

## **Beiträge zur Kenntniss der Respiration der Fische.**

Von

**C. Duncan und F. Hoppe-Seyler.**

In Uebereinstimmung mit zahlreichen Erfahrungen über das Leben von Menschen und warmblütigen Thieren in grösseren Höhen über dem Meeresspiegel ist durch nicht wenige specielle Untersuchungen festgestellt, dass eine mässige Erniedrigung des Sauerstoffdruckes in der geathmeten Luft keine erhebliche Aenderung in den Functionen herbeiführt. Beschleunigung der Athembewegungen, eine geringe Verminderung der Quantität des in der Zeiteinheit aufgenommenen Sauerstoffs, auch leichte Ermüdung bei stärkeren Muskelanstrengungen sind die Erscheinungen, welche in grösseren Höhen über dem Meeresniveau, 2500 bis 4000 Meter Höhe, oder entsprechender Verminderung der Sauerstoffpressionen in Versuchen beobachtet sind<sup>1)</sup>. Die Versuche an kaltblütigen Thieren, welche Luft athmen, Vertebraten wie Avertebraten, haben selbst bei viel weiter gehender Erniedrigung der Sauerstoffpression keine oder nur geringe Veränderung der Functionen ergeben.

Ueber das Verhalten der mit Kiemen in Wasser athmenden Thiere liegen für die Beurtheilung dieser Einflüsse relativ wenige Untersuchungen vor; unter denselben aber eine umfassende

---

<sup>1)</sup> Es kommen hier in Betracht Arbeiten von Bert, Friedländer u. Herter, Kempner u. Herter, Fränkel u. Geppert, Speck u. A. Dieselben sind eingehend besprochen von Speck, Zeitschr. f. klin. Medicin, Bd. XII, Heft 5 u. 6, 1887.

Experimental-Untersuchung von Jolyet und Regnard<sup>1)</sup>, auf deren Ergebnisse hier eingegangen werden muss.

Das Athmen der Fische ist ein insofern recht vollkommener mechanischer Vorgang in Vergleich mit der Respiration der Luft athmenden Thiere, als innerhalb der Respirationsorgane kein schädlicher Raum vorhanden ist, wie er sich in den Apparaten der Luft athmenden Thiere bekanntlich allgemein findet. So verschieden die Kiemen bei den einzelnen Familien der Fische gestaltet erscheinen, geht doch bei allen Fischen, so lange sie respiriren, ein Wasserstrom vom Munde aufgenommen zwischen den Kiemenblättern hindurch und bringt stets neue Wasserportionen in die grösste Nähe des feinen Capillarnetzes, welches dieselben enthalten. Bei vielen Avertebraten ist die Kiemenathmung häufig, wie bei den Krebsen, mit einer fächernden oder strudelnden Bewegung der Kiemenblätter oder Borsten verbunden, bei den Cephalopoden eine Pumpenbewegung, Aufnahme des Wassers in die Höhlung des Mantels, nachherige Austreibung durch den Trichter; alle diese Bewegungen erneuern fortdauernd die Schichten des mit der Kiemenoberfläche in Berührung tretenden Wassers und dieser schnelle Wechsel der Wasserschichten erscheint um so nothwendiger, als einerseits die Quantität des im Wasser absorbirten Sauerstoffs auch bei völliger Sättigung für gewöhnlichen Luftdruck und niedere Temperatur mit atm. Luft eine recht geringe ist, andererseits die Diffusion der Gase im Wasser, wie wir durch die vorstehende Abhandlung erwiesen haben, eine ausserordentlich langsame ist. Ein Liter Luft enthält ungefähr 210 cbcm. Sauerstoff, ein Liter Wasser von 7° C., wenn es vollständig mit Luft gesättigt ist, enthält absorbirt nur 8 chem. Sauerstoff und mit Erhöhung der Temperatur immer weniger. Die Quantität Sauerstoff, welche von verschiedenen Fischarten unter günstigen Verhältnissen, bezogen auf 1 Kilo Körpergewicht, in einer Stunde aufgenommen wird, zeigt in den Versuchen von Jolyet und Regnard Schwankungen von 29 bis

<sup>1)</sup> F. Jolyet u. P. Regnard, Recherches sur la respiration des animaux aquatiques, Archives de physiologie norm. et path., 2 Sér., T. 4, p. 584, 1877.

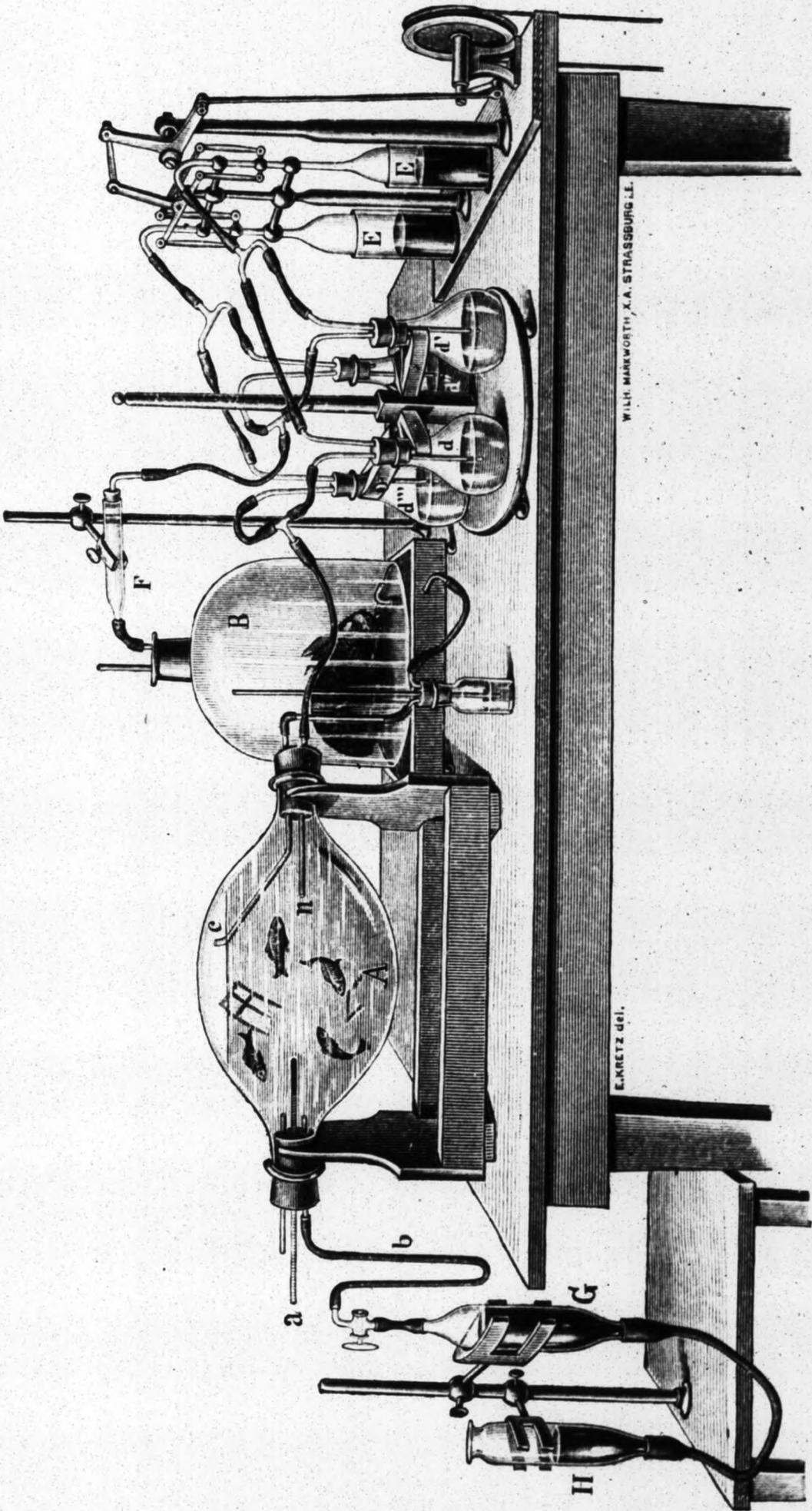
171 cbcm. Bei 7° C. entspricht diese Quantität dem gesammten Sauerstoffgehalt von 3,6 bis 21,4 Liter Wasser. In den meisten der erwähnten Versuche wurde der gesammte Sauerstoff von 5 bis 6 Liter Wasser (nach dieser Rechnung für 1 Kilo Körpergewicht) in einer Stunde verbraucht. Da nun bei dem Hindurchgehen durch die Kiemen nur ein Theil des durchströmenden Wassers mit der Kiemenoberfläche in nächsten Austausch tritt und ohne Zweifel nicht der ganze absorbirte Sauerstoff des durchgeführten Wassers in das Blut der Thiere aufgenommen wird, ist ersichtlich, dass sehr grosse Wassermassen die Kiemen der Fische passiren müssen, um ihnen diejenige Sauerstoffquantität zukommen zu lassen, welche nach den angeführten Versuchen in einer Stunde in ihren Organen zur Aufnahme und zur Oxydation gelangt.

Die Beobachtung des Verhaltens der Fische im freien Wasser oder in Aquarien, deren Wasser nicht genügend mit frischer Luft versehen wird, lässt leicht erkennen, dass bei ungenügender Lüftung dyspnoische Erscheinungen, nämlich Steigerung der Athemfrequenz und Tiefe der Athemzüge eintreten. Steigert man den Sauerstoffmangel, so werden die Thiere unruhig, ohne jedoch sich in gleicher Weise weiterhin zu verhalten, um ihre Lage zu verbessern. Fische, welche wie die Cyprinoiden ihre Nahrung im Schlamm am Boden zu suchen gewohnt sind, finden bei dieser Beschäftigung oft einen sehr geringen, auch nicht selten gar keinen Sauerstoffgehalt in dem Schlammwasser und den nahe darüber stehenden Wasserschichten. Sie wissen aber, dass an der Oberfläche Sauerstoff zu finden ist, kommen bei Mangel daran im Wasser oft an dieselbe und schlürfen mit ihrem fast rüsselförmig vorgestreckten Munde das Wasser unmittelbar an der Oberfläche. Andere Fische, und zwar Raubfische wie die Forellen, verhalten sich anders. Enthält das Wasser wenig Sauerstoff, so respiriren sie auch schneller und tiefer, schnappen dann heftig mit dem plötzlich weit geöffneten Maul, werfen sich wild im Wasser herum, springen in die Luft, wenn es angeht, suchen aber nicht sauerstoffhaltiges Wasser an der Oberfläche. *Cobitis fossilis* athmet bei Verminderung des Sauerstoffgehaltes im

Wasser schneller; ist jedoch dasselbe sehr arm an Sauerstoff, so kommt dieser Fisch von Zeit zu Zeit an die Oberfläche, schluckt Luft in den Darm und liegt dann in der Zwischenzeit am Boden, kaum die Kiemen bewegend, indem er den Sauerstoff der hinabgeschluckten Luft verbraucht.

Die Versuche, welche wir im Folgenden schildern, sind speciell mit Rücksicht auf Tiefsee-Erforschung zu dem Zweck ausgeführt, zu erfahren, wie weit der Sauerstoffgehalt des Wassers, in dem die Fische sich befinden, erniedrigt werden kann, ohne dass erhebliche Störungen in der Respiration und im sonstigen Verhalten der Thiere beobachtet wird. Es wurden für dieselben Schleien (*Tinca vulgaris*) und Bachforellen gewählt. Die Forellen befanden sich während der Zwischenzeit zwischen den Versuchen in fließendem Wasserleitungswasser des physiologisch-chemischen Instituts in einer hölzernen Wanne und erhielten sich mehrere Wochen anscheinend gesund und kräftig. Die Schleien blieben mehrere Monate in ruhendem Wasserleitungswasser, welches täglich gewechselt wurde, offenbar völlig gesund.

Bei den Versuchen wurden die Fische in Wasserleitungswasser eingebracht in dem gläsernen, elliptischen Wasserbehälter A, wie ihn der Holzschnitt unten darstellt. Dieses Gefäß, 15 Liter fassend, wurde stets bis auf einen Luftraum von ungefähr 200 ccm. mit Wasser gefüllt. Die beiden je 6 cm. im Durchmesser haltenden Oeffnungen waren mit Kautschukstopfen geschlossen, welche 3 Bohrungen haben. Auf der linken Seite ist durch die mittlere Bohrung das Thermometer a eingebracht, durch die beiden anderen Bohrungen sind Glasröhren gesteckt, von denen die eine mit Kautschuk-schlauchstück und Glasstopfen geschlossen, die andere mit dem Kautschukschlauch b verbunden und während der Versuche gleichfalls geschlossen ist. Beide Röhren dienen zum Zu- und Ableiten von Wasser vor oder nach den Versuchen. In den Bohrungen des Kautschukstopfens rechts befindet sich in der Mitte ein abschliessender Glasstab, in den seitlichen Bohrungen die Glasröhre n, durch welche Luft eingepresst, und das Rohr c, durch welches Luft abgesaugt wird während der Versuche.



Die Abbildung stellt die Vereinigung des Fischbehälters A mit einem kleinen in der Abbildung nicht bezeichneten Fläschchen mit dreifach durchbohrtem Kautschukstopfen dar, das Fläschchen ist andererseits verbunden mit einer Glasglocke auf abgeschliffener Platte, unter der Glocke ein Kaninchen; ferner folgt die Verbindung mit 4 Waschflaschen, jede halb gefüllt mit 100 ccm. Kalilauge von 1,27 spec. Gew., und mit einem Pumpwerk, hergestellt aus 2 Cylindergläsern, die unten weit offen, oben in Röhren ausgezogen in Quecksilber auf- und abgetrieben werden durch das dargestellte Hebelwerk, dessen Bewegung erhalten wird durch einen kleinen Wassermotor von Schmid in Zürich.

Für die einzelnen zu schildernden Versuche wurden nicht stets alle die in der Abbildung dargestellten Apparate verwendet.

Bei der Versuchsanordnung I blieben die Fische in dem Behälter A eingeschlossen, der mit frischem Wasser gefüllt war bis auf den kleinen Luftraum. Andere Apparate waren nicht angefügt, eine Lüftung des Wassers während der Dauer der Versuche fand nicht statt. Es durfte angenommen werden, dass auch in dem Falle, dass die Fische mehr  $\text{CO}_2$  ausschieden, als sie Sauerstoff aus dem Wasser aufnahmen, eine irgend in Rechnung zu nehmende Steigerung der Kohlensäurepression nicht eintreten konnte, weil besonders bei den herrschenden niedrigen Temperaturen der hohe Absorptionscoefficient der  $\text{CO}_2$  für Wasser eine wesentliche Erhöhung dieser Pression nicht entstehen lassen konnte.

In einigen anderen Versuchen, Versuchsanordnung II, wurden die dem Fischbehälter A rechts angefügten Röhren c und n mittelst genügend langer Kautschukschläuche mit einer Flasche von 3 Liter Inhalt, die halb mit Wasser gefüllt war, verbunden. Ein Rohr, welches durch den Stopfen der Flasche bis in die Nähe des Bodens reichte, wurde mit dem Rohr n, und ein ganz kurzes, nur durch den Stopfen hindurch tretendes Rohr mit dem Glasrohr n verbunden. Wurde die Flasche (die auf der Abbildung nicht dargestellt ist) erhoben, so floss Wasser aus ihr nach A und dafür die Luft oben aus A in die Flasche. Wurde dann die Flasche wieder gesenkt, so floss

Wasser aus A durch n nach dieser Flasche hinüber, während Luft aus letzterer nach A durch c hinüber strömte. In dieser Flasche wurde oftmals Luft und Wasser zusammengeschüttelt.

Bei der Versuchsanordnung III war der Fischbehälter A mit den Kalilauge enthaltenden Wasserflaschen, der Pumpe und der kleinen (nicht bezeichneten) Flasche verbunden. Bei der Bewegung der Cylinder in E E auf- und abwärts wurde Luft durch die Kalilauge, bald in Flasche d, bald durch d'' in das Wasser des Fischbehälters A eingepresst und eine entsprechende Quantität Luft gleichzeitig andererseits durch Rohr c zunächst zu dem kleinen Fläschchen und von da abwechselnd durch die Kalilauge d' oder d'' in die Pumpencylinder gesaugt. Das kleine Fläschchen ist mit dreifach durchbohrtem Stopfen geschlossen. In die beiden seitlichen Bohrungen waren kurz unter dem Stopfen in dem Luftraum des Fläschchens mündende Glasröhren eingesetzt; durch die mittlere Bohrung ging ein an beiden Enden offenes Rohr, welches im Fläschchen unter dem Wasserniveau mündete. In Folge des Sauerstoffverbrauchs durch die Fische musste der Sauerstoffdruck im ganzen System der im Uebrigen geschlossenen Apparate sinken. Entsprechend dieser Erniedrigung der Pression musste Luft durch das lange senkrechte Glasrohr und das Wasser in das Fläschchen und hiermit in die ganze sonst abgeschlossene, in dem Apparatsystem circulirende Luftmasse einströmen. Da nun der Sauerstoffdruckerniedrigung entsprechend nicht Sauerstoff, sondern atm. Luft eintrat, musste der Sauerstoffdruck fortdauernd abnehmen, während der summarische Gasdruck erhalten blieb.

Die Versuchsanordnung IV entspricht der Abbildung. Die durch die bewegte Pumpe angesaugte Luft trat durch Rohr c zu dem nicht bezeichneten Fläschchen, von da zu einem Kaninchen unter der Glasglocke B, welche auf abgeschliffener Glasplatte luftdicht aufgesetzt war. Von hier strömte die Luft oben zu dem Rohr F, welches nur Luft enthielt, und von da abwechselnd zur Kaliflasche d' oder d'', dann in E E ein, wurde dann bei Niedergehen der Cylinder in E E abwechselnd durch d oder d'' durch die Kalilauge

gepresst und dann durch Rohr n in das Wasser des Fischbehälters A, um hier das Wasser mit Sauerstoff zu versehen, im Uebrigen aufzusteigen und durch c die Circulation abermals zu beginnen.

In den Kaliflaschen musste die Luft bei dieser Bewegung stets zweimal durch die Kalilauge hindurch wandern und ihren  $\text{CO}_2$ -Gehalt abgeben.

Am Ende jedes Versuchs wurde, wenn das Rohr F benutzt war, dasselbe beiderseits durch Klemmen, die auf die Kautschukschläuche gesetzt und geschlossen wurden, abgesperrt, die enthaltene Luftprobe in der Quecksilberwanne über Quecksilber in ein Absorptionsrohr übergefüllt und analysirt. Dann wurden am Schluss jedes Versuchs stets 2 Röhren in der Gestalt und Anfügung von G von 400 bis 500 cbcm. Inhalt erst mit Quecksilber gefüllt, mittelst Glashahn und Kautschukrohr b an den Behälter A angefügt, so dass keine Luftblase dazwischen kam. War dann der Quecksilberbehälter H tiefer gestellt und die Klemme oben und unten von G geöffnet, auch der Glashahn geöffnet, so wurde Rohr G unter Sinken des Quecksilbers und Abfließen desselben nach H mit Wasser aus A gefüllt. Es wurde durch Klemmen oben und unten G abgeschlossen, abgenommen, ein zweites Rohr von 400 bis 500 cbcm. Inhalt in gleicher Weise erst mit Quecksilber, dann mit Wasser aus A gefüllt, abgeschlossen. In diesen beiden Röhren wurde durch Auskochen unter Anwendung einer kleinen Quecksilberpumpe <sup>1)</sup> das absorbirte Gas gewonnen und über Quecksilber gesammelt, dann gemessen und nach Bunsen's Methoden mittelst Natronlauge die  $\text{CO}_2$ , dann durch Explosion mit Wasserstoffgas der Sauerstoffgehalt bestimmt.

Die Einschaltung des Kaninchens hatte den doppelten Zweck, 1. durch das relativ viel Sauerstoff consumirende warmblütige Thier die Sauerstoffarmuth schneller herbeizuführen, als es durch die Fische allein erreicht werden konnte, 2. bei ungefähr gleicher Sauerstofftension in Luft und Wasser, wie sie bei der gewählten Versuchsanordnung sich einstellen musste,

<sup>1)</sup> Der hierfür benutzte Apparat ist Zeitschr. f. analyt. Chemie. 1892. XXXI. Jahrg., Heft 4, S. 367 abgebildet und beschrieben.

die Einwirkung der Erniedrigung der Sauerstofftension auf den Warmblüter und die Fische vergleichen zu können.

Versuch I. 1. December 1891. Es wurden 5 Schleien in den Fischbehälter A gebracht und nach der Versuchsanordnung III (vergl. oben) 5 Stunden 50 Min. erhalten, während durch die Pumpe E E fortdauernd die Circulation der Luft, Befreiung derselben von  $\text{CO}_2$  und Ersatz des verbrauchten Sauerstoffs durch atm. Luft in Thätigkeit blieb. Am Ende des Versuchs Temperatur im Apparat  $10,9^\circ$ , Barometer 756,3 mm. Das Befinden der Fische blieb bis an das Ende des Versuchs ein normales. In den abgenommenen Wasserportionen fanden sich in 1 Liter Wasser:

im ersten Rohr absorbiert $\text{O}_2$	3,44 cbcm.,	im zweiten Rohr $\text{O}_2$	2,86 cbcm.
» » » » $\text{N}_2$	15,52	» » » » $\text{N}_2$	14,27

Versuch II. 4. December 1891. 13 Stunden lang 5 Schleien nach Versuchsanordnung III behandelt. Temperatur  $7,9^\circ$  Anfangs,  $12,25^\circ$  Ende des Versuchs. Barometer 759,0 mm. Die Fische waren am Ende etwas weniger ruhig und kamen hier und da an die Oberfläche. In den abgenommenen Wasserproben gefunden für 1 Liter Wasser:

im ersten Kochrohr $\text{O}_2$	3,78 cbcm.,	im zweiten Rohr $\text{O}_2$	3,53 cbcm.
» » » » $\text{N}_2$	14,71	» » » » $\text{N}_2$	14,90

Versuch III. 7.—8. December 1891. 22 Stunden lang, Versuchsanordnung III. 5 Schleien. Temperatur im Fischbehälter A Anfangs  $9,5^\circ$ , am Ende  $13,0^\circ$ . Barometer 757,0 mm. Die Fische waren am Ende lebhaft, kamen oft an die Oberfläche. In der ersten Wasserportion wurden für 1 Liter Wasser gefunden absorbiert  $\text{O}_2$  3,13 cbcm. und  $\text{N}_2$  14,69 cbcm. Die Bestimmung der Gase im zweiten Kochrohr ging verloren.

Versuch IV. 12. December 1891. Von 8 Uhr Morgens bis  $10\frac{1}{2}$  Uhr Abends ( $14\frac{1}{2}$  Stunden) 5 Schleien im Wasserbehälter A nach Versuchsanordnung II, eine 3 Literflasche mit dem Behälter A verbunden, oftmals das Wasser hin und her gehen lassen und das Wasser in der Flasche mit Luft geschüttelt. Am Ende des Versuchs Temperatur  $11,5^\circ$ , Barometer 755,0 mm. Die Fische athmen am Ende sehr heftig und bleiben an der

Oberfläche. Von den abgenommenen Wasserproben ergab die erste für 1 Liter Wasser berechnet:

O<sub>2</sub> 0,138 cbem., die zweite 0,385 cbem.  
N<sub>2</sub> 15,610 » » » 15,989 »

In dem Rohr F war am Ende eine Luftprobe abgeschlossen von der Zusammensetzung:

CO<sub>2</sub> 2,056 Vol.-%  
O<sub>2</sub> 7,466 »  
N<sub>2</sub> 90,478 »

Versuch V. Am 14.—15. December 1891 Morgens, 19 Stunden lang nach Versuchsanordnung II. 5 Schleien in Behälter A. Die Glasflasche weniger oft geschüttelt und auf und nieder bewegt als in Versuch IV. Temperatur 13,0°, Barometer 754,0 mm. Die Fische blieben in der letzten Zeit heftig athmend an der Oberfläche. Die erste abgenommene Wasserprobe ergab für 1 Liter Wasser:

O<sub>2</sub> 0,269 cbem., die zweite O<sub>2</sub> 0,264 cbem.  
N<sub>2</sub> 14,930 » » » N<sub>2</sub> 15,320 »

Die in F am Ende des Versuchs eingeschlossene Luftprobe enthielt:

CO<sub>2</sub> 0,800 Vol.-%  
O<sub>2</sub> 8,628 »  
N<sub>2</sub> 90,572 »

Versuch VI. 17.—18. December 1891. Dauer des Versuchs 20 Stunden. Im Behälter A 5 Schleien. Versuchsanordnung I mit ziemlich grossem Luftraum. Temperatur 11,0°, Barometer 764,0 mm. In der abgenommenen Wasserportion gefunden für 1 Liter Wasser:

O<sub>2</sub> 4,033 cbem.  
N<sub>2</sub> 16,964 »

Die Fische waren am Ende alle an der Oberfläche.

Versuch VII. 21. December 1891. Dauer 11 Stunden 45 Min. Im Behälter A 5 Schleien. Versuchsanordnung I mit kleinem Luftraum. Temperatur am Ende 5,8°, Barometer 767,0 mm. Am Ende des Versuchs liegen die Fische ganz matt auf der Seite, erholen sich nachher herausgenommen langsam. Es wurden gefunden in der ersten abgenommenen Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

O<sub>2</sub> 0,000 cbem., in der zweiten Portion O<sub>2</sub> 0,073 cbem.  
N<sub>2</sub> 17,730 » » » » » N<sub>2</sub> 17,440 »

Versuch VIII. 25.—26. December 1891. Dauer des Versuchs 20 Stunden. Versuchsanordnung I. 3 Schleien. Temperatur am Ende  $10^{\circ}$ , Barometer 757,0 mm. Die Fische am Ende sehr matt, aber lebend. In den abgenommenen Wasserportionen für 1 Liter Wasser berechnet:

in der ersten Portion  $O_2$  0,000 cbcm., in der zweiten  $O_2$  0,000 cbcm.  
 » » » »  $N_2$  16,590 » » »  $N_2$  16,430 »

Versuch IX. 5. Januar 1892. Dauer des Versuchs 4 Stunden. Versuchsanordnung IV. Im Behälter A 4 Schleien, in der Glasglocke B ein Kaninchen. Temperatur am Ende des Versuchs  $7,7^{\circ}$ , Barometer 741,0 mm. Das Kaninchen in hochgradiger Suffocation liegend, die Fische sehr stark respirirend, an der Oberfläche. In der ersten am Ende abgenommenen Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

$O_2$  0,708 cbcm., in der zweiten Portion  $O_2$  0,0006 cbcm.  
 $N_2$  18,260 » » » »  $N_2$  19,800 »

In der Luftprobe in Rohr F:

$CO_2$  1,044 Vol.-%  
 $O_2$  0,615 »  
 $N_2$  98,341 »

Versuch X. Am 11.—12. Januar 1892. Dauer des Versuchs 14 Stunden. Versuchsanordnung I. 24 grosse Flusskrebse anscheinend kräftig und gesund im Behälter A. Temperatur am Ende des Versuchs  $7,5^{\circ}$ , Barometer 749,0 mm. Am Ende des Versuchs waren 12 Krebse todt, mehrere ausserdem sehr matt und starben bald, obwohl nach dem Herausnehmen sogleich in gutes Wasser bei frischer Lüftung gebracht. In der ersten abgenommenen Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

$O_2$  0,088 cbcm., in der zweiten  $O_2$  0,344 cbcm.  
 $N_2$  16,610 » » » »  $N_2$  16,676 »

Versuch XI. Am 14. Januar 1892. Im Fischbehälter A 5 Forellen. Versuchsanordnung IV, 1 Kaninchen in Glocke B. Dauer des Versuchs  $1\frac{1}{2}$  Stunde. Temperatur am Ende  $7,0^{\circ}$ , Barometer 734,0 mm. Die Forellen sind am Ende des Versuchs sehr lebhaft und leidend, rapide Respiration. Das Kaninchen

ist wohl. In der ersten abgenommenen Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

O<sub>2</sub> 1,219 cbcm., in der zweiten O<sub>2</sub> 1,408 cbcm.  
 N<sub>2</sub> 17,860 » » » » N<sub>2</sub> 16,760 »

In der Luftprobe in Rohr F gefunden:

CO<sub>2</sub> 0,193 Vol.-%  
 O<sub>2</sub> 11,067 »  
 N<sub>2</sub> 88,740 »

Versuch XII. 15. Januar 1892. Dauer des Versuchs 2 Stunden 2 Minuten. 2 Forellen und 1 Kaninchen. Versuchsanordnung IV. Temperatur am Ende des Versuchs 7,5°, Barometer 738,8 mm. Das Kaninchen hatte am Ende starke Dyspnöe, sass aber aufrecht. Die Forellen athmeten schliesslich heftig, waren sehr unruhig, lagen aber nicht auf der Seite. In der ersten abgenommenen Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

O<sub>2</sub> 1,647 cbcm., in der zweiten Wasserportion O<sub>2</sub> 1,710 cbcm.  
 N<sub>2</sub> 17,480 » » » » N<sub>2</sub> 17,744 »

In der Luftprobe in Rohr F gefunden:

CO<sub>2</sub> 0,424 Vol.-%  
 O<sub>2</sub> 5,468 »  
 N<sub>2</sub> 94,108 »

Versuch XIII. Am 27. Januar 1892. Dauer des Versuchs 2 Stunden. Versuchsanordnung IV. 2 Forellen im Behälter A, 1 Kaninchen in der Glasglocke B. Am Ende des Versuchs Temperatur in A 8,0°, Barometer 753,0 mm. Die Fische liegen am Ende des Versuchs auf der Seite und sind sehr schwach. Das Kaninchen zeigt hochgradige Dyspnöe. In der ersten abgenommenen Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

O<sub>2</sub> 1,067 cbcm., in der zweiten Portion O<sub>2</sub> 1,216 cbcm.  
 N<sub>2</sub> 18,455 » » » » N<sub>2</sub> 17,670 »

In der Luftprobe in Rohr F:

CO<sub>2</sub> 1,602 Vol.-%  
 O<sub>2</sub> 3,142 »  
 N<sub>2</sub> 95,256 »

Versuch XIV. 3. Februar 1892. Dauer des Versuchs 1½ Stunde. Im Behälter A 5 Forellen, in Glasglocke B

1 Kaninchen. Versuchsanordnung IV. Temperatur am Ende des Versuchs  $7,5^{\circ}$ , Barometer 736,0 mm. Die Fische liegen auf der Seite und sind matt. In der ersten Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

O<sub>2</sub> 1,450 cbcm., in der zweiten Wasserportion O<sub>2</sub> 1,089 cbcm.  
 N<sub>2</sub> 17,049 » » » » » N<sub>2</sub> 17,148 »

In der Luftprobe in Rohr F:

CO<sub>2</sub> 0,907 Vol.-%  
 O<sub>2</sub> 10,186 »  
 N<sub>2</sub> 88,907 »

Versuch XV. 12. Februar 1892. Dauer des Versuchs  $2\frac{1}{4}$  Stunden. Versuchsanordnung IV. Im Behälter A 4 Forellen, in der Glasglocke 1 Kaninchen. Temperatur am Ende des Versuchs  $7,5^{\circ}$ , Barometer 762,0 mm. Die Fische sind am Ende sehr lebhaft, sehr verstärkte Respiration. In der ersten abgenommenen Wasserportion für 1 Liter Wasser berechnet:

O<sub>2</sub> 0,985 cbcm., in der zweiten O<sub>2</sub> 0,794 cbcm.  
 N<sub>2</sub> 18,264 » » » » N<sub>2</sub> 18,415 »

In der Luftprobe in Rohr F gefunden:

CO<sub>2</sub> 1,603 Vol.-%  
 O<sub>2</sub> 3,223 »  
 N<sub>2</sub> 95,174 »

Die Vergleichung der Ergebnisse dieser Versuche lässt deutlich den Zusammenhang des Befindens der Fische mit dem Sauerstoffgehalt des Wassers erkennen. Zur besseren Uebersicht dieser Verhältnisse sind in der folgenden Tabelle die einzelnen Versuche und ihre Ergebnisse nach den in den am Ende der Versuche abgenommenen Wasserportionen gefundenen Sauerstoffquantitäten (berechnet für 1 Liter Wasser und bei  $0^{\circ}$  und 760 mm. Druck in Cubikcentimetern) geordnet verzeichnet. Da aus diesen relativen Quantitäten die Sauerstoffpressionen nicht ohne weitere Rechnung erkennbar, dieselben auch abhängig von der Temperatur des Wassers sind, sind dieselben für die am Ende der Versuche gefundenen Temperaturen berechnet unter Zugrundelegung einiger Bestimmungen von Winkler und von Pettersson und

Sondén<sup>1)</sup> für die Sättigung des Wassers mit atm. Luft bei Temperaturen, welche den hier in Betracht kommenden sehr nahe liegen. Nach dieser Berechnung enthält Wasser, welches bei den angegebenen Temperaturen mit atm. Luft gesättigt ist bei 760 mm. Druck, folgende Quantitäten Sauerstoff, gemessen bei 0° und 760 mm. Druck:

Temperatur:	O <sub>2</sub> in chem.:
5,65°	8,74
6,0°	8,28
7,0°	8,15
7,5°	8,09
7,7°	8,06
8,0°	8,03
10,0°	7,80
11,0°	7,63
11,5°	7,54
12,25°	7,40
13,0°	7,24.

Bezeichnet man diesen jedesmaligen Werth der Sauerstoffsättigung mit C, das im Wasser bei der zugehörigen Temperatur in den Versuchen gefundene Sauerstoffvolumen (0°, 760 mm. Dr.) mit V und rechnet den Procentgehalt an Sauerstoffgas in der Luft zu 21 Vol.-%<sub>0</sub>, so ergeben die

Werthe  $D = \frac{V \cdot 21}{C}$  den Procentgehalt der atm. Luft an Sauerstoff, welcher gleiche Sauerstoffspannung hat, wie der Sauerstoff in Wasser in den einzelnen obigen Versuchen. Diese Werthe D sind für die ersten und zweiten am Ende der einzelnen Versuche abgenommenen Wasserportionen berechnet in besonderen Columnen in der Tabelle aufgenommen und zur Vergleichung der im Rohr F gefundenen Zusammensetzung der Luft zur Seite gestellt. War bei den Versuchen die Ausgleichung der Luft in der Pumpe, den Kaliflaschen, dem Luft- raume im Behälter A und der Glasglocke B mit dem Wasser in A eine genügende, so mussten die berechneten Werthe D übereinstimmen mit dem in Rohr F bei dem betreffenden Versuche gefundenen Sauerstoffgehalt.

<sup>1)</sup> Ber. d. chem. Gesellsch., Bd. 22, S, 1439.

Ver- suchs- No.	Versuchsthiere.	Ver- suchs- anord- nung No.	Baro- meter.	Tem- peratur des Wassers.	Gehalt an Gasen in einem 0 <sup>o</sup> 760 mm. Druck in einem Liter Wasser				Sauerstoffdrücke in Procenten einer Atmosphäre		Sauerstoff- Vol. Procente in der Luftprobe in Rohr F.	Befinden der Versuchsthiere.
					in erster Portion		in zweiter Portion		Werthe D = im Wasser in Portion I.	U in Portion II.		
			O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	I.	II.		
VI	5 Tinca vulgaris	II	765,0	11,0°	4,033	16,964	—	—	11,10	—	—	Befinden sich wohl.
II	»	III	759,0	12,25°	3,780	14,71	3,530	14,90	10,73	10,02	—	»
I	»	III	756,3	10,9°	3,440	15,520	2,860	14,270	9,47	7,87	—	»
III	»	III	757,0	13,0°	3,130	14,69	—	—	9,08	—	—	»
XII	2 Forellen, 1 Kaninchen	IV	738,8	7,5°	1,647	17,480	1,710	17,744	4,274	4,438	5,468	Forellen heftig athmend, sehr un- ruhig. Kaninchen starke Dyspnoe.
XIV	5 Forellen, 1 Kaninchen	IV	736,0	7,5°	1,450	17,049	1,089	17,148	3,76	2,82	10,186	Forellen leidend, liegen auf der Seite.
XI	5 Forellen, 1 Kaninchen	IV	734,0	7,0°	1,219	17,860	1,408	16,760	3,14	3,63	11,067	Forellen sehr schnell respirierend, sehr unruhig.
XIII	2 Forellen, 1 Kaninchen	IV	753,0	8,0°	1,067	18,455	1,216	17,670	2,79	3,18	3,142	Forellen liegen auf der Seite, sehr matt. Kaninchen starke Dyspnoe.
XV	4 Forellen, 1 Kaninchen	IV	762,0	7,5°	0,985	18,264	0,794	18,415	2,56	2,06	3,223	Forellen heftig athmend, sehr er- regt.
IX	4 Tinca vulgaris, 1 Kaninchen	IV	741,0	7,7°	0,708	18,260	0,0006	19,800	1,84	0,016	0,617	Die Fische bleiben schnell respi- rend an der Oberfläche. Kaninchen liegt in Suffocation da.
V	5 Tinca vulgaris	II	754,0	13,0°	0,269	14,930	0,264	15,320	0,78	0,73	8,628	Fische an der Oberfläche.
IV	5 Tinca vulgaris	II	755,0	11,5°	0,138	15,610	0,385	15,989	0,384	1,07	7,466	Fische heftig athmend an der Oberfl- che.
X	24 Astacus fluviatilis	I	749,0	7,5°	0,088	16,610	0,344	16,676	0,227	0,90	—	12 Krebse todt, die übrig sehr matt.
VII	5 Tinca vulgaris	I	767,0	5,8°	0,000	17,730	0,073	17,440	—	—	—	Die Fische liegen ganz matt auf der Seite.
VIII	5 Tinca vulgaris	I	757,0	10,0°	0,000	16,590	0,000	16,430	—	—	—	Die Fische liegen ganz matt auf der Seite.

Die Tabelle ist in 3 Abtheilungen getheilt. Die erste umfasst die Sauerstoffgehalte des Wassers von 4 bis 3 cbcm. O<sub>2</sub> im Liter Wasser. Bei demselben befinden sich die Fische wohl, die Schleien liegen ruhig am Grunde, athmen ruhig; bei dem gleiche Sauerstoffspannung enthaltenden Gehalte der atin. Luft von 8 bis 11 Vol.-% O<sub>2</sub> zeigen auch warmblütige Thiere noch keine auffallende Dyspnöe.

Die zweite Gruppe der Versuche zeigt Sauerstoffgehalte im Wasser von 1,7 bis 0,8 cbcm. entsprechend der Tension des Sauerstoffs in der Luft, wenn dieselbe 2 bis 4,5 Vol.-% O<sub>2</sub> enthält. Bei diesen Versuchen sind allein Forellen und zugleich stets Kaninchen verwendet. In den Versuchen XII, XIII, XV stimmen die in der Luftprobe gefundenen Sauerstoff-Vol.-%-Gehalte mit denen der Berechnung aus dem Sauerstoffgehalte des Wassers überein, in den Versuchen XI und XIV differiren sie bedeutend, offenbar ist die Circulation der Luft nicht genügend stark und schnell erfolgt, so dass das Kaninchen in höherem Sauerstoffdruck athmete als die Fische. Dieser Sauerstoffgehalt ist für Forellen offenbar durchaus ungenügend und würde bei Verlängerung ihres Aufenthalts in solchem Wasser alsbald ihren Tod herbeiführen.

Die dritte Gruppe umfasst die Versuche, bei denen am Ende Sauerstoffgehalte im Wasser von 0,7 bis 0 gefunden sind<sup>1)</sup>. Unter ihnen sind zwei Versuche IV und V nach Versuchsanordnung II, dieselbe reicht nicht hin, einen genügenden Ausgleich im Sauerstoffdruck zwischen Luft und Wasser zu erhalten, dementsprechend geben die Luftproben aus Rohr F bei diesen Versuchen 7,4 bis 8,6 Vol.-% O<sub>2</sub>, während die Sauerstoffquantität, welcher im Wasser gefunden ist, nur 1,1 bis 0,4% einer Atmosphäre entspricht. Die Schleien sind bei diesen niedrigen Sauerstoffdrücken am Leben geblieben, weil sie an der Oberfläche höhere Sauerstofftension fanden. In den Versuchen VII und VIII mit 0 Sauerstoff lagen sie auf

<sup>1)</sup> Zwei hierher gehörige Versuche mit 0,64 und 1,6 cbcm. O<sub>2</sub> im Liter Wasser am Ende der Versuche werden von Jolyet u. Regnard, a. a. O., S. 631, beschrieben. Hier wurde mehr CO<sub>2</sub> ausgeschieden als O<sub>2</sub> in gleicher Zeit aufgenommen.

der Seite, bereits sehr nahe dem Tode. Jedenfalls besitzen sie wie die Krebse die Fähigkeit, bei sehr niedrigem Sauerstoffgehalte des Wassers lange Zeit noch lebend zu bleiben, wie es von ihnen auch aus den Beobachtungen über ihr Verhalten unter dem Eise im Winter bekannt ist; sie dauern hier lange aus, während die meisten Fische bald zu Grunde gehen, wenn nicht Löcher im Eise offen erhalten werden, an denen sie sauerstoffreicheres Wasser in ihre Kiemen führen können.

Der Versuch IX gibt einen so niedrigen Sauerstoffgehalt in der Luftprobe im Rohr F, dabei auch eine solche Differenz zwischen beiden Wasserportionen im  $O_2$ -Gehalte, dass er nur der Vollständigkeit wegen angeführt ist, aber nicht zu Schlüssen an sich verwerthet werden kann.

Die Differenzen der im Wasser gefundenen Stickstoffvolumina sind, wie ersichtlich, bedingt durch die Verschiedenheiten der Versuchsanordnungen mit oder ohne Lufteinpressung in das Wasser während der Versuche. Vermindert sich bei der Lufteinpressung der Sauerstoffgehalt durch die Respiration der Thiere, so steigt dementsprechend die Stickstoffabsorption. Diese Steigerung fällt weg, wenn Stickstoff im Luftraum im Behälter A oder ausserdem in der Flasche Versuchsanordnung II bei ungenügendem Zusammenschütteln über der Flüssigkeit steht und wenig mit dem Wasser bewegt wird.

Die Verschiedenheiten der Barometerstände, welche bei den einzelnen Versuchen beobachtet sind, haben in der Beurtheilung der Volumenverhältnisse des Sauerstoffs und Stickstoffs im Wasser keine Berücksichtigung gefunden, weil nach den in der vorstehenden Mittheilung über die Diffusion des Sauerstoffs und Stickstoffs im Wasser dargelegten Beobachtungen angenommen werden muss, dass die gewöhnlichen Barometerschwankungen auf den Gehalt des Wassers an diesen Gasen keinen erkennbaren Einfluss üben, wenn nicht besonders hohe oder tiefe Barometerstände lange Zeit anhalten.

Strassburg, den 2. Juli 1892.