

(Aus dem Gerichtlich-medizinischen Institut der Kaiserlichen Universität zu Sendai, Japan. — Vorstand: Prof. Dr. *T. Ishikawa*.)

## Zur Frage der Konzentrationsänderung des Blutes beim Ertrinken im Meerwasser.

Von

a.o. Prof. *T. Inouye* und *K. Uchimura*.

Daß das Blut beim Ertrinken im Süßwasser mehr oder minder verdünnt wird, ist eine eindeutig bewiesene Tatsache und bewährt sich längst als Hilfsmittel bei der Diagnose des Ertrinkungstodes. Für das Ertrinken im Meerwasser nimmt man dagegen auf Grund der Angaben von *Carrara*<sup>1</sup>, *Stoenescu*<sup>2</sup>, *Gettler*<sup>3</sup>, *Yamakami*<sup>4, 5</sup> und *Szulislawska* und *Tobiczyk*<sup>6</sup> an, daß das in die Lunge eingetretene Meerwasser, dem Gesetz der Osmose folgend, dem Blut Wasser entzieht und infolgedessen eine Eindickung des Blutes hervorgerufen wird. Mit dieser allgemein vertretenen Meinung scheinen aber Resultate in Widerspruch zu stehen, die vor kurzem einer<sup>7</sup> von uns in einer Untersuchung über die Reststoffe des Blutes gewonnen hat.

Während der letzten Jahre verfolgte *Inouye*<sup>7, 8, 9</sup> Veränderungen im Restkohlenstoff- und Reststickstoffgehalt des Blutes bei verschiedenen Formen des akuten Erstickungstodes und fand, daß die Reststoffe hauptsächlich durch heftige Bewegungen und Krämpfe, aber nicht durch Sauerstoffmangel als solchen, vermehrt werden und daß beim Ertrinken, sowohl in Süß- als auch in Meerwasser, erheblich größere Erhöhungen der Reststoffwerte zu finden sind, als nach Erdrosselung und Kohlenoxydvergiftung. Nach dem Ertränken in Süßwasser war der Gehalt des linken Kammerblutes an beiden Reststoffen beträchtlich niedriger, als der des rechten, und zwar manchmal kleiner als der Ausgangswert, was auf die Verdünnung des Blutes in der Lunge zurückzuführen ist. Aber der Befund nach dem Ertränken in Meerwasser war mit der herrschenden Annahme der eintretenden Bluteindickung unvereinbar; die Konzentration beider Reststoffe war überhaupt nicht höher als beim Ertränken in Süßwasser, und der Restkohlenstoffgehalt war sogar immer, der Reststickstoffgehalt meistens im linken Kammerblut kleiner als im rechten, wenn auch die Unterschiede nicht so groß waren, wie man es gewöhnlich bei Süßwasserversuchen fand. *Nakai*<sup>10</sup>, der den Gesamtstickstoffgehalt des Blutes oder des Gerinnsels untersuchte, das meistens einige Tage nach dem Ertränken im Meerwasser entnommen wurde, fand, daß dieser in der rechten Herzhälfte, wenn auch nur wenig größer ist als in der linken und ist sogar der Ansicht, daß auch beim Ertränken in Meerwasser eine Verdünnung des Blutes eintritt.

Es erschien uns deshalb wünschenswert, zu untersuchen, warum die Ergebnisse der Beobachtungen früherer Autoren einerseits und die der von uns, sowie auch von *Nakai* angestellten Untersuchungen andererseits, so weit voneinander abweichen. Früher hat man den Gefrierpunkt, die Brechung, die elektrische Leitfähigkeit oder den Chlor-, Hämoglobin- oder Erythrocytengehalt als Kriterien für die Blutkonzentration benutzt, während wir die Konzentration des Restkohlenstoffs und -stickstoffs maßen. Außerdem wurde in den früheren Untersuchungen die Entnahme der Blutproben gewöhnlich ziemlich lange nach dem Tod der Versuchstiere vorgenommen. Manchmal fehlt sogar eine bestimmte Zeitangabe in den Mitteilungen der früheren Autoren. Die Beschaffenheit und Zusammensetzung des Blutes kann aber post mortem nicht unbedeutende Veränderungen erleiden. Ferner sind in den meisten Fällen einfach das arterielle und das venöse Blut untersucht und verglichen worden, ohne daß man vorher den Ausgangswert bestimmt hatte.

Daher haben wir in der vorliegenden Arbeit die Gefrierpunktserniedrigung, den Brechungsindex und den Chlorgehalt des Serums von dem gleich nach dem Tode entnommenen linken und rechten Kammerblut bestimmt und mit den Werten vor dem Ertränken verglichen. Dabei wurden die Proben ausschließlich der Herzkammer entnommen und alle Bestimmungen nach der Mikromethode durchgeführt. Frühere Autoren bedienten sich zur Ermittlung der Gefrierpunktserniedrigung gewöhnlich des üblichen *Beckmannschen* Verfahrens. Aber diese erfordert bekanntlich eine ziemlich große Menge von Material. Bei kleinen Tieren, wie Kaninchen, reicht das Herzblut allein öfters dazu nicht aus, und man ist gezwungen, mit Material unbestimmter Herkunft zu arbeiten, was natürlich die Resultate der Untersuchung stark beeinträchtigen kann.

Zum Zweck des Vergleiches wurde auch das Blut erdrosselter Kaninchen in gleicher Richtung untersucht. Diesbezügliche Untersuchungen findet man selten im Schrifttum.

#### *Material und Methodik.*

Als Versuchstiere wurden kräftige, junge Kaninchen gewählt und ebenso wie bei unseren früheren Versuchen vorbehandelt. Vor dem eigentlichen Versuch wurden etwa 2 ccm arteriellen Blutes durch Herzpunktion entnommen und  $1\frac{1}{2}$  Stunden lang bei  $37^\circ$  aufbewahrt. Das dabei ausgeschiedene Serum wurde durch Zentrifugieren abgetrennt und für die Feststellung der Ausgangswerte benutzt. Wie man aus den genügend übereinstimmenden Resultaten schließen kann, wurden die Messungen durch etwaige Verdunstung während des Gewinnens des Serums nicht nennenswert beeinträchtigt. Erst nach einer über  $2\frac{1}{2}$  Stunden lang dauernden Ruhezeit wurde das Tier in der früher beschriebenen Weise erdrosselt oder ertränkt. Das Ertränkungsmedium war wie früher Leitungs- oder künstliches Meerwasser, nämlich eine 3,5proz. Rohkochsalzlösung, dessen Temperatur  $2-3^\circ$  niedriger

als die Körpertemperatur gehalten wurde, um den Einfluß der Temperatur des Bades auf das Blut möglichst auszuschalten.

Sobald die Herztöne nicht mehr auskultierbar waren, wurde das Herz schnell bloßgelegt und je 2 ccm Blut aus beiden Ventrikeln mit Spritzen entnommen. Beim Erdrosseln pflegten wir aber nur das arterielle Blut zu untersuchen, weil, wie man unten sehen wird, beim einfachen akuten Erstickungstod die Beschaffenheit und Zusammensetzung des Blutes beider Herzhälften sich nicht nennenswert unterscheidet. Die Zeit, die vom Beginn der Hauptoperation an bis zum Aufhören der Herztöne verflossen ist, wird unten als Dauer des Erstickens bzw. Ertränkens bezeichnet.

Von beiden Blutproben wurde das Serum durch ein 90 Minuten langes Erwärmen auf 37° und darauffolgendes Zentrifugieren abgetrennt und zur Bestimmung des Brechungsindex, der Gefrierpunktserniedrigung und des Chlorgehaltes verwendet.

Bestimmung des Brechungsindex. Der Brechungsindex wurde mittels des *Zeiss'schen* Eintauchrefraktometers bei 17,5° gemessen.

Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung. Zur Ermittlung der Gefrierpunktserniedrigung bedienten wir uns eines Thermoelements aus Kupfer-Konstantan, wie es von *Salge*<sup>11</sup> beschrieben wurde. Zur Eichung der Skalenausschläge des Spiegelgalvanometers von *Siemens & Halske* wurde eine 1proz. NaCl-Lösung verwendet, deren Gefrierpunktserniedrigung vorher nach dem *Beckmann'schen* Verfahren festgestellt war. Die Dimension des Apparates war so klein, daß zur Ausführung der Messung 0,35 ccm Serum ausreichten. Die Stärke der Unterkühlung hat einen ansehnlichen Einfluß auf die Resultate der Messung. So arbeitete man in der Weise, daß stets eine Unterkühlung gleichen Umfanges, und zwar von 1°, eintrat. Die sonst nötigen Vorsichtsmaßregeln wurden möglichst streng eingehalten. Die Messung wurde immer mindestens 5mal wiederholt. Schwankungen der Ergebnisse einzelner Messungen lagen innerhalb von 0,003°.

Bestimmung des Chlorgehaltes. Die Menge des Chlors wurde nach der *Rusznyski'schen* Methode<sup>12</sup> ermittelt, nur daß dafür 0,13 ccm Serum verwendet wurden. Um die Resultate mit den früheren Angaben vergleichen zu können, sind in dieser Abhandlung die gefundenen Werte als Chlornatrium angegeben.

### *Erdrosselungsversuche.*

Es wurde je 2 männliche und weibliche Kaninchen erdrosselt. Die erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. I wiedergegeben.

Tabelle I. Erdrosselungsversuche.

Kaninchen	Dauer der Erstickung	Zahl der krampfartigen Bewegungen	$n_D$		$\Delta$		NaCl (mg-%)	
			Ausgangswert	Sofort nach dem Tod	Ausgangswert	Sofort nach dem Tod	Ausgangswert	Sofort nach dem Tod
Nr. 4 ♀ 2,0 kg	6 Min. 30 Sek.	46	1,3465	1,3469 (0,0004)	0,573	0,591 (0,018)	486,0	499,5 (13,5)
N. 5 ♂ 2,2 kg	6 Min. 30 Sek.	22	1,3484	1,3487 (0,0003)	0,570	0,585 (0,015)	587,2	621,0 (33,8)
Nr. 6 ♂ 2,2 kg	6 Min.	27	1,3487	1,3491 (0,0004)	0,570	0,582 (0,012)	565,6	616,5 (50,9)
Nr. 7 ♀ 2,3 kg	5 Min. 15 Sek.	21	1,3506	1,3516 (0,0010)	0,566	0,578 (0,012)	535,5	567,0 (31,5)

Bemerkung: Eingeklammerte Ziffern bedeuten die Zunahme.

Es läßt sich erkennen, daß durch die Erdrosselung alle 3 Werte, ebenso wie früher der Restkohlenstoff- und Reststickstoffgehalt, wenn auch nur in geringem Grade, vermehrt werden. Der Brechungsindex ist um 0,001—0,003 gestiegen. Die Zunahme der Gefrierpunktserniedrigung betrug 0,012°—0,018° und die des Chlornatriumgehaltes 13,5—50,9 mg pro 100 ccm Blut.

Im Hinblick auf den Brechungsindex haben *Szulistawska* und *Tobiczyk*<sup>6</sup> das Blut aus den beiden Herzkammern einiger erhängter Hunde untersucht und den von uns beobachteten ähnlichen Unterschied zwischen den beiden Blutarten gefunden. Bei ihrer Untersuchung wurden aber die Blutproben erst 1—3 Stunden nach dem Tode des Tieres entnommen; überdies waren die Verhältnisse während des Lebens nicht zuverlässig festgestellt worden.

*Yamakami*<sup>4, 5</sup> teilte mit, daß nach Erdrosseln eine erhebliche Steigerung der osmotischen Konzentration des Kaninchenblutes sowohl mit der *Bargerschen* Capillarmethode wie mit dem *Beckmannschen* Verfahren festgestellt wurde. Der Gefrierpunkt des Serums lag im allgemeinen etwa 0,2° tiefer als vor der Erdrosselung. Er fand weiter, daß das arterielle Blut des erdrosselten Tieres osmotisch verdünnter als das venöse ist. Die Unterschiede in der Gefrierpunktserniedrigung beider Blutarten erstreckten sich von 0,026—0,085°. Nach demselben Autor steigt nach dem Erdrosseln auch der Chlornatriumgehalt um 33—60 mg pro 100 ccm Blut.

Die Zunahme des Chlors in der vorliegenden Untersuchung war ähnlich und die der osmotischen Konzentration 10mal so klein wie in den Versuchen von *Yamakami*. Dagegen konnten wir keinen nennenswerten Unterschied zwischen dem linken und rechten Kammerblut nach dem Erdrosseln finden, wie die Zahlen der folgenden Tab. 2 beweisen.

Tabelle 2.

Kaninchen	Dauer der Erstickung	Zahl der krampfartigen Bewegung	$n_D$		$\Delta$		NaCl (mg-%)	
			Links	Rechts	Links	Rechts	Links	Rechts
Nr. 1 ♂ 2,3 kg	10 Min.	22	1,3454	1,3454	0,582	0,583	623,2	621,9
Nr. 2 ♀ 2,0 kg	6 Min. 20 Sek.	29	1,3500	1,3500	0,579	0,579	627,8	623,3
Nr. 3 ♂ 2,1 kg	4 Min.	34	1,3503	1,3504	0,577	0,579	654,7	650,3

Die Verschiedenheit zwischen den Ergebnissen von *Yamakami* und den unsrigen ist schwer zu erklären. Wäre der Unterschied nicht so groß, so könnten eventuelle Differenzen im Kohlensäuregehalt des Materials dafür in Rechnung gesetzt werden, da die Kohlensäure eine Vergrößerung der Gefrierpunktserniedrigung zu bewirken vermag, worauf zuerst von *Korányi*<sup>13</sup> aufmerksam gemacht wurde.

Jedenfalls ist es sicher, daß der akute Erstickungstod gewöhnlich einen geringen Konzentrationsanstieg des Blutes mit sich bringt. Wahrscheinlich beteiligen sich daran verschiedene Faktoren, von denen zuerst der Einfluß der Kohlensäureanhäufung in Betracht kommt. *Nasse*<sup>14</sup> beobachtete nach Durchleitung von Kohlensäure eine Erhöhung des spezifischen Gewichtes des Serums und *Korányi* einen Abfall des Gefrierpunktes, obgleich nach *Hinsberg* und *Schürmeyer*<sup>15</sup> der Einfluß der CO<sub>2</sub>-Spannung auf die Gefrierpunktserniedrigung ein Maximum und

Minimum zeigt. Mehrere Autoren, wie *Fano* und *Bottazzi*<sup>16</sup> u. a., fanden höhere Werte für die Gefrierpunktserniedrigung des Blutes bzw. des Serums bei einem nicht akut tödlichen Sauerstoffentzug. *Alder*<sup>17</sup> berichtet über die Vergrößerung des Brechungsvermögens des Serums durch Kohlensäureaufnahme. Die gesteigerte Sekretion des Adrenalins, die öfters bei Sauerstoffmangel beobachtet wurde, ist ebenfalls zu berücksichtigen, da dieses die Konzentration des Blutes erhöhen kann.

*Yamakami*<sup>4</sup> ist geneigt anzunehmen, daß die von ihm gefundene Hyperchlorämie beim Erdrasseln auf die Erregung des Kochsalzzentrums zurückzuführen sei. Diese Ansicht bedarf noch einer weiteren Prüfung, aber möglich ist immerhin, daß gewisse Zentren durch die Zirkulationsstörung im Gehirn Veränderungen erfahren. Die Zunahme des Chlorgehaltes des Serums ist um so merkwürdiger, als nach der allgemeinen Auffassung das Plasmachlor unter Erhöhung der Kohlensäurespannung, und folglich auch im venösen Blut, in die roten Blutkörperchen oder in die Gewebe hineinwandert. Beim akuten Erstickungstod tritt daher etwas anderes als eine gewöhnliche Vervenösung auf. *Alder* ist der Meinung, daß durch die Steigerung der Kohlensäurespannung Flüssigkeit aus der Blutbahn ins Gewebe gepreßt wird. Auch *Saso*<sup>18</sup> vertritt eine ähnliche Auffassung. Diese scheinen nicht unmöglich zu sein, da sich beim akuten Erstickungstod intermediäre, insbesondere saure Abbauprodukte übermäßig in den Geweben und Organen anhäufen, die die Fähigkeit der Wasseranziehung der letzteren durch Osmose, Quellung usw. stark vergrößern können. Außerdem muß die bekannte Blutfülle des venösen Systems bei Erstickung eine Steigerung des hydrostatischen Drucks verursachen, was günstig auf den Wasseraustritt aus den Gefäßen wirken soll. Es ist übrigens festgestellt worden, daß die roten Blutkörperchen bei der Kohlensäureanhäufung auf Kosten des Plasmawassers aufquellen. Dieser Umstand wird höchstwahrscheinlich bei Erstickung deutlicher, weil sowohl bei Sauerstoffmangel, wie auch bei Bewegung das erythrocytenreiche Milzblut in den allgemeinen Kreislauf eintritt, wie es von *Barcroft* zuerst festgestellt und später vielfach bestätigt wurde.

Wie oben erwähnt, veranlassen weiter heftige Bewegungen und Krämpfe beim Erdrasseln eine nicht unbedeutende Vermehrung der Reststoffe des Blutes, obwohl ein kleiner Teil der Reststoffzunahme dem Erythrocytenzufluß aus der Milz zuzuschreiben ist, da die Erythrocyten, wie bekannt, reststoffreich sind. Das scheint gewissermaßen zur Erniedrigung des Gefrierpunktes und vielleicht auch zur Vergrößerung des Brechungsindexes beizutragen. Auch *Alder*<sup>17</sup> nimmt an, daß der Brechungsindex des Serums durch starke körperliche Arbeit merklich vergrößert wird.

Kurzum, das Blut erfährt beim Erdrasseln infolge des Zuströmens gewisser Komponenten, wie Erythrocyten und Reststoff, in außergewöhnlichen Mengen und der eigentlichen Eindickung durch Wasserverlust regelmäßig eine geringe Konzentrationserhöhung.

#### *Ertränkung in Süßwasser.*

Diese Versuche wurden zum Zweck des Vergleiches mit denen des nachfolgenden Kapitels ausgeführt. Das Herzblut zeigte sich gewöhnlich als teilweise hämolysiert. Die Verfärbung des abgetrennten Serums war beim linken Herzblut unzweifelhaft stärker ausgeprägt, als beim rechten. Die Resultate der Bestimmung sind in Tab. 3 wiedergegeben.

Durch einen Vergleich des Chlorgehaltes vor und nach dem Ertränken und des Verhältnisses zwischen dem Blut aus den beiden Herzhälften kann man deutlich die stattgefundenen Blutverdünnung erkennen.

Tabelle 3. Ertränkungsversuche.

Kaninchen	Dauer des Ertränkens	Zahl der Schwimmbewegungen	p <sub>b</sub>			A			NaCl (mg-%)		
			Ausgangswert	sofort nach dem Tod		Ausgangswert	sofort nach dem Tod		Ausgangswert	sofort nach dem Tod	
				links	rechts		links	rechts		links	rechts
In Süßwasser											
Nr. 8 ♀ 2,4 kg	7 Min. 40 Sek.	159	1,3501	1,3512 (0,0011)	1,3513 (0,0012)	0,563	0,657 (0,994)	0,639 (0,076)	589,5	468,0 (-121,5)	609,7 (20,2)
Nr. 9 ♂ 2,1 kg	9 Min. 15 Sek.	188	1,3459	1,3484 (0,0025)	1,3480 (0,0021)	0,570	0,599 (0,929)	0,631 (0,061)	627,7	455,4 (-172,3)	614,3 (-13,4)
In Meerwasser											
Nr. 10 ♂ 2,5 kg	5 Min. 30 Sek.	127	1,3465	1,3535 (0,0070)	1,3502 (0,0037)	0,582	0,714 (0,132)	0,678 (0,996)	633,1	866,7 (233,6)	789,7 (156,6)
Nr. 11 ♂ 2,2 kg	7 Min. 25 Sek.	110	1,3462	1,3488 (0,0026)	1,3487 (0,0025)	0,570	0,621 (0,051)	0,614 (0,044)	603,0	721,8 (118,8)	678,3 (75,3)
Nr. 12 ♀ 2,1 kg	9 Min. 10 Sek.	173	1,3476	1,3517 (0,0041)	1,3504 (0,0028)	0,578	0,679 (0,101)	0,626 (0,048)	600,7	798,8 (198,1)	699,7 (99,0)
Nr. 13 ♀ 2,2 kg	10 Min. 10 Sek.	157	1,3457	1,3517 (0,0060)	1,3489 (0,0032)	0,570	0,679 (0,109)	0,617 (0,047)	631,8	902,7 (270,9)	755,1 (123,3)

Bemerkung: Eingeklammerte Ziffern bedeuten die Zunahme.

Aus der von uns benutzten Methodik geht hervor, daß es sich hierbei um eine während des Ertrinkungsvorganges eingetretene Verdünnung handelt. Die Veränderung beschränkte sich nicht auf die linke Herzhälfte, sondern das Blut wurde ebenfalls in der rechten Herzhälfte etwas verdünnt gefunden. Der Brechungsindex und die Gefrierpunktserniedrigung waren dagegen etwas größer, als ihre Ausgangswerte. Dies ist aber offenbar auf die eingetretene Hämolyse zurückzuführen.

#### *Ertränkung im Meerwasser.*

Tab. 3 gibt die erhaltenen Resultate wieder.

Während des Ertränkens in Salzwasser nahm der Brechungsindex für das arterielle Blut um 0,0026—0,0070 und für das venöse um 0,0025—0,0037 zu. Die Gefrierpunktserniedrigung des linken Herzblutes stieg um 0,051—0,132° an und die des rechten um 0,044—0,096°, und der Chloridgehalt erhöhte sich auf 118,8—270,9 mg%, entsprechend 19,7—42,9% des Ausgangswertes, und auf 75,3—156,6 mg%, entsprechend 12,5—24,7% des Ausgangswertes. Alle drei Werte zeigen eine stärkere Zunahme als bei den Erdrosselungsversuchen.

Eine ähnliche Steigerung des Brechungsindex wurde vor kurzem von *Szylislańska* und *Tobiczylk*<sup>6</sup> am Hunde gefunden, dem die Blutprobe innerhalb einer Stunde nach der Ertränkung in Salzwasser entnommen worden war.

Bezüglich der Gefrierpunktserniedrigung gaben frühere Autoren recht große Ziffern an. Aber sie arbeiteten meistens mit nicht frischem Material. Wir konnten nur eine Angabe von *Yamakami*<sup>4, 5</sup> finden, die auf kurz nach dem Tode des Versuchstieres ausgeführten Messungen beruht und sich daher mit den Ergebnissen unserer Arbeit vergleichen läßt. Er fand, ebenso wie auch beim Erdrosseln, große Werte, nämlich 0,7—0,9°. Er gab ferner an, daß bei einem langsam eintretenden Ertränkungstod der Gefrierpunkt des linken Herzblutes um 0,01—0,05° niedriger als der des rechten lag, während bei schnellem Ertränken, d. h. wenn man das Tier sofort ganz untertauchen und nicht wieder an die Oberfläche kommen ließ, beide Blutarten unbedeutende oder keine Unterschiede in ihrer osmotischen Konzentration zeigten. Er ist der Meinung, daß bei der zweiten Art des Ertränkens — der Tod trat in weniger als 5 Minuten ein — etwaige Eindickung des linken Herzblutes verdeckt wird durch die asphyktische Steigerung der osmotischen Konzentration, die im rechten Herzblut stärker als im linken auftritt. Unsere Versuche entsprechen etwa der langsamen Ertränkung von *Yamakami*, wenn auch bei uns die Dauer des Ertränkens meistens länger war. Nun gleichen die Unterschiede zwischen dem linken und rechten Herzblut merkwürdigerweise den von *Yamakami* gefundenen, obwohl der Gesamtzuwachs, sowohl beim linken, wie auch beim rechten Herzblut, im allgemeinen wesentlich kleiner, als in den *Yamakami*schen Fällen ist.

Hinsichtlich des Chloridgehaltes stimmen die Resultate der vorliegenden Untersuchung im großen und ganzen mit den von *Yamakami* gewonnenen überein. Dieser Autor hält den Unterschied im Chloridgehalt des Blutes der beiden Herzhälften für ein zuverlässiges Kennzeichen des Ertrinkungstodes, das uns auch den Ort des Ertrinkens, Fluß oder Meer, zu beurteilen erlaubt.

In der vorliegenden Untersuchung war der Zuwachs aller 3 Werte größer als bei den Erdrosselungsversuchen, wobei das Blut der linken Herzhälfte größere Werte, als das des rechten zeigte. Vorläufig scheint der Befund für die allgemeine Annahme zu sprechen, daß beim

Ertrinken im Meer eine Eindickung des Blutes eintritt. Aber dann ist die früher gefundene Tatsache, daß der Gehalt an Reststoffen des linken Herzblutes gewöhnlich, wenn auch nur wenig kleiner als der des rechten ist, schwer aufzuklären<sup>7</sup>. Wäre das Plasmawasser als Folge des osmotischen Ausgleichs zwischen dem Blut und dem Lungeninhalt ausgetreten, wie man allgemein annimmt, so müßten auch die Reststoffe im linken Herzblut konzentrierter als im rechten sein. Aber dieses war nicht der Fall.

Es scheint uns der Mehrgehalt des Chlors des linken Herzblutes nicht einfach, wie man glaubt, auf Eindickung infolge des osmotischen Ausgleichs zurückzuführen zu sein. Es ist bekannt, daß die oberflächlichen Bedeckungen, wie die äußere Haut, die Schleim- und die serösen Häute, nicht vollständig semipermeable Membranen darstellen, sondern mehr oder minder permeabel für verschiedene Substanzen sind. Der Flüssigkeitsaustausch durch solche Membranen läßt sich nicht auf Grund des osmotischen Gesetzes allein erklären. Überdies erfolgt die Wanderung von Wasser und den darin gelösten Substanzen durch tierische Membranen öfters vorwiegend in einer bestimmten Richtung. Die Wanderung von Flüssigkeiten und gelösten Substanzen durch tierische Membranen ist ein äußerst verwickelter Vorgang, der unter Mitwirkung von verschiedenen Faktoren zustande zu kommen scheint. Die Angaben von *Straub* und *Leo*<sup>19</sup> und einiger anderer, daß sich die Flüssigkeitsresorption aus Salzlösungen den osmotischen Gesetzen einfügt, stehen vereinzelt da. Da es bis jetzt noch unmöglich ist, die Erscheinungen der Resorption und der Ausscheidung auf Grund physikalisch-chemischer Gesetze vollständig zu erklären, wird wiederholt von aktiven Lebensfunktionen der Epithelzellen gesprochen. Es ist undenkbar, daß die Bronchiolar- und Alveolarepithelien eine besondere Ausnahme bilden, indem sie sich wie eine tote, vollständig semipermeable Membran verhalten.

Es ist als sicher anzusehen, daß die Darmschleimhaut und die serösen Häute, neben Wasser, auch Kochsalz gegenüber leicht durchlässig sind. Schon *Heidenhain* erkannte, daß Kochsalz aus dem Darm dem osmotischen Gesetz entgegen resorbiert werden kann. *Rzentkowski*<sup>20</sup> beobachtete, daß hypertonische Kochsalzlösungen den Magen schnell verließen, noch bevor sie bis zur isotonischen Konzentration verdünnt worden waren. Nach *Rabinovitsch*<sup>21</sup> wird das Salz aus konzentrierten Kochsalzlösungen im allgemeinen rascher resorbiert als das Wasser. *Oshima*<sup>22</sup> und *Matsumoto*<sup>23</sup> sind der Meinung, daß die Resorption des Kochsalzes aus dem Darm unabhängig von der des Wassers vor sich geht. Nach *Norberg*<sup>24</sup> kann die Resorption von Elektrolyten im Dünndarm als eine ziemlich einfache Diffusion aufgefaßt werden. Eine Anzahl ähnlicher Mitteilungen liegen im Schrifttum vor. Auch wird viel-

fach betont, daß außer der Natur der Scheidewände und der Konzentrationsgefälle, auch die Bewegung, die Potentialdifferenz und andere Eigenschaften der Flüssigkeiten eine nicht unbedeutende Rolle für die Resorption spielen; so hat z. B. *Wells*<sup>25</sup> kürzlich von neuem auf die Bedeutung des von *Starling* eingeführten kolloidosmotischen Druckes für die Resorption von Elektrolytlösungen aufmerksam gemacht.

Die Vorstellung liegt nahe, daß sich das Lungenepithel in bezug auf die Durchlässigkeit wenigstens qualitativ etwa wie das Darmepithel verhält. *Laqueur*<sup>26</sup> gab an, daß eine 20proz. Chlornatrium- und eine 50proz. Traubenzuckerlösung, die in die Trachea des Kaninchens eingeführt worden waren, rasch resorbiert wurden. Nach zahlreichen experimentellen und klinischen Erfahrungen können verschiedene Substanzen ziemlich leicht durch Inhalation resorbiert werden. Das Eindringen des hypertonischen Meerwassers in die Lunge hat offenbar auch die Resorption des Salzes zur Folge.

Nach dem eben Gesagten scheint die Resorption des Salzes ziemlich schnell und ausgiebig vor sich zu gehen. Es folgt nun, daß die Zunahme des Plasmachlors beim Ertrinken in Meerwasser wahrscheinlich mehr durch die Resorption des Salzes als durch die Bluteindickung bedingt wird. In bestem Einklang damit stehen die Ergebnisse unserer Untersuchungen.

Die Verhältnisse der Gefrierpunkte des Blutes aus beiden Herzhälften lassen sich ziemlich vollständig mit der Zunahme des Chlors erklären; auch die Reststoffe sind wahrscheinlich daran beteiligt, aber offenbar in bescheidener Weise. Nur mit dem Brechungsindex liegt die Sache anders, da nach *Brieger* eine Zunahme des Kochsalzgehaltes von 0,1% im Serum von einer Steigerung von ungefähr 0,0002° des Brechungsindexes begleitet werden soll. Der beobachtete verhältnismäßig große Unterschied des Brechungsindexes zwischen den beiden Blutarten kann vielleicht als Ausdruck der Eindickung im gewöhnlichen Sinne gedeutet werden. Immerhin scheint eine so starke Bluteindickung, wie die allgemein angenommene, nicht stattgefunden zu haben.

Es muß zugegeben werden, daß den osmotischen Verhältnissen entsprechend dem Blut gewissermaßen Wasser entzogen wird. Aber andererseits wird das Salz resorbiert, und zwar vermutlich mit einer nicht unbedeutenden Geschwindigkeit. Das eintretende Kochsalz kann Wasser mit sich führen; es ist sogar nicht unwahrscheinlich, daß bei der Resorption aus der Lunge auch Filtrationsprozesse eine gewisse Rolle spielen, die hypertonische Lösungen als solche ins Blut treiben können. All das eben Gesagte führt uns zu der Folgerung, daß das angesogene Meerwasser als Folge der Resorption des Salzes ziemlich rasch an Konzentration vermindert, evtl. resorbiert wird, ohne daß dabei ein

besonders großer Austritt des Plasmawassers und folglich eine so starke Bluteindickung, wie man denkt, zustande kommt. Unter Berücksichtigung dieses Verhältnisses kann man verstehen, warum in der früheren Untersuchung die Menge der Reststoffe in der rechten Herzhälfte eher größer als in der linken gefunden wurde, während sich in dieser Arbeit das linke Herzblut bezüglich des Chlors und des Gefrierpunktes etwas mehr konzentriert, als das rechte zeigte.

Wie seinerzeit erörtert, stammen die Reststoffe wesentlich von den Organen und Geweben her. Während des Ertränkens machten die Tiere weit häufiger Bewegungen, als beim Erdrosseln; dementsprechend war auch die Zunahme der Reststoffe größer. Beim Ertränken, evtl. Erdrosseln, arbeitet das Herz noch während mehrerer Minuten nach dem letzten Atemzug weiter, obwohl während dieser Zeit seine Leistung immer schwächer wird. Als Folge der allmählichen Verlangsamung und des schließlichen Aufhörens der Blutzirkulation können sich die Reststoffe besonders im venösen System so stark anstauen, daß der auf der Kochsalzresorption und auch einer evtl. Eindickung in der Lunge beruhende geringe Konzentrationsunterschied zwischen beiden Herzhälften mehr als ausgeglichen wird.

#### *Zusammenfassung.*

1. Der Brechungsindex, die Gefrierpunktserniedrigung und der Chloridgehalt des Serums der erdrosselten Kaninchen wurden sämtlich größer als während des Lebens gefunden. Der akute Erstickungstod wird also von einer geringen Eindickung des Blutes begleitet.

2. Die Ursache dieser Bluteindickung ist besprochen worden. Heftige Bewegungen unter behinderter Sauerstoffzufuhr sind dabei von fundamentaler Bedeutung.

3. Beim Ertränken in Süßwasser waren die Werte für das Blut aus der linken Herzhälfte auffallend kleiner, als für das rechte Herzblut und sogar öfters niedriger als die Ausgangswerte. Es trat also, wie bekannt, eine Blutverdünnung ein.

4. Beim Ertrinken in Meerwasser waren die 3 Werte erheblich größer, als beim Erdrosseln. Die Konzentration des linken Herzblutes war höher, als die des rechten. Der Konzentrationsunterschied zwischen dem Blut aus den beiden Herzhälften war aber nicht so ausgeprägt, wie beim Ertrinken in Süßwasser.

5. Der obige Befund scheint vorläufig auf die eingetretene Bluteindickung hinzuweisen. Wir haben aber genügende Gründe zu glauben, daß die Bluteindickung im üblichen Sinne, d. h. Eindickung durch Wasseraustritt ins inspirierte, osmotisch konzentriertere Salzwasser, nicht in einem so großen Umfang stattfindet, wie man allgemein annimmt. Die Zunahme der Salzkonzentration und die Gefrierpunkts-

erniedrigung des Blutes beim Ertrinken in Meerwasser ist nach unseren Ergebnissen vielmehr auf die Resorption des Salzes aus dem Ertränkungsmedium zurückzuführen als auf die Eindickung im üblichen Sinne.

#### Literaturverzeichnis.

- <sup>1</sup> Carrara, Folia haemat. (Lpz.) **1**, 330 (1904) — Vjschr. gerichtl. Med. **3**, F. **24**, 236 (1902). — <sup>2</sup> Stoenescu, Ann. Hyg. publ., 3. Sér. **49**, 14 (1903). — <sup>3</sup> Gettler, J. amer. med. Assoc. **77**, 1650 (1921). — <sup>4</sup> Yamakami, K., Tohoku J. exper. Med. **3**, 17 (1922). — <sup>5</sup> Yamakami, K., Tohoku J. exper. Med. **3**, 352 (1922); **4**, 88 (1923/1924). — <sup>6</sup> Szulislawaska u. Tobiczkyk, Dtsch. Z. gerichtl. Med. **9**, 13 (1927). — <sup>7</sup> Inouye, T., Tohoku J. exper. Med. **25**, 491 (1935). — <sup>8</sup> Inouye, T., Tohoku J. exper. Med. **24**, 100 (1934). — <sup>9</sup> Inouye, T., Tohoku J. exper. Med. **27**, 122 (1935). — <sup>10</sup> Nakai, R., Arb. med. Univ. Okayama **2**, 63 (1930). — <sup>11</sup> Salge, Z. Kinderheilk. **1**, 126 (1911); **34**, 330 (1923). — <sup>12</sup> Rusznyák, Biochem. Z. **114**, 23 (1921). — Kórányi, A. v., Z. klin. Med. **33**, 1 (1897). — <sup>14</sup> Nasse, Pflügers Arch. **16**, 604 (1878). — <sup>15</sup> Hinsberg u. Schürmeyer, Z. exper. Med. **88**, 696 (1932). — <sup>16</sup> Fano u. Bottazzi, Malys Jber. **27**, 172 (1898). — <sup>17</sup> Alder, In Bethe u. a., Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Bd 6, H. 1, S. 548. Berlin 1928. — <sup>18</sup> Saso, T., Jap. J. Biochem. **12**, 281 (1931). — <sup>19</sup> Straub u. Leo, Naunyn-Schmiedebergs Arch. **170**, 534 (1933). — <sup>20</sup> Rzentkowski, C. v., Naunyn-Schmiedebergs Arch. **51**, 289 (1904). — <sup>21</sup> Rabinovitch, Amer. J. Physiol. **82**, 279 (1927). — <sup>22</sup> Oshima, Y., Hokkaido Igaku Zassi **3**, 57 (1926). — <sup>23</sup> Matsumoto, G., Hokkaido Igaku Zassi **5**, 107 (1927). — <sup>24</sup> Norberg, Pflügers Arch. **234**, 200 (1934). — <sup>25</sup> Wells, Amer. J. Physiol. **99**, 209 (1931/1932). — <sup>26</sup> Laqueur, Pflügers Arch. **184**, 104 (1920).