

Aus dem Institut für gerichtliche Medizin der Universität Göttingen
(Direktor: Prof. Dr. Dr. O. SCHMIDT).

Bemerkungen zur Arbeit von H. ROER:
Über das Blaukommen der Taucher.

[Diese Z. 39, 378 (1948/49).]

Von
O. SCHMIDT.

(*Eingegangen am 15. Mai 1949.*)

In der Vielseitigkeit der behandelten Probleme ist die ROERSche Arbeit „Über das Blaukommen der Taucher“ sehr anregend. Es gibt kaum eine Streitfrage, auf die in dieser Arbeit nicht eingegangen wird. Erstmalig werden die Gegebenheiten diskutiert, unter denen Druckdifferenzen auftreten können, und mit exakten Zahlenwerten belegt. Die Größen der Unterdrücke, die tödlich wirken können, werden hier zum ersten Male genannt. Es werden 2 tödlich endende Tauchunfälle mitgeteilt, von denen bisher nur wenige beschrieben worden sind. Den für die Deutung dieser Unfälle verantwortlichen Ursachen gibt ROER eine völlig neue Erklärung. Ausführlich werden Fragen der technischen Verbesserung der Schlauchgeräte zur Unfallverhütung besprochen. In tierexperimentellen Untersuchungen nimmt ROER zu einigen Streitfragen der Luftembolie Stellung. Seine Ergebnisse widersprechen vielfach den bisherigen Auffassungen. Die Ausführlichkeit und Breite, mit denen die Probleme der Drucksturzerscheinungen und Caissonkrankheit erörtert werden, und vieles andere geben der Arbeit ihr besonderes Gewicht. Wollte man ihre Fehler unwidersprochen gelten lassen, würde sie den interessanten und für die Unfallverhütung sehr bedeutungsvollen Fragen, die das Taucherproblem bietet, weniger dienen als nach einer erfolgten Richtigstellung. Ohne auf Details einzugehen, sei hier lediglich auf prinzipiell Fehlerhaftes und Irreführendes in den Berechnungen und experimentellen Untersuchungen hingewiesen.

Bei der Beurteilung der im Tauchgerät herrschenden Druckverhältnisse lässt ROER sich vielfach von falschen, der physikalischen Gesetzmäßigkeit widersprechenden Vorstellungen leiten. Die Mißdeutung der Gegebenheiten veranlaßt ihn zu einer irrtümlichen Auffassung und abwegigen Diskussion der Ursachen eines von ihm beobachteten Unfallereignisses und führt ihn zu Verbesserungsvorschlägen am Tauchgerät, deren Durchführung nicht nur unzweckmäßig, sondern, wie die Berechnung ergibt, unter Umständen sich sogar gefährlich auswirken kann.

1. ROER übersieht, daß der Druck von Gasen, die sich in einem geschlossenen Raum befinden, überall gleich ist. Der Luftdruck im Helm eines Tauchers unterscheidet sich nicht von dem im Schlauch und ist auch hier genau so groß wie im Windkessel. Auch alle Teile des Körpers, die in diesem Luftraum stecken, stehen unter dem gleichen Druck. Die Mißachtung dieses grundsätzlichen Verhaltens führt ROER zu der Vorstellung, daß „die dem Taucher zugeführte Luft auf dem Wege vom Druckkessel zum Taucheranzug normalerweise eine Druckminderung durchmache“ (S. 412). Gemeint ist offenbar — und das ergibt sich aus anderen Stellen der Arbeit — eine Zunahme des Druckes, anders wäre ein Abfließen der Luft aus dem Ablaßventil im Taucherhelm nicht zu erklären. Daß diese vermeintliche Druckzunahme im Schlauch hingegen — wie ROER glaubt — zu einer *Abkühlung* führen solle, widerspricht den physikalischen Gegebenheiten. Bei adiabatischer Druckzunahme eines abgeschlossenen Gasvolumens steigt die Temperatur des Gases, wie jeder beim Aufpumpen von Fahrrädern beobachten kann, an. ROER nimmt an, daß die Abkühlung der Luft zur „Bildung von Eiskristallen und Verstopfung des Schlauches“ führen könne. Er gibt einem der von ihm beschriebenen Sektionsfälle diese irrtümliche Deutung.

2. a) Die Vorstellung, daß der Luftdruck auf dem Wege zum Helm eine Änderung erfahre, veranlaßt ROER zu dem Vorschlag, als Unfallschutz die Einschaltung eines Windkessels als „Druckluftreservoir“ zwischen Pumpe und Taucheranzug für „unbedingt erforderlich zu halten“ (S. 416). Im Falle des Versagens des Antriebes soll dieser Kessel als „Druckreserve“ dienen. Man wird, wie groß man dieses Reservoir auch wählen wollte, nur feststellen können, daß sein Druck mit dem des Tauchers übereinstimmt. Von einer „druckspeichernden Wirkung des Windkessels“ (S. 413) kann nicht die Rede sein. Ohne erneute Zufuhr wird die Luft des Windkessels den Taucher auch dann nicht erreichen, wenn er sein Ablaßventil betätigt oder auf Tiefe geht. Die Konstruktion müßte ganz im Gegenteil darauf bedacht sein, den Fassungsraum der Geräte möglichst klein zu halten. Das Luftvolumen, auf normale Verhältnisse bezogen (Vo 760), das erforderlich ist, um einen durch Tiefersteigen entstandenen Druckunterschied auszugleichen, bestimmt die Gleichung:

$$Vo\ 760 = \frac{(p_1 - p_2) \cdot a}{760 \cdot (1 + \alpha t)},$$

t ist die Wasser- bzw. Lufttemperatur, $(p_1 - p_2)$ die Druckdifferenz in Millimeter Hg und a das Fassungsvolumen des Gerätes. Nach den Angaben von ROER faßt ein Tauchgerät etwa 31 Liter (Schlauch + Helm + Lungenraum) (S. 391). Um einen Druckabfall von 100 mm Hg auszugleichen, müßte der Taucher etwa 4 Liter Luft erhalten; wäre

der Fassungsraum durch die Anbringung eines Windkessels dagegen beispielsweise 4mal vergrößert, 16 Liter.

b) Ein Absturz von 0 auf 10 m ist für den Taucher gefährlicher als von 10 auf 20 m, dies gilt insbesondere dann, wenn der Fassungsraum des Gerätes durch die Anbringung eines Windkessels vergrößert ist. Beim Abstieg von 0 auf 10 m erhöht sich der Druck um das Doppelte. Die Luft wird auf die Hälfte des Volumens komprimiert. Bei einem Sturz von 10 auf 20 m steigt der absolute Druck von 2 auf 3 ata. Die Luft verengt ihr Volumen auf $\frac{2}{3}$. Bei 20 auf 30 m Wassersäule nimmt sie $\frac{3}{4}$ ihres ursprünglichen Volumens ein, und bei einer Tiefe von 30 auf 40 m verengt sie sich auf $\frac{4}{5}$ ihres anfänglichen Fassungsraumes. Ein Absturz in geringer Tauchtiefe verkleinert demnach das Luftpolumen mehr als ein Absteigen um die gleiche Wegstrecke in größerer Tiefe. Helm und Luftblase im Anzug sind ein Teil des gesamten Fassungsraumes. Ist dieses durch einen Windkessel vergrößert, wird der komprimierbare, luftgefüllte Anzugteil, der beim Tiefersteigen die einzige Reserveluft und das einzige „Druckreservoir“ darstellt, um so eher sein Fassungsvermögen einbüßen, je größer die Kapazität des Gesamtauftraumes ist. Aus diesen Überlegungen heraus ist die Einschaltung eines Windkessels nachteilig und gefährlich. Sie wirkt sich für die gefahrdrohende Zeit eines schnellen Auftiefegehens oder Absturzes auf die im Anzugteil befindliche Reserveluft ungünstig aus, stellt an das Pumpwerk erhöhte Anforderungen und hat demgegenüber keinerlei Vorteile aufzuweisen.

3. a) Bei der Berechnung des im Taucherhelm herrschenden Druckes und seiner Beziehungen zum Außendruck läßt sich ROER von der gleichen irrtümlichen Vorstellung leiten, daß der Gasdruck in den einzelnen Abschnitten des Helmes unterschiedlich sei. Die Mißdeutung dieser Verhältnisse führt ihn zu abwegigen Resultaten. Die „allgemeinen Vorstellungen“, die ROER von dem „Sog im Taucheranzug“ hat — diese Fragen behandelt Abschnitt 6 seiner Arbeit —, bedürfen weitgehender Richtigstellung. Falsch ist es, die Soghöhe auf Kopf und Hals, die im gleichen Luftraum stecken, bei den verschiedenen Tauchsituationen unterschiedlich nach ihrer Höhenlage zu berechnen (S. 391). Für die Lungen, die dem gleichen Druck ausgesetzt sind, findet ROER jeweils verschiedene Werte (S. 392). Ihr Druckunterschied zu dem übrigen Luftraum im Helm wird dagegen lediglich von Schwankungen beherrscht, die auch sonst für die Atmung gelten.

b) Für die gegenüber außen herrschenden Druckunterschiede nennt ROER stets einen einheitlichen konkreten Zahlenwert. Das ist nicht angängig. Ein durch Höhe der Wassersäule oder Hg auszudrückendes Verhältnis gilt für Innen- zu Außendruck nur für eine bestimmte äußere Höhenlage. ROER unterläßt es jedoch, den äußeren Körperabschnitt

oder die Körperhöhe anzugeben, für den der von ihm angegebene Wert gelten soll. Er verkennt, daß bei Vergleich des Helminnendruckes mit außen auf der einen Seite der Gleichung ein einheitlicher Druck herrscht, der für den Helm-Lungenraum gilt. Dieser läßt sich durch eine konkrete Zahl definieren. Auf der anderen Seite aber stehen Druckwerte, deren Grenzen durch die Körperhöhe gegeben sind. Der Druckunterschied gegenüber den tiefstehenden Füßen ist am größten. Die geringste Differenz liegt am unteren Rande der im Helm befindlichen Luft. Sie wird hier = 0, wenn Luft in den Anzugteil übertritt. Bei geöffnetem Ablaßventil entspricht dieser Wert dem Höhenunterschied zwischen unterem Helmrand und Ventil. In gebückter Haltung liegen die Grenzwerte in engerem Bereich, bei liegender Haltung sind sie entsprechend dem geringeren Höhenunterschied des Körpers noch mehr zusammengerückt, sie bleiben aber auch dann noch innerhalb der schon vorher gegebenen Größenordnung.

4. Daß bei negativem Innendruck Luft bei gebeugter Haltung in den weichen Anzugteil, wie ROER meint und schematisch zeichnet, überfließe, ist anzuzweifeln. Der höhere Wasserdruck wird die Innenluft an jeder sich vorwölbenden Stelle komprimieren und den Helm auf diese Weise auch dann noch ventilartig verschlossen halten, wenn er nicht mehr der oberste Körperabschnitt ist. Die Zustandsänderungen von Gasen unter Wasser führen zu recht sonderbaren Erscheinungen.

5. Falsch ist es, den beim Bücken herrschenden Innendruck „dem Wasserdruck des höchsten gelegenen Körperteils gleichzusetzen“ (S. 390). Er wird, wenn das Ablaßventil zuvor geöffnet war und Luftzufuhr unterblieb, nach wie vor durch die Höhenlage, die das Ventil in stehender Haltung einnahm, bestimmt. Diese Höhenlage ist für den Taucher die Wasseroberfläche. Der Minimalwert der Druckdifferenz gegenüber außen wächst beim Bücken um den Wert, den das Tieferrücken der Unterkante der Luftblase im Helm hierbei ausmacht. Dieses führt lediglich zu einer Zunahme des Druckes gegenüber der oberen Brustpartie. Die Werte dürften bei etwa 35 mm Hg liegen. Die Druckdifferenz gegenüber der Zwerchfellhöhe, die beim Bücken nicht wesentlich tiefertritt, bleibt unverändert. Das gleiche gilt für die tieferen Abschnitte des Körpers. Für diese Situation den Sog auf die Lungen mit 50 mm Hg, auf Kopf und Hals mit 37 mm Hg (S. 392) anzugeben, ist nicht möglich. Bei einer Wassertiefe von nur 1 m können beim Bücken Druckdifferenzen von 50 mm Hg, die ROER berechnet (S. 397), gegenüber der Ausgangsstellung nicht auftreten.

6. Ein 1,80 m großer Taucher, dessen Helmoberkante sich bei aufrechter Körperhaltung 1,36 m unter der Wasseroberfläche befindet, steht, wenn der Schlauch über Wasser abreißt oder undicht wird, so berechnet ROER, unter einem Unterdruck von 100 mm Hg (S. 397). Bei der

Berechnung der für diesen Fall geltenden Druckdifferenzen ist der Stand der „Oberkante des Helmes“ ohne Bedeutung. Der Helminnendruck ist dem Druck der Außenluft gleich, mit der er frei kommuniziert. An der Unterfläche der Helmluftblase ist der auf dem Körper lastende Außendruck am geringsten. An den Fußsohlen entspricht er einer Wassersäule von 3,16 m ($1,80 + 1,36$ m). Die Druckdifferenz von 100 mm Hg = 1,36 m Wassersäule, die ROER für diese Situation angibt, ist bereits gegeben, wenn ein Badender bis zur Brust im Wasser steht. Sie gilt für die höchsten Körperabschnitte des Tauchers dann, wenn die Unterkante seiner Helmluft 1,36 m von der Wasseroberfläche entfernt ist. Die Tauchtiefe ist entsprechend geringer als ROER sie angibt.

7. ROER bei seinen Überlegungen im Falle einer Schlauchverstopfung oder eines Stops der Luftzufuhr zu folgen, ist schwierig. Er findet, daß der Druck im Helminnenraum, wenn die Zufuhr 50 m vor dem Helm stoppt, um ein Drittel herabsinkt (S. 391). Es ist, sofern der Taucher sein Niveau nicht ändert, ein Grund zu einer Druckänderung überhaupt nicht gegeben.

8. Die von ROER gebrauchte Versuchsanordnung, die den Wasserdruk durch Luftdruck ersetzt, imitiert trotz ihrer experimentellen Vorzüge nicht die Gegebenheiten im Wasser. Unter Wasser liegt die Druckdifferenz stets innerhalb eines Wertes, der sich aus dem Niveauunterschied von Fußsohle zur Helmlblase ergibt. Er umfaßt bei aufrechter Körperhaltung den sehr beachtlichen Abstand von etwa 1,60 m = 120 mm Hg. Man kommt in Verlegenheit, wenn man einen in der ROERSchen Arbeit angegebenen Wert auf die für einen aufrecht stehenden Taucher geltenden Druckdifferenzen beziehen soll. Die Frage, ob bei der Angabe einer konkreten Druckdifferenz der minimale, der maximale oder irgendein mittlerer Wert Geltung haben soll, ist solange nicht zu entscheiden, bis man nicht einen besseren Einblick in das Krankheitsgeschehen gewonnen hat. Wirkt ein Unterdruck sich in erster Linie auf die Behinderung der Atmung aus, dann sind es vorzüglich die auf den Thorax, nach den Untersuchungen von STIGLER auf der Brustwarzenhöhe lastenden Drucke, die für den Todeseintritt beachtlich sind. Ist dagegen die Belastung des kleinen Kreislaufs für den Tod maßgebend, dann dürften Drucke, die auf umschriebene Körperabschnitte wirken, sich kaum nennen lassen.

9. Eine Druckdifferenz von 100 mm Hg bezeichnet ROER als die untere „unbedingt tödliche“ Grenze (S. 397, 420). Auf welchen äußeren Körperteil oder welche Körperhöhe sich dieser Druckunterschied beziehen soll, gibt ROER nicht an. An den Händen sah er bei diesem Unterdruck nach 5 min Gefäßzerreibungen und Blutaustritte auftreten. Ohne weitere Nachprüfung glaubt ROER die für den großen Kreislauf geltende Verträglichkeitsgrenze auch für die Lungengefäße annehmen

zu können, deren unterschiedliches anatomisches und physiologisches Verhalten gegenüber den Hautgefäßen hierbei nicht beachtet wird.

10. Nach den Angaben der Literatur wird man vermuten müssen, daß tödliche Unfälle bereits bei wesentlich niedrigerem Unterdruck eintreten. HALDANE veränderte unter Wasser die Höhenlage des am Taucherhelm montierten Ventils. Wenn der Luftabfluß nur 10 cm oberhalb des Helmes lag, erwies sich das Atmen bereits als fast unmöglich. Wurde das Ventil in die Höhe des Schädeldaches verlagert, so war das Atmen nur unter äußerster Anstrengung möglich, in Höhe des Ohres blieb es immer noch sehr anstrengend und unangenehm. STIGLER brachte Versuchspersonen auf hölzernen Gestellen in horizontaler Lage unter Wasser. Er berichtet, daß das Atmen von atmosphärischer Luft in einer Tiefe von mehr als 90 cm (= 66 mm Hg) nur wenige Sekunden ertragen wurde und einen äußerst peinvollen Zustand herbeiführte. Der Aufenthalt wurde viel kürzer ausgehalten als der Zustand völliger Atemlosigkeit an Land. In geringeren Tiefen — unter 1 m — war die Atmung oberflächlich. Die durchschnittliche Atemgröße blieb hinter dem Volumen des von den Atemwegen gebildeten schädlichen Raumes zurück. ROER unterschätzt ganz offensichtlich die Wirkung des Wasserdrukkes auf Kreislauf und Atmung, wenn er „die geringste Tiefe, in der das tödliche Blaukommen eines Tauchers stattfinden kann“, in aufrechter Haltung mit 3 m angibt und hierbei einen Sog im Helm-Lungenraum von 100 mm Hg in Rechnung stellt (S. 420).

11. Höchst gefährlich ist es, den Luftdruck von vornherein auf eine bestimmte Tauchtiefe einzustellen. Unterhalb der eingestellten Tiefe herabzusteigen, bedeutet für den Taucher nicht nur die Abschaltung von jeder neuen Luftpuffuhr, sie setzt ihn gleichzeitig auch unter Sogwirkung. Es liegt sehr nahe, den von ROER beschriebenen Fall Horst E. (S. 411) auf dieses Verhalten zurückzuführen. Der Druckkessel stand auf 0,5 atü, das entspricht 5 m Wassertiefe. Um von der Luftpuffuhr abgeschnitten zu werden, brauchte der Mann nur ein wenig unter diese Tiefe zu gelangen. Die Wassertiefe wird mit 5— $5\frac{1}{2}$ m angegeben. Nach 3 min sah man keine Luftblase mehr aufsteigen. In unverständlicher Weise führt ROER dieses Verhalten auf die bereits erwähnte Schlauchverstopfung durch Eiskristallbildung zurück. Man fand den Taucher vornübergebeugt, er hat unter negativem Helmdruck gestanden, das erklärt sein „Blaukommen“. Man kann darüber streiten, ob der Taucher aus Mangel an Frischluft erstickt oder infolge der Druckdifferenz gestorben ist. Beide Möglichkeiten sind gegeben.

12. Abgesehen von diesem Ereignis werden sich bei sonst intaktem Gerät Unfälle nur dann ergeben, wenn der Taucher zu schnell auf Tiefe geht oder abstürzt. Bei Tauchunfällen von einem Fallen oder Abstürzen zu sprechen, hat seine Berechtigung. Das „Blaukommen“ oder

„Morbus bzw. Exitus cerulescens“, wie ROER vorschlägt, trifft zweifellos ein sehr sinnfälliges Symptom, aber wesentlich für den Todeseintritt und das Krankheitsgeschehen, etwa wie der Tuberkele für die Tuberkulose, ist die umschriebene Gesichtsstauung nicht. Sie kann bei eingestelltem Druckventil, wie die Deutung des tödlichen Unfalles Horst E. (S. 411) es zuläßt, auch bei einem Fall, den man als Erstickung deuten kann, vorkommen.

13. Unterdrücke werden, solange ein im Helm eingebautes automatisches Überdruckventil, das etwa auf Brustwarzenhöhe einzustellen wäre, Luft abläßt, sich nicht ereignen können. Aus dem Fassungsraum des Gerätes läßt sich bei Kenntnis der Fallgeschwindigkeit eines Tauchers die Luftzufuhr berechnen, die in Zeiteinheit geliefert werden muß, um selbst bei einem schnellen Auftiefegehen oder Abstürzen Tauchunfälle zu vermeiden.

14. a) Bei Druckabfall werden die in der Körperflüssigkeit physikalisch gelösten Gase an allen Stellen des Körpers in Freiheit gesetzt. Sie entweichen im Gewebe in gleicher Weise wie in der Blutflüssigkeit. Die einzige Stelle des Körpers, an der die Körperflüssigkeit mit der Außenluft in austauschbare Wechselwirkung treten kann, sind die Alveolarwände der Lungen. Der Vorgang, der ehedem hier zur Luftaufnahme führte, verläuft beim Dekomprimieren reversibel. Die Berührungsfläche mit der Außenluft ist überaus groß. Sie wird mit 80 bis 90 m² angegeben. Die Entlüftung wird, solange das Herz für immer neuen Flüssigkeitszstrom sorgt, entsprechend vollständig bis zur Einstellung des durch den Außendruck gegebenen Gleichgewichts ablaufen. Durch das Freiwerden der Gase ändern sich die Druckverhältnisse in den Lungen nicht. Die Luft kann auch ohne aktive Beteiligung der Atmung ungehindert durch die Luftwege entweichen.

b) Im Plasma sind etwa 2 Teile Stickstoff gegenüber einem Teil Sauerstoff in Lösung gegangen. Durch den Sauerstoffverbrauch des Gewebes wird das Verhältnis der in Freiheit gesetzten Gase dem Mischungsverhältnis der Luft angeglichen. Bei einem Aufstieg aus 5 m Wassertiefe werden aus dem Gesamtplasma eines erwachsenen Menschen, wie ROER berechnet, etwa 17 cm³ Gase entbunden. Diese Menge ist gegenüber dem Gesamtvolumen der Lungen, das etwa 5 Liter faßt, ohne Bedeutung. Eine Änderung der Partialdrucke gegenüber der atmosphärischen Luft, die für die Gasentbindung bedeutungsvoll sein könnte, kommt nicht in Betracht, auch dann nicht, wenn das Mischungsverhältnis der freigewordenen Blutgase von dem der atmosphärischen Luft verschieden ist. Selbst wenn die Alveolarluft, was nicht realisierbar erscheint, aus reinem Stickstoff bestehen sollte, würde die Stickstoffentlüftung nur unwesentlich — um $\frac{1}{5}$ — herabgesetzt, die Sauerstoffabscheidung würde sich dagegen entsprechend erhöhen. Wesentlich für

die Entlüftung bleibt der Druckabfall. Ob die Lunge durch die Atmung aktiv ventiliert wird oder nicht, ist für den Vorgang der Gasentbindung gleichgültig.

c) ROER mißt der Atmung eine entscheidende Bedeutung bei. Er ist der Meinung, daß, solang die Atmung intakt ist, die im Blut gelösten Gase „abgeatmet“ werden. Sistiere die Atmung, sei ein Entweichen der Gase nicht möglich. Das, was im Schrifttum unter „Abatmung“ zu verstehen ist, hat mit Atemtätigkeit nichts zu tun. ROER befindet sich im Irrtum, wenn er glaubt, das Freiwerden der physikalisch gelösten Blutgase dadurch zu verhindern, daß er dem Tier, das sich in 5 m Wassertiefe befand, nach Druckentlastung, um die Atmung zu unterbinden, schnell die Kehle abschnürte (S. 404). Wenn er bei der Sektion dieses Tieres „in den Herzähnchen“ — wo, wird nicht angegeben — „eine Luftblase von 0,3—0,5 cm³ Gas“ vorfindet, so kann dieser Befund als ein wertvoller Beitrag für die relative Ungefährlichkeit von luftembolischen Beimengungen im Blut, an denen die Literatur an Beispielen reich ist, gelten. Über die Beziehungen der Atemtätigkeit zur Gasentlüftung, deren physikalische Gesetzmäßigkeit sich gut überblicken läßt, besagt die Versuchsanordnung nichts.

15. Die Gasmengen, die beim Auftauchen aus einer bestimmten Tauchtiefe freiwerden, lassen sich in gewisser Annäherung berechnen. Stellt man, was angängig erscheint, für den Flüssigkeitsgehalt des Körpers den Faktor 0,6 in Rechnung und wählt den für das Plasma geltenden Absorptionskoeffizienten für O₂ mit 0,023 und den für N₂ mit 0,011, dann beträgt bei einem Körpergewicht von 70 kg die bei einer Tauchtiefe von 10 m in Freiheit gesetzte Gasmenge 562,8 cm³. Sie liegt also etwa in der Größenordnung eines halben Liters. ROER geht ganz offensichtlich fehl, wenn er demgegenüber das tödlich wirkende Luftvolumen mit 50 cm³ angibt und Kurven darüber aufstellt, innerhalb welcher Zeit und Tauchtiefe eine „Gasblase“ dieser Größe vom zirkulierenden Blut entbunden und beim Versagen der Atmung den Tod herbeiführen wird. ROER begeht den Fehler, die injizierte Luftpoldosis den Verhältnissen der Caisson-Krankheit gleichzusetzen, bei der die Luft in Form feinster Emulsionen frei wird, die erfahrungsgemäß in Mengen, die einer Tauchtiefe von 10—13 m entsprechen, vom Körper auch bei schnellem Auftauchen vertragen werden. Die Ungefährlichkeit dieser Gasmengen ist an Tauchschen und zahlreichen Tauchversuchen gewonnen. Militärische und zivile Tauchanweisungen sehen bis zu 10 m Tauchtiefen — gleich, wie lange die Tauchzeit ist — verlängerte Ausschleusungszeiten nicht vor.

16. Daß die Luftembolie nur im rechten Herzen gefunden wird, dürfte weniger, wie ROER meint, auf Luftdurchlässigkeit der Capillargebiete beruhen, sondern seine einfache Erklärung darin finden, daß

das Blut, das dem linken Herzen zufließt, durch die Lungen entlüftet wurde; das rechte Herzblut ist dagegen unverändert lufthaltig.

17. Sind die Alveolen mit Blut oder Ödemflüssigkeit angefüllt, dann sind die Entlüftungsflächen der Alveolen verkleinert und der Gasaustausch behindert. Diese von WIETHOLD vertretene Auffassung ist so selbstverständlich, daß es keiner besonderen Beweise bedürft hätte, sie gelten zu lassen. Überraschenderweise kommt ROER zu dem für das Taucherwesen bedeutungsvollen Ergebnis, daß weder der Füllungszustand der Alveolen noch die Zeitdauer des Tauchens für die Gasentbindung von entscheidendem Einfluß sind (S. 407). Er setzt 2 Tiere, von denen sich das eine eine halbe Stunde, das andere nur wenige Minuten in einer Tauchtiefe von 5 m befunden hatten, 1 min und $\frac{1}{2}$ min unter eine Druckdifferenz von 367 mm Hg. Die subjektiven Erscheinungen des einen Tieres, obwohl es länger im Überdruck gehalten und um die doppelte Zeit druckgestürzt wurde, waren „nur um ein geringes stärker und keineswegs nachhaltig“. Sehr überzeugend ist das unterschiedliche Verhalten der Tiere, das ROER zu seinen Schlußfolgerungen berechtigt, sicherlich nicht. Bei diesen Versuchen unterschätzt ROER wiederum die Einwirkung von Druckdifferenzen auf Atmung und Kreislauf. Kaninchen werden bereits dyspnoisch, wenn der gesamte Thorax von Wasser bedeckt wird (STIGLER). Sie sterben bei 30 mm Hg. Die meisten gehen bereits zugrunde, wenn die Lungenluft 20 mm Hg weniger Druck aufweist als die Außenluft (FRUMINA, KATZ). Bei einem Überdruck des Wassers über den Thorax von 13 cm — das sind 9,5 mm Hg — steht die Atmung vollends still (STIGLER). Demgegenüber setzt ROER die Tiere unter eine Druckdifferenz von 5 m Wasser = 367 mm Hg. Fragestellungen, wie ROER sie behandelt, sind einer tierexperimentellen Untersuchung nur dann zugänglich, wenn die Versuche innerhalb der Verträglichkeitsgrenze angesetzt werden. Erst bei solcher Versuchsleitung sind die Tiere in der Lage, auf unterschiedlich gewählte Versuchsvorbereitungen anzusprechen und gegebenenfalls verschieden zu reagieren. Die von ROER erzielten Ergebnisse sind, zumal nur an 2 Tieren gewonnen, Zufallsbefunde. Beachtlich an ihnen ist lediglich die Feststellung, daß Kaninchen einen so gewaltigen, wenn auch nur sehr kurz-dauernden Drucksturz von 5 m Wassersäule überhaupt zu überleben vermögen. Für die Beantwortung der aufgeworfenen Frage der Einwirkung von Tauchzeit und Lungenödem auf die Vorgänge der Entlüftung sind die Versuche fehlgeleitet und wertlos.