

# Kreislaufbelastungen und -regulationen bei Ertrinkungsgefahr.

Von  
Dr. E. Margulies, Kolberg.

## *Einleitung.*

Während die Erfahrungen der Taucherei lehren, daß eine Atmungsunterbrechung mehrere Minuten lang gut vertragen wird, kann eine Kreislaufunterbrechung schlagartig zum Tode führen. Es liegt daher nahe, als Ursache der beim Baden mit freibleibenden Atmungsöffnungen häufig überraschend eintretenden Todesfälle *kreislaufhemmende Druckwirkungen des Wassers* verantwortlich zu machen. Nach der Definition des Ertrinkungstodes werden jedoch diese Todesfälle, obwohl es sich bei ihnen auch um einen durch Wasserwirkung bedingten Tod durch gewaltsame Erstickung handelt, nicht als Ertrinkungsfälle angesehen, weil bei ihnen nicht ein „Abschluß der Luftwege durch eine Flüssigkeit“ erfolgt.

Mit diesem Problem befaßte sich der 1930 in dieser Zeitschrift erschienene „Beitrag zur Klärung plötzlicher Todesfälle beim Baden“, in dem durch die Betonung des „Rumpfhöhlenbegriffs“ eine physikalische Grundlage zur Klärung des mechanischen Zusammenhangs zwischen Atmung und Kreislauf gelegt und der Nachweis einer Überschneidung des Ertrinkungstodes durch Atmungsunterbrechung und des Kreislauftodes durch Wasserdruck angestrebt wurde. Die dortigen Ausführungen sind 1933 von *Ĝmelin* in Nr 16 und 1937 von *Gravenhorst* in Nr 20 der „Hefte zur Unfallheilkunde“ in eingehenden Erörterungen über den „Tod im Wasser als Unfall“ bzw. „als versicherungsrechtliches Problem“ herangezogen worden. Sie sind jedoch inzwischen durch weitere Untersuchungen überholt, welche den Zusammenhang zwischen den die Atmung und den Blutkreislauf regulierenden Mechanismen klären und erkennen lassen, daß sich eine Scheidung zwischen einem Atmungs- und Kreislauftod im Wasser wegen ihrer gegenseitigen Überschneidungen und gleicher Obduktionsbefunde nicht durchführen läßt.

Gleichzeitig ergeben sich gerade aus dem Versagen des Kreislaufs beim plötzlichen Tod im Wasser Schlußfolgerungen, die zu neuen Erkenntnissen der Kreislaufregulationen bei besonders starken Kreislaufbelastungen führen. Denn zur Klärung des Kreislauftodes durch Wasserdruck als einer gewaltsamen Todesart müssen vorzugsweise solche Kreislaufregulationen geprüft werden, die trotz außergewöhnlicher Kreislaufbelastungen die Erhaltung des Lebens ermöglichen. Daß die Druckerzeugung des Herzens allein aber nicht ausreicht, um die beim Baden und Tauchen fast immer stattfindende Überwindung der durch den

gewaltig gesteigerten Außendruck ausgeübten Kreislaufbelastungen zu erklären, ergibt schon seine ausschließlich systolische Automatie. Und da hat offenbar *das Zwerchfell die Aufgabe, das Herz bei Steigerungen der Anforderungen an den Kreislauf zu entlasten.*

Zu ähnlichen Feststellungen gelangt auch *v. Diringshofen* bei seinen „Untersuchungen der Erträglichkeitsgrenzen für Zentrifugalkraft im Motorflug“. Er sagt: „Aufgabe der ‚Kreislaufforschung‘ wird es sein, zu untersuchen, durch welche Regulationen bei derartiger Belastung ein zur genügenden Sauerstoffversorgung der lebenswichtigen Zentren ausreichender Blutkreislauf trotzdem gewährleistet wird“. Auch er weist nachdrücklich auf die Bedeutung des Zwerchfells für die Zirkulation hin<sup>1</sup>. Daher wird die *Physiologie des Zwerchfells als eines Zirkulationsorgans, das in der Muskulatur der Körperhöhlenwandungen verankert ist*, in den Vordergrund der nachfolgenden Erörterungen gestellt.

#### *Der Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen.*

Trotzdem Lungenventilation und Blutkreislauf als gleichwertige Transportmechanismen der Austauschgase dem biologischen Gesamtvorgang des Gaswechsels dienen und einen auffallenden Parallelismus ihres Funktionsablaufs aufweisen, herrscht die Auffassung, daß ein gemeinsames Regulierungssystem der Kreislauf- und Atmungsregulierung bisher noch nicht aufgedeckt sei. Tatsächlich ist ein solches jedoch längst bekannt. Es ist der *Atmungsmechanismus*. Doch ist dieser noch nicht in allen seinen Einzelheiten als ein selbständiges Regulierungssystem auch des Kreislaufs erkannt, sondern wird allgemein nur als ein den Blutkreislauf fördernder Mechanismus gewertet. Das dürfte daran liegen, daß einerseits das Herz als einziger „Motor“ für die Blutbewegung, andererseits das Atemzentrum als zentrales Regelungsorgan ausschließlich der Lungenventilation angesehen wird. *Beides trifft jedoch nicht zu.*

Man darf wohl annehmen, daß der Herzhohlmuskel trotz seiner ausschließlich systolischen Automatie bei der *Frucht im Mutterleibe* die erforderliche Druckwirkung aufbringt, um den Fetalkreislauf in allen seinen Abschnitten, also auch über das Capillargebiet hinaus, selbständig zu beherrschen. Denn der gesamte Stoffwechsel der Frucht wird durch Diffusion vom mütterlichen Kreislauf geregelt; die Frucht ist aber von Flüssigkeit umgeben, so daß bei ihrem Bluttransport statische Hemmungen nicht in Frage kommen. Beim *Neugeborenen* muß jedoch sofort nach der Geburt zur Aufrechterhaltung des Gaswechsels der bis dahin brachliegende Lungenkreislauf mit großem Kraftaufwand wegsam gemacht werden; der Bluttransport wird aber in luftförmiger Umgebung durch statische Widerstände erschwert, die sich infolge der aufrechten Haltung des menschlichen wachsenden

Körpers sowie durch erhöhte körperliche Leistungen zunehmend steigern. *Den hierdurch bedingten Mehranforderungen an seine Druckerzeugung ist das Herz aber nicht gewachsen!*

Unter den Mechanismen, welche das Herz bei der Kreislaufregulierung entlasten und das venöse Blutangebot fördern, spielt die *Druckerzeugung des Zwerchfells* eine nicht ausreichend gewürdigte Rolle. Dieses der Forschung schwer zugängliche Muskelorgan darf als „Partner“ (*Sihle*<sup>2</sup>) des Herzhohlmuskels angesehen werden, zumal beide die Atmung und den Kreislauf beherrschenden Muskelorgane durch Verwachsung des Herzbeutels mit dem Centrum tendineum organisch miteinander verbunden sind. *Der mechanische Vorgang der Regulierung des Blutkreislaufs ist aber bei beiden Muskelorganen grundverschieden!*

Der Herzhohlmuskel ist in den Gefäßapparat eingeschaltet. Er wirkt durch seine rhythmisch-automatischen Kontraktionen ausschließlich als Druckpumpe und erzeugt so die Blutbewegung unmittelbar. Der Zwerchfellmuskel wirkt dagegen mittelbar auf die Blutbewegung ein, und zwar durch gleichzeitige Beeinflussung der Druckverhältnisse der drei zu einer Druck- und Saugpumpe zusammengesetzten Körperhöhlen, auf deren Inhalt sich die Druckwirkungen fortpflanzen!

Nach dem *Gesetz der Fortpflanzung des Drucks* muß eine abgeschlossene Flüssigkeit durch an verschiedenen Stellen ungleich starke Druckwirkungen in Bewegung geraten, weil durch Druckdifferenzen eine Verschiebung kleinster Flüssigkeitsteile von einer Stelle stärkeren zu einer Stelle schwächeren Drucks zustande kommt. Zur Erzeugung einer *Dauerbewegung* müssen solche ungleichen Druckwirkungen in angemessen kurzen Zeitabständen ununterbrochen wiederkehren, damit die Flüssigkeitsbewegung nicht infolge von Reibungswiderständen in einen Gleichgewichtszustand übergeht.

Nun ist der Innendruck der Körperhöhlen schon an sich verschieden: in der Bauchhöhle positiv, in der Herzbeutelhöhle negativ und in der Lungenhöhle um den jeweiligen Luftdruck etwas schwankend. Diese Druckunterschiede der Körperhöhlen werden durch die an die Lungenventilation gebundenen rhythmisch-automatischen Kontraktionen des Zwerchfells und seiner Synergisten, die zur Wandungsmuskulatur der Körperhöhlen gehören, je nach der Tiefe der Einatmungen vergrößert, der Ausatmungen verkleinert. Dadurch werden auf die in ihnen befindlichen Organe bzw. Abschnitte des Gefäßapparats (einschließlich der Blutspeicher) in kurzen Zeitabständen ununterbrochen ungleiche Druckwirkungen ausgeübt. Die Blutdrüsen Leber und Milz, das Herz und die Gefäße des Lungenkreislaufs haben aber wie auch sonst alle Blutgefäße mehr oder weniger nachgiebige, elastisch-dehnbare Wandungen, die sich physikalisch ähnlich wie Membranen verhalten. Infolgedessen müssen auch von außen her auf sie ausgeübte Druckwir-

kungen sich innerhalb des Blutes fortpflanzen und eine Dauerbewegung desselben hervorrufen.

*Der Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen* bildet demnach eine dreiteilige Druck- und Saugpumpe, die unter Leitung des Atemzentrums durch Vermittlung des zentral verankerten Zwerchfells gleichzeitig mit der Lungenventilation eine Dauerbewegung des Blutes verursacht und sie — vom Herzen vollkommen unabhängig — reguliert. Er stellt demnach ein gemeinsames Regulierungssystem der Kreislauf- und Atmungsregulierung dar, das innerhalb der Herzbeutelhöhle sogar das Herz erfaßt!

*Die entwicklungsmechanische Druckerzeugung des Zwerchfells.*

I. Unmittelbar nach der Trennung des Neugeborenen vom Mutterkörper muß zur ungestörten Beatmung der Gewebe der selbständige Gaswechsel einsetzen, dessen Vorbedingung ein Ausgleich der Luft- und der Blutzuführung zur Austauschfläche der Lungenbläschen ist. Die Einsaugung der Außenluft bedarf infolge der leichten Verschieblichkeit ihrer kleinsten Teile keines besonderen Kraftaufwandes. Die Rippenheber dürften durch Erweiterung des Brustkorbs in horizontaler Richtung eine für die Luft einsaugung vollkommen ausreichende Dehnung der Luftwege zustande bringen, zumal die beim Neugeborenen besonders schwere Leber einen vertikalen Gegenzug ausübt. Jedenfalls gelangt die Außenluft gleich beim ersten Atemzug unvermindert rein in die Lungenbläschen, um fast ganz wieder ausgestoßen zu werden.

Die Mitwirkung des überaus kräftigen Zwerchfellmuskels ist demnach für die Lungenventilation des Neugeborenen nicht erforderlich. Seine Druckerzeugung dient vielmehr der ebenso wichtigen *Durchblutung* der Lungen! Wird doch auch der durch eine Zwerchfellkontraktion in der Brusthöhle gewonnene Raum, wenn der Bauchdeckentonus nicht nachgibt, schlagartig durch Blut ausgefüllt, das durch die gleichzeitige Verkleinerung der Bauchhöhle in die Brusthöhle verschoben wird. Auch erfordert die Lungendurchblutung wegen der erheblich geringeren Verschieblichkeit und der statischen Widerstände kleinster Flüssigkeitsteile einen recht großen Kraftaufwand, der die Inanspruchnahme eines besonders kräftigen Muskels durchaus wahrscheinlich macht. Endlich ist die diastolische Herzentfaltung beim Neugeborenen ausschließlich auf Druckwirkungen von der Bauchhöhle her angewiesen, weil in der ersten Zeit nach der Geburt der negative Druck in der Brusthöhle noch nicht vorhanden ist, der das erschlaffte Herz später durch Saugwirkung ausdehnt. Daher muß sofort nach der Geburt ein positiver Bauchhöhlendruck wirksam sein, durch den Blut von innen her dem rechten Herzen zugeführt wird. Dieser kann durch Tonus- oder Kontraktionssteigerungen des Zwerchfells und der Bauchdeckenmuskeln zustande gebracht und aufrechterhalten werden.

Aber zur sofortigen Erweiterung und Durchströmung der Lungengefäße bedarf es unmittelbar nach der Geburt ganz besonders starker und sich über möglichst viele Herzkontraktionen erstreckender Bauchhöhlendrucksteigerungen, damit das der rechten Vorkammer zugeführte Blut während der Dauer der Kontraktionen nicht durch das eirunde Loch gleich in das linke Herz abfließen kann, sondern gezwungen wird, sich im muskelschwächeren rechten Herzen anzustauen und unter möglichst starkem Druck in die Lungengefäße einzudringen. Diesen Anforderungen entsprechen die Bauchhöhlendrucksteigerungen, die durch *das so charakteristische Schreien des Neugeborenen* zustande kommen! (Daher lehrt auch die Erfahrung, daß sofortiges lautes Schreien ein Zeichen der Lebensfähigkeit des Neugeborenen ist.) Die Pressungen beim Schreien des Kindes entsprechen einem unvollkommenen und abgeänderten Valsalva-Vorgang, — unvollkommen, insofern die Stimmritze nach erfolgter Inspiration nicht ganz geschlossen wird, wodurch der langgezogene Schreilaut zustande kommt, — und abgeändert, insofern nach Beendigung des Schreiens, also nach Ausstoßung der Atemluft, die Pressung oft noch auffallend lange fortgesetzt wird. Offenbar werden durch die lange Ausdehnung der Pressungen, an deren Zustandekommen neben den Bauchdeckenmuskeln hauptsächlich das Zwerchfell beteiligt ist, große Blutmengen mit äußerster Kraft aus der Bauch- in die Brusthöhle verschoben. Da sich die Pressungen über eine größere Anzahl von Herzkontraktionen erstrecken, kann das dem Herzen zugeführte Blut während der Dauer einer Kontraktion nicht aus der rechten Vorkammer durch das eirunde Loch in das linke Herz abfließen. Seine volle Druckwirkung muß vielmehr ausschließlich der Dehnung des muskelschwächeren rechten Herzens und dadurch der Erhöhung seiner Kontraktionskraft sowie letzten Endes der Erweiterung der Gefäße des Lungenkreislaufs zugute kommen.

II. In diesem Zusammenhang dürfte durch die entwicklungsmechanische Druckerzeugung des Zwerchfells auch die *Retraktionskraft der Lungen* zustande kommen. Denn durch die mit der Erweiterung der Lungengefäße verbundene Dehnung und Zerrung des Lungengewebes wird wahrscheinlich der Reiz zur Entwicklung des elastischen Bindegewebes ausgeübt, das sich „erst nach der Geburt rasch aus vorhandenen elastischen Fasern mehr und mehr ausbildet“ (*Tendeloo*)<sup>3</sup>. Während die Lungen aber durch ihre Retraktionskraft eine Tendenz zur Verkleinerung ihres Volumens erhalten, bekommt umgekehrt der noch nachgiebige Brustkorb infolge der durch die Blutverschiebungen immer wieder eintretenden Steigerungen seines Innendrucks eine Tendenz zur Vergrößerung seines Rauminhalts; denn durch das Wachsen der formungsfähigen Rippen in einer durch Torsion nach außen geneigten Richtung muß eine verhältnismäßig schnelle Vergrößerung des Brust-

korbumfangs zustande kommen. Durch die allmähliche Zunahme des räumlichen Mißverhältnisses zwischen dem Lungenvolumen und dem Brustkorbumfang entstehen nun im Brustraum unter fortgesetzter Mitwirkung des Zwerchfells als Zirkulationsorgans die von *Donders* zuerst beschriebenen elastischen Gewebsspannungen, die lebenslänglich eine Saugkraft erzeugen, die als „negativer Druck“ bezeichnet wird. Diese elastischen Gewebsspannungen werden auch vom Füllungszustand des Bauchraums beeinflusst, in welchem ein „positiver Druck“ zustande kommt.

Zur Klärung der gegenseitigen Abhängigkeit der verschiedenen Druckverhältnisse in den Körperhöhlen muß man von der ihnen übergeordneten gemeinsamen Körperhöhle ausgehen, die am besten als „*Rumpfhöhle*“ bezeichnet wird; unterscheidet man doch schon bei der Frucht an der Zölomhöhle ein Kopf- und ein Rumpfpzölom, und entsteht doch aus letzterem in innigem Zusammenhang mit der Entstehung des Zwerchfells die Herzbeutel-, die Lungen- und die Bauchhöhle. *Da das Fassungsvermögen der Rumpfhöhle begrenzt ist, kann die Ausdehnungsfähigkeit der Brusthöhle durch stärkeren Raum- oder Druckzuwachs in der Bauchhöhle beeinträchtigt werden!* — Diese Zusammenhänge müssen bei allen Erörterungen über physiologische und pathologische Druckverhältnisse innerhalb des Körpers weitgehendste Berücksichtigung finden.

Bei allen Druckänderungen innerhalb der Rumpfhöhle spielt nun das Zwerchfell infolge seiner zentralen Verankerung in den Körperhöhlenwandungen eine hervorragende Rolle, die durch *Pfuhs* Lehre der Mechanik der Zwerchfellbewegung noch an Bedeutung gewinnt. *Pfuhl*<sup>4a</sup> stellt das Zwerchfell als ein auf Pfeilerartigen Muskelbündeln ruhendes Sehnengewölbe dar, dessen Muskelpfeiler bei ihren Kontraktionen einen Stützpunkt in sich selbst finden, weil sie durch ihre gleichzeitig mit der Verkürzung eintretende Verdickung sich innerhalb der ringförmigen Umgebung des starr-elastischen Brustkorbs gegenseitig selbst einengen. Dadurch ist das Zwerchfell imstande, „durch die in ihm selbst liegenden Aktionsfähigkeiten“ unmittelbar als Rippenheber oder als Erweiterer des Brustkorbs zu wirken. Demnach beeinflusst das Zwerchfell die Raum- und Druckverhältnisse nicht nur der drei Körperhöhlen, an deren Wandungsmuskulatur es unmittelbar beteiligt ist, sondern auch der ihnen übergeordneten Rumpfhöhle, ohne ihrer Wandungsmuskulatur anzugehören!

III. Durch die entwicklungsmechanische Druckerzeugung des Zwerchfells kommt — als Folgewirkung der Retraktionskraft der Lungen einerseits, der Erweiterung des Brustkorbs andererseits — auch die *Residualluft* zustande. Die Lungenventilation bedarf, wie vorhin erörtert wurde, beim Neugeborenen der Mitwirkung des Zwerchfells als eines Atemmuskels nicht. Auch ohne seine Druckerzeugung kann die

Außenluft gleich bei der ersten Einatmung bis in die Lungenbläschen gelangen, um bei der Ausatmung wieder ausgestoßen zu werden. Damit jedoch an der ausgedehnten Austauschfläche jedem einzigen sich einzeln durch die Lichtung der Haargefäße hindurchzwängenden roten Blutkörperchen die Möglichkeit zur Sauerstoffbindung geboten wird, muß ununterbrochen in den Lungenbläschen sauerstoffhaltige Luft in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Es darf daher die eingeatmete Luft während der Ausatemungsphase nur zum Teil ausgestoßen werden! — Daher darf im Zustandekommen der Residualluft — trotz ihrer geringeren Reinheit — eine überaus wichtige Förderung der Gewebsatmung erblickt werden, zumal sie einen für den Gaswechsel ausreichenden Partiardruck aufweist!

Nun wird durch die inspiratorische Luftzuführung zu den Lungenbläschen als Ausgleich eine inspiratorische Steigerung der Blutzuführung zu den Alveolarcapillaren erforderlich. Die vermehrte Blutzuführung zum Lungenkreislauf setzt aber, wie vorhin ausgeführt wurde, eine gesteigerte Blutzuführung zum rechten Herzen durch die Druckerzeugung des Zwerchfells (und seiner Synergisten) voraus. Dieser Mehranforderung an Blutzuführung kann das Zwerchfell aber nur durch eine inspiratorische Tonus- oder Kontraktionssteigerung genügen! Daraus ergibt sich aber, daß sogar die inspiratorische Beteiligung des Zwerchfells an der Lungenventilation nicht eine respiratorische, sondern eine zirkulatorische Zweckbestimmung hat.

*Das Zwerchfell hat demnach in der Neugeburtzeit die Aufgabe, zur Entlastung des Herzens ausschließlich als ein Zirkulationsorgan zu wirken!*

#### *Das Zwerchfell als Zirkulationsorgan beim Erwachsenen.*

I. Das von den Körperhöhlenwandungen gebildete Rumpfhöhlenpumpwerk erhält seinen festen Halt und seine äußere Form durch das Knochengestüt des Rumpfes: Becken, Wirbelsäule und Brustkorb. Der letztere beeinflußt bei seiner inspiratorischen Erweiterung die Raum- und Druckverhältnisse der ihm anliegenden Lungenhöhle unmittelbar, dagegen diejenigen der Herzbeutelhöhle — außer im Bereich des Brustbeins — durch Vermittlung des elastisch-dehnbaren Lungengewebes, dessen „Dehnbarkeit um so kleiner wird, je mehr es schon ausgedehnt ist“ (*Tendeloo*)<sup>3</sup>. Infolgedessen muß sich bei zunehmender Vertiefung der Atemzüge, die mit körperlicher Leistungssteigerung einhergeht, der negative Druckzuwachs in der Herzbeutelhöhle schneller steigern als in der Lungenhöhle! Und darin ist ein wichtiger Anpassungsmechanismus an erhöhte körperliche Leistungen zu erblicken, weil die durch Steigerung des Gaswechsels bedingte Vermehrung der Blutzuführung zum Herzen einen weit größeren Kraftzuwachs erfordert als die erhöhte Luftzuführung zu den Atemwegen.

Durch die an den Atmungsmechanismus gebundenen rhythmisch-automatischen Kontraktionen des Zwerchfells und seiner Synergisten werden nun die in der Neugeburtzeit innerhalb der Rumpfhöhle entstandenen Druckunterschiede im Atmungsrythmus je nach der Tiefe der Einatmungen vergrößert, um bei den Ausatmungen entsprechend verkleinert zu werden. Dadurch werden *alle* in der Rumpfhöhle befindlichen Organe mit vegetativen Funktionen, soweit sie überhaupt auf Druckwirkungen ansprechen, vom gemeinsamen Regulierungssystem, dem Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen, gleichzeitig erfaßt. Doch interessieren hier nur die außerordentlich fein aufeinander abgestimmten Organe der Atmung und des Kreislaufs:

Bei *zunehmender Vertiefung der Atmung* wird in der *Einatmungsphase* in der *Bauchhöhle* durch sich steigernde Kompression der Blutspeicher, insbesondere der dem rechten Herzen vorgelagerten Leber, das zur Erhöhung des Minutenvolumens erforderliche venöse Blutangebot vermehrt; in der *Lungenhöhle* wird das vermehrte Blutvolumen durch verstärkte Gefäßweitung auf einer vergrößerten Austauschfläche mit einer größeren Menge stärker ventilierter Luft in Berührung gebracht; in der *Ausatmungsphase* begünstigt die zunehmende Retraktion des elastischen Lungengewebes den Blutabfluß, der sich infolge des expiratorischen Nachlassens des negativen Drucks in der Herzbeutelhöhle sonst vermindern würde, während beim Nachlassen des Bauchhöhlendruckes die wie ein Schwamm ausgepreßte Leber infolge der Elastizität ihres Gewebes sich wieder ausdehnen und erneut Blut in ihre weitverzweigten Capillaren aufnehmen kann.

Zu den Kreislauforganen, welche vom Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen erfaßt werden, gehört auch das *Herz!* Seine Unterbringung in der *Herzbeutelhöhle* mit ihrem stets niedrigsten Innendruck ist bei seiner ausschließlich systolischen Automatie sehr wichtig; *denn es kann im diastolisch erschlafften Zustand sowohl von außen her durch unmittelbare Saugwirkung auf seine nachgiebigen Wandungen, als auch von innen her durch Zuführung des aus den herznahen Venen angesaugten Blutes je nach der Tiefe der Atemzüge stärker oder weniger stark ausgedehnt und zu entsprechend stärkeren oder weniger starken Kontraktionen veranlaßt werden.* Daher ist der negative Druck als Dauerdruck und als inspiratorischer Druckzuwachs eine Kraftquelle von einer für den Blutkreislauf gleich großen Bedeutung wie für die Lungenventilation. Denn er dient gleichzeitig der Regulierung des Blutangebots und der Herzentfaltung — und infolgedessen der Anpassung des Kreislaufs an den Blutbedarf des Organismus. Von den drei Komponenten, welche den negativen Druck in der Brusthöhle zustande bringen, ist das Zwerchfell an seiner Regulierung allein aktiv beteiligt. Denn weder die Retraktionskraft der Lungen noch der elastische Widerstand des



Brustkorbs vermögen den negativen Druck selbständig abzuändern, sondern sie werden selber durch stärkere oder weniger starke Kontraktionen des Zwerchfells stärker oder weniger stark angespannt, um den negativen Druck zu regulieren. Danach besteht aber *eine funktionelle Abhängigkeit des Herzens vom Zwerchfell!* Diese kann sich gelegentlich verhängnisvoll auswirken, wenn die Druckerzeugung des Zwerchfells erschwert oder aufgehoben wird, und Ersatzmechanismen ausbleiben oder nicht ausreichen, um den negativen Druck in der Herzbeutelhöhle in erforderlicher Stärke aufrechtzuerhalten.

II. Vielumstritten ist die Frage, welcher Kraftquelle der Rückfluß des Blutes von den Capillargeflechten zum Herzen zuzuschreiben sein mag. Ist doch durch Blutdruckmessungen festgestellt, daß die durch die Herzkontraktionen dem Blutstrom verliehene Druckkraft sich unmittelbar vor und im Capillargebiet fast ganz verliert. Nimmt man aber an, daß die durch Reibungswiderstände verlorengegangene Druckkraft durch chemisch oder nervös bedingte Gefäßwandkonstriktionen ersetzt bzw. wieder gesteigert werden kann, so fehlt doch — trotz verschiedener Behelfsmechanismen — jede befriedigende Erklärung für das gesetzmäßige Zustandekommen der recht erheblichen Druck- oder Saugkraft, welche zur Überwindung der hämostatischen Widerstände im Körperkreislauf — und zwar besonders in den unterhalb des Herzens gelegenen Capillarsystemen des Bauches und der unteren Gliedmaßen — erforderlich ist, um besonders bei einer sich steigernden körperlichen Anstrengung — oder gar bei Mitwirkung der Fliehkraft im Motorflug — die zunehmenden Blutmengen von unten her der rechten Vorkammer zuzuführen. Müßte doch von der Gefäßwandmuskulatur venöser Abschnitte dieser Capillarsysteme eine wesentlich stärkere Druckwirkung erzeugt werden, als von derjenigen ihrer arteriellen Anteile. Das widerspricht jedoch den anatomischen Forschungsergebnissen *Pfuhs*, der aus der Wandstruktur und der Befestigung der herznahen Venen wohl starke Saugwirkungen nachweist, denen diese Gefäße ausgesetzt sind, keineswegs aber aktive Druckwirkungen der Gefäßwandungen<sup>4b</sup>.

Nun vergleicht *Rein*<sup>5</sup> die Wirkung der Abwärtsbewegung des Zwerchfells auf den Brustraum bei der Inspiration mit der Wirkung eines Spritzenstempels auf den Innenraum einer Spritze! Erweitert man diesen Vergleich sinngemäß auf den Mechanismus einer hydraulischen Presse, so gewährleistet das Größenverhältnis der mehr als 200 qcm betragenden wirksamen Saugfläche des Zwerchfells<sup>4b</sup> zum rund 9 qcm betragenden Querschnitt der unteren Hohlvene<sup>6</sup> schon bei einer inspiratorischen Zwerchfellsenkung um nur wenige Zentimeter einen für mehrere Herzfüllungen ausreichenden Blutnachschieb. Denn die Förderung einer Blutmenge von rund 1000 ccm, die einer Blutsäule von 9 qcm Querschnitt und 110 cm Höhe (d. i. der Entfernung von der Sohle bis zum Zwerch-

fell eines 170 cm großen Körpers) entspricht, erfordert eine Zwerchfell-senkung um durchschnittlich nur 5 cm, während die größte Distanz zwischen tiefster In- und Exspirationsstellung des Zwerchfells 9 cm beträgt<sup>7</sup>. — Nimmt man ferner an, daß dem rechten Herzen durch die obere Hohlvene, die einen kaum halb so großen Querschnitt als die untere hat, mit jeder Einatmung halb so viel Blut zufließt als durch die untere, so ergibt sich bei etwa 25 Atemzügen, die eine erhöhte körperliche Arbeit erfordert, ein Minutenvolumen von 35—40 l, was den bei Rekordleistungen ermittelten Werten tatsächlich entspricht. Danach ist *die Sicherstellung des erforderlichen Blutangebotes vorwiegend der Druckerzeugung des Zwerchfells zuzuschreiben!*

III. Ein ungestörter Zirkulationsverlauf setzt voraus, daß auf jede Herzkontraktion schlagartig eine entsprechend starke Herzentfaltung folgt; denn nur auf diese Weise kann zum Ausgleich des in die Herz- und Lungenschlagadern ausgestoßenen Schlagvolumens sofort eine gleich große Blutmenge aus den herznahen Venen in die Herzvor-kammern und -kammern aufgenommen werden! Nun muß eine Herzkontraktion an sich zwar zunächst eine Steigerung des negativen Drucks in der Herzbeutelhöhle bewirken, die bei starren Wandungen der letzteren eine Herzentfaltung zustande zu bringen geeignet wäre. Doch wird durch die Herzkontraktion infolge der Befestigung des Herzens an der Gefäß-wurzel das mit dem Herzbeutel verwachsene Zwerchfell nach oben ge-zerzt. Dadurch muß eine die Herzentfaltung erschwerende Verminderung des negativen Drucks in der Herzbeutelhöhle eintreten, wenn das Zwerch-fell nicht selber infolge der Dehnung seiner Muskelsubstanz sofort eine reaktive Kontraktion ausführt. Danach setzt ein ungestörter Zirku-lationsverlauf voraus, daß jede Herzkontraktion schlagartig eine Zwerch-fellkontraktion zur Folge hat!

Nun sind tatsächlich „pulsatorische Zwerchfellbewegungen“ be-kannt, die mit den Herzkontraktionen genau zusammenfallen. Sie sind erst durch das Röntgenverfahren zutage getreten und von ihren ersten Beobachtern (*Diellen* u. a.) nicht mit physiologischen Vorgängen, sondern mit krankhaften Zuständen in Verbindung gebracht worden. Vor allen Dingen sind sie aber bisher stets als *passive* Mitterschütterungen des Zwerchfells aufgefaßt worden. Nun hat *Hitzenberger*<sup>7</sup> sie „unter Anwendung gewisser Kautelen“ mehr oder weniger deutlich „beinahe bei jedem Menschen“ sowohl rechts als auch links sehen können, so daß sie als eine physiologische Erscheinung gewertet werden dürfen. Nur macht ihre Deutung Schwierigkeiten, weil sie an verschiedenen Stellen zum Teil entgegengesetzte Bewegungsrichtungen aufweisen: Mehr in der Mitte sind sie nach oben, dagegen je weiter seitwärts um so mehr nach unten gerichtet!

Wenn man sie nicht als *passive* Mitterschütterungen, sondern als

aktive Zwerchfellkontraktionen ansieht, die durch Herzkontraktionen infolge der Verwachsung zwischen Zwerchfell und Herzbeutel reflexartig entstehen, dann erklären sich die entgegengesetzten Bewegungsrichtungen aus der verschiedenen anatomischen Beschaffenheit der betroffenen Zwerchfellabschnitte: Bei den medial im Sehnengebiet des Zwerchfells beobachteten *Aufwärtsbewegungen* liegen Mitschwingungen der mit dem Herzbeutel verwachsenen Sehnenplatte vor, während die je weiter seitwärts desto deutlicher sichtbaren *Abwärtsbewegungen* ihrer Lage nach von Muskelkontraktionen des Zwerchfells herrühren! *Danach reagiert das Zwerchfell tatsächlich auf jede Herzkontraktion mit einer eigenen Kontraktion und fördert auch auf diese Weise die diastolischen Herzentfaltungen! Demnach fällt dem Zwerchfell als Zirkulationsorgan beim Erwachsenen die lebenswichtige Aufgabe zu, gleichzeitig das venöse Blutangebot und die diastolischen Herzentfaltungen zu regulieren*, lebenswichtig, weil schon beim Versagen nur eines dieser beiden Erfordernisse der *Tod durch Leerlauf oder durch Stillstand des Herzens* eintreten kann!

*Kreislaufregulationen bei der Preßatmung und beim Valsalvaversuch.*

Die funktionelle Abhängigkeit des Herzens vom Zwerchfell kommt besonders deutlich bei der Preßatmung zum Ausdruck, die *Petersen* (mit *Bürger*) für den Eintritt plötzlicher Todesfälle beim Baden — insbesondere bei asthenischen Personen — verantwortlich gemacht hat<sup>8</sup>. In seiner diesbezüglichen Arbeit bedient er sich, ungeachtet der gerichtsärztlichen Definition, des glücklich gewählten Ausdrucks: „plötzlicher Ertrinkungstod“, der geeignet scheint, einer beide Todesarten umfassenden Definition als Unterlage zu dienen. Die Preßatmung wird häufig mit dem klassischen Versuche *Valsalvas* verglichen, weil beide Vorgänge einen möglichst tiefen Inspirationszustand darstellen, der im Begriff, in stärkste Expiration überzugehen, zum Zwecke der Fixierung des Brustkorbs durch Stimmritzenverschluß möglichst lange aufrechterhalten wird. Ein grundlegender Unterschied zwischen beiden Vorgängen besteht jedoch darin, daß die Preßatmung der Erzielung größter Kraftleistungen dient und daher mit größten kurzdauernden Anstrengungen verbunden wird. Sie muß daher, trotzdem sie mit einem Atmungsstillstand verbunden ist, dennoch als höchste Atmungsleistung gewertet werden.

Die Steigerung der ruhigen Atmung über die angestrengte, d. h. vertiefte und beschleunigte, zur Preßatmung wird nun am besten dadurch veranschaulicht, daß man die Preßatmung als den Höhepunkt nicht nur der Vertiefung, sondern auch der Beschleunigung der Atmung auffaßt, deren Atemzüge so schnell aufeinanderfolgen, daß ihre Zwischenpause unendlich klein wird. — Aus dieser Auffassung ergibt sich ein

zeitliches Zusammenfallen in- und expiratorischer Einflüsse; sie stützt auch die Annahme, daß das Zwerchfell, das allgemein als ein Inspirationsmuskel angesehen wird, bei einer Preßatmung trotz ihrer expiratorischen Tendenz dennoch besonders stark kontrahiert wird.

Diese Annahme wird auch durch einen gelegentlich wahrnehmbaren Durchleuchtungsbefund bestätigt. Man sieht nicht selten bei der Röntgenbeobachtung eines *Valsalva*-Vorgangs zu Beginn der Pressung ein ganz kurzes Emporschnellen des Zwerchfells. Das ist wohl so zu erklären, daß das Zwerchfell in solchen Fällen durch die plötzlich einsetzende Anspannung der Bauchdeckenmuskeln zunächst emporgetrieben wird, jedoch durch Verstärkung seiner eigenen entgegengesetzt wirkenden Kontraktion sofort wieder tiefer tritt. Der sonstige Durchleuchtungsbefund eines *Valsalva*-Vorgangs ergibt ein Schmalwerden des Herzschattens und eine Verlangsamung der Herztätigkeit. Hieraus glaubt man eine Verminderung des Kreislaufantriebs folgern zu müssen, die zu der Größe der mit einer Preßatmung meistens verbundenen Kraftleistung in einem bisher ungeklärten Widerspruch steht. Doch ergibt eine eingehende Überprüfung sämtlicher mit einer Preßatmung verbundenen Vorgänge, daß *die Kreislaufregulationen sich durchaus der Kraftleistung anpassen; sie erfolgen aber nicht durch die Druckerzeugung des Herzens, sondern durch den Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen, während das Herz selbst geschont wird.*

Bei einer mit einer Preßatmung verbundenen Kraftleistung, wie etwa dem Gewichtheben, werden nämlich — zum Unterschied vom *Valsalva*-Versuch — auch solche Muskeln kräftigst angespannt, die neben ihrer eigentlichen Zweckbestimmung gleichzeitig die Körperhöhlenwandungen und dadurch ihren Druckmechanismus beeinflussen. So wird durch Anspannung der Brust-, Schultergürtel- und Halsmuskeln der Brustkorb noch stärker erweitert, durch gleichzeitige stärkste Anspannung der Becken-, Bauchdecken- und Rückenmuskeln die Bauchhöhle noch mehr verkleinert. Dadurch werden die Druckunterschiede zwischen den einzelnen Körperhöhlen bei einer Preßatmung wesentlich mehr gesteigert als bei einem *Valsalva*-Versuch.

Infolge der zu Beginn einer Preßatmung sofort eintretenden Steigerung des Bauchhöhlendruckes muß nun eine schnelle Verschiebung des in der Bauchhöhle gespeicherten Blutes in die oberhalb des Zwerchfells gelegenen Capillarsysteme erfolgen, zumal gleichzeitig eine Drosselung des arteriellen Blutzufusses zu den unterhalb des Zwerchfells gelegenen Capillarsystemen zustande kommt. Die Gesamtzirkulation muß sich hauptsächlich oberhalb des Zwerchfells abspielen. Infolge der hierdurch bedingten Ableitung der ansehnlichen Menge gespeicherten Blutes aus der Bauchhöhle kann das stark kontrahierte Zwerchfell noch tiefer treten und den Herzbeutel noch mehr nach unten ziehen. In-

folgedessen können Herz und Herzbeutelhöhle in ihren oberen Teilen schmaler erscheinen, ohne daß eine dem schmaleren Herzschaten entsprechende Raumverminderung eingetreten zu sein braucht.

Durch die stärkere Zwerchfellsenkung muß aber eine noch ausgiebigere Erweiterung des Brustraumes zustande kommen. Diese muß infolge der abnehmenden Dehnbarkeit des bereits aufs äußerste gedehnten Lungengewebes hauptsächlich der Steigerung des negativen Drucks in der Herzbeutelhöhle zugute kommen. Daher darf man bei der Preßatmung in der Herzbeutelhöhle eine der Krafterleistung angepaßte Steigerung des negativen Drucks annehmen. In der Lungenhöhle tritt beim *Valsalva*-Versuch ein positiver Druck auf, weil bei diesem Vorgang nur Ausatemungsmuskeln der Rumpfhöhlenwandung angespannt werden. Wenn jedoch bei einer mit einer Krafterleistung verbundenen Preßatmung sich gleichzeitig die kräftigsten Einatemungsmuskeln betätigen, dann muß sich der positive Druck in der Lungenhöhle trotz der Pressung je nach der Art und Stärke der Krafterleistung wesentlich vermindern.

So kann das gespeicherte Blut gleich zu Beginn einer Preßatmung mit stärkstem Antrieb aus der Bauchhöhle in die stark erweiterten Lungengefäße gelangen, ohne einen stärkeren Kraftaufwand des rechten Herzens zu beanspruchen. Auch das linke Herz hat nur die kurzen oberhalb des Zwerchfells gelegenen Capillarsysteme zu versorgen. Und da sich die Zirkulation hauptsächlich oberhalb von Herz und Zwerchfell abspielt, kommen beim Rückfluß des Blutes zum Herzen auch hämostatische Widerstände kaum in Frage. Daher braucht das Herz „nur wenig Energie zu verschwenden, um dem durchfließenden Blutstrom neuen Schwung zu verleihen“. Der sich hier abspielende Gesamtvorgang der Zirkulation erinnert lebhaft an die Beschreibung, die *Wenckebach*<sup>9</sup> vom sog. „Schwungrad des Kreislaufs“ gibt. Danach wird das Herz bei der Preßatmung durch den Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen so entlastet, daß es verständlich erscheint, daß gelegentlich Menschen mit einem klinisch keineswegs einwandfreien Herzbefund erstaunliche Rekordleistungen aufweisen. — Daher ist es auch unwahrscheinlich, daß die Preßatmung im besonderen Maß für plötzliche Ertrinkungsfälle verantwortlich zu machen ist. *Ziemke*<sup>10</sup> konnte auch diese Annahme durch Nachprüfung zahlreicher Obduktionsbefunde beim Baden überraschend ertrunkener Personen nicht bestätigen.

Die mit der Krafterleistung verbundene Steigerung des Gaswechsels muß einen verhältnismäßig schnellen Verbrauch des durch die tiefe Einatmung vor Beginn der Pressung bereitgestellten Sauerstoffvorrats zur Folge haben. Daher erreicht auch die Gesamtdauer einer Preßatmung erfahrungsgemäß in der Regel kaum mehr als eine Minute.

*Kreislaufregulationen bei sich steigendem Bauchhöhlendruck.*

I. Die dem Zwerchfell zur Anpassung des Kreislaufs an den Blutbedarf des Organismus obliegende gemeinsame Regulierung des Blutangebots und der Herzentfaltungen wird bei dem häufig und stark wechselnden Füllungszustand der Bauchorgane durch die in der Bauchhöhle zustande kommenden oft erheblichen und plötzlichen Raum- und Druckänderungen dauernd erschwert und gelegentlich gefährdet. Denn bei einer Steigerung des Bauchhöhlendruckes wird das Blutangebot durch zunehmende Kompression der Blutspeicher gefördert, dagegen die Herzentfaltung gleichzeitig infolge Hochdrängung des Zwerchfells und Minderung des negativen Drucks in der Herzbeutelhöhle beeinträchtigt.

Zur Anpassung an diese den Kreislauf störenden Druckwirkungen genügen nun Tonus- oder Kontraktionssteigerungen des Zwerchfells für sich allein nicht. Denn sie bewirken zwar einen negativen Druckzuwachs in der Herzbeutelhöhle und dadurch gesteigerte Herzentfaltungen, aber sie verursachen gleichzeitig einen weiteren Druckzuwachs in der Bauchhöhle und infolgedessen eine weitere unerwünschte den Herzentfaltungen überlegene Zunahme des Blutangebots. *Der erforderliche Druckausgleich kann nur zustande kommen, wenn gleichzeitig mit der Tonussteigerung des Zwerchfells die elastischen Bauchdecken durch Nachlassen ihrer Spannung dem weiteren Zuwachs des Bauchhöhlendruckes entgegenwirken.* Danach setzt die gemeinsame Regulierung des Blutangebots und der Herzentfaltungen einen Synergismus zwischen Zwerchfell und Bauchdeckenmuskulatur voraus, der in einer *Abhängigkeit des Blutdrucks vom Bauchhöhlendruck* zum Ausdruck kommen muß. Tatsächlich konnte *W. Frey* 1923 durch Tierversuche nachweisen, daß „der erhöhte Bauchdruck zu einer Kompression der arteriellen und venösen Capillaren des Splanchnicusgebietes und zur Erhöhung des arteriellen und venösen Blutdrucks führe“ und „daß die Veränderungen der Zirkulation — unabhängig von abdominalen Reflexen — die Folgen einer mechanischen Blutverschiebung seien“<sup>11</sup>.

II. Mit der mechanischen Abhängigkeit des Blutdrucks vom Bauchhöhlendruck<sup>12</sup> befaßte sich meine 1933 veröffentlichte Arbeit: „Zur mechanischen Regulierung des Kreislaufs.“ Zur Klärung dieses Problems wurden Untersuchungsergebnisse von 300 aus verschiedensten Anlässen amts- oder vertrauensärztlich untersuchten Personen unter Berücksichtigung des Rumpfhöhlenbegriffs verwertet. (Die dortigen Schlußfolgerungen konnten durch 340 in folgender Zeit erfolgte ähnliche Untersuchungen bestätigt werden.) Danach lassen sich bei zahlreichen physiologischen und pathophysiologischen Zuständen und Vorgängen, die erfahrungsgemäß mit Blutdrucksteigerungen einhergehen, mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit als auslösende Ur-

sache Bauchhöhlendrucksteigerungen nachweisen. Hier sollen nur einige zweckdienliche Beispiele angeführt werden.

So werden *nach Nahrungsaufnahmen* Blutdrucksteigerungen beobachtet. Diese müssen mit dem durch die Nahrungszufuhr verursachten Raum- und Druckzuwachs in der Bauchhöhle und einer hierdurch bedingten *Kompression* der Blutspeicher zusammenhängen, durch die Blut aus der Bauchhöhle in den Körperkreislauf verschoben wird. Hier kommt eine chemisch oder nervös bedingte Konstriktion der Splanchnicusgefäße als Ursache der Blutverschiebung nicht in Betracht, weil bei der sich einstellenden Verdauung eine erhöhte Blutzufuhr zu den Splanchnicusgefäßen und infolgedessen nicht eine Verengung, sondern eine Erweiterung der letzteren eintreten müßte, die nicht zu einer klinisch wahrnehmbaren Steigerung, sondern zu einer Senkung des Blutdrucks führen würde.

Auch die bei *Behinderung des Harnabflusses* beobachtete Blutdrucksteigerung wird als eine Folge des Raum- und Druckzuwachses in der Bauchhöhle angesehen, der entweder durch die Harnansammlung oder durch schmerzbedingte Bauchmuskelnkontraktionen hervorgerufen sein kann. Wenn durch Katheterisierung die Störung des Harnabflusses beseitigt wird, sinkt mit dem Bauchhöhlendruck in wenigen Minuten auch der Blutdruck. Nun hat *Full* auch bei Rückenmarkskranken mit vollkommen fehlender Sensibilität Blutdrucksteigerungen durch Blasenfüllung festgestellt. Andererseits hat *Karl Müller* solche auch im Schlaf sonst normaltonischer Personen beobachtet, die an Nykturie litten, deren Spasmen anscheinend selbst durch tiefen Schlaf nicht behoben werden. Danach können Raumzuwachs durch Blasenfüllung ebenso wie Druckzuwachs durch Bauchmuskelspannung unabhängig voneinander Blutdrucksteigerungen hervorrufen.

Die häufig bei wiederholten Untersuchungen derselben Personen festgestellte *Übereinstimmung ihrer Gewichts- und Blutdruckänderungen* wird auch auf gleichsinnige Raum- und Druckänderungen in der Bauchhöhle zurückgeführt. *Hier machen sich Übergänge physiologischer Zustände in pathologische bemerkbar.* Die den Gewichtsänderungen zugrunde liegenden Nahrungsaufnahmen dienen im jugendlichen Alter vorwiegend dem Wachstum. Sie sind nach abgeschlossener Körperentwicklung die Kraftquelle der vom Körper zu leistenden Arbeit. Wenn nun infolge einer durch Beruf oder Gewohnheit bedingten unzureichenden Lebensweise die Nahrung nicht durch entsprechende Arbeitsleistungen aufgewogen wird, kann sich durch Nahrungsüberschuß Fettleibigkeit und durch Fettansatz am Gekröse in der Bauchhöhle ein dauernder Raum- und Druckzuwachs einstellen, der oft mit einem Hochdruck verbunden ist. Die mit der Tonussteigerung des Zwerchfells zur Erzielung eines Druckausgleichs einhergehende Entspannung

der Bauchdecken kommt in solchen Fällen durch eine kalottenförmige Vorwölbung der Bauchwand zum Ausdruck, weil die Kugelform bei gleichbleibender Oberfläche den größten Rauminhalt bietet.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß *jeder Druckzuwachs in der Bauchhöhle* — gleichgültig, ob er durch eine Tonussteigerung ihrer Wandungsmuskulatur oder durch einen Raumzuwachs in einem Bauchorgan oder in der freien Bauchhöhle hervorgerufen wird — *eine Kreislaufbelastung* darstellen kann, die in einer Blutdrucksteigerung zum Ausdruck kommt.

III. Wenn nun ein weiterer Raumzuwachs das Fassungsvermögen der Bauchhöhle überschreitet, werden an das Zusammenwirken von Zwerchfell und Bauchdecken zur Erzielung eines Druckausgleichs noch weitergehende Anforderungen gestellt. Denn nunmehr genügt zur Entspannung der Bauchdecken nicht mehr nur ein Tonusnachlaß ihrer Muskulatur, sondern es muß auch noch eine *Dehnung der widerstandsfähigen sehnigen Bestandteile der Bauchdecken* erfolgen. Aber diese geben erst nach, wenn „dauernde dehnende Kräfte am Werke sind“ (*Pfuhl*<sup>40</sup>). *Daher spielt die Zeitdauer, innerhalb welcher der Raumzuwachs erfolgt, eine entscheidende Rolle.* Der physiologische Vorgang, der regelmäßig mit einer das Fassungsvermögen der Bauchhöhle überschreitenden Ausdehnung derselben einhergeht, ist die Schwangerschaft. Bei dieser werden im allgemeinen bei normalem Verlauf Zirkulationsstörungen und auch Blutdrucksteigerungen nicht beobachtet, weil die Bauchdecken, jedoch nicht das Zwerchfell, durch das Schwergewicht der Frucht zunehmend belastet und allmählich überdehnt werden, so daß das Druckgefälle zwischen der Bauch- und der Brusthöhle sich kaum verändert.

Ähnlich verhalten sich auch pathologische Zustände, wie Bauchgeschwülste und Flüssigkeitsansammlungen in der Bauchhöhle, bei denen selbst bei ungeheurer Zunahme ihres Umfanges Kreislaufstörungen verhältnismäßig wenig ausgesprochen sind.

*Tritt dagegen eine Überschreitung des Fassungsvermögens der Bauchhöhle so schnell ein, daß die widerstandsfähigen Bauchdecken nicht mehr Zeit finden, nachzugeben, dann kann die Druckerzeugung des Zwerchfells versagen, der negative Druck in der Herzbeutelhöhle schwinden und Herzschwäche bzw. Herzstillstand eintreten.*

Als Schulfall eines solchen Verlaufes darf der von *Drenkhahn*<sup>13</sup> beschriebene Todesfall eines kräftigen und bis dahin vollkommen gesunden Soldaten angesehen werden, der ein ganzes Kommißbrot und Wasser in einer Gesamtmenge von etwa 6 l in einer Abendmahlzeit verzehrt hatte und nach wenigen Stunden verstarb. Die Obduktion ergab nur eine Blutstauung im Lungenkreislauf als Zeichen gesteigerten Blutangebotes bzw. ungenügender Weiterbeförderung des Blutes.



*Solche Todesfälle* sind nach *Drenkhahns* Ausführungen *keineswegs* so sehr *selten*. „Die alljährlich vorkommenden Todesfälle durch Wassertrinken nach Obstgenuß kommen auch wohl durch Aufquellen des Obstes und eine dadurch herbeigeführte Kreislaufstörung zustande.“ — Auch der „plötzliche Tod bei Freßwetten“ findet auf diese Weise eine einwandfreie Erklärung.

IV. Um ganz zu ermessen, wie leicht und oft es zu einer Überschreitung des jeweiligen Fassungsvermögens der Bauchhöhle kommen kann, muß man den Rauminhalt der Bauchhöhle und den Größenumfang der gefüllten Bauchorgane möglichst genau bestimmen und miteinander vergleichen. Doch fehlen Angaben über den Rauminhalt der Bauchhöhle, weil sich ein Durchschnittsmaß — wahrscheinlich infolge der dauernd wechselnden Zwerchfellkontraktionen und der Elastizität der Bauchwände — schwer feststellen läßt. Für den Rauminhalt der Rumpfhöhle ergaben sich gelegentlich zweier Obduktionen mittelgroßer Personen bei oberflächlicher Messung etwa 12 l, und da *Rohrer* (zitiert nach *Pfuhl*) für den Rauminhalt der Brusthöhle 6 l ermittelte, dürfte die Bauchhöhle beim Erwachsenen auch nicht viel mehr als 6 l fassen.

Nun befinden sich in der Bauchhöhle aber gerade diejenigen Organe, welche die bei weitem größten Volumenschwankungen innerhalb des Körpers aufweisen. Schon das Eigengewicht der Bauchorgane, deren spezifisches Gewicht nur wenig über dasjenige des Wassers hinausgeht, beträgt ohne Netz und Gekröse 3,5 kg<sup>6</sup>. Sie nehmen demnach schon in ungefülltem Zustand etwa 3,5 l des Bauchhöhlenraumes für sich allein in Anspruch. Netz und Gekröse, der jeweilige Füllungszustand der Harnblase sowie der Gehalt der Leber und Milz und der Splanchnicus- und Chilusgefäße an zirkulierender und nichtzirkulierender Gefäßflüssigkeit dürften allein wohl schon hinreichen, um den weiteren Rauminhalt der Bauchhöhle aufzufüllen. Daher ist in diesem Zusammenhang das Fassungsvermögen des Magendarmkanals überraschend groß, das nach *Vierordt* 7,5—22,5 l beträgt. Danach darf der oft und stark wechselnde Füllungszustand des Verdauungstractus mit seinem teils breiigflüssigen, teils gasförmigen Magendarminhalt als die Quelle der häufigsten und folgenschwersten Kreislaufbelastungen angesehen werden, durch welche die Druckerzeugung des Zwerchfells auf die härteste Probe gestellt werden kann.

Damit dürften die verschiedenartigen mit Zirkulationsstörungen verbundenen Krankheitserscheinungen beim *Roemhelds*chen gastrokardialen Symptomenkomplex zusammenhängen, ebenso die bei einem Meteorismus auftretende Kreislaufschwäche. Insbesondere bei Personen, die durch ihren jeweiligen Krankheitszustand zu Kreislaufschwäche neigen, oder bei denen infolge ihrer körperlichen Veranlagung Hochdruck

besteht, dürfte die Belastung des Zwerchfells durch sich steigenden Bauchhöhlendruck häufiger, als man es vermutet, überraschend einen Herzstillstand hervorrufen und auf diese Weise als die unmittelbare Ursache des gerade in dem betreffenden Augenblick eintretenden Todes anzusehen sein.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß der Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen als ein gemeinsames Regulierungssystem der Atmungs- und der Kreislaufregulierung sich auch den Druckänderungen innerhalb der Bauchhöhle weitgehend anpaßt, *daß jedoch starke und gleichzeitig sehr schnell verlaufende Raum- und Drucksteigerungen in der Bauchhöhle infolge der Widerstandsfähigkeit der Bauchdecken die Druckerzeugung des Zwerchfells überraschend lahmlegen und durch Minderung oder Aufhebung des negativen Drucks in der Herzbeutelhöhle Tod durch Herzstillstand herbeiführen können.*

*Kreislaufbelastungen und -regulationen beim Aufenthalt des Körpers im Wasser.*

I. Beim Aufenthalt des Körpers im Wasser ist die Wirkung des gesteigerten Außendrucks auf die Druckerzeugung des Zwerchfells grundverschieden, je nachdem der Körper, wie beim Tauchen, ganz *untertaucht*, oder, wie beim Baden und Schwimmen, bei freibleibenden Atmungsöffnungen nur *eintaucht*. Bei der Taucherei bedarf es einer Klärung, warum der Freitaucher in einer Tiefe von etwa 20 m, also bei einem Außendruckzuwachs von etwa 2 Atm., die Lungenventilation erfahrungsgemäß 3—5 Minuten und bei besonderer Übung noch länger ohne Nachteil unterbrechen kann — während eine Atmungsunterbrechung in luftförmiger Umgebung die Dauer nur einer Minute nicht wesentlich zu überschreiten pflegt —, wie bei der Preßatmung festgestellt wurde.

Der Freitaucher erzeugt schon vor dem Tauchen durch mehrere tiefe Atemzüge einen eupnoischen Zustand und führt, ehe er — mit dem Kopf voran — durch ein Gewicht beschwert, untersinkt, zunächst noch eine möglichst tiefe Einatmung aus. Je nach der Tauchtiefe werden nun alle außerhalb der Körperhöhlen gelegenen Körperteile, darunter die gesamte Rumpf- und Gliedmaßenmuskulatur und Haut, so zusammengepreßt, daß die sie mit Blut versorgenden Capillarsysteme sich am Blutumlauf immer weniger beteiligen.

Hämostatische Widerstände kommen beim Bluttransport nicht in Betracht, weil das spezifische Gewicht des Blutes demjenigen des den Körper umgebenden Wassers etwa gleich ist.

Da die Kompression der Alveolarluft die lockere Bindung ihres Sauerstoffs durch die roten Blutkörperchen nicht beeinträchtigt, kann der Gasaustausch in den Lungenbläschen ungestört vor sich gehen.

Die in der Rumpfhöhle vorhandenen luft- und gasförmigen Körper leisten infolge ihrer Kompression unter Verkleinerung ihres Volumens dem jeweiligen Wasserdruck einen gleich starken und nach allen Richtungen gleichmäßig wirkenden Gegendruck, bei welchem die Druckunterschiede zwischen den einzelnen Körperhöhlen unverändert bestehen bleiben. Da das Zwerchfell sich in stärkster Inspirationsstellung befindet, die Bauchdecken jedoch infolge des starken Außendrucks nicht nach außen nachgeben können, darf in der Herzbeutelhöhle ein negatives, in der Bauchhöhle ein positives Druckmaximum angenommen werden. Infolgedessen kann das Herz, vom gesteigerten Außendruck unberührt, ungestört entfaltet werden und durch fortgesetzte Blutzuführung zum Zentralorgan infolge des reichlichen Sauerstoffvorrats die Beatmung des Gehirngewebes mehrere Minuten lang sicherstellen.

Während die Kreislaufbedingungen beim Tauchen demnach als verhältnismäßig recht günstig betrachtet werden dürfen, sind sie beim Baden mit nicht untergetauchtem Kopf außerordentlich ungünstig, weil das Zwerchfell durch das Freibleiben der Atmungsöffnungen dauernd Belastungen ausgesetzt ist, die mit dem Wasserdruck zusammenhängen und die Druckerzeugung des Zwerchfells gelegentlich überraschend ganz aufheben oder mehr oder weniger stark beeinträchtigen können. Dadurch nämlich, daß auf den Luftwegen und demnach auf der konvexen Seite des Zwerchfells nur der jeweilige Luftdruck ruht, während auf seiner konkaven Fläche außerdem noch der auf den Bauchdecken ruhende sich durch die Bauchorgane fortpflanzende Wasserdruck lastet, entsteht während des Eintauchens des Körpers bis über die Bauchdecken hinaus eine *Druckdifferenz*.

Der Überdruck steigert sich mit zunehmender Tauchtiefe. *Gravenhorst* schätzt ihn beim Schwimmen auf durchschnittlich 0,03 Atm. — Einen wie großen Überdruck die Kontraktionskraft des Zwerchfells überhaupt zu überwinden vermag, läßt sich annähernd aus den Ergebnissen der Tauchversuche *Stiglers* herleiten, der beim Untertauchen in horizontaler Körperlage die Verbindung der Luftwege mit der Außenluft durch Mundstück und Schlauch aufrechterhielt. Dabei zeigten sich in einer Tiefe von etwa 0,7—2,0 m an Bedrohlichkeit schnell zunehmende Kreislaufstörungen, die er als „Druckdifferenzkrankheit“ bezeichnete.

Danach liegt die Erträglichkeitsgrenze bei einem Überdruck von etwa 0,07 Atm. und es bedarf keiner besonders großen Steigerung des Überdrucks, um die Erträglichkeitsgrenze zu erreichen bzw. zu überschreiten. Das kann außerordentlich leicht insbesondere durch Bauchhöhlendrucksteigerungen eintreten, weil jeder in der Bauchhöhle dem Eintauchen vorausgegangene Raumzuwachs sich innerhalb des Wassers noch viel ungünstiger auswirken muß als in luftförmiger Umgebung.

Denn gasförmige Körper, wie Magenblase und Verdauungsgase, werden innerhalb des Wassers mit einer dem Gewicht der von ihnen verdrängten Wassermenge gleichkommenden Kraft emporgetrieben; und da die Bauchdecken infolge des starken Außendrucks nicht nach außen nachgeben und infolgedessen auch nicht eine druckausgleichende und das Zwerchfell entlastende Wirkung ausüben können, muß auch jeder durch konsistente Nahrungsaufnahmen erfolgte Raumzuwachs sich ausschließlich und, wenn er das Fassungsvermögen der Bauchhöhle überschreitet, besonders stark nach oben hin gegen das Zwerchfell auswirken. Auf diese Weise können gelegentlich schon physiologische, durch gewöhnliche Nahrungsaufnahmen bedingte Bauchhöhlendrucksteigerungen durch Hochdrängen des Zwerchfells verhängnisvolle Kreislaufstörungen hervorrufen, besonders wenn noch Eigenbewegungen hinzukommen, welche die Druckerzeugung des Zwerchfells nicht nur um so mehr beeinträchtigen, je tiefer, sondern auch, je schneller das Eintauchen erfolgt. Wenn z. B. bei zufällig mit Luft und Gasen stark gefülltem Verdauungstractus ein Fußsprung ins Wasser ausgeführt wird, können die spezifisch wesentlich leichteren Gase in dem Augenblick, in welchem der Rumpf den Wasserspiegel durchschneidet, das Zwerchfell mit solcher Gewalt nach oben drängen, daß seine Druckerzeugung schlagartig lahmgelegt wird und Tod durch Herzstillstand eintritt.

II. Das für die plötzlichen Todesfälle beim Baden mit freibleibenden Atmungsöffnungen charakteristische „schnelle und wehrlose Untergehen ohne irgendwelche Hilferufe“ (*Ziemke*) läßt sich demnach durch einen plötzlich eintretenden Herzstillstand erklären, der als Folge einer plötzlichen Lahmlegung des Zwerchfells durch den Wasserdruck zustande kommt und die Blut- und Sauerstoffzuführung zum Zentralorgan schlagartig aufhebt. Obwohl es sich bei diesem Vorgang nun um die reinste Form eines „Kreislauftodes durch Wasserdruck“ handelt, läßt die Obduktion eines auf solche Weise Verstorbenen den Befund einer deutlich ausgesprochenen Lungenblähung, der sogenannten „*Casperschen* Hyperaërie“, erwarten, die als sicherstes Kennzeichen gerade des „Ertrinkungstodes“ angesehen wird. Denn beim Eintauchen des Körpers wird in der Regel tief inspiriert, unterhalb des Wasserspiegels kann aber die in den Luftbläschen enthaltene Luft nicht austreten. — Als besonderes Merkmal solcher Todesfälle darf eine trockene Schnittfläche der Lungen erwartet werden, weil der Tod so schnell eintritt, daß weder Wasser in tiefere Luftwege eintreten noch eine Blutstauung in den Lungen zustande kommen kann. — In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle führt jedoch eine unerträgliche Belastung des Zwerchfells durch den Wasserdruck, gesteigert durch Bauchhöhlendruckzuwachs und Eigenbewegungen, nicht gleich zur völligen Aufhebung, sondern

nur zu einer in ihrer Stärke schwankenden Herabsetzung seiner Druckerzeugung. Dabei kann der Todesverlauf der Einzelfälle sehr verschiedenartig sein und die verschiedensten Obduktionsbefunde zeitigen.

Am günstigsten liegen die Verhältnisse naturgemäß, wenn der Betroffene dem Wasser durch eigene oder fremde Hilfe noch möglichst frühzeitig entrücken kann. Denn dann kann sich in horizontaler Körperlage (und bei Anwendung der üblichen Hilfsmaßnahmen) die ungeschwächte Funktion von Zwerchfell und Herz meistens bald wieder einstellen, weil ihre Kontraktionskraft gerade in dieser Körperlage am wenigsten in Anspruch genommen wird. Aber es kommen gelegentlich doch noch nachträglich Todesfälle vor. Diese dürften mit der beim Verlassen des Bades wieder eintretenden Änderung des Außendruckes zusammenhängen, die an die Druckerzeugung des Zwerchfells erneute Anforderungen stellt. Wenn sich nämlich das durch die starke Belastung im Wasser übermüdete Zwerchfell nicht mehr durch Eigenkontraktion, sondern hauptsächlich durch den Gewichtszug der Bauchorgane ausreichend zu senken vermag, kann sich die Herztätigkeit zwar sofort heben, weil durch Steigerung des negativen Drucks in der Herzbeutelhöhle ausgiebigere Herzentfaltungen und kräftigere Herzkontraktionen zustande kommen können. Aber das übermüdete Zwerchfell kann noch nicht gleich die erforderliche Kraft aufbringen, um durch ausreichend ergiebige respiratorische Exkursionen die hämostatischen Widerstände zu überwinden, die sich beim Übergang aus der flüssigen in die luftförmige Umgebung erneut einstellen. Infolgedessen reicht das venöse Blutangebot nicht aus, um den Tod durch Leerlaufen des Herzens zu verhüten.

Äußerst ungünstig ist der Verlauf, wenn die zunehmende Belastung des Zwerchfells eine sich steigernde Herzschwäche zur Folge hat, aber Hilfe trotz größter Anstrengungen, sich möglichst lange über Wasser zu halten, nicht rechtzeitig gebracht werden kann. Durch zunehmende Ermüdung der Inspirationsmuskeln vermindert sich der beim Schwimmer durchschnittlich hohe Luftgehalt der Lungen, der das Schweben eines Teils des Körpers über dem Wasserspiegel wesentlich erleichtert, da das spezifische Gewicht des Körpers nach tiefster Expiration etwas höher als das des Wassers ist. Das hierdurch bedingte Tiefsinken des Körpers wird durch Hilferufe, die mit Expirationen verbunden sind, noch gefördert. Ebenso wirkt das gelegentliche Herausheben eines Armes aus dem Wasser, um mit der Hand Hilfe herbeizuwinken.

Durch das tiefere Eintauchen des Körpers steigert sich aber die Belastung des Zwerchfells und dadurch auch die Herzschwäche, so daß die Blut- und Sauerstoffversorgung des Zentralorgans immer mehr nachlassen und Bewußtseinstrübungen eintreten können. Wenn

zunehmend durch Versinken des Körpers die Atmungsöffnungen untertauchen, bessern sich durch Fortfall der Druckdifferenz die Kreislaufbedingungen. Daher kann sich der jetzt erst durch „Abschluß der Luftwege“ einsetzende eigentliche „Ertrinkungsverlauf“ meistens über mehrere Minuten hinziehen. Allerdings ist seine Dauer um so geringer, je größer die vorangegangenen Anstrengungen waren, da der erhöhte Sauerstoffverbrauch einige Minuten nachwirkt.

Der Obduktionsbefund läßt in diesen Fällen in der Regel keine stark ausgesprochene, gelegentlich sogar eine nicht deutlich erkennbare Hyperaërie erwarten, obwohl es sich bei ihnen — wenigstens im Endstadium — um einen typischen Ertrinkungsvorgang handelt. Denn wenn der Ertrinkende unmittelbar nach dem Ausstoßen von Hilferufen versinkt, dürfte sich in den Lungen so wenig Luft vorfinden, daß eine stärker ausgesprochene Lungenblähung kaum in Erscheinung treten kann.

Fälle von „Ertrinkungstod“, die ausschließlich durch „Abschluß der Luftwege“ zustande kommen bzw. bei denen der Wasserdruck nicht nachteilig mitwirkt, können eintreten, wenn etwa ein Freitaucher — oder ein Badender nach ausgeführtem Kopfsprung — durch eine unvorhergesehene Ursache am Wiederauftauchen verhindert werden. Beim ertrunkenen Freitaucher muß die Obduktion eine stark ausgesprochene Hyperaërie ergeben, weil er mit dem Kopf voran unmittelbar nach einer möglichst tiefen Inspiration untersinkt, die Luft innerhalb des Wassers jedoch aus den Lungen größtenteils nicht zu entweichen vermag. — Wenn ein Badender jedoch unmittelbar nach einer großen Anstrengung einen Kopfsprung nach tiefer Expiration ausführt, kann infolge des stark nachwirkenden Sauerstoffverbrauchs Erstickung überraschend schnell eintreten und die Obduktion eine Hyperaërie vermissen lassen. Das Zustandekommen der Hyperaërie ist demnach lediglich vom Respirationsstadium abhängig, in welchem der Körper versinkt. Ihr Vorhandensein beweist nur, daß der Körper noch lebend ins Wasser gelangt war. Die vorangegangene Todesart wird durch die Hyperaërie nicht geklärt.

III. Obwohl der Wasserdruck demnach nicht nur die plötzlichen Todesfälle beim Baden verursacht, sondern auch die Ertrinkungsgefahr in den meisten Fällen des Ertrinkungstodes heraufbeschwört, also die primäre Ursache der meisten Fälle „gewaltsamer Erstickung durch eine Flüssigkeit“ überhaupt darstellt, berücksichtigt die bisherige Definition des „Ertrinkungstodes“ nur den Aggregatzustand der Ertrinkungsflüssigkeit und den Abschluß der Luftwege durch dieselbe. Daher ist eine Erweiterung der Definition angezeigt, die auch den Wasserdruck berücksichtigt und den Atmungstod gleichzeitig als Kreislaufftod erfaßt. Das Gemeinsame beider Todesarten ist ihre Störung des

Gaswechsels, die zur Aufhebung der „Beatmung“ des Zentralorgans führt. Die Aufrechterhaltung eines ungestörten Gaswechsels ist aber ebenso vom Blutkreislauf wie von der Lungenventilation abhängig. Denn beide sind gleichwertige Transportmechanismen der Austauschgase, welche durch die Lungenventilation auf luftförmigem und vom Blutkreislauf auf flüssigem Wege an ihren Bestimmungsort befördert werden. Danach darf man als *Ertrinkungstod* den *Tod durch gewaltsame Erstickung* bezeichnen, bei welchem die Beatmung des Zentralorgans durch den Aggregatzustand und das hohe spezifische Gewicht einer Flüssigkeit aufgehoben wird. Das Versagen des Kreislaufs beim Ertrinkungstod führt aber zu der für die Kreislaufforschung beachtenswerten Erkenntnis, daß dem *Capillarsystem als Austauschorgan, den Arterien und Venen als Leitungsbahnen und dem Herzen als Antriebsapparat der Druckmechanismus der Körperhöhlenwandungen als ein gemeinsames Regulierungssystem der Atmungs- und Kreislaufregulierung übergeordnet* ist.

#### Literaturverzeichnis.

*Atzler*, Handbuch der Arbeitsphysiologie. Thieme 1927. — *Frey, W.*, Die Herz- und Gefäßkrankheiten. Berlin: Julius Springer 1936. — *Heß, W. R.*, Die Regulierung des Blutkreislaufs (1930) — der Atmung (1931). Thieme. — *Pietrusky*, Gerichtliche Medizin. Handbüch. f. d. öff. Gesundh.-Dienst **15**. Heymann 1938 — *Rein, H.*, Einführung in die Physiologie des Menschen. Berlin: Julius Springer 1936. — Verhandl.-Ber. dtsh. Ges. Kreislaufforsch. **1928—1937** und Nauheimer Fortbild.-Lehrg. **1—13**.

<sup>1</sup> *v. Diringshofen*, Verh. dtsh. Ges. Kreislaufforsch. **1936**, 269, 288—290. — <sup>2</sup> *Sihle*, Aus Einheitsbestrebungen in der Medizin. Steinkopff 1933. S. 10. — <sup>3</sup> *Tendeloo*, Studien über die Entstehung und den Verlauf der Lungenkrankheiten. Bergmann 1931. S. 1—2. — <sup>4</sup> *Pfuhl*, a) *Z. Konstit.lehre* **1926**, 161, 165 — b) *Morphol. Jb.* **66**, 318—338 (1931) (Göppert-Festschrift) — c) *Anat. Anz.* **67**, Nr 15/16, 340 (1929). — <sup>5</sup> *Rein*, Einführung in die Physiologie des Menschen. Berlin: Julius Springer 1936. S. 106. — <sup>6</sup> *Vierordt*, Daten und Tabellen für Mediziner. Fischer 1893. — <sup>7</sup> *Hitzenberger*, Das Zwerchfell im gesunden und kranken Zustand. Berlin: Julius Springer 1927. S. 34, 37—42. — <sup>8</sup> *Petersen*, *Z. exper. Med.* **61**, H. 3/4. — <sup>9</sup> *Wenckebach*, Herz- und Kreislaufinsuffizienz. Steinkopff 1931. S. 67. — <sup>10</sup> *Ziemke*, *Dtsch. Z. gerichtl. Med.* **14**, H. 5, 496. — <sup>11</sup> *Frey*, *Z. exper. Med.* **1923**, 31, 49. — <sup>12</sup> *Margulies*, *Veröff. Med.verw.* **40**, H. 5 (1933). — <sup>13</sup> *Drenkhahn*, *Münch. med. Wschr.* **1933**, Nr 51, 2021.