu A_{frei}

Literatur-Hinweise:

- [1] K r ü n i t z "Encyklopädie des allgemeinen Systems (1829, Band 151)
- [2] Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, Thieme-Verlag, Stuttgart, 1950.
- [3] J. B e r n h a r d t "Problematik der Schwimmweste", "Kommandobrücke", Juli 1958.

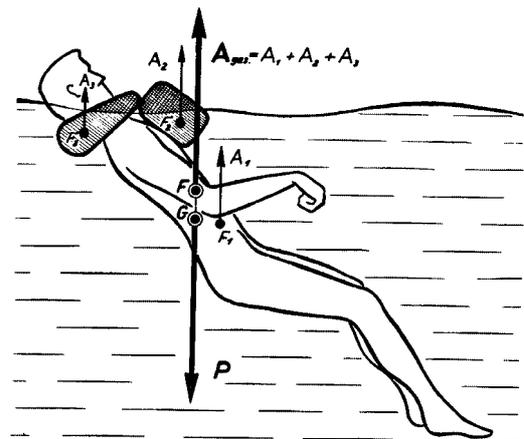


Abb. 15

Der Bundesmarine, der Handelskammer Hamburg und den Hamburger Wasserwerken danke ich für die Gewährung von Möglichkeiten zu praktischen Erprobungen und Experimenten.

Außerdem danke ich Herrn Dr. med. habil. W. Dietrich und Herrn Dipl.-Ing. Herbert Franz für medizinische und technisch-physikalische Anregungen.