

Aus dem Pathologischen Institute am Allgemeinen Krankenhause  
St. Georg in Hamburg.

### Ueber Sauerstoffvergiftung.<sup>1)</sup>

Von Dr. **A. Bornstein**, Abteilungsvorsteher der Physiologischen Abteilung, und Dr. **Stroink**, Assistenzarzt.

Durch die Tageszeitungen geht die Nachricht, daß von bewährten technischen Firmen Taucherapparate konstruiert worden seien, bei denen der Taucher aus einem mitgenommenen Ballon mit komprimiertem Sauerstoff atmen soll. Diese Apparate sollen demnächst im Handel erscheinen. Das Leben der tauchenden Mannschaften wird dabei also einer Sauerstoffatmosphäre von einem Ueberdruck anvertraut, der gleich der Höhe der über dem Taucher liegenden Wassermasse ist. Da wir in den letzten Jahren eine größere Anzahl von Versuchen an Menschen und Tieren über das Leben in komprimiertem Sauerstoff angestellt haben, so erscheint es uns angebracht, darüber zu berichten, zumal der Sauerstoff durchaus nicht ein ganz harmloser Körper ist.

Die Frage der Atmung von Sauerstoff unter Druck ist zuerst diskutiert worden, als Zuntz<sup>2)</sup> und v. Schrötter<sup>3)</sup> den Vorschlag machten, bei Arbeiten in Preßluft vor oder bei der Dekompression Sauerstoffatmung als Prophylacticum zu benutzen. Gegen diesen Vorschlag ist namentlich von englischen Autoren, in Anlehnung an die bekannten Versuche Paul Berts<sup>4)</sup>, eingewendet worden, daß Sauerstoff unter Druck ein starkes Gift sei, das Tiere unter Krämpfen töte. Daraufhin ist dann von dem einen von uns<sup>5)</sup> der strikte Nachweis geführt worden, daß unter den für die Prophylaxe der Preßluftkrankheit in Frage kommenden Bedingungen, nämlich bei einem Ueberdruck von zwei Atmosphären während 20—30 Minuten, die Sauerstoffatmung durchaus ungefährlich ist.

<sup>1)</sup> Demonstration im Hamburger ärztlichen Verein am 9. April 1912. — <sup>2)</sup> Fortschritte der Medizin 1897, S. 16.

<sup>3)</sup> Der Sauerstoff in der Prophylaxe der Preßluftkrankheit, Berlin 1906.

<sup>4)</sup> La Pression barométrique. Paris 1878.

<sup>5)</sup> Bornstein, Berliner klinische Wochenschrift 1910, No. 27.

Dieser Nachweis wurde zuerst im Selbstversuche, später an einer Anzahl von Arbeitern des Elbtunnelsbaues geliefert, und zwar konnte im Selbstversuche ein Überdruck von zwei Atmosphären Sauerstoff während 48 Minuten ohne irgendwelche Beschwerden ertragen werden. Diese Befunde sind von Twort (und Hill<sup>1</sup>) bestätigt worden; auch Herr Bergassessor Grahn in Bochum hat neuerdings, wie er uns liebenswürdigweise mitteilte, an Tauchern ähnliche Erfahrungen gemacht.

Diese Erfahrungen haben vielleicht mit dazu beigetragen, daß der Respekt vor dem komprimierten Sauerstoff, der früher recht groß war, gegenwärtig offenbar im Abnehmen begriffen ist. Dennoch wird man, glauben wir, vor einer ungeschränkten Benutzung des Sauerstoffs im Taucherberufe nur dringenden warnen müssen, wenn man nicht ziemlich bedenkliche Zwischenfälle erleben will. Vorläufig ist allerdings, soweit wir sehen, nur eine Sauerstoffvergiftung am Menschen beobachtet worden, und zwar an dem einen von uns (Bornstein).

Als er nämlich die Ungefährlichkeit des Sauerstoffs von zwei Atmosphären Überdruck bis zu einer Dauer von 48 Minuten in einer größeren Anzahl von Selbstversuchen erprobt hatte, begann er, die Versuche nach längerer Ansehenszeit. Es wurde dazu am 4. Juni 1910 ein Versuch in komprimierter Luft von zwei Atmosphären Überdruck bei mäßiger Körperarbeit (Testen eines Fahrrad) und gleichzeitiger Sauerstoffatmung begonnen. Dabei machten sich in der 51. Minute des Versuches krampfartige Bewegungen in der rechten unteren Extremität geltend. Im Verlauf einer Minute hatten die Krämpfe auch das linke Bein ergriffen. Da man somit an der Grenze der Giftigkeit des Sauerstoffs angelangt war, so wurde der Versuch abgebrochen, indem Sauerstoffatmung und körperliche Arbeit eingestellt und zuerst schnell, später langsamer mit der Dekompression begonnen wurde. Die Krämpfe ebneten sich dann nach schnell, nur die Patellarreflexe blieben, namentlich rechts, noch während mehrerer Stunden erhöht.

Dies ist der einzige Fall einer leichten Sauerstoffvergiftung beim Menschen. Desto größerer Erfahrungen besitzen wir aber über die Giftigkeit des Sauerstoffs im Tierexperiment. Wir haben die Resultate aller unserer Versuche in einer kleinen Tabelle zusammengestellt.

Sauerstoff Druck in Atmosph. (absol.)	Wirkungsdauer	Tierpezies	Symptome
0,6	mehrere Monate	Hund, Affe	geringe Andeutung
1,2	2-3 Tage	Hund, Katze	"
1,2	höchstens 8 Stunden während mehrerer Wochen	Hund, Affe	Wohlbefinden
3	20-48 Minuten	Mensch	Wohlbefinden
2	20 Minuten	Mensch	Krämpfe
5	2-6 Stunden	Ratte, Hund	unter Lungenscheidungen Krämpfe
8	10-15 Minuten	Ratte	"
8	45-75 Minuten	Ratte	"

Diese Tabelle gibt die Mittelzahlen einer großen Anzahl von Versuchen an. Mit Ausnahme des schon erwähnten einzigen Falles von Sauerstoffvergiftung bei drei Atmosphären absolut und 50 Minuten Verweildauer beim Menschen sind alle anderen Angaben der Tabelle Mittelwerte aus einer großen Anzahl von Versuchen. Die Tabelle redet, glauben wir, deutlich genug von der Giftigkeit des Sauerstoffs in den Tiefen, in denen der Taucher atmet; wir brauchen ihr vom Standpunkte des Präfluthygienikers aus nichts mehr zuzufügen.

Ein Versuchsprotokoll möge den Verlauf der Vergiftung illustrieren. Versuch am 15. Juli 1911.

10 Uhr 30 Min. a. m. Zwei Ratten werden in den Präfluthkasten gesetzt. Es wird zuerst bei offenem Aussehlenshahn Sauerstoff durchgeleitet, um die Luft zu verdrängen, dann wird der Aussehlenshahn geschlossen und der Druck im Verlaufe von 1½ Minuten mittels Sauerstoff auf 8 Atmosphären absolut gebracht. Der Aussehlenshahn wird dann soweit wieder geöffnet, daß genügend Ventilation im Kasten ist; auch der Hahn zur Sauerstoffpumpe bleibt etwas offen, um den Druck anrecht zu erhalten.

10 Uhr 5 Min. Ankuft bei 8 Atmosphären O<sub>2</sub> absolut.

10 Uhr 18 Minuten. Starke Krämpfe der einen Ratte.

10 Uhr 20 Min. Starke Krämpfe der zweiten Ratte.

10 Uhr 28 Min. Die eine Ratte liegt auf dem Rücken, die Zuckungen haben etwas nachgelassen, die andere Ratte sitzt ruhig da, doch werden von ihr alle Intensionbewegungen krampfartig angegriffen.

10 Uhr 32 Min. Die erste Ratte liegt ohne Krampfbewegungen

auf dem Rücken, die zweite sitzt ruhig da. Atemzüge außerordentlich verlangsamt: Erste Ratte 16 Atemzüge; zweite Ratte 14 Atemzüge, immer in Perioden von je zwei Atemzügen auftretend.

10 Uhr 38 Min. Zweite Ratte liegt auch auf der Seite.

10 Uhr 40 Min. Luftprobe aus dem Kasten entnommen, 6,11 % O<sub>2</sub>, 98,28 % O<sub>2</sub>.

10 Uhr 43 Min. Erste Ratte 12 Atemzüge; zweite Ratte 8 Atemzüge.

10 Uhr 48 Min. Erste Ratte 8 Atemzüge; zweite Ratte 6 Atemzüge.

Die Ratten liegen unbeweglich auf dem Rücken resp. auf der Seite.

10 Uhr 54 Min. Nur durch äußeren Reiz (Schütteln des Präfluthkastens) sind noch vereinzelte Atembewegungen zu erzielen.

10 Uhr 57 Min. Nur noch bei der zweiten Ratte sind Atembewegungen durch Schütteln zu erzielen.

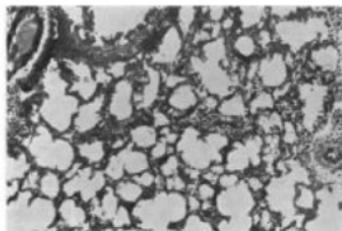
11 Uhr 1 Min. Auch die zweite Ratte reagiert nicht mehr auf äußeren Reiz.

(Die Tiere werden jetzt ausgeschleust und sofort sezert.) Bei beiden Tieren ist die Lunge rötlich angeschwollen und in großer Ausdehnung luftleer, in Wasser untersinkend; an den Rändern vikarierendes Frayphsem. Von der Schnittfläche fließt reichlich serös-schäumige Flüssigkeit. Trachea und Bronchien sind schleimig-serösem Exsudat gefüllt. Die Section der übrigen Organe ergab nichts Besonderes.

Wir sehen also hier, wie in fast allen Versuchsprotokollen, keine anatomischen Veränderungen notiert, außer an den Lungen. Solche Veränderungen finden sich übrigens auch in den Protokollen Haldanes<sup>2</sup> erwähnt. Wir wandten ihnen unsere besondere Aufmerksamkeit zu.

Am ausgeprägtesten waren die Veränderungen — sowohl die makroskopischen als auch die gleich zu beschreibenden mikroskopischen — in den Versuchen bei 5 Atmosphären Druck. In den schwersten Fällen waren nur noch vereinzelte Alveolen lufthaltig, alle anderen waren mit einer einweißhaltigen Flüssigkeit gefüllt, in der sich manchmal abgestoßene Epithelien und rote Blutzellen fanden. Die seröse Ausscheidung ist manchmal porös, an anderen Stellen kompakter; im allgemeinen nahm das Exsudat die große Masse der Lunge mit Ausnahme der Peripherie ein; in einigen jedoch waren die zentralen Partien frei und mehr die Peripherie von der Anschwellung befallen. Eine besondere Lokalisation, die in Zusammenhang mit der Körperhaltung zu bringen wäre, ließ sich nicht feststellen. Die nicht befallenen Alveolen waren zum Teil nicht genügend entfaltelt, zum Teil leicht überdehnt. In einzelnen Fällen fanden sich in den kollabierten Alveolen rote Blutzellen. Eine ebensolche Anschwellung fand sich in den kleinen und großen Bronchien und in der Trachea. Quellung, Desquamation oder

FIG. 1.



Normale Rattenlunge.

sonstige Veränderungen an der epithelialen Auskleidung der Alveolen und Bronchien war nicht zu erkennen. Die Blutgefäße der Lunge waren stark mit Blut gefüllt.

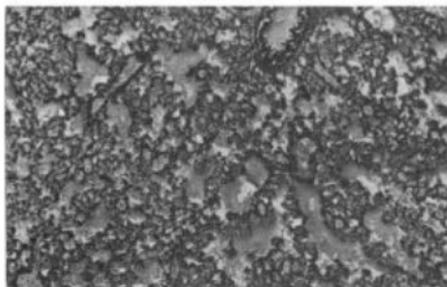
Von diesem schwersten Bilde, das man regelmäßig bei allen unter 5 Atmosphären O<sub>2</sub>-Druck gestorbenen Tieren wahrnehmen konnte, fanden sich alle Übergänge zur Norm. Bei kürzerer Dauer der Sauerstoff-Einwirkung waren nur Tracheen und Bronchien befallen, erst später stellte sich die Exsudation auch in den Alveolen ein.

<sup>1</sup> Herr Prof. Simmonds stand uns bei der Erläuterung der makroskopischen und mikroskopischen Befunde mit seinem Ratte hilfreich zur Seite. — <sup>2</sup> Leider war uns diese Arbeit im Original nicht zugänglich.

<sup>1</sup> Journ. of Physiol., Bd. 43.

<sup>2</sup> Vgl. Olga Ad. Bornstein, Pflügers Archiv, Bd. 138, S. 609 ff.

Fig. 2.



Lunge einer Ratte, nach 2<sup>h</sup> Stunden Aufenthalt in O<sub>2</sub> von 5 Atmosphären morph. Druck. Alveolen mit Exsudat gefüllt.

Daß es der Sauerstoff war, der nicht nur den Tod, sondern auch die Lungenveränderungen bewirkte, geht aus einer Serie von Kontrollversuchen hervor, die bei dem gleichen Druck, aber mit Luft anstelle des Sauerstoffs angestellt wurden. Bei diesen fanden sich entweder keine Veränderungen an den Lungen oder nur eine geringfügige Ausschwitzung in den Bronchien, nie jedoch Ausscheidungen in die Alveolen.

Man wird sich bei einem so ausgesprochenen und in so überaus kurzer Zeit entstandenen Lungenödem die Frage vorlegen, ob nicht die Tiere an dem Oedem akut erstickt sind; ja, ob nicht auch die Krämpfe dann als Erstickungskrämpfe aufzufassen sind. Um diese Frage zu beantworten, haben wir mehrere Tiere sofort nach dem Eintritt der Krämpfe getötet. Es fanden sich bei diesen frühzeitig getöteten Tieren ebenfalls Oedeme in den Bronchien, jedoch nicht oder nur spärlich in den Alveolen. Aus diesem Befunde wird man schließen müssen, daß die Krämpfe nicht als eine Folge der Erstickung an einem akuten Lungenödem aufzufassen sind. Gegen eine solche Auffassung spricht auch der Umstand, daß dem Stadium der Krämpfe sehr oft ein zweites Stadium folgte, in dem keine Krämpfe sichtbar waren; dies Stadium zeichnete sich durch eine fortschreitende Abnahme der Atemfrequenz aus, der die Tiere erlagen.

Bemerkenswert ist, daß der Lungenbefund meist sehr viel stärker ausgesprochen ist bei den Tieren, die in 5 Atmosphären Sauerstoff gestorben sind als bei den Tieren in 8 Atmosphären O<sub>2</sub>. Man wird sich vorstellen können, daß bei diesem Befunde die Dauer der Vergiftung eine Rolle spielt. Während die Versuchstiere in 5 Atmosphären O<sub>2</sub> erst nach 2—4—6 Stunden eingehen, ertragen sie 7 Atmosphären nur  $\frac{3}{4}$ — $\frac{1}{4}$  Stunden. In dieser kurzen Zeit können wohl die anatomisch sichtbaren Veränderungen an den Lungen noch nicht den Grad erreicht haben wie bei den Versuchen in 5 Atmosphären O<sub>2</sub> nach 2—4 Stunden. Auch dieser Befund spricht wieder dafür, daß die Krämpfe und der Tod der Tiere nicht eine Folge von Erstickung an Lungenödem sind.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß ähnliche Lungenbefunde nach Atmung leicht reizender Gase (z. B. Aether<sup>1)</sup>) erhoben werden können.

**Zusammenfassung.** Es werden die Bedingungen festgestellt, unter denen das Leben in komprimiertem Sauerstoff für den Menschen und für höhere Wirbeltiere möglich ist. Es wird ferner der Symptomenkomplex der Sauerstoffvergiftung bei Mensch und Tier geschildert und die dabei an den Lungen gefundenen anatomischen Veränderungen beschrieben.

### Ueber Sauerstoffvergiftung.

Von A. Bornstein in Hamburg.

In Nr. 35 dieser Wochenschrift findet sich eine Bemerkung von Aug. Brüning, die sich mit einem von Stroink und mir in Nr. 32 veröffentlichten Aufsatz befaßt. Wir hatten bei Ratten und Hunden unter anderem Lungenveränderungen nach Aufenthalt in Sauerstoff von mehreren Atmosphären Druck gefunden. Diese Veränderungen sollen nach Brüning nicht auf die Giftigkeit des Sauerstoffs, sondern auf zu große Trockenheit der Atemluft zurückzuführen sein.

Ich kann dieser Ansicht nicht beipflichten. Einmal sind die von Brüning innegehaltenen Versuchsbedingungen durchaus nicht mit unseren Versuchen zu vergleichen, da Brüning mit  $O_2$  unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck, wir aber unter einem Ueberdruck von 4–7 Atmosphären arbeiteten. Dann aber bestand in unseren Versuchen sicher nicht die von Brüning vermutete abnorme Trockenheit; es war nämlich durch die namentlich am Anfange des Versuches nicht vermeidbaren Schwankungen des Druckes um einige Zehntel Atmosphären immer eine größere Feuchtigkeitsmenge an den Wänden des Preßluftkastens niedergeschlagen; ja, nicht selten herrschte zeitweilig geringer Nebel, ein Zustand, der jedem wohlbekannt ist, der sich selbst oft in Preßluftkabinen aufgehalten hat. Man kann in solchen Versuchen also eher mit zu viel als mit zu wenig Feuchtigkeit rechnen.

Ohne auf andere, minder wichtige Punkte einzugehen, möchte ich nur folgendes noch hervorheben: Die Tatsache, daß der Sauerstoff und nicht andere Begleitumstände in unseren Versuchen die Lungenveränderungen hervorriefen, wird durch die Kontrollversuche erwiesen, in denen Luft unter gleichem Druck und bei identischen Versuchsbedingungen keine Lungenveränderungen verursachte.

Der Vorschlag Brünings, die Sauerstoffvergiftung in Taucherapparaten durch Vermehrung der Feuchtigkeit zu bekämpfen, dürfte jedenfalls aussichtslos sein. Denn Menschen sind — im Gegensatz zu Brünings Mäusen — gegen Trockenheit der Atemluft bekanntlich sehr unempfindlich.

Wir sind übrigens auf die Versuche Brünings sowie auf die sehr interessanten Arbeiten von Adolf Schmidt und David<sup>1)</sup> in unserer Arbeit nicht eingegangen, und zwar weil wir in der Kontroverse, ob in diesen Versuchen unter Atmosphärendruck Sauerstoff oder Luftfeuchtigkeit als Ursache der Veränderungen angesehen werden muß, eine auf eigener Erfahrung beruhende Stellung nicht einnehmen konnten. Wollten wir alle pathologischen Veränderungen, die durch  $O_2$  unter Atmosphärendruck hervorgerufen werden, eingehender besprechen, so hätten wir namentlich auch die Beobachtungen älterer Autoren (z. B. Regnard 1891) nicht übergehen dürfen. Eine Zurücksetzung der sehr wichtigen Versuche aller dieser Autoren war natürlich nicht beabsichtigt; wir wollten lediglich für die Praxis der Preßlufthygiene feststellen, unter welchen Bedingungen die  $O_2$ -Atmung unter Druck im Caisson- und Taucherbetriebe möglich ist.

<sup>1)</sup> cf. diese Wochenschrift 1912, Nr. 37.