

Aus der Klinik für Anästhesiologie der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. med. P. Schmucker

Die Geschichte der inhalativen Sauerstofftherapie
in Deutschland

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
-Aus der Medizinischen Fakultät-

vorgelegt von
Christina Koßobutzki
aus Kiel

Lübeck, 12.03.2009

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Meinolfus Strätling

2. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. nat. Burghard Weiss

Tag der mündlichen Prüfung: 12.03.2009

zum Druck genehmigt, Lübeck, den 12.03.2009

gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach

- Dekan der Medizinischen Fakultät -

Inhaltsverzeichnis	Seite
A. Einleitung und Fragestellung.....	3
B. Material und Methoden.....	5
C. Einführung.....	7
C.I. Gemeinsame Wurzeln der Geschichte der Anästhesie und der Sauerstofftherapie - Ein erster orientierender Überblick.....	7
Der lange Weg des Sauerstoffs bis zu seinem Durchbruch bei der therapeutischen Anwendung - Die Entdeckung des Sauerstoffs und frühe pathophysiologische Vorstellungen.....	9
Sauerstofftherapie im 18. und 19. Jahrhundert: Indikationen und erste Experimente mit therapeutischer Zielsetzung.....	11
Herstellung und Speicherung.....	14
Applikations- und Dosierungsprobleme der frühen Sauerstofftherapie.....	15
C.II. An der Schwelle vom 19. zum 20. Jahrhundert: Die Wende in der Geschichte der Sauerstofftherapie.....	17
C.III. Plädoyer für eine medizinhistorische Neubewertung der Sauerstofftherapie.....	20
D. Eine medizinhistorische Neubewertung der Sauerstofftherapie.....	21
D.I. Britische Literatur und deren Rezeption in Deutschland.....	21

D.II.	Rezeption des französischen Schrifttums in Deutschland.....	28
D.III.	Rezeption des italienischen Schrifttums in Deutschland.....	30
D.IV.	Deutsches Schrifttum.....	31
E.	Diskussion.....	102
F.	Zusammenfassung.....	103
G.	Anhang.....	106
G.I.	Physiologie der Atmung nach heutigem Stand des Wissens.....	106
G.II.	Sauerstofftransport im Blut.....	108
G.III.	Übersicht Sauerstoffhomöostase.....	109
G.IV.	Tab. Aufstellung: „Meilensteine“ in der Geschichte der Sauerstofftherapie.....	111
G.V.	Beiträge zur Geschichte der Sauerstofftherapie, modifiziert nach Pagel 137β.....	120
H.	Legende.....	132
I.	Abbildungsverzeichnis.....	133
J.	Literaturverzeichnis.....	136
K.	Danksagung.....	151
L.	Lebenslauf.....	151

A. Einleitung und Fragestellung

Die Geschichte der „Pneumatischen Medizin“ wurde bis zum Ende des 19. Jahrhunderts unstrittig von Großbritannien dominiert. Auch die Begründung der modernen Sauerstofftherapie wird im internationalen Schrifttum bis jetzt fälschlicherweise überwiegend den Entwicklungen aus Großbritannien zugeschrieben.

Der Auftrag dieser Arbeit soll sein, diese Sichtweise kritisch zu überprüfen und die Geschichte der modernen Sauerstofftherapie neu zu bewerten. Hierzu wird insbesondere das international bisher nicht systematisch ausgewertete historische Schrifttum aus dem deutschsprachigen Bereich berücksichtigt werden.

Bezeichnend für die bisher vorherrschende Einschätzung der historischen Hintergründe der frühen Sauerstofftherapie ist folgende Feststellung des Briten Hill aus dem Jahre 1801: „Es giebt im Felde der Arzeneikunde einen Bezirk, welchen die Engländer fast immer zuerst und mit mehren Eifer angebaut haben, als andere Nationen und worin auch wir nicht läugnen können, daß wir oft von ihnen lernten – [...]. Was ich hier im Allgemeinen gesagt habe, gilt auch insbesondere von der pneumatischen Medizin oder der Anwendung versch. Gasarten zur Heilung von Krankheiten. [...], kann man dreist behaupten, daß die Engländer auch hierin zuerst die Bahn gebrochen und den Grund gelegt haben, auf welchen Andere weiter fortbauen konnten [...]“ [91].

Tatsächlich ist die herausragende Stellung des Sauerstoffs als Basistherapeutikum der modernen Medizin die Folge eines Prozesses, der weit über ein Jahrhundert lang die Ärzteschaft spaltet und für Diskussionsstoff und Neuentdeckungen sorgt. Nicht immer war die Wichtigkeit und Stellung dieses Therapeutikums in der Anästhesie und der allgemeinen Medizin so klar wie heute. Von der Entdeckung des Sauerstoffs bis zu seiner Anwendung als Heilmittel sollte es noch ein weiter Weg sein.

In der vorliegenden Arbeit soll der Hauptfokus auf die Anwendung des Sauerstoffs entsprechend seinem physiologischen, inhalativem Wirkprinzip gerichtet werden. Insbesondere sollen dabei die gemeinsamen medizinhistorischen Wurzeln der inhalativen Sauerstofftherapie und der inhalativen Anästhesie zur Darstellung kommen.

Eine besondere Rolle spielt hierbei die „Pneumatische Medizin“ mit ihren Gründern sowie das erste Institut für inhalative Gastherapie, welches 1798 von dem Arzt und Naturphilosophen Thomas Beddoes (1760-1808) im englischen Bristol gegründet wurde [108,131,170]. Die Stellung der von Beddoes und Humphrey Davy (1778-1829) begründeten „Pneumatischen Medizin“ des 18. Jahrhunderts sollte dennoch nicht unterschätzt werden, entwickelte sie sich doch zur gemeinsamen Wurzel der inhalativen Sauerstofftherapie sowie der inhalativen Anästhesie. Dadurch wurde die Anästhesie zu einem „Sprungbrett“ der inhalativen Sauerstofftherapie – gezwungenermaßen, denn die bei den nach damaligem „besten Wissen“ anästhesierten Patienten vorherrschende Hyperkapnie und Hypoxie und die hohen Mortalitätsraten erforderten die Möglichkeit eines gezielten Eingreifens seitens des Arztes. Sauerstoffapplikationen erlangten daher den Status eines Heilmittels in der Anästhesie und Rettungsmedizin – besonders durch die prompt und spontan erzielten Effekte der Verbesserung hypoxischer Patienten [25,142,192,193,194].

Im Sinne einer Gesamtschau der Geschichte der Sauerstofftherapie soll das Ziel dieser Arbeit daher sein, vor allem deutsche Beiträge zur inhalativen Sauerstofftherapie in Verbindung zur Literatur des angelsächsischen Schrifttums zu analysieren. Es soll gezeigt werden, dass im internationalen Schrifttum aus anästhesiehistorischer Sicht die deutschen Beiträge zur Etablierung der Sauerstofftherapie bisher fehlten oder vollkommen unterbewertet wurden. Erst um 1901/1902 entwickelten sich vor allem in Deutschland die beiden für den Durchbruch der Sauerstofftherapie relevanten Technologien: Mit Hilfe der Druckreduzierventiltechnologie konnte eine kontinuierliche Sauerstoffapplikation gesichert werden [25,50,77,78,193]. Im selben Jahr konnten erstmals ausreichende Mengen an Sauerstoff durch das „Linde Verfahren“ hergestellt

werden [122,123,179] [Patentschrift Nr. 88824; 5. Juni 1895; „Verfahren zur Verflüssigung von Atmosphärenluft bzw. sonstiger Gase“ [179]]. Vor diesem Hintergrund wird nachgewiesen werden, dass die Beiträge aus Deutschland und anderen kontinentaleuropäischen Ländern zur Begründung der Sauerstofftherapie im bisherigen anglo-amerikanisch dominierten Schrifttum unterbewertet wurden. Tatsächlich ist insbesondere der Beginn der modernen Sauerstofftherapie, die ihren Ausgang eher nicht in Großbritannien nahm, um das Jahr 1902 anzusiedeln.

B. Material und Methoden

Am Anfang dieser Untersuchung stand die systematische Suche und Auswertung bibliographisch nachweisbarer Quellen, basierend auf einer systematischen Recherche nach Stichwörtern im Index Catalogue of the Library of the Surgeon's General Office, U.S. Army, Second Series, Vol. I, III, IV, XI, XII, XIII, XVIII und Third Series, Vol. VIII.

Material zum Thema Sauerstoff und dessen Anwendung wurden gefunden unter folgenden Überbegriffen: Oxygen, Diphtheria, Cholera, Tuberculosis, Morphine, Opium, Pneumonia, Asphyxia. Der bibliographische Nachweis führte zum Autor der jeweiligen Schriften, der Name des Autors wiederum führte zur Nachweisbarkeit in den jeweiligen Hochschulbibliotheken. Oft jedoch lag die methodische Schwierigkeit in der Auffindbarkeit der in Bibliographien und historischen Arbeiten ausgewiesenen Primärquellen. Trotz intensivster Recherche und Zuhilfenahme aller bibliographischer Hilfsmittel und internationaler Suchdienste gelang es häufig nicht, diese tatsächlich aufzufinden und einer direkten Auswertung verfügbar zu machen. Dies betraf insbesondere Primärquellen des 18. und 19. Jahrhunderts sowie Lebensdaten der genannten Autoren. Die tatsächlich gefundenen, inzwischen oft einmaligen und wertvollen Quellen waren wiederum aufgrund strikter Schutzbestimmungen und Kopierverbote nur begrenzt einsehbar. Daher erfolgten mehrere Reisen zu Bibliotheken im In- und Ausland, um überhaupt eine Auswertung zu ermöglichen.

Als wichtigste deutsche Primärquelle bezüglich der Geschichte der Sauerstofftherapie erwies sich das 1906 erschienene, von Michaelis herausgegebene Werk „Handbuch der Sauerstofftherapie“ [137], auf dessen Aussagen sich die Analyse und Erörterung des vorliegenden Themas maßgeblich stützen wird. Auch das Auffinden dieses Werkes erwies sich als äußerst problematisch. Als weitere zugängliche Primärquellen wurden Arbeiten von Waldenburg [189], Lender [111], Dräger [53], Saechtling [155], Haldane [84,85] und Hill [91] ausgewertet. Diese Primärquellen, zusammen mit den auffindbaren Arbeiten von Meyer [134], Cnopf [36], Brat [29], Aron [6], Galli [71], Hasenknopf [87], Fleischer [67], Kraus [103], Heermann [90], Cramer [40], Ephraim [60], Gyurkovechky [81], Hagenbach-Burckhardt [82], Kohn [101] und Mamlock [130] enthielten Hinweise auf alle weiteren, im Literaturverzeichnis ausgewiesenen Arbeiten. Eine Analyse der nachgewiesenen französischen und italienischen Quellen erfolgte nicht und war nicht Gegenstand dieser Arbeit. Vertiefend werde ich durch die Auswertung der Sekundärliteratur (vgl. Literaturverzeichnis) meine Aussagen stützen, welche die Anfänge der modernen Sauerstofftherapie auf das Jahr 1902 und nicht, wie im angelsächsischen Schrifttum üblich, auf das Jahr 1917 datieren. Bei der konkreten Darstellung dieser medizinhistorischen Neubewertung werde ich zunächst einen Überblick über den langen Weg des Sauerstoffs von seiner Entdeckung bis zum schließlich unentbehrlichen Heilmittel der Anästhesie und Rettungsmedizin geben. Dies beinhaltet die Schilderung der historischen Entwicklung der Grundlagentechnologien, welche den Gebrauch des Sauerstoffs als Heilmittel erst ermöglichten. Daran anschließend werde ich anhand der analysierten Primär- und Sekundärliteratur darstellen, warum sich der Beginn der Sauerstofftherapie früher als bisher vermutet in einem neuen historischen Zeitfenster ansiedeln lässt.

Die darauf folgende Diskussion wird Raum bieten für einen Vergleich des angelsächsischen und deutschen Schrifttums mit der Frage der historischen Einordnung des tatsächlichen Beginns der modernen Sauerstofftherapie. In der diese Dissertation abschließenden Zusammenfassung werde ich eine historische Einordnung der dargestellten wesentlichen Ergebnisse vornehmen, welche als Konsequenz eine medizinhistorische Neubewertung der Geschichte der

Sauerstofftherapie nach sich ziehen wird. Folglich bedarf die Historiographie zum wichtigsten Basistherapeutikum in der modernen Medizin einer Neubewertung. Das Ziel dieser Arbeit soll sein, hierzu einen wesentlichen Beitrag zu leisten.

C. Einführung

C.I. Gemeinsame Wurzeln der Geschichte der Anästhesie und der Sauerstofftherapie - Ein erster orientierender Überblick

Der 16. Oktober 1846 ging als „Äthertag von Boston“ in die Geschichte ein als Beginn der modernen Anästhesiologie [1,25,97,128,154,193]: Der Chirurg John Collins Warren (1778-1856) entfernte einem Patienten am Bostoner Massachusetts General Hospital ein Hämangiom am Hals, wozu der Zahnarzt William Thomas Green Morton (1809-1868) eine Äthernarkose verabreichte. Der Patient war während des Eingriffs schmerzfrei. Dieses Ereignis und die Tatsache der Schmerzfreiheit während des Eingriffs ermöglichte nicht nur die Weiterentwicklung der modernen Anästhesie, sondern war ebenso von bahnbrechender Bedeutung für die Chirurgie als auch für die anderen operativen Disziplinen der Medizin.

Auch die Entwicklung in Deutschland vollzog sich in rasantem Tempo. Weniger als vier Monate nach dem „Äthertag von Boston“ wurden unabhängig voneinander und im Wesentlichen zeitgleich die ersten Äthernarkosen an Patienten verabreicht [163,194]. Schon kurze Zeit später leisteten deutsche Wissenschaftler historisch bedeutsame Beiträge zur Fortentwicklung praktischer und pharmakologischer Fragestellungen der aufstrebenden Anästhesie [1,25,69,79,97,163,164,165,179]. Im Jahr 1902 erreichte eine Entwicklung einen Höhepunkt, welche ihren Ausgangspunkt ab 1889 in der medizin- und wissenschaftsgeschichtlich traditionsreichen Hansestadt Lübeck nahm [180]. Der Unternehmer Heinrich Dräger (1847-1917) und sein Sohn Dr. Bernhard Dräger begründeten in Zusammenarbeit mit meist Lübecker Arztpersönlichkeiten, wie z.B. Otto Roth (1863-1944) oder später auch Albert Lezius (1903-1953) sowie den Hamburgern

Paul Sudeck (1866-1945) und Helmut Schmidt (1895-1979), einen der seitdem weltweit führenden Medizintechnologie-Konzerne, die heutige Drägerwerk-AG [25,46,47,50,51,52,78,165,179]. Diese schuf die Voraussetzungen zur Einführung der Möglichkeiten der Druckgas- und Ventiltechnologie in die moderne Anästhesie, Beatmungs- und Medizintechnik. Die Weiterentwicklung dieser Technologie wurde besonders in den Jahren zwischen 1889 und 1902 vorangetrieben.

Die Konstruktion und allgemeine Einführung von Reduzierventilen revolutionierte die bis dahin fehlende Möglichkeit der regelbaren, kontinuierlichen Gaszufuhr. Heinrich und besonders Bernhard Dräger prägten durch einige ihrer vielfältigen Konstruktionen den Fortschritt in der damaligen Druckgastechik. Damit trugen sie zur Entwicklung der Medizintechnologie in entscheidendem Maße bei [22,50,165,180,193,194]. Nicht nur allgemein Gas, sondern insbesondere auch Sauerstoff, konnte nun in der gewünschten Dosis zugeführt werden [107,108,109,110,131,170,171,172,173,174,179]. Jedoch nicht nur der technische Fortschritt Gas kontinuierlich und dosierbar zu applizieren legte den technologischen Grundstein für die eigentliche Begründung der modernen Sauerstofftherapie. Mindestens ebenso entscheidend war die Möglichkeit, ausreichende Mengen Sauerstoff industriell herstellen zu können. Dieses Problem löste das ebenfalls 1902 realisierte „Linde-Verfahren“ [122,123,179]. Die durch die Druckgastechik ermöglichte kontinuierliche Applikation und Dosierung der gasförmigen Substanzen sowie die Möglichkeit der industriellen Herstellung legten im Jahre 1902 also den Grundstein der modernen Anästhesie und Sauerstofftherapie. Erstmals in der Geschichte der Medizin war es nun möglich geworden, Menschenleben durch kontinuierliche und geregelte Zufuhr reinen Sauerstoffs zu retten und die unter Umständen tödlichen Konsequenzen einer kardio-respiratorischen Insuffizienz abzuwenden. Die Tragweite der technischen Neuerungen dieses als historisch zu bezeichnenden Jahres und die damit verbundenen Konsequenzen ermutigen, das Jahr 1902 als eigentliches „Gründungsjahr“ der Etablierung der modernen Sauerstofftherapie zu postulieren.

Der lange Weg des Sauerstoffs bis zu seinem Durchbruch bei der therapeutischen Anwendung – Die Entdeckung des Sauerstoffs und frühe pathophysiologische Vorstellungen

Die Entdeckung und Erstbeschreibung vieler heute bekannten Elemente vollzog sich bereits im 18. Jahrhundert. Auch die ersten physikalisch-chemischen sowie physiologischen Grundkenntnisse für das Verständnis des Vorganges der Atmung und des Gasaustausches stammen aus dieser Zeit [179]. So isolierte Henry Cavendish (1731-1810) 1766 aus Luft den Wasserstoff. Daniel Rutherford (1749-1819) entdeckte sechs Jahre später, 1772, den Stickstoff [1,128]. Im gleichen Jahr isolierte der schwedisch-deutsche Apotheker Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) [158] erstmals den Sauerstoff. Zwei Jahre später, 1774, entdeckte - unabhängig von Scheele – auch der englische Chemiker Joseph Priestley (1733-1804) den Sauerstoff [147] und konnte seine Ergebnisse 1775 vor Scheele (1777) publizieren [1,106,109,128,131,170]. Weder Scheele noch Priestley erkannten jedoch die tatsächliche Tragweite und Bedeutung ihrer Entdeckung. Dies tat 1775 Antoine Lavoisier (1743-1794) [1,128,131,179], welcher die Bestandteile der Luft analysierte und endlich auch den „unbekannten Teil“ der Luft, den Sauerstoff, identifizierte, welchen schon wesentlich früher Robert Boyle (1627-1691) als für die Atmung wesentlich angenommen hatte [1]. 1778 beschrieb Lavoisier in einer Denkschrift über Atmung und Oxidation, dass die Atmung aus zwei Prinzipien bestehe: Der Aufnahme von Sauerstoff und der Ausscheidung von Kohlendioxid. Diese Tatsache drückt sich aus im Wert des noch heute gebräuchlichen Respiratorischen Quotienten (RQ). Lavoisier nannte das zuvor von Scheele und Priestley entdeckte Gas „oxygene“ - „Säurebildner“ [1,131]. Zusammen mit dem Astronomen Pierre Simon Laplace (1749-1827) entwickelte er zwei Jahre später die Grundlagen für die Kalorimetrie: Für den Vorgang der Atmung wurde zu gleichen Teilen Sauerstoff gebraucht und Wärmeenergie produziert, entsprechend der Verbrennung von Kohle. 1789 führte er gemeinsam mit Armand Seguin (1768-1835) Messungen zur Sauerstoffaufnahme während der Arbeit, des Essens und Ruhens durch, woraufhin 1791 der Mathematiker Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) durch weiterführende Untersuchungen zeigte, dass die chemischen Veränderungen während der Atmung nicht in der Lunge stattfinden. Später konnte

bewiesen werden, dass diese Gas- und Stoffwechselprozesse in den Geweben stattfinden [1,128,131,148,170]. Die ersten Ansätze dieser im 18. Jahrhundert beginnenden Grundlagenforschung der Sauerstoff“therapie“ waren in der praktischen Anwendung jedoch eher von mystischen Vorstellungen geprägt [108,109,131], wie frühe Berichte von Sauerstoffinhalationen zeigen. Hier wurde dem inhalierten Sauerstoff (durch beispielsweise Priestley [1775] [147], Davy [1800] [43,44] und Silliman [1830] [166]) eine belebende und euphorisierende Wirkung zugeschrieben, welche aus heutiger, objektiv-pharmakologischer Sicht nicht nachvollzogen werden kann. Möglicherweise war die Wirkung des inhalierten Sauerstoffs auf herstellungsbedingte hochgradige Verunreinigungen, insbesondere durch Lachgas [109,131,171,173], zurückzuführen. Anfangs eher unbewusst geschehen wurden später bewusst wirksame Konzentrationen von vor allem Lachgas beigemischt, welches bei häufiger Anwendung ein gewisses psychologisches Abhängigkeitspotenzial. Lachgas wurde aufgrund dieser Eigenschaft auf Jahrmärkten als „Lustgas“ benutzt [52,57,109,131,171,172,192].

So war es nicht verwunderlich, dass in der Folge dieser Entwicklung besonders im anglo-amerikanischen Bereich zahlreiche „Scharlatane“ und „Quacksalber“ sich diese Wirkungen zunutze machten und die Anwendung von Atemgasinhalationen als „Allheilmittel“ propagierten. Medizinisch und wissenschaftlich ernstzunehmende Versuche, die Sauerstofftherapie zu etablieren, wurden jedoch durch solche Vorgehensweisen unmöglich, und der Ruf der Sauerstofftherapie wurde nachhaltig beschädigt. Bis weit ins zweite Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts findet sich folgende Aussage im internationalen Schrifttum:

„The chief methods for the therapeutic employment of oxygen are by inhalation, subcutaneous injection, intravenous infusion, introduction into smaller body cavities, especially the joints, and the introduction into larger body cavities (pleural and abdominal)“ [11].

Diese zum Teil unphysiologischen, therapeutisch wirkungslosen sowie potentiell lebensgefährlichen Anwendungen des Gases waren dem öffentlichen Ansehen der Sauerstofftherapie in keinster Weise zuträglich und verhinderten die Etablierung des Sauerstoffs als Heilmittel nachhaltig [131,179].

Sauerstofftherapie im 18. und 19. Jahrhundert: Indikationen und erste Experimente mit therapeutischer Zielsetzung

Schon Priestley spekulierte, welche medizinischen Anwendungsmöglichkeiten die Sauerstofftherapie bieten könne. Vor dem Hintergrund des stetig wachsenden chemisch-physikalischen und physiologischen Wissens erschien es nicht verwunderlich, dass die ersten Versuche, den Sauerstoff als Heilmittel einzuführen, nicht lange auf sich warten ließen. Erstmals mit therapeutischer Zielsetzung soll das Gas im Jahre 1783 von dem französischen Arzt Caillens angewendet worden sein [131,167,179].

Thomas Beddoes, ein englischer Arzt und Naturphilosoph, ruft im englischen Bristol ab 1798 das erste Institut für inhalative Gastherapie („Pneumatic Institution for inhalation gas therapy) ins Leben [108,131,170].

Der damals 21-jährige Arzt Humphrey Davy wurde zum wissenschaftlich-experimentellen Leiter des offiziell am 21.3.1799 gegründeten Instituts [108] berufen. Davy wird später als Professor für Chemie in London bekannt werden [1,108,170,173,179].

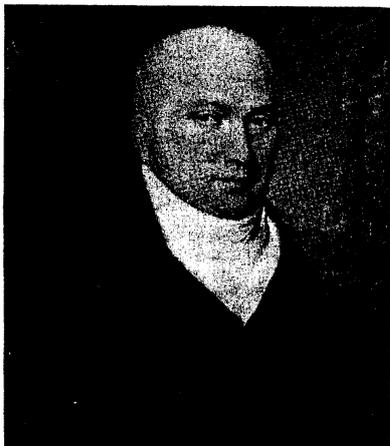


Abb. 1: Thomas Beddoes (1760-1808). Sharples Pastel Collection, Bristol Museum. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panacea. *Anaesthesia*, 1974, 29: 194-208, Fig. 3.



Abb. 2: Humphrey Davy (1778-1829) by Jackson, National Portrait Gallery, London. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panacea. Anaesthesia, 1974, 29: 194-208, Fig 2.

Das Problem der sehr aufwendigen Herstellung der Gase [14] sollte der berühmte Feinmechaniker, Maschinenbauer und Erfinder James Watt (1736-1819) beseitigen [1,108,131,170,173], der seinerseits schon maßgeblich an der Entwicklung der Dampfmaschine beteiligt gewesen war. Wahrscheinlich zog er die Motivation für seine Arbeit am Institut aus den schweren Lungentuberkulose-Erkrankungen seiner Kinder [107].



Abb. 3: The Pneumatic Institute in September 1971; [...]. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panacea. Anaesthesia, 1974, 29: 194-208, Fig. 4.

In den folgenden Jahren führten Beddoes' physikalisch-chemische und physiologische Experimente zu den Eigenschaften und Wirkungen von Gasen zu zahlreichen Publikationen [14,43,108,131,170]. Anästhesiehistorisch ist interessant, in welchem Umfang Beddoes, aber auch Davy, mit Lachgas experimentierten und Davy wohl bereits um 1800 die analgetische Wirkung des Lachgases erkannte und daraus die Eignung als Anästhetikum für chirurgische Eingriffe ableitete [43,44,179].

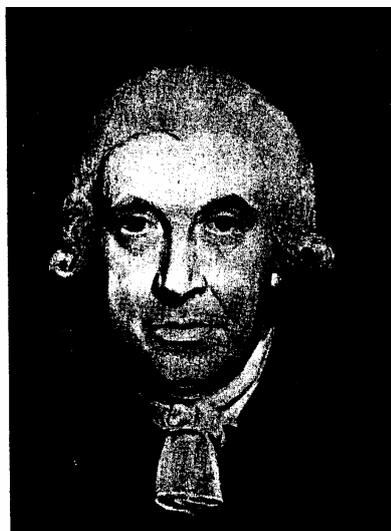


Abb. 4: James Watt (1736-1819) by H. Howard. National Portrait Gallery, London. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. *The Pneumatic Institute and the panacea. Anaesthesia*, 1974, 29: 194-208, Fig. 1.

Die Tragweite dieser Entdeckung schien ihm nicht klar gewesen zu sein, denn diese Erkenntnis wurde nicht weiter verfolgt [108,170,171,172,179]. Die aus heutiger Sicht „unphysiologischen“ und zum Teil auch hypoxischen Anwendungen der Gase durch Beddoes zeigten keine objektive Wirkung. Folglich musste Beddoes sein Institut im Jahr 1802 schließen. Davy, der wichtigste Mitarbeiter Beddoes, distanzierte sich später auch öffentlich von dieser Tätigkeit [108,109,110,131]. Trotz der anfänglichen Erfolglosigkeit schufen Beddoes und Davy mit der „Pneumatischen Medizin“ gegen Ende des 18. Jahrhunderts den

historischen gemeinsamen Ursprung der Sauerstofftherapie sowie der inhalativen Anästhesie. Vereinzelt Arbeiten und Fallschilderungen berichten im folgenden 19. Jahrhundert eher sporadisch von Erfolgen mit der Sauerstofftherapie [108,109,110,131,177,179]. Beschriebene Indikationsbereiche waren neurologische und psychiatrische Erkrankungen (Epilepsie, Hydrocephalus, Migräne), Hauterkrankungen und Hautinfektionen, generalisierte Infektionen (wie Cholera) und allgemein der Kräfteverfall (im Zusammenhang mit Tuberkulose), Pneumonien, Herzinsuffizienz [14,19,20,108,129, 179,191] sowie palliativ bei kardialem oder pulmonalem Organversagen [166]. Folglich blieb die Sauerstofftherapie, allein oder zusätzlich angewendet, insgesamt eine selten von Erfolg gekrönte Methode, welche aufgrund der damaligen Applikationsweise und vom medizinisch-physiologischen Standpunkt aus gesehen zurecht umstritten war und einen Außenseiterstatus besaß. Sie wurde von „advertising quacks“ [191] als Mittel gegen alles verwendet und auch dementsprechend vermarktet, was der Sauerstofftherapie nicht zuträglich war [108,109,110,131,170,173,179]. Bis zum 20. Jahrhundert besaß sie keinerlei Bedeutung in der klinischen Forschung und Lehre, und es fanden sich auch in Lehrbüchern und Therapieempfehlungen [141] keinerlei Hinweise auf Sauerstoffanwendungen [106,108,109,110,131,179].

Herstellung und Speicherung

Nicht gelöst waren nach wie vor die Herstellungs- und Applikationsprobleme, was die Akzeptanz und die Verbreitung des Sauerstoffs ebenfalls nachhaltig behinderte [106,108-110,131,173,179]. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts waren die Methoden der Gasseparation und -produktion ein kostspieliges und aufwendiges Unterfangen, auch wenn der 1886 in London erfundene „Brin-Process“ die Sauerstoffgewinnung erleichterte [110].

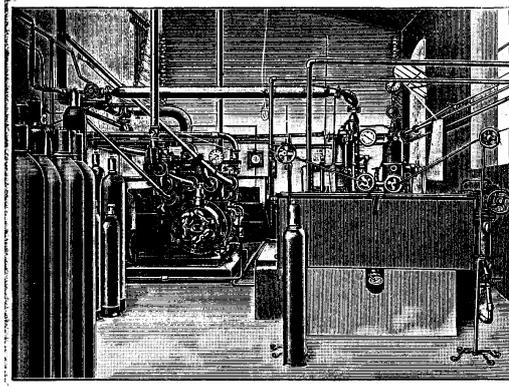


Abb. 5: Das Brin'sche Verfahren. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906. S.109, Fig. 1. [137]

Bis weit ins 19. Jahrhundert musste der benötigte Sauerstoff von den Anwendern selbst produziert werden, da die längerfristige Speicherung von Gasen nicht möglich war. Die tatsächliche Sauerstoffkonzentration war herstellungsbedingt durch Kontaminationen und andere Faktoren ungenau [109,131,173,179,190]. Um das Jahr 1853 komprimierte der Brite George Barth erstmals Lachgas in Gaszylindern, welche anfangs aus Kupfer, später aus Stahl [43,76,107,179] hergestellt wurden. Die Speicherung von Sauerstoff war ab 1868 dadurch möglich [109,173]. Somit war die aufwendige Eigenproduktion überflüssig und die Entwicklung der Druckgastechnik [110,179,180] nahm ihren Lauf. Weiterhin bestand jedoch das ungelöste Problem der unökonomischen Applikation und Dosierung der teuren, medizinischen Gase durch die damals verfügbaren Geräte für die Sauerstofftherapie und die Lachgasanästhesie [25,55,76,106-110,131,171-173,179,184,193].

Applikations- und Dosierungsprobleme der frühen Sauerstofftherapie

Durch die Probleme bei Herstellung, Speicherung und Applikation der Gase angeregt konstruierten Beddoes und Watt um 1796 den ersten Apparat für Sauerstofftherapie. Dieser bestand aus einem Reservoirbeutel, in den das Gas unmittelbar nach seiner Herstellung geleitet wurde. Dem Patienten wurde dieses über einen weiteren Schlauch zugeleitet. Am Ende des Schlauches waren anfangs Mundstücke, später Applikationsmasken mit einfachen Ventilen eingebaut, die die

Rückatmung in das Reservoir verhindern sollten [14,108,110,179]. Bis weit in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts hinein bestimmten dieses einfache Bauprinzip und diese Methode der Applikation die therapeutischen Sauerstoffanwendungen [46,107,110,131,179]. Eine Rückatmung in die Reservoirs war (ventil)technisch nicht sicher zu vermeiden, weshalb die Konzentrationen des eingeatmeten Sauerstoffs wohl bei rund 30 % oder weniger lagen. Der Sauerstoff wurde kurzfristig intermittierend über einige Minuten angewendet, sodass im Abstand von 12 bis 48 Stunden also höchstens zweistellige Literbeträge verabreicht worden sein dürften [107-109,129,131,179,192]. Aus heutiger Sicht nicht überraschend traten kaum überzeugende Erfolge auf [108,109,131,179].

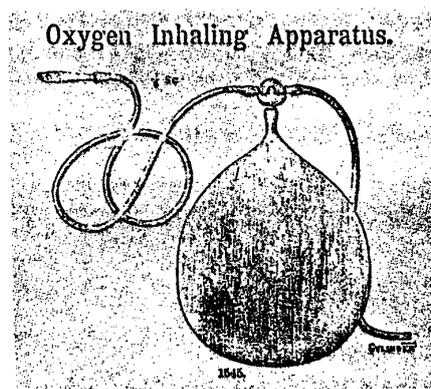


Abb. 6: Sauerstoff-Inhalator mit Mundstück. Ähnlich dem 1796 von Beddoes und Watt beschriebenen Apparat. Aus einem Down Bros. Katalog 1919. Aus: Leigh JM: The evolution of oxygen therapy apparatus. *Anaesthesia*, 1974, 29, 462-85, Fig. 1.

In Frankreich und im anglo-amerikanischen Bereich wandte man die medizinischen Gase alternativ in Sauerstoff- bzw. Anästhesiekammern an. Somit wurden die Gase nicht nur dem Patienten, sondern auch den Therapeuten, Operateuren und Helfern verabreicht. Diese Art der Applikation trat jedoch nur vereinzelt zwischen 1870 und 1914 auf [42,110,131,172]. In den Jahren zwischen 1920 und 1950 wurden, wiederum in anglo-amerikanischen Ländern, diese

Kammern durch Sauerstoffzelte ersetzt [110]. Allen diesen Kammern gemein war die Tatsache, dass sie technisch aufwendig, teuer und störanfällig waren und keine exakte, therapeutisch wirksame Dosierung ermöglichten [106,107,110,131,172,179].

Dass die längerfristige, kontinuierliche Applikation des Gases eine Bedingung für die erfolgreiche Behandlung mit Sauerstoff war, wurde erst im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts erkannt [108,131,179]. Es existiert eine Kasuistik aus dem Jahr 1890 [21], in der ein Behandlungserfolg durch kontinuierliche Sauerstoffgabe beschrieben wird. Der Patientin mit schwerer Pneumonie rettete dieses ursprünglich im palliativen Sinn angewendete Verfahren wahrscheinlich das Leben.

C.II. An der Schwelle vom 19. zum 20. Jahrhundert: Die Wende in der Geschichte der Sauerstofftherapie

Wie dargestellt, waren technische Probleme bei der Herstellung und Applikation der Gase vor der Jahrhundertwende die begrenzenden Faktoren bei der Einführung des Sauerstoffs als Basistherapeutikum im modernen Sinne. Die Lösung dieser Probleme bestand vor allem in der Einführung geeigneter Druckreduzierventile, welche erstmals um 1837 in England patentiert worden waren [193]. Hierdurch wurden drei technisch entscheidende Verbesserungen ermöglicht [22,50,179,193]: Erstens die Applikation des unter hohen Drücken gespeicherten Gases mit niedrigem Druck, wodurch die Therapie vom Patienten besser toleriert wurde. Zweitens ermöglichte die quantitative Regulation des Gasflusses (Flow) eine kontinuierliche Sauerstoffanwendung mit gleichmäßigen Volumina. Drittens ist die Möglichkeit der Druckreduzierung die entscheidende technische Voraussetzung für die Mischung von Druckgasen und deren verlässlicher Dosierung nach Vol %. Trotz dieser offensichtlichen Vorteile spielten Druckreduzierventile in der Narkosetechnik [25,184,193] und der Sauerstofftherapie [109,110,131] lange Zeit praktisch keine Rolle. Ab dem Jahr 1889 wurden praktisch zu handhabende Reduzierventile erstmals in großem Umfang von der im gleichen Jahr in Lübeck gegründeten Firma

„Drägerwerk, Heinrich und Bernhard Dräger“ gebaut und ab 1901/1902 auch in die Internationale Medizintechnik eingeführt [25,50,77,78,179,193].

Abb. 7: Das erste Dräger-Druckreduzierventil „Lubeca“ (1889). Aus: Strätling/Schmucker: 100 Jahre Sauerstofftherapie [179], Abb. 4.



Mit diesem Einstieg der heutigen Drägerwerk AG in die Medizintechnik [22,46,49,50,52,161,180] konnten endlich Narkose- und Atemschutzgeräte [Narkoseapparate von Wohlgemuth (1901) und Roth-Dräger (1902), Dräger Atemschutzgeräte (ab 1902)], Apparate für die inhalative Sauerstofftherapie [Apparat von M. Michaelis (um 1900/1901) und Dräger-Sauerstoffkoffer] mit zuverlässigen Reduzierventilen ausgestattet werden. Es ist bekannt, dass sich Geräte mit Druckreduzierventilen - und somit die kontinuierliche Sauerstoffapplikation - besonders in den Bereichen Narkosetechnik und Atemschutz auch international besser durchsetzten [15,22,48,50-52,77,78,179,193] als bei der Anwendung bei chronischen pulmonalen oder kardiologischen Erkrankungen [106,107,109,110,131,172,173,179].

Historisch soll diese Tatsache jedoch nicht mit dem tatsächlichen Durchbruch des Sauerstoffs als therapeutisches Heilmittel verwechselt werden. Sogar bis weit nach dem Zweiten Weltkrieg waren Zustände der Hypoxie und Hyperkapnie in der Anästhesie und Rettungsmedizin ständig vorhanden. Die Gründe hierfür waren einerseits technischer Natur oder andererseits physiologisch falsche Therapieannahmen [25,63,179,192,193,197]. Dennoch waren durch die Druckventiltechnologie des Hauses Dräger [22,25,46,50,77,78,193] ab 1902 erstmals die technischen Hauptprobleme gelöst worden. Sauerstoff konnte oft lebensrettende Erfolge in der Behandlung anästhesierter Patienten und im Rettungsdienst leisten. Die Herstellung von ausreichenden Mengen Sauerstoff wurde im gleichen Jahr durch das „Linde-Verfahren“ ermöglicht. Der Maschinenbauer und Ingenieur Carl von Linde (1842-1934) entwickelte bereits im Jahr 1895 die erste Versuchsanlage zur Luftverflüssigung und optimierte diese in den darauffolgenden Jahren derart, dass 1902 die weltweit erste industrielle Anlage zur Luftzerlegung in Betrieb genommen werden konnte. So konnten preisgünstig große Mengen Sauerstoff produziert werden (Patentschrift Nr. 173620, 27. Februar 1902) [1,122,123]. Tatsächlich wurden somit im Jahr 1902 die zwei entscheidenden Schlüsseltechnologien entwickelt, die der Sauerstofftherapie zum Durchbruch verhelfen. Sauerstoff wurde ein praktikables Therapeutikum und entwickelte sich zum Basistherapeutikum in der Anästhesie, im Rettungswesen und in anderen Bereichen der modernen Medizin [179].

C.III. Plädoyer für eine medizinhistorische Neubewertung der Sauerstofftherapie

Im internationalen Schrifttum zur Sauerstofftherapie fanden diese Ereignisse des Jahres 1902 insgesamt wenig Beachtung. Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich auf die fehlende Rezeptierung der deutschsprachigen Literatur im internationalen Schrifttum, welche eindeutig anglo-amerikanisch dominiert ist [106-110,131,146,172]. Folglich wurden im Schrifttum John Scott Haldanes (1860-1936) Berichte von der Behandlung Giftgasverletzter des ersten Weltkriegs (1917) als eigentlicher Beginn der modernen Sauerstofftherapie betrachtet. Auch größere Patientenkollektive wurden damals im angelsächsischen Bereich mit kontinuierlichen Sauerstoffanwendungen behandelt [108,109,131,146,172,179].



Abb. 8: John Scott Haldane (1860-1936). Frontispiece from "The Regulation of Human Respiration" (Ed. by D:J:C: Cunningham and B.B. Lloyd) (1963) Blackwell Scientific Publications, Oxford. Aus: Leigh JM: The evolution of oxygen therapy apparatus. Anaesthesia, 1974, 29, 462-85, Fig. 1.

Richtig ist, dass die ab den 1920er Jahren angestellten Forschungen Haldanes das Verständnis für die physiologischen und pathophysiologischen Vorgänge der Atmung und für die sinnvolle Anwendung der Sauerstofftherapie verbesserten [109,146]. Oft brachten diese Erkenntnisse jedoch keine Veränderung, vielerorts wurde weiterhin bis in die 1970er Jahre eine intermittierende Sauerstoffapplikation angewendet [106,107].

Zusätzlich läßt sich der Nachweis führen, dass Haldanes Therapieverfahren und insbesondere die von ihm entwickelten Behandlungsgeräte maßgeblich von zum Teil wesentlich früheren Träger-Entwicklungen beeinflusst worden waren. Der

Sauerstoff legte einen langen Weg zurück, angefangen bei seiner Entdeckung im Jahr 1772 bis hin zu seinem Durchbruch als modernes Therapeutikum [43,83,85,106,147,148,158,168]. Die moderne Geschichtsschreibung sieht im Jahr 1917 das Datum für die Entdeckung der modernen Sauerstofftherapie.

Eine solche Festlegung auf das Jahr 1917 ist, wie mit dieser Arbeit gezeigt werden soll, willkürlich und unter historiographischen Gesichtspunkten fragwürdig. Besonders vor dem Hintergrund der Dräger'schen Entwicklungen in den Bereichen der Anästhesie und Rettungsmedizin stellt sich diese These als wissenschaftlich nicht haltbar dar. Der Beginn, oder eher der Wendepunkt in der Entwicklung bis hin zur modernen Sauerstofftherapie im heutigen Sinne, muss demnach auf das Jahr 1902 datiert werden, welches meiner Meinung nach deutlich zutreffender ist, als das bisher international anerkannte Jahr 1917 [179].

Diese These wird in den folgenden Teilen dieser Arbeit weiter belegt und gefestigt werden.

D. Eine medizinhistorische Neubewertung der Sauerstofftherapie

D.I. Britische Literatur und deren Rezeption in Deutschland

„[...] Was ein Beddoes und seine Landsleute für diesen Zweig der Wissenschaft tathen hat noch kein Deutscher geleistet! [...] ueberhaupt scheint die pneumatische Medizin, so unvollkommen sie auch im ganzen noch bearbeitet ist, für die Zukunft viel zu versprechen. Am meisten deucht mir verdient das Aufmerksamkeit, daß sie uns in den Lungen einen neuen Weg gezeigt hat, auf welchen wir dem kranken Körper durch Arzneien beikommen können, und auf dem sich ohne Zweifel weit kräftiger wirken läßt als auf andern, weil die Veränderungen unmittelbar der ganzen Blutmasse mitgetheilt werden; [...]“ [91]. Schon im Jahre 1801 fanden sich in den Übersetzungen E.H.W. Münchmeyers aus Hills Schriften „Beobachtungen und Versuche über die Heilkräfte des Sauerstoffgas oder der Lebensluft“ klare Hinweise und Aussagen zur pneumatischen Medizin der damaligen Zeit: Pneumatische Medizin als neue und

vielversprechende Errungenschaft, einen Weg in die Zukunft weisend, ermutigt durch positive Resultate. Hill schildert die Anwendung von Sauerstoffgas und dessen „[...] heilsame Folgen in der Behandlung mancher Krankheiten [...], vorzüglich solcher, welche in feuchten und kalten Himmelstrichen häufig vorkommen“ [91]. So sei das Asthma eine Erkrankung, bei der - wie auch von Beddoes angenommen - „[...] der Gebrauch des Sauerstoffgas merkliche Hülfe leisten werde, welches ich auch nachher vollkommen bestätigt gefunden habe“ [91]. Hill persönlich erforschte im Selbstversuch die Wirkungen von eingeatmetem Sauerstoffgas, welche er folgendermaßen beschrieb: „Nachdem ich einige Wochen genau abgemessene Portionen von Sauerstoffgas eingeathmet, und nebenher nach den Umständen andere zweckmäßige Arzneien gebraucht hatte, fühlte ich mich zu meinem großen Vergnügen gesunder und kräftiger als es die letzten sieben Jahre der Fall gewesen war. [...] Ausser diesem beschleunigten Zuwachse an Wohlseyn und Kräften zeigte sich bei mir noch eine ungewöhnliche Röthe der Haut, am meisten im Gesichte und an den Händen und Füßen“ [91].

Er schilderte die Einatmung von Sauerstoffgas als Heilmittel bei Geschwüren und Ulcera der Unterschenkel und beobachtete Heilung innerhalb von Wochen, des Weiteren beschrieb er die Anwendung von Sauerstoffgas in neunzehn Fällen; am wirksamsten bei allen asthenischen Krankheiten, bei Skropheln und Nervenschwäche von Kinderjahren bis zur Erwachsenenzeit.

„Diesen wohltätigen Einfluß von dem Einathmen des Sauerstoffgas auf die Gesundheit, das Wachsthum und die Ausbildung junger Leute habe ich nun in mehr als hundert Fällen beobachtet“ [91].

In den Schriften Hills wurde der Gebrauch von Sauerstoffgas bei Menschen vorgeschlagen, die in schädlichen Dünsten in Bergwerken, Brunnen oder Schiffräumen erstickten. Auch bei Ertrunkenen wurde Einblasen von Sauerstoffgas in die Lungen als Wiederbelebensmaßnahme versucht. Erfolgreich bewiesen Achard und Beddoes dies an scheinototen Tieren [91,92,93]. Fraglich blieb, ob die von Hill beschriebenen Wirkungen des Sauerstoffgases durch den Sauerstoff selbst oder durch prozentual hohe Anteile anderer Bestandteile des eingeatmeten Gasgemisches (Lachgas- und Nitroverbindungen) verursacht

waren: Es bestanden nur begrenzte Möglichkeiten der Herstellung reinen Sauerstoffgases. Daher war oft nur ein mit anderen Substanzen kontaminiertes Luftgemisch verfügbar, dessen O₂-Gehalt mit rund 25-30% kaum signifikant über dem der Raumluft (21%) gelegen haben dürfte [91,179]. 1845 äußerte sich Wilson in Edinburgh zur Wirkung von Sauerstoff als Heilmittel [198], und bereits gegen Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts finden sich in der englischsprachigen Literatur gehäuft Hinweise auf die Behandlung von Pneumonien mit Sauerstoffinhalationen [5], wie die Arbeiten von Allen 1892 [3], Barth 1865 [12], Birch 1857/59 [19,20], Bradburne 1900 [24], Brunton 1892 [33], Chambers 1890 [35], Conklin 1899 [38], Cottew 1901 [39], Erskine 1898 [61], Evill 1892 [62], Fisher 1897 [65], Geddes 1895 [74], Gilchrist 1892 [75], Holtzapple 1887/88 [95], Kinnear 1897 [98], Loud 1897 [127], Maughan 1892 [132], Mitchell 1902 [139], Penrose 1899 [144], Saunders 1893 [157], Stoker 1899 [178], Turner 1899 [187] und Winfield 1890 [199] zeigten. Auch Hasenknopf verwies in seiner Arbeit auf englischsprachige Autoren, die sich nach 1890 mit der erfolgreichen Anwendung von Sauerstoff bei Pneumonien beschäftigten [2,11,13,21,87]. Nicht nur Pneumonien waren als Anwendungsgebiet erschlossen worden. Auch andere Indikationsbereiche, wie die inhalative Anwendung bei hohem Druck sowie bei Opium- und Morphinvergiftungen, wurden erforscht, wie Arbeiten von Smith [169], Stryker [182,183], Merry [133] und Playfair [145] zeigten. Nicht nur Sauerstoff (O₂) wurde zur Behandlung der Diphtherie eingesetzt, wie Lancaster 1892 beschrieb [104], auch Ozon (O₃) wurde als Heilmittel versucht. So berichtete 1893 Haynes in New York über die Behandlung der Diphtherie mit Ozon [88]. Sauerstoff als Heilmittel wurde nun auch in bisher nicht gekannten Anwendungsbereichen verwendet. Ebenfalls 1893 äußerte sich Thomson in London zur den physiologischen Effekten von Sauerstoffinhalationen auf Asphyxien bei Arbeitern in Bergwerken [185].

Der britische Physiologe John Scott Haldane (1860-1936) äußerte sich 1917 zur therapeutischen Anwendung des Sauerstoffs. Im Gegensatz zum rasch wachsenden Wissen über die physiologischen Vorgänge der Atmung stand die Unwissenheit über die tatsächlichen Effekte und Anwendungsmöglichkeiten des Sauerstoffs [83,84]. Wurde Luft mit geringerem Sauerstoffgehalt als normal

verabreicht, nahm nach Haldane die Atmung zu, und es folgten schliesslich Zyanose und Bewusstlosigkeit, Anstieg der Pulsfrequenz und des arteriellen Blutdrucks sowie Palpitationen. Für Haldane waren diese Effekte durch die Zunahme der alveolären CO₂-Konzentration bedingt, wobei das alveoläre CO₂ als Trigger des Atemzentrums diente. Wurde der Sauerstoffmangel nicht beseitigt, folgten Lähmungen der Beine, der Arme, des Kopfes und des Halses. Unter welchen Bedingungen die Gabe von Sauerstoff half, war nur durch praktische Versuche zu klären. Für Haldane waren eine bestehende Zyanose sowie kardiale und pulmonale Beeinträchtigungen immer eine Indikation zur Anwendung von Sauerstoffinhalationen. Möglicherweise konnte der sofortige Effekt des verabreichten Sauerstoffs unangenehm sein, wie Haldane von Versuchen an sich und anderen herausfand. Haldane empfahl daher die vorsichtige Beimischung von Sauerstoffgas zur Inspirationsluft bei Zyanose. Die Verabreichung von Sauerstoffgas war nicht exakt dosierbar und Haldane kritisierte vor diesem Hintergrund den verschwenderischen Umgang mit dem Heilmittel Sauerstoff. Ein von ihm vorgestellter Apparat sollte diese Probleme lösen. Aus dem Sauerstoffzylinder konnten regulierbar bis zu zehn Liter Sauerstoff entnommen werden, der in ein zwei Liter fassendes Reservoir ausströmte, das mit einem den Rückstrom verhindernden Ventil ausgestattet war. Über einen Schlauch mit Mund und Nase bedeckender Gesichtsmaske wurde das Gas dem Patienten zugeleitet. Die Maske wurde mittels eines elastischen Bandes am Kopf des Patienten gehalten und besaß Ein- und Auslassventile, sodass Raumluft geatmet werden konnte, wenn nicht gerade Sauerstoffgas verabreicht wurde. Die minimal angewendete Menge Sauerstoff waren ein bis drei Liter, ein erwachsener Mann benötigte ca. sieben Liter pro Minute. Der Arzt musste durch sorgfältige Beobachtung seines Patienten die nötige Dosis herausfinden, Haldane gab keine detaillierten Anweisungen. Durch das zwischengeschaltete Reservoir wurde eine annähernd kontinuierliche Gabe von reinem Sauerstoff ermöglicht, basierend auf einer diskontinuierlichen Entnahme mehrerer Liter O₂ aus dem Zylinder. Im Gegensatz dazu bestand in Deutschland bereits die Möglichkeit der Verabreichung eines kontinuierlichen und klar dosierbaren Gasflusses. Möglich war dies durch die fortschrittliche Druckgas-Technologie der Firma Dräger.

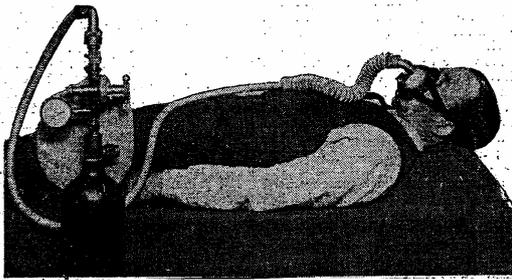


Abb. 9: Haldane's Sauerstoffapparat. Aus: The Therapeutic Administration of Oxygen. Haldane JS, BMJ , 181-183 (1917) [83].

In seinem 1935 erschienenen Werk „Respiration“ beschrieb Haldane die historische Entwicklung des damaligen Wissens über die Physiologie der Atmung und Sauerstoffversorgung des Blutes [85]: Bis in die Mitte des 17. Jahrhunderts hinein war fast nichts über die Atmung bekannt außer ihrem muskulären Mechanismus und der Tatsache, dass eine Unterbrechung derselben den Tod bedeutete. Aristoteles' (384-322 v. Chr.) Theorie, nach der die Hauptfunktion der Atmung die Kühlung des Blutes war, bestimmte das Denken dieser Zeit. Einen Fortschritt brachten die 1666 verfassten Arbeiten des englischen Chemikers Robert Boyle (1627-1691), von Lower (1669) und Mayow (1673), die einen „nitro-aerial-spirit“ [85] in Atmungsprozessen sahen. Dieser „nitro-aerial-spirit“ war in der Atemluft vorhanden und wurde in den Lungen als lebenserhaltendes Prinzip vom Blut absorbiert. Dem französischen Philosoph und Naturwissenschaftler Descartes (1596-1650) folgend vermuteten Lower und Mayow „[...] that the nitro-aerial spirit is carried by the blood to the brain, where it is separated off in the ventricles, and passed thence down the supposed nerve-tubules to the muscles. They thought that in the muscles it combines with “saline-sulphureous” particles brought by the blood, and produces muscular contraction by the resulting effervescence. They explained the increased breathing which accompanies muscular exercise as a necessary accompaniment of the increased consumption of nitro-aerial spirit.“ [85]

In der Mitte des 18. Jahrhunderts postulierte Joseph Priestley (1733-1804), übereinstimmend mit Stahl's Phlogistontheorie, dass das, was er „dephlogistizierte“ Luft nannte, durch Atmung und Verbrennung verbraucht und von grünen Pflanzen produziert wurde [85]. Lavoisier (1743-1794) führte diese

Folgerungen weiter, indem er zeigte, dass sich im Verbrennungsvorgang die „dephlogistizierte Luft“, die er „Oxygen“ nannte, mit Kohlenstoff zu CO_2 verband. Cavendish (1731-1810) und Laplace(1749-1827) wiederum zeigten 1780, dass sich das produzierte CO_2 und der verbrauchte Sauerstoff quantitativ entsprachen und somit dieser Vorgang die Quelle der Körperwärme eines Lebewesens darstellte. Der deutsche Arzt Mayer bewies daraufhin im Jahr 1845, dass der Prozess der Oxidation die Energie des Körpers bereitstellte. Dass der eingeatmete Sauerstoff vom Blut aufgenommen und mittels Hämoglobin der roten Blutkörperchen transportiert wurde, vermuteten in den Jahren 1837 und 1845 richtig Magnus und Pflüger. Ebenso wurde das in den Geweben durch Oxidation produzierte CO_2 mittels Hämoglobin zu den Lungen zurücktransportiert und abgeatmet, wie die Untersuchungen Pflügers 1872 zeigten. Rosenthal vermutete 1882 in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt des Blutes die Anregung oder Hemmung des Atemzentrums. Er ließ Tiere wenig sauerstoffhaltige Luft atmen und sah daraufhin eine schnellere Atmung. Unter Einatmung von mit CO_2 angereicherter Luft hingegen blieb die Atmung normal. Den narkotischen Effekt hoher Dosen CO_2 zog Rosenthal dabei nicht in Betracht. Pflüger zeigte 1868 Rosenthal richtig folgend, dass ein Überschuss an CO_2 sowie ein Sauerstoffmangel das Atemzentrum anregen. Die einzelnen Prozesse konnten untersucht werden, jedoch ist Leben nicht nur ein physikalisch-chemischer Prozess, sondern das Ganze musste betrachtet werden, so Haldane [85]: „From still another standpoint the existing knowledge was very unsatisfactory. From consideration of the general characteristics which distinguish life from what we interpret as physico-chemical activity, it became clear that life cannot be correctly studied process by process separately,[...]“ [85]

Haldane empfahl die Gabe von mit Sauerstoff angereicherter Luft [85]. Die Gabe von reinem Sauerstoff war nur über eine kurze Zeit möglich, da er eine die Atemwege reizende Wirkung besaß. Während des Ersten Weltkriegs wurden effiziente Apparate zur kontinuierlichen Anwendung von Sauerstoff dringend zur Behandlung von Giftgasgeschädigten benötigt [85]. Einen von Haldane entwickelten Sauerstoffapparat zeigt die folgende Abbildung:

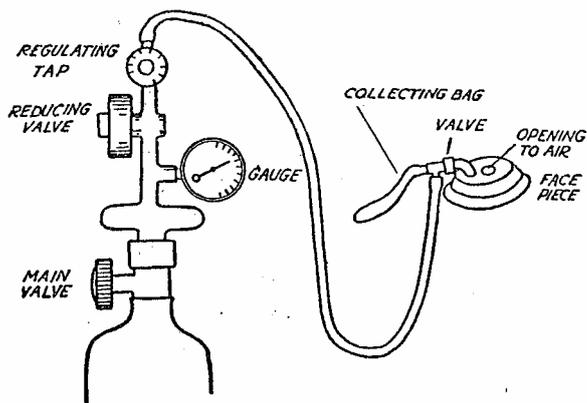


Abb. 10: Apparat zur Verabreichung von Sauerstoff. Aus: Haldane, JS: Respiration, 1935, S. 229. Fig. 66 [85].

Auch wurden gegen Ende des Ersten Weltkriegs in England in Stoke-on-Trent und Cambridge Patienten in Sauerstoffkammern behandelt (Barcroft, Hunt und Dufton, 1919-20) [85]. Damit wurden zwar auch einige Fälle von chronischen Giftgasvergiftungen erfolgreich behandelt, jedoch war diese Methode der Behandlung zu teuer und zu risikoreich. Angst hatte man vor allem vor der durch den hohen Sauerstoffgehalt bedingten Explosionsgefahr der in diesen Kammern befindlichen Materialien. Auch andere Möglichkeiten der Zufuhr von Sauerstoffgas wurden erprobt. So konstruierte 1921 L. Hill das erste Sauerstoffzelt, das den im Bett liegenden Patienten einschloss [85]. Haldane beschrieb die Annahme einer aktiven Sauerstoffsekretion in den Lungen, eine zu dieser Zeit gängige Vermutung [85]. Bekannt war bereits, dass das Blut von der Alveolarluft durch das Kapillar- und Alveolarepithel getrennt wurde. So vermutete man, dass diese Membranen aufgrund ihres geringen Durchmessers keine große Rolle im aktiven Prozess der Sauerstoffsekretion spielen konnten. Ein Umdenken setzte in der Mitte des 19. Jahrhunderts aufgrund der aufkommenden physikalisch-chemischen Theorien ein. Diese nahmen an, dass Flüssigkeiten oder feste Partikel aktiv sezerniert, Gase jedoch per Diffusion Membranen überwinden konnten [85]. Jedoch nicht nur Quellen aus Großbritannien wurden in Deutschland intensiv rezipiert, vielmehr fand sich eine Vielzahl weiterer Arbeiten zur Sauerstofftherapie aus anderen kontinentaleuropäischen Ländern, im Folgenden aus Frankreich.

D.II. Rezeption des französischen Schrifttums in Deutschland

Der deutsche Internist Friedrich Kraus (1858-1936) beschrieb 1903 in seinem Beitrag „Zur Sauerstofftherapie“ die Situation im Frankreich des Jahres 1785 [103]. Damals vergab die Société Royale de Médecine einen Preis an Jurine, der durch Untersuchung der ausgeatmeten Gase des Patienten bei verschiedenen Krankheiten spezielle Unterschiede zu finden suchte und je nach Ergebnis die Erkrankten konzentrierten oder verdünnten Sauerstoff oder Kohlensäure einatmen ließ [103]. Ein von ihm veröffentlichter Bericht über die erfolgreiche Anwendung der Sauerstoffinhalation bei Lungentuberkulose sorgte für Aufregung, und die französische Regierung verlangte eine Erklärung von der Academie des Sciences zur Wirksamkeit dieses Wundermittels [103]. Fourcroy, ebenfalls ein Experte auf dem Gebiet der Sauerstoffanwendungen, sollte sich mit der Frage der therapeutischen Wirksamkeit des Sauerstoffs auseinandersetzen. Als ein früher, leidenschaftlicher Verfechter der Sauerstofftherapie, erkannte er schon weniger als zehn Jahre nach Priestleys Entdeckungen den Sauerstoff als ein hervorragendes, revolutionäres Heilmittel. Ihn kennzeichnete eine besondere, die Chemie und die Biologie verbindende Denkweise. Von Beruf gleichermaßen Arzt und Chemiker, näherte er sich den biologischen Sachverhalten mit dem Wissen um die chemischen Grundlagen nach damaligem Wissenstand und verband diese miteinander. Daraus resultierte schon damals seine Überzeugung, den von Priestley entdeckten Sauerstoff als revolutionäres Heilmittel zu betrachten [103]. Seine Ergebnisse der Untersuchungen zu Sauerstoffanwendungen legte er 1787 und 1798 in zwei Mémoires nieder, welche Kraus als „von geringem Werth“ bezeichnete [103]. Tatsächlich beruhten Fourcroys theoretische Annahmen auf den wenig entwickelten Wissenschaften seiner Zeit. Die Ergebnisse seiner praktischen Sauerstoffanwendungen muteten nach heutigem Wissen tatsächlich seltsam an: „Die klinischen Beobachtungen Fourcroy’s aber gründeten sich schon gar grösstentheils auf die Anwendung eingebildeter Sauerstoffträger (Sauerstoffüberladener Salzsäure, oxygenirte Salben etc.). Da er glaubte, dass die Lebensluft die Lungengefäße entzünde, dieselbe mit Wärme erfülle und eine Art von Fieber erzeuge, so schloss er, dass man den Sauerstoff nicht bei Krankheiten anwenden dürfe, bei welchen Wärme und Blutbewegung sehr intensiv seien; dagegen werde

man die Lebensluft bei den in dieser Beziehung entgegengesetzten Krankheiten mit Vortheil gebrauchen (Cholorose, Skopheln, Asthma, Obstruktion, Hypochondrie, Rhachhitis, Dyspepsie)“ [103]. Kraus war überzeugt, dass gerade die beschriebene extreme Verehrung des Sauerstoffs als Heilmittel, die oben geschilderten Annahmen Fourcroy´s sowie die „unfruchtbaren“ [103] Experimente seiner Schüler letztendlich dazu führten, dass der Sauerstoff als therapeutisches Heilmittel aus dem Interesse der Wissenschaft verschwand: „Gewissermaßen hat also Fourcroy´s Schule in höchster Verehrung des Sauerstoffs gerade dieses Gas aus der Therapie hinausgeworfen!“ [103].

Chaussiers erste therapeutische Versuche mit einem speziellen konstruierten Kehlkopftubus am Menschen fanden um das Jahr 1780 an dyspnoischen Phthisikern und asphyktischen Neugeborenen statt, wie Pagel in Michaelis´ „Handbuch der Sauerstofftherapie“ 1903 beschrieb [137]. Drei Jahre später, in einem Bericht aus dem Jahr 1783, beschrieb Caillens die angebliche Heilung zweier Phthisiker durch Einatmung reinen Sauerstoffs [137]. Bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts erschienen unzählige Publikationen zur Anwendung des Sauerstoffs, welche Pagel im „Handbuch der Sauerstofftherapie“ ins Detail gehend benannte [137]. Eine tabellarische Übersicht beteiligter Autoren befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

Im Jahr 1848 berichtete Smyttère über Sauerstoffeinatmungen als Mittel im Kampf gegen die Cholera [175] und ein halbes Jahrhundert später, 1898, wendete Gallois mit Sauerstoff versetztes Wasser in der Behandlung des Schwangerschaftserbrechens und bei Tuberkulose an [72]. In Bordeaux äußerte sich im Jahr 1900 Hobbs ebenfalls zur Anwendung von Sauerstoff bei Tuberkulose [94]. Linas publizierte 1868 in seiner Arbeit die Anwendung von Sauerstoff als Heilmittel gegen schleichende Asphyxie durch Kohle [121], ebenso wie Limousin in Paris 1871 und 1883 den Gebrauch von Sauerstoff in der Behandlung von Asphyxien beschrieb [119,120]. Auch zur Behandlung der Diphtherie und der dabei auftretenden Atemnot bedingt durch die Membranenbildung im Rachen wurden Sauerstoffinhalationen erfolgreich angewendet, wie Boucher [23] in seiner Arbeit im Jahr 1883 und Gonthier [80]

1889 beschrieben. Die Arbeiten von Lavoisier und Seguin, nach denen ein erhöhter Sauerstoffgehalt in der Luft die Oxidationsprozesse im gesunden Körper nicht beschleunigte, führten am Ende des 19. Jahrhunderts zu einem Versiegen der Publikationen und zu einem Ende der Untersuchungen über Sauerstoff [137]. Vereinzelt fanden sich noch Hinweise auf Sauerstoffanwendungen, so beschrieb im Jahr 1905 Redard die lokale Sauerstoffgabe bei Tuberkulose [151]. Die Sauerstofftherapie schien gescheitert und konnte sich nicht durchsetzen. Die erste Episode endete „sonach mit einem Stillstand der Forschung, wenn man will, mit einem kläglichen Fiasko.“ [137]. In den folgenden Jahren tauchten dennoch immer wieder Veröffentlichungen über Sauerstoffanwendungen auf, besonders angeregt durch die Choleraepidemien der Jahre 1831, 1848 und 1850. Insbesondere französische Autoren wie Millingen, Foy, Sandras, Coster, Bories, Martin Saint-Ange, de Smyttère wurden genannt, aber auch deutsche Autoren wie Schwarz und von Huebbenet meinten eine belebende Wirkung durch Sauerstoffinhalationen im asphyktischen Stadium der Cholera beobachtet zu haben [137].

D.III. Rezeption des italienischen Schrifttums in Deutschland

Unter Hinweis auf Michaelis „Handbuch der Sauerstofftherapie“ berichtete im Jahr 1908 der römische Assistenzarzt Giovanni Galli „Zur Geschichte und Indikation der Sauerstofftherapie“ [71]. Galli hob die Wichtigkeit des Michaelis'schen Buches hervor, bemängelte jedoch die seiner Meinung nach fehlenden Hinweise auf den italienischen Arzt Baccelli, seinerzeit seit mehr als dreißig Jahren ein sehr bedeutender Vertreter und Befürworter der Sauerstofftherapie in Italien. Nach Galli wendete Baccelli schon im Jahr 1878 Sauerstoff in der Therapie einer Lungenentzündung an, scheiterte jedoch an der fehlenden Bekanntheit des Sauerstoffs und der ablehnenden Haltung der italienischen Ärzte [71]. Galli betonte die Bedeutsamkeit von Baccellis Arbeiten: „In der medizinischen Klinik zu Rom wurde die Behandlung mit Sauerstoff in den verschiedensten akuten und chronischen Krankheiten konsequent durchgeführt und dies unerschütterliche Beispiel hat dem Gebrauch des Sauerstoffs in ganz Italien zum Sieg verholfen, so dass die Lehren und Indikationen der römischen Schule schliesslich allgemeine

Anerkennung fanden (...) Baccelli hat aber Erleichterung durch die Anwendung des Sauerstoffes bei Stoffwechselkrankheiten und besonders bei Diabetes Fettleibiger konstatiert. Auch bei gichtischen Manifestationen, bei Fettsucht, Anämie war der Sauerstoff in den Händen Baccellis eine vorzügliche Unterstützung und Ergänzung der diätetischen und medikamentösen Behandlung. Bei Arteriosklerose erzielte man sehr ermutigende Resultate.

„Ich selbst habe kürzlich einen schweren Fall von Arteriosklerose mit Cheyne-Stokes-Atmung beobachtet, in dem die Anfälle sich durch grosse Gaben von Sauerstoff abschwächen und endlich ausschalten liessen. Es wäre deshalb nur recht und billig, wenn der vortreffliche Autor des Kapitels über die Sauerstoffbehandlung bei den inneren Krankheiten in einer neuen Ausgabe auch diese Indikationen berücksichtigen würde, die durch die römische Schule gefunden und bewiesen wurden.“ [71].

D.IV. Deutsches Schrifttum

Die Durchsicht des in Deutschland rezipierten Schrifttums zur inhalativen Anwendung des Sauerstoffs zeigte eine Vielzahl von Verweisen auf überwiegend französische und englischsprachige Autoren. So publizierte Sieveking bereits 1868 im „Lancet“ die erfolgreiche Behandlung einer Leuchtgasvergiftung mit Inhalationen von Sauerstoffgas im St. Mary's Hospital, wobei „[...] Kopfweh, Schwindel und Steifigkeit in der Gliedern fast unmittelbar sich verlieren.“ [160].

Zwei Jahre später, im Jahre 1870, schilderte Lender (1820-1888) in Deutschland ebenfalls den Fall einer Leuchtgasvergiftung und die erfolgreiche Behandlung der Verletzten mit Ozonsauerstoffinhalationen [112-116]: „Ich kann sehr entschieden betonen die Nothwendigkeit, ausgedehnte Versuche mit activem Sauerstoff anzustellen, - ich kann hervorheben, dass bereits günstige Erfolge vorliegen, während ungünstige Wirkungen, d.h. Erkrankungen in Folge der Inhalation mir bis jetzt nicht bekannt geworden sind.“ So die Reaktion des Professor Preyer in Jena, dem Lender 1870 seine Ergebnisse mitteilte [114]. In seinem 1871 in Kissingen

gehaltenen Vortrag „Der Gift-Stoff und der Arzneikörper der Luft“ schilderte Lender seine zum Teil wunderbar anmutenden Ergebnisse. Er vermutete im Ozonsauerstoff einen Arzneikörper der Luft, welcher sich mit allen Körpern außer Gold, Platin und Wasser verband und so diese von schädigenden Vibrionen befreite und dabei selber verbraucht wurde [111]. Den Ursprung des Ozonsauerstoffes sah Lender in Blitzschlägen und grünen Blättern der Pflanzen, welchen er entströmte. Vibrionen, von Pasteur (Louis Pasteur, 1822-1895, frz. Chemiker und Mikrobiologe) als Erreger der Fäulnis entdeckt, waren kleinste, nicht sichtbare Organismen in der Luft. Lender bezog sich auf Professor Schmidt, dessen Versuchen nach der eingeatmete Sauerstoff zum Teil durch unsere Blutscheiben in Ozonsauerstoff umgewandelt werden konnte. Dieser Prozess nahm mit dem Altern ab und war nach seiner Auffassung schließlich die Ursache der Verfalls aller Organe [111]. Schon im vorigen Jahrhundert wurde erkannt, dass Sauerstoff der wesentliche Bestandteil der Luft und Atmen nichts anderes als Hunger nach Sauerstoff war – beschrieben durch den Begriff der „Lebensluft“ [111]. So konnte die Zufuhr reinen Sauerstoffs bei Fieber dem Zerstörungsprozesse entgegen arbeiten. Lender meinte, Sauerstoff führte die ideale Ernährung aller tierischen Gewebe herbei und konnte dadurch anregende, stärkende, entgiftende sowie krampf-, entzündungs- und fieberwidrige Wirkungen entfalten [111]. Nach Lenders Überzeugung war der Sauerstoff, der uns aufbaute, der Ozonsauerstoff: „[...] dass ein Aufenthalt in freier Luft um so sicherer unsere Wangen und Lippen röthet, unsere Muskeln in der Dicke stärker, fester und unsere Nerven widerstandfähiger gegen schädliche Einflüsse macht, je längere Zeit dieser Aufenthalt im Bereiche des erregten Sauerstoffs fortgesetzt wird.“ Er schloss mit der Erkenntnis: „Jeder Athemzug in unserer Wohnung beginnt unseren Körper zu vergiften und zu schwächen, jeder Athemzug im Freien beginnt denselben zu entgiften und zu stärken“ [111].

1874 äußerte sich Hartung in seiner Veröffentlichung zur physiologischen und therapeutischen Wirkung des Sauerstoffs [86] und Ananoff schrieb „Ueber die Wirkung von Sauerstoffgas auf die erhöhte Reflexerregbarkeit“ [4]. Ein Jahr später, 1875, schrieb Buchheim „Ueber die therapeutische Verwendung des Sauerstoffs.“ [34] und im gleichen Jahr beschrieb Waldenburg in seinem Werk

„Die pneumatische Behandlung der Respirations-und Circulationskrankheiten“ die Behandlung mit verdünnter und komprimierter Luft [189]. Er versprach sich davon die Nutzung des Höhenklimas: „[...] werden die Kranken für längere Zeit in eine verdünntere Luft übergeführt, und wenn hierbei auch noch viele andere klimatische Factoren, wie die Luftfeuchtigkeit, die Temperaturverhältnisse, die Reinheit der Luft und andere zu dem schliesslichen Effecte mitwirken, so scheint es mir doch unzweifelhaft, dass von allen diesen verschiedenen Factoren die Luftverdünnung der wesentlichste ist“ [189]. Zum Anderen wendete man in „Pneumatischen Cabinetten“ komprimierte Luft an, „[...] und es liess sich dadurch die Wirkung des erhöhten Luftdrucks auf den Organismus in genauer Weise studiren“ [189]. Waldenburg benutzte den „transportablen pneumatischen Apparat“, hergestellt von Ignaz Hauke in Wien im Jahr 1870 und mutmaßte: „Nun hatten mich meine pneumatometrischen Untersuchungen seit Jahren darauf hingewiesen, von wie unberechenbarer Wichtigkeit es sein müsste, wenn es gelänge, auf die Inspiration und die Expiration gesondert durch unsere Behandlung einzuwirken und so die einzelnen Phasen der Respiration je nach dem vorhandenen Krankheitszustand einer mechanischen Therapie zu unterwerfen. Es liess sich von einer vollkommenen Ausführung dieses Plans erwarten, dass sich für die rationelle, individualisirende Behandlung sehr wesentliche Vorzüge vor den pneumatischen Cabinetten herausstellen würden – ganz abgesehen von dem anderen unschätzbaren Vortheil, dass durch Herstellung eines relativ wohlfeilen transportablen Apparats die mechanische Behandlungsmethode, anstatt wie bisher auf wenige Orte, an welchen pneumatische Glocken mit grossen Kosten errichtet sind, beschränkt zu sein, allen Aerzten und Kranken leicht zugänglich gemacht werden könnte“ [189].

Der Hauke´sche Apparat stellte ein modifiziertes Gasometer dar. Er bestand aus einem zylindrischen Gefäß, welches durch eine nicht ganz bis zum Boden reichende Scheidewand in zwei gleiche Hälften geteilt wurde, von denen die eine nach oben offen war, die andere eine Verlängerung besaß, verschlossen durch einen Deckel, in dem sich zwei Öffnungen befanden. Unterhalb der Scheidewand war eine Kommunikation der beiden Hälften miteinander gegeben. Die eine Öffnung war durch ein Doppelventil verbunden mit einem Blasebalg, der die eine

Hälfte je nach Öffnungszustand des Ventils mit komprimierter oder verdünnter Luft füllen konnte, also atmosphärische Luft in den Behälter ein- oder auspumpte. Die zweite Öffnung war durch einen Gummischlauch mit einer Gesichtsmaske aus Metall verbunden. Das Ventil von der Maske zum Gummischlauch war mittels einer Feder derart regelbar, dass man durch Daumendruck die Verbindung zur atmosphärischen Luft nach außen schließen und gleichzeitig eine Verbindung zum Luftbehälter herstellen konnte [189]. Zu Inhalationszwecken wurde der Behälter mit Wasser befüllt, das folglich in dem unteren Teil des kommunizierenden Behälters gleich hoch stand. Man stellte das Ventil auf Luftkompression oder -verdünnung ein und pumpte durch den Blasebalg. Entsprechend der Wasserdruckhöhe konnte so die Luft im Behälter verdünnt oder komprimiert werden [189]. Hauke selbst hatte diesen Apparat für die Anwendung bei Emphysem und Krupp vorgesehen. Er wollte beim Emphysematiker die Ausatmung unterstützen, indem er in verdünnte Luft ausatmen ließ. Umgekehrt sollte beim Krupp durch die Einatmung von komprimierter Luft die im Anfall mangelnde Luftzufuhr verbessert werden. Praktisch funktionierte dieses Verfahren angeblich bei an Emphysem erkrankten Patienten besser, da die vom Krupp betroffenen Kinder nicht in der Lage waren, den Apparat entsprechend der In- und Expiration zu benutzen und auch eine erdachte Modifikation Haukes nicht den gewünschten Erfolg brachte [189]. Jedoch erschloss er mit der Tuberkulose ein weiteres Anwendungsgebiet der Einatmung von komprimierter Luft [189]. Er beschrieb in einem Falle der Anwendung im Anfangsstadium der Lungentuberkulose eine fast vollständige Genesung des Patienten nach dreimonatiger Behandlung [189]. Nach Waldenburg wurden nicht sehr viele weitere Resultate dieser Forschungen veröffentlicht. Er nannte Schnitzler, Bettelheim, Winternitz und Kohn, die sich positiv über diese Behandlungsmethode des Emphysems äußerten. Berkhart behandelte in London erfolgreich die Emphysemerkrankung mit einem eigenen Apparat nach dem Prinzip einer Saugpumpe [189]. Waldenburg war der Auffassung, dass diese erfolgversprechende Methode nicht die Verbreitung und Anerkennung gefunden hatte, die sie verdiente, denn diese Veröffentlichungen waren sämtlich alles, was vorhanden war [189]. Waldenburg forschte mit dem beschriebenen Hauke'schen Apparat und kam zu dem Schluss, dass die Behandlungsmethode

vielversprechend war. Er versuchte jedoch, die Methode zu optimieren, indem er höhere Atmosphärendrücke anwendete, um stärkere Kompression oder Verdünnung der Luft und entsprechend stärkere Heilwirkung zu erreichen und um eine konstantere Wirkung des Apparates zu erzielen [189]. Seine Gründe dafür waren folgende: „Ein zweiter, noch viel gewichtigerer Mangel im Hauke´schen Apparat liegt in der Inkonstanz seiner Wirkung.[...], da das Pumpen stossweise erfolgt, ändert sich auch – nota bene während eines einzigen Atemzuges! – dauernd der Grad der Verdichtung oder Verdünnung, und zwar nicht allmählig, wie es ohne Pumpen geschieht, sondern stossweise absinkend und anwachsend. Dieses stossweise Einwirken auf die Lungenluft macht den meisten Kranken unangenehme Sensationen, und bei einigen waren dieselben derart, dass ich lieber auf das Pumpen während der Respiration verzichtete und mit dem stetig bis auf Null abnehmenden Druck resp. Zug zu operiren vorzog.“ [189].

Auch war die Bedienung des Ventils an der Maske für die Kranken teilweise zu problematisch, und es wurde immer eine zweite Person zum Pumpen des Blasebalgs benötigt [189]. Waldenburg selbst konstruierte daraufhin einen transportablen Apparat, der diese Mängel beseitigen sollte:

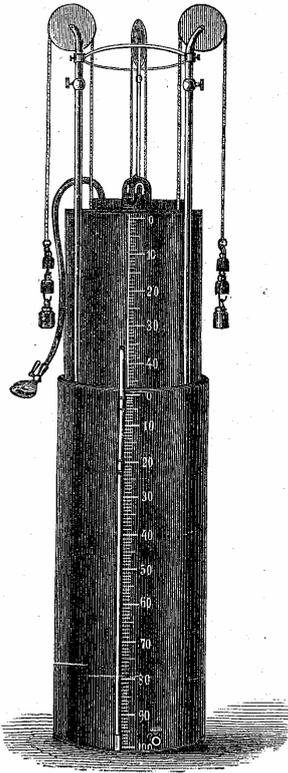


Abb.11:
 Waldenburgs transportabler
 pneumatischer Apparat. Aus:
 Waldenburg, L: Die Pneumatische
 Behandlung der Respirations- und
 Zirkulationskrankheiten, Berlin 1875
 [189]. Fig. 4, S. 128.

Zur Wirkungsweise schrieb Waldenburg:

„Mit diesem Apparat haben wir also erstens erreicht, dass es in unserer Hand steht, durch Vermehrung oder Verminderung der Gewichte nach Belieben jeden gewünschten Grad der Luftverdichtung oder Luftverdünnung zu erzielen, und zweitens, dass dieser Grad während des ganzen Gebrauchs ein constanter bleibt. Wir haben ein physicalisches Heilmittel gewonnen, welches wir auf das allerexacteste zu dosiren , und wodurch wir auch den strengsten Anforderungen der Wissenschaft zu genügen vermögen. Ferner lernen wir genau kennen, wie gross das Quantum Luft ist, welches bei der jedesmaligen In- oder Expiration einresp. Ausgeathmet wird, können dieses Quantum mit der vitalen Lungencapazität vergleichen, sind also auch in die Lage versetzt. Exacte wissenschaftliche Untersuchungen nach dieser Richtung hin anzustellen“ [189].

Waldenburgs Apparat konnte folgendermaßen benutzt werden: Möglich war die Einatmung allenfalls geringgradigst komprimierter oder verdünnter Luft oder die Ausatmung in verdünnte oder komprimierte Luft. Untersucht wurde folglich die mechanische Wirkung auf die Lungen und die Respiration [189]. Das nähere

Augenmerk soll hier nur auf die Einatmung komprimierter Luft gelegt werden, da der hinter dieser Behandlungsmethode stehende Ansatz am ehesten mit der späteren Anwendung von Sauerstoffgas korreliert. Indikationen für diese Art der Therapie waren „[...] namentlich Phthisis, Pleuritis, Stenosen der ersten Luftwege etc. [189]. [...] Es folgt aus unseren Versuchen mit absoluter Nothwendigkeit, dass bei der Inspiration comprimierter Luft die Lungen und der Thorax sich weiter ausdehnen, als dies sonst bei tiefer Inspiration möglich ist.“ Den Nachweis für die Richtigkeit dieser These versuchte Waldenburg durch Messungen des Brustumfanges zu führen, der unter dieser Therapie zunahm [189].

Er resumierte: „Aus den erörterten Thatsachen resultirt ferner mit Nothwendigkeit: dass während der Inspiration comprimierter Luft der Gasaustausch in den Lungen erheblich gesteigert sein muss. Mit jedem Atemzuge nämlich wird weit mehr atmosphärische Luft, also auch Sauerstoffgas, den Lungen zugeführt, als dies sonst bei gewöhnlicher tiefster Inspiration möglich ist [...] Der dyspnoische Kranke fühlt, dass ihm mehr Luft als gewöhnlich zugeführt, und dass sein Lufthunger dadurch gemildert oder gänzlich gestillt wird. Oft genug sah ich Kranke mit hochgradiger Dyspnoe, dass ich fast die Unausführbarkeit des Verfahrens fürchtete, an den Apparat treten, mit Mühe die ersten Atemzüge ausführen, später immer mehr erleichtert werden und zuletzt ohne jede Spur von Dyspnoe den Apparat verlassen“ [189].

Waldenburg beschrieb enthusiastisch die von ihm angenommenen Prinzipien der angeblichen Wirksamkeit der neuen pneumatischen Methode, die nach heutiger Kenntnis allenfalls Verbesserungen im Sinne einer bewusst stimulierten Atemmechanik bzw. einer Atemgymnastik gebracht haben dürfte. „Wir haben gesehen, dass die Wirkungen, welche die verschiedenen Methoden der Anwendung des transportablen pneumatischen Apparats auf die Lungen und die Respiration ausüben, auf das exacteste, ja fast mit mathematischer Sicherheit sich bestimmen lassen, und dass sie deshalb mit Nothwendigkeit eintreten müssen, weil sie rein mechanische sind und auf physicalischen Gesetzen sich aufbauen. Wie die Kälte stets abkühlend, so muss ein Drucküberschuss auf elastische Wände stets ausdehnend, eine Druckverminderung dagegen zusammenziehend

wirken. Hier gilt ein eisernes physikalisches Gesetz, dem organische wie anorganische Körper unterliegen; hier können weder Nerven noch Gefäße den Endeffect hindern; hier rechnen wir nicht mit unbestimmten Faktoren und unberechenbaren Einflüssen, wie es leider sonst noch bei den meisten unserer Medicationen der Fall ist. Hierin liegt die grosse Bedeutung rein physicalischer Heilmittel, mit denen sich die anderen dynamischen nicht messen können. Leider ist die Materia noch sehr arm an derartigen Mitteln, und um so berechtigter ist unsere Freude, ein neues gewonnen zu haben“ [189]. Waldenburg teilte die Indikationen für die pneumatische Behandlung in solche ein, die sich aus der Wirkung auf die Respiration und in solche, die sich aus der Wirkung auf das Herz und die Blutzirkulation herleiten ließen [189]. Expiration in verdünnte Luft wendete er an bei Emphysem und erklärte die Wirkung folgendermaßen [189]: „Verkleinerung des Volumens der Lungen und Erhöhung ihrer Retractionskraft, Vermehrung der vitalen Lungencapazität durch Verminderung der Residualluft, Hebung der Expirationskraft, Beförderung der Lungenventilation und hiermit Beseitigung und Verhinderung der Dyspnoe. Ich glaube nicht, dass es in unserem Arzneischatz noch irgend ein anderes Heilmittel giebt, welches allen Symptomen einer Krankheit auch nur in annähernder Weise so total entgegenwirkt, wie die Expiration in verdünnte Luft dem Emphysem. Ich darf mit dem vollkommendsten Rechte behaupten: die Expiration in verdünnte Luft ist das spezifische mechanische Antidot des Emphysems“ [189]. Bestanden jedoch bereits organische Veränderungen des Lungengewebes, war nach Waldenburg die Anwendung der pneumatischen Methode nicht erfolgreich. Er beschrieb noch eine weitere, zufällig gemachte Beobachtung: Die Expiration in verdünnte Luft wirkte auf mechanische Weise schleimlösend bei Bronchitis – für diesen Effekt dürfte aus heutiger Sicht wohl eher die atemgymnastische Wirkung des Apparates verantwortlich gewesen sein [189]. Indikationen zur Inspiration komprimierter Luft sah Waldenburg dementsprechend bei Pleuritis, Empyem, Lungen-Atelektasen, Lungenschwindsucht, Bronchitis, Asthma, fortgeschrittenem Emphysem, Stenosen der ersten Luftwege, Croup des Larynx und der Trachea, Asphyxie durch Chloroform-/Kohlenoxyd und andere ähnliche Vergiftungen sowie „Scheintod“ nach Ertrinken oder Erhängen [189]. „Die Inspiration comprimierter Luft ist bei allen denjenigen Erkrankungen indicirt, bei welchen die Lungen sei es durch

Compression von aussen, sei es durch Gewebstörungen im Innern, sei es durch mangelhafte Ausbildung oder Difformitäten des Thorax, ihr normales Volumen eingebüsst haben; sodann in allen Zuständen von Dyspnoe, mag dieselbe durch Erkrankungen der Lunge oder des Circulationsapparats, mag sie durch verminderten Zufluss von Luft zu dem Lungen wegen Stenosirung der ersten Wege, endlich durch nervöse Störungen oder selbst durch Veränderungen der Blutmischung (Intoxications-Asphyxie) bedingt sein“ [189]. Waldenburg empfahl die Anwendung des pneumatischen Apparates auch als künstliche Beatmungsmethode: [...] Natürlich wird er nur dort gebraucht werden können, wo er zur Hand ist, und deshalb möchte seine Aufstellung in chirurgischen Operationssälen, Rettungsanstalten, Kliniken dringend zu empfehlen sein. Ich selbst besitze in dieser Beziehung keine Erfahrungen.“ [189]

Während des Druckes von Waldenburgs Arbeit veröffentlicht Störk einen interessanten Fall von Asphyxie, bewirkt durch Herabfließen von Blut im Verlauf einer Tracheotomie. Er hatte seinen Waldenburgschen Respirationsapparat zur Hand und benutzte denselben zunächst zum Auspumpen des Blutes aus den Bronchien, sodann zum Einblasen komprimierter Luft und zur Einleitung der künstlichen Atmung. Dem Verfahren „verdankt die Kranke thatsächlich ihr Leben“ [189]. Ein Jahr nach der Veröffentlichung von Waldenburgs Arbeit, 1876, schrieb Oppenheim in Berlin „Ueber neuere Anwendungen des Sauerstoffs in Rücksicht auf Gesundheitspflege“ [140] und 1883 erschien von Coltellis Arbeit „Ueber Sauerstoff-Inhalationen“ [37].

Ein anderes, schon fast modernes Bild des von Priestley 1774 entdeckten Sauerstoffs zeichnete im Jahre 1889 Gyurkovechky in seiner Veröffentlichung „Beiträge zur therapeutischen Anwendung des Sauerstoffes“ [81]. Er beschrieb darin die Entdeckung des Sauerstoffs durch Priestley sowie die Modifikationen der Ergebnisse durch Scheele und Lavoisier, welche dazu führten, dass der Sauerstoff als Heilmittel betrachtet wurde, [...] „da kein thierischer Organismus ohne ständige Zufuhr von Sauerstoff existieren kann, welche ja zum ordnungsgemäßen Abwickeln jener physikalisch-chemischen Processe, die das Leben bedingen, unumgänglich nothwendig ist“ [81].

Gyurkovechky beschrieb Priestleys Versuche an sich selbst und an Mäusen. Die gewonnenen Erkenntnisse und die verstandene physiologische Wirkungsweise des Sauerstoffs führten zu einer breiten Anwendung desselben bei Erkrankungen der Atmungsorgane. Obwohl sich befriedigende Ergebnisse zeigten, wurde die Anwendung von Sauerstoff jedoch bald darauf verlassen und geriet in Vergessenheit. Wie Gyurkovechky zutreffend feststellte, scheiterte die Anwendung des Sauerstoffes nicht an dessen fehlender Wirkung, sondern an der zu dieser Zeit noch schwierigen und teuren Herstellung des Gases sowie an schwer durchführbaren und unpraktikablen Inhalationsmethoden [81]. Er verwies auf Arbeiten von Armand Trousseau (1856-1910), Demarquay, Constantin und Leconte, welche im Frankreich dieser Zeit erneut die Aufmerksamkeit auf Sauerstoffanwendungen lenkten, sodass der Sauerstoff als Heilmittel wieder ins Interesse der Öffentlichkeit trat [81]. Gyurkovechky selbst wurde von den Erfolgen französischer Ärzte inspiriert und begann im Jahre 1882 seine ersten therapeutischen Versuche mit Sauerstoff [81]. Sein Augenmerk richtete er auf technische Details und beschrieb die Erzeugung reinen Sauerstoffs mittels des „Limousin´schen Apparates“, wobei er drei Reinigungsflaschen benutzte und feststellte, „[...]daß erst nach dem Passieren der vierten Reinigungsflasche das Gas vollkommen rein ist, [...]“ [81]. Zur Inhalation war der Apparat jedoch weniger geeignet: „In erster Linie wäre hervorzuheben, daß die Einathmung ein gewisses, wenn auch geringes Maß an Anstrengung erfordert, welches von Kranken, deren Athmungsorgane in hohem Grade angegriffen sind, nicht leicht, von Asphyktischen gar nicht geleistet werden kann. Dann wäre noch hervorzuheben, daß am Mundstücke des Inhalationsapparates keinerlei Vorrichtungen angebracht sind, um einen Verschuß der Nase zu erzielen, während es in manchen Fällen wünschenswerth ist, ganz reinen Sauerstoff zu inhalieren“ [81].

Der Limousin´sche Apparat stellte sauerstoffreiche atmosphärische Luft zur Inhalation bereit und reichte nach Gyurkovechky in seiner Wirkungsweise in den meisten Fällen aus. Als Indikationen der Sauerstoffanwendungen nannte er Anämien, Chlorose, Leukämie, Diabetes, Dyspepsie, akute und chronische Überfüllung des Blutes mit Kohlensäure, Anfangsstadien der Lungentuberkulose,

chronische Schwächezustände infolge erschöpfender Krankheiten und infolge chirurgischer Eingriffe, Cholera, äußerlich bei Gangraena senilis sowie die Wiederbelebung asphyktischer Neugeborener [81]. Dem Stande der Wissenschaft dieser Zeit entsprach bereits die Annahme, dass arterielles Blut nicht vollkommen mit Sauerstoff gesättigt war, und dass eine vermehrte Sauerstoffzufuhr eine Zunahme der Kohlensäureausscheidung zur Folge hatte [81]. „Es war mir sofort klar, daß das Einathmen reinen Sauerstoffes in Fällen von Ueberfüllung des Blutes mit Kohlensäure bei zeitweiligem oder chronischem Lufthunger, welcher ja gleichwerthig mit Sauerstoffmangel ist, wenn nicht dauernde, so doch jedenfalls momentane Abhilfe, beziehungsweise Erleichterung verschaffen muß; es war mir ferner klar, daß wir, [...], in dem Einathmen reinen Sauerstoffes ein sehr wirksames, den Stoffwechsel anregendes Mittel haben“ [81]. Unterschieden wurde damals im Allgemeinen nicht zwischen Hypoxie und Hyperkapnie, sodass Gyurkovechky die Zyanose allein als ein Zustand der Kohlensäureüberfüllung des Blutes betrachtete. Bei dieser und zur Anregung des trägen Stoffwechsels wandte er die Sauerstoffinhalationen an. Beim Gesunden beobachtete er bei Inhalation von zehn bis fünfzehn Litern reinem Sauerstoff „eine unbedeutende Vermehrung der Pulsschläge, eine Verlangsamung der Respiration und secundär eine ziemlich rasch vorübergehende bessere Färbung im Gesichte [...]“ [81]. Etwas sonderlich mutete die Beobachtung eines „lebhafteren Hungergefühls“ nach Sauerstoffinhalation an [81]. Inhaliere ein gesunder Mensch eine noch größere Menge Sauerstoff (dreißig Liter oder auch mehr) würden die geschilderten Beobachtungen deutlicher sowie ein „leichter Betäubungszustand“ auftreten [81]. Gyurkovechky ließ bis zu sechzig Liter und mehr Sauerstoffgas einatmen und beobachtete einen rauschähnlichen Zustand, wobei eine Schädigung des Organismus nicht gezeigt werden konnte [81]. Bei dyspnoischen Patienten beobachtete er eine deutliche Besserung der Beschwerden und eine Reduzierung der Zyanose sowie tiefer und ebenfalls seltener werdende Atemzüge und eine Reduktion der Pulsschläge – die Patienten vermochten sogar zu sprechen, was vor der Inhalation unmöglich schien [81].

Nach heutigen Erkenntnissen waren wahrscheinlich Hyperventilations- oder Placeboeffekte bei Anwendung des mit anderen Stoffen kontaminierten

Sauerstoffs für die beschriebenen Effekte mit verantwortlich. Dennoch beschrieb er die Wirkung des Sauerstoffs: „Bei allen Sauerstoff Inhalirenden wird der Gesichtsausdruck ein lebhafterer, das Auge bekommt einen eigenthümlichen Glanz; die stimulierende Wirkung einer richtig bestimmten Dosis von Sauerstoff ist in jedem Falle unverkennbar“ [81].

1891 veröffentlichte Honigmann (1863-1930) [64] seine Habilitationsschrift „Beiträge zur Kenntnis der Wirkung von Sauerstoffeinatmungen auf den Organismus.“ [96]. Im gleichen Jahr publizierten Kraus (1858-1936) [58] und Chvostek (1835-1884) [64] ihre Untersuchungen über „[...] die Wirkung des erhöhten Sauerstoffgehalts der Inspirationsluft auf die Atmung des Menschen“, wobei sie besonderes Augenmerk auf die Oxygenierung des Blutes, „[...]den Gasaustausch zwischen äußerer Luft und dem Blute [...] [102] und seine Störungen richteten. Es wurden Patienten mit verschiedenen Anämien, Leukämien sowie durch Krebserkrankung verursachter Kachexie untersucht. Die Berechnungen des Sauerstoffverbrauches (pro kg KG/Minute), der Kohlensäureausscheidung sowie des respiratorischen Koeffizienten¹ glichen denen von gesunden Personen und bewegten sich alle im physiologischen Normbereich. Ein Einfluss oben genannter Erkrankungen auf den Gasaustausch war somit nicht nachweisbar [102]. Die von Kraus und Chvostek gefundenen Ergebnisse repräsentierten demnach Normalbefunde. Die beobachtete Steigerung des Gaswechsels bei Nahrungsaufnahme und Muskelarbeit entsprach vollkommen den zu erwartenden Ergebnissen aus heutiger Sicht. Versuche an anämischen Patienten, welche allesamt eine Erythrozytenzahl von einer Million und einen Hämoglobingehalt von 20 % der Norm aufwiesen, zeigten eine erhebliche Steigerungsmöglichkeit insbesondere der Ventilation, welche Chvostek und Kraus als wichtigste Kompensationsmöglichkeit betrachteten. Die Zirkulation, also die Möglichkeit der Steigerung des Herzzeitvolumens durch Zunahme der

¹ Der respiratorische Quotient ist definiert als:
RQ= CO₂-Bildung/O₂-Verbrauch, also das Verhältnis von ausgeatmetem Kohlendioxid zu eingeatmetem Sauerstoff. Er ist unter anderem abhängig von der Art der aufgenommenen Nahrung. Geht die aerobe Energiegewinnung über in eine anaerobe kann der respiratorische Quotient Werte größer 1 erreichen aufgrund der steigenden Abgabe von Kohlensäure.
Aus: Pschyrembel, Klinisches Wörterbuch, 257. Aufl., de Gruyter, Berlin 1994

Herzfrequenz und des Schlagvolumens als weiterer variabler Faktor in der Kompensation der Anämie, war erst nachrangig von Bedeutung [102]. Die Einatmung eines Gasgemisches bestehend aus 90 % Sauerstoff und 10 % Stickstoff führte bei den gesunden und kranken Versuchspersonen allerdings zu keiner nachweisbaren Änderung des körperlichen Befindens [102]. Zusätzlich führte die Einatmung des sauerstoffreichen Gasgemisches regelmäßig innerhalb der ersten zehn Minuten bei gesunden sowie kranken Personen zu einer Steigerung der prozentualen Sauerstoffaufnahme. Sie beobachteten, dass dies auch bei anämischen Personen mit stark vermindertem Hämoglobingehalt des Blutes der Fall war, und es wurde die heute wunderbarlich anmutende These aufgestellt, „[...] dass der mehr aufgenommene Sauerstoff in den Geweben, resp. im Protoplasma selbst, welches letzteres sich zum Sauerstoff in gewissem Betracht ähnlich wie das Hämoglobin verhält, gebunden und aufgespeichert wird“ [102].

Sie hatten allerdings gezeigt, ohne es selbst zu wissen, dass das Hämoglobin selbst bei hochgradig anämischen Personen physiologisch immer nur zu einem gewissen Teil mit Sauerstoff besetzt; dass also im Normalzustand die Sauerstoffbindungskapazität des Blutes nicht vollkommen ausgeschöpft ist. Sie hielten schließlich sämtliche an anämischen und leukämischen Patienten durchgeführten Sauerstoffinhalationen für wirkungslos. Als eindeutig wichtigste Indikation für die Anwendung der Sauerstofftherapie betrachteten beide jedoch nach wie vor die plötzlich eintretende Ateminsuffizienz [102]. Ebenfalls mit den physiologischen Effekten des Sauerstoffs beschäftigte sich 1891 Bernstein, der in Leipzig über „Weitere Versuche über die Sauerstoffzehrung in den Geweben.“ berichtete [18]. Ein Jahr später erschien Brügelmanns Arbeit „Ueber Sauerstofftherapie“ [32].

Zahlreiche Publikationen belegten nicht nur positive Erfahrungen. Auch die Uneinigkeit und Widersprüchlichkeit der Wissenschaftler bis hin zur Gegnerschaft der Sauerstofftherapie zeigte sich Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts. Der Sauerstoff, seine Physiologie und Anwendung als Heilmittel war Gegenstand zahlreicher deutscher Publikationen, wie Arbeiten von Fleischer 1903/05 [66,67], Frenkel 1904 [70], Hagenbach-Burckhardt 1901 [82], Klemperer 1901 [99], Koch

1904 [100], Lilienfeld 1900 [118], Loewy 1904/1899/1903 [124-126], Michaelis 1902/03 [135], Pawlinoff 1902 [143], Pütter 1904 [149], Rasch 1904 [150], Rogovin 1902 [152,153], Sasaki 1902 [156], Schickler 1903 [159], Speck 1901 [176], Strauss 1904 [181], Toepper 1903 [186], von Leyden 1901 [117], von Schrötter 1906 [162] und Wettendorfer 1903 [196] zeigten. Insbesondere mit der Anwendung von Sauerstoff in der Krankenpflege beschäftigte sich im Jahr 1900 Foss [68], fragwürdige intravenöse Anwendungen beschrieb 1902 Gärtner in Wien [73].

Die entscheidende Wende in der Geschichte der Sauerstofftherapie in Deutschland brachte jedoch ein Mann, dessen umfangreiche Forschungen zur (Wieder-)Entdeckung der inhalativen Sauerstofftherapie führen sollten. Die Ergebnisse der umfangreichen Arbeiten von Max Hugo Michaelis (1869-1933) [58], seinerzeit um 1900 tätig als Assistenzarzt in der I. Medizinischen Universitätsklinik zu Berlin, ermöglichen die Hauptaussage dieser Arbeit. Sie belegen eindrucksvoll die These, den Beginn der modernen Sauerstofftherapie um das Jahr 1902 anzusiedeln und nicht, wie im internationalen Schrifttum üblich, um das Jahr 1917. Und bei Weitem waren diesbezüglich nicht nur Entwicklungen in den angelsächsischen Ländern maßgeblich. Im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts in Vergessenheit geraten und infolge unklarer Indikationsbereiche sowie durch teilweise erfolglose Anwendung ins Abseits gedrängt, griff Michaelis im Jahre 1900 in seiner Publikation „Ueber Sauerstofftherapie“ die Frage der Wirksamkeit einer inhalativen Sauerstoffanwendung erneut auf [136]. Er gab einen historischen Überblick beginnend mit den Anfängen der Jahre 1771/72 und 1774. Bereits hier fällt der vielsagende Begriff der „Lebensluft“, den Hill in seinem bereits 1801 ins Deutsche übersetzten Werke „Beobachtungen und Versuche über die Heilkräfte des Sauerstoffgas oder der Lebensluft“ [91] erläuterte. Michaelis beschrieb, wie Priestley den Begriff der „Lebensluft“ prägte. Er hatte im Selbstversuch und an Mäusen den Sauerstoff als Heilmittel entdeckt [136]. Priestleys Entdeckung folgte eine Phase der Euphorie. Sauerstoff wurde von Spallanzani und Fontana in Florenz schon im Jahre 1776 als „lebendes Prinzip der Einathmungsluft“ erkannt, im Jahre 1784 wendet Morozzo in Turin den Sauerstoff erfolgreich bei asphyktischen Tieren an [136]. Chaussier pries die „Lebensluft“ im

Jahre 1780 als Heilmittel gegen Dyspnoe [136]. Den Höhepunkt dieser Entwicklung stellte die Gründung des Pneumatischen Instituts im englischen Bristol durch Thomas Beddoes im Jahre 1798 dar. Sein Hauptwerk „Ueber die Erzeugung und den medizinischen Gebrauch von Gasen“ erläutert den Stand der Wissenschaft dieser Zeit. Beddoes galt als glühender Verfechter der Sauerstofftherapie und sah die Indikationen bei dyspnoischen Zuständen aller Art, bei Phthise und, neu für diese Zeit, bei Opiumvergiftungen. Trotz erster Erfolge führten laut Michaelis übertriebene Erwartungen und eine einseitige therapeutische Auffassung vorerst zum Scheitern der Sauerstoffanwendungen, und die „Lebensluft“ geriet in Vergessenheit [136].

Trotz aller Kontroversen schien die Wiedergeburt des Sauerstoffs als Heilmittel nicht aufzuhalten zu sein. Schon im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts, so berichtete Michaelis in seinem Vortrage „Ueber Sauerstofftherapie“, kam es zunehmend zur erfolgreichen Anwendung des Sauerstoffs als Inhalativum nach Narkosen, bei Blutkrankheiten, bei Anämie, Leukämie, bei Morphin- sowie Opium- und Kohlenmonoxidvergiftungen [136]. Das Eis schien gebrochen - nichts desto trotz wurden auch gegnerische Stimmen - wie Aron- laut [5]. Hasenknopf berichtete 1904 in seiner Arbeit [87] über die 1890 erschienene Monographie von Ephraim [60], welcher ein Verfechter der Sauerstofftherapie war: „Er (Ephraim, Anm. der Autorin) beklagt die Unkenntnis der Sauerstoffbehandlung im grossen ärztlichen Publikum der damaligen Zeit und erörtert eingehend die Berechtigung des Sauerstoff-Verfahrens. [...] „wir überschwemmen gewissermassen durch die wenige Minuten anhaltenden Inhalationen den Körper mit reichlichen Mengen Sauerstoff und führen dadurch eine Aenderung in der Konstitution der sauerstoffarmen Gewebe herbei, welche gegenüber dem Einfluss des pathologischen Agens je nach dessen Intensität und Wirkungsweise auf eine gewisse Zeit erhalten bleibt [87].“

Michaelis selbst beschäftigte sich seit 1898 experimentell mit Sauerstoffinhalationen und anderen, heute zum Teil abstrus anmutenden Anwendungen des Sauerstoffs. Anfangs nicht nur inhalativ, sondern auch durch Einleiten von Sauerstoffgas in den Darm oder von Wasserstoffsuperoxyd in den

Körper, suchte Michaelis die Wirkung des Sauerstoffs zu erforschen, konzentrierte sich jedoch hauptsächlich auf die Inhalation von sauerstoffreicher Luft und wandte diese bei unter Ortho- oder Dyspnoe leidenden Patienten an [136]. Den zu diesen Zwecken notwendigen Sauerstoff erhielt er von der Berliner Sauerstofffabrik ELKAN, wobei nicht die Produktion und Beschaffung ein Problem darstellte, sondern die Aufbewahrung in ungeeignet großen 500-1000 Liter fassenden Stahlzylindern [136]. Die Applikation des Gases gestaltete sich ebenso problematisch, erwiesen sich doch die von der Sauerstofffabrik mitgelieferten ca. 5 Liter fassenden Ballons mit Schlauch und Hartgummiaufsatz als mangelhafte Inhalationshilfe für das Sauerstoffgas. Die engen Hartgummiaufsätze stellten einen zu großen Widerstand für die Inhalation des Gases dar und erschwerten die Atmung der Patienten erheblich. Mit dem Ziel, den Patienten eine über längere Zeit kontinuierliche und unbeschwerliche Inhalation des Gases zu ermöglichen, ließ Michaelis Inhalationsmasken mit getrenntem Inspirations- und Expirationsschenkel konstruieren und schloss diese mittels Schlauchsystem an einen 15 Liter Sauerstoff fassenden Ballon an, welcher seinerseits erneut mittels eines Schlauchsystems mit dem Sauerstoffzylinder verbunden wurde und aus diesem regelmäßig neu befüllt werden musste [136].



Abb. 12: Sauerstoffapparat von Michaelis. Aus: Michaelis M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig.1 [137]

Michaelis verwendete ein Reduzierventil am Sauerstoffzylinder, dessen Funktion es erlaubt, das Sauerstoffgas unter regelbarem Druck ausströmen zu lassen [136], ein erster wichtiger Fortschritt in der Applikationstechnik. Die Möglichkeiten des Michaelis'schen Apparates wurden jedoch nicht voll genutzt, da letztlich nur eine diskontinuierliche Entnahme und eine ebensolche Zufuhr zum Patienten möglich war. Des Weiteren traten Rückatmungsphänomene auf, die die volle Wirksamkeit des Apparates einschränkten. Die spätere (Weiter-) Entwicklung der Ventile schuf schließlich die Voraussetzung für eine gefahrlose Entnahme der in den Zylindern unter Druck gespeicherten Atemgase sowie die Möglichkeit einer kontinuierlichen Zufuhr mit kontrollierbarem Flow und dosierbaren Mischungsverhältnissen [79,163,184,192]. Dabei ist, wie bereits angesprochen, bemerkenswert, dass eine derartige Ventiltechnologie scheinbar schon im 19. Jahrhundert zur Verfügung gestanden hatte [128,192], sich aber aufgrund Störanfälligkeit initial nicht durchsetzen konnte.

Die Anfänge der Sauerstoffapplikation waren mit Nebenwirkungen wie Hustenreiz, Erstickungsanfällen sowie Vergiftungserscheinungen verbunden, die häufig auf Verunreinigungen des angewendeten Sauerstoffs zurückzuführen waren [136].

Jedoch nicht nur die Technik der Reduzierventile wurde fortschrittlicher, auch die Herstellung „reinen“ Sauerstoffs wurde zunehmend möglich [136]. Michaelis wandte Inhalationen eines rund sechzigprozentigen Sauerstoffgemisches an über einhundertfünfzig Patienten an, die überwältigenden Anklang fanden.

Insbesondere Patienten mit erheblicher Dyspnoe und Zyanose sprachen auf die Inhalationen überaus positiv an, sodass sie immer wieder nach der „Lebensluft“ fragten, die das Wohlbefinden der Patienten derart zu steigern vermochte. Kritiker der Sauerstofftherapie führten diese Wirkungen auf die „Suggestion“ des Patienten zurück [136]. Michaelis äußerte sich dazu folgendermaßen: „Auffallend aber musste es erscheinen, dass diese Suggestion selbst bei Menschen wirkte, die *brevi ante exitum* sich im Zustande höchster Dyspnoe und Cyanose befanden. Die Einwirkung auf das subjective Wohlbefinden der Patienten war in einer Reihe von Fällen so hochgradig, dass dies schon einen Zweifel über eine thatsächliche Einwirkung ausschliessen liess“ [136].

Nicht nur subjektive, auch objektive Befunde fand Michaelis, indem er bei der Mehrheit der Patienten eine Abnahme der Pulsfrequenz und der Atemzüge pro Minute in der Mehrzahl der vormals massiv dyspnoischen Patienten beobachtete: „Schon diese Thatsache allein, das Sinken der Athmungs- und der Pulsfrequenz muss als objektiver Beweis betrachtet werden, dass thatsächlich vermehrter Sauerstoffgehalt der Athmungsluft in den betreffenden Fällen vermehrte Sauerstoffaufnahme von Seiten des Organismus bedingt, und hierdurch [...] Tachycardie und beschleunigte Respiration überflüssig macht“ [136].

Besonders eindrucksvoll illustriert die Wirksamkeit des Sauerstoffes der folgende Fall einer 36 Jahre alten Patientin mit bekannter chronischer Bronchitis, Lungenemphysem und Rechtsherzhypertrophie: „[...] Das Gesicht hat einen leidenden, angstvollen Ausdruck. Die Athemfrequenz beträgt 36 bis 40 in der Minute. Die Atmung ist stark angestrengt. Es besteht eine hochgradige Cyanose des Gesichtes und des des ganzen Körpers. Lippen und Fingernägel der Patientin sind blauschwarz gefärbt. [...] der Puls 130 in der Minute, regelmäßig. [...] Der Gesamteindruck, den die Patientin bei ihrer Aufnahme macht, ist der eines desolaten Falles. Die Patientin wurde nun mit Sauerstoff-Inhalation behandelt. Als das erste Mal nach Einathmung von ca. 20 l. Sauerstoff die Maske vom Gesicht genommen wurde, war der Anblick der sich uns bot, ein überraschender. Das vorher cyanotische Gesicht mit den tiefblauschwarzen Lippen war vollständig verändert. Die Lippen waren kirschroth, leuchtend, das Gesicht hatte einen frischen rosigen Ausdruck. Die Angst, die in Folge der Athemnot sich intensiv ausgeprägt hatte, war einem freundlichen Aussehen gewichen. Es schien, als ob man überhaupt ein ganz anderes Gesicht, einen anderen Menschen vor sich habe. Parallel mit diesen Erscheinungen war der Puls, vor der Inhalation 136, nach dieser auf 114 Schläge zurückgegangen, die Athmung von 42 auf 30 [...]“ [136]. Für Michaelis war dies ein Beweis, dass durch Einatmung sauerstoffreichen Atemgases die Sauerstoffaufnahme erheblich gesteigert werden konnte. Nach Michaelis lag die Begründung hierfür in der Anordnung der Versuchsreihen, denn alle bisherigen Experimente, die zu dem Schluss kamen, dass eine vermehrte Sauerstoffaufnahme nicht möglich war, waren an gesunden Individuen unternommen worden, deren Blut auch schon bei Atmung normaler Luft mit

Sauerstoff gesättigt war [136]. Die physiologischen Vorstellungen dieser Zeit besagten, dass das Blut sowohl von gesunden als auch kranken Individuen nicht vollständig mit Sauerstoff gesättigt war. Eine weitere Aufsättigung des Blutes mit Sauerstoff war möglich, wie Michaelis unter Hinweis auf physiologische Arbeiten von Adolf Löwy (1862-1937, Physiologe) Gustav von Hufner (*1840) und Eduard Friedrich Wilhelm Pflüger (1829-1910, Physiologe) ausführte [136]. Hufner zeigte im tierexperimentellen Versuch, dass die Einwirkung des Sauerstoffes eine Kohlenoxydvergiftung zu beheben vermochte, obwohl das Kohlenoxyd nach damaliger Kenntnis eine zweihundert Mal stärkere Affinität zum Hämoglobin besaß als der Sauerstoff [136]. Auch Arbeiten von John Scott Haldane (1860-1936, Britischer Physiologe) Schwartau und Dreser bestätigten diese Annahme [136].

Michaelis nannte Beispiele:

„Zwei Thiere wurden gleichmässig stark mit Kohlenoxyd vergiftet, das eine dann in die atmosphärische Luft, das zweite in eine reine Sauerstoffatmosphäre gelegt, Jedesmal erholte sich dann das Thier in der Sauerstoffatmosphäre wesentlich schneller.

Zwei Thiere wurden der Einathmung von gleichen Mengen Kohlenoxydgas ausgesetzt, das in dem einen Falle mit Luft, in dem zweiten Falle mit reinem Sauerstoff zugeleitet wurde. Bei Zuleitung von Sauerstoff und Kohlenoxyd blieb das Thier leben, während das die Luft und Kohlenoxyd einathmende Thier krepirte. 3. Durch Zuleitung eines Gases von 1% Kohlenoxyd und 99% Luft wurde das Thier vergiftet. Es fiel um und blieb liegen. Nach Zuführung von Sauerstoff statt Luft, der neben dem Kohlenoxyde von gleichem Prozentgehalt einströmte, trat wesentliche Besserung ein; das Thier richtete sich allmählich auf, lief wieder herum und erholte sich“ [136].

Ein neuer Anwendungsbereich der Sauerstofftherapie war erschlossen worden: Die Anwendung von Sauerstoffinhalationen bei Kohlenoxyd- und Leuchtgasvergiftung, welche schon früher Gautier beschrieben hatte [136]. Michaelis vermutete den Grund für die Wirksamkeit des Sauerstoffs in diesen

Fällen in der Einwirkung des Sauerstoffs auf die Reflexzentren des Rückenmarks und weitete die Indikationen der Sauerstofftherapie aus: Nicht nur auf Herz-, Lungen-Blutkrankheiten und Vergiftungen, sondern auch auf Eklampsie, Vomitus gravidarum, Epilepsie, Urämie, Diphtherie sowie auf Narkosen und Chloroformasphyxie [136]. Für den Notfall, wenn nur bedingt Sauerstoff zur Verfügung stand, empfahl er die Inhalation von 3-4 Atemzügen reinen Sauerstoffs pro Minute, ansonsten war die Inhalation von 30-40 l Sauerstoff mehrmals pro Tag angebracht [136].

Ein weiteres Anwendungsgebiet fand sich in dem im Jahre 1900 verfassten Beitrag von Meyer „Die Anwendung des Sauerstoffs auf dem Gebiete des Rettungswesens“ [134]. Meyer beschäftigte sich mit dem Grubenrettungswesen und schilderte die damaligen Möglichkeiten der Respiratortechnik. Ihren Ausgangspunkt hatte diese Entwicklung in der Feuerwehr, wo einfache Respiratoren Verwendung fanden, welche mit chemischen Stoffen und Essig getränkte Schwämme enthielten. Weiterhin wurden auch ursprünglich für Taucher konzipierte Apparate in Bergwerken verwendet, deren Mechanismus darin bestand, die zu atmende Luft von außen über Schläuche einpressen zu lassen. Schließlich existierten sogenannte Reservoirapparate, die die Luft in einem auf dem Rücken zu tragenden Behälter mitführten, und die die ausgeatmete Luft durch alkalische Substanzen von der ausgeatmeten Kohlensäure befreiten [134]. Genau dieses Prinzip lag den im Rettungswesen der Bergwerke verwendeten „Pneumatophoren“ zugrunde: Bis zuletzt sollte dadurch die Bereitstellung einer bestimmten Menge Atemgas garantiert werden [134]. Meyer ging zurück bis zum ersten Sauerstoff als Atemgas verwendenden „Aerophor“, konzipiert von Schwann-Lüttich im Jahre 1853. Dieser Apparat zog jedoch erst etliche Jahre später, im Jahre 1878, auf der Brüsseler Ausstellung für Hygiene und Rettungswesen die Aufmerksamkeit der Fachwelt auf sich [134]. Ob Pneumatophor von Walcher-Gaertner-Benda oder Neupert-Wien, alle Geräte wiesen enorme Unzulänglichkeiten auf: Komplizierte Handhabung, schwierige Reinigung, abfallende Nasenklemmen und das im Mund zu haltende Mundstück [134]. Meyer führte einen nach Brandschutzdirektor Giersberg hergestellten Rauchschutzapparat mit getrennten Inspirations- und Expirationsschenkeln vor, in

dem die ausgeatmete Luft durch Natronkalk von ihrem Kohlendioxidgehalt befreit wurde [134]. Sauerstoff wurde nach Bedarf aus dem Sauerstoffbehälter durch Drehen an einer Handscheibe in den Atmungsbeutel abgegeben [134]. Im Verhältnis zu den vorher benutzten Apparaten war dieser leicht zu handhaben, hatte wenig Gewicht, erforderte keine Reinigung und war schnell wieder einsatzfähig. Ein weiterer handlicher Apparat nach Giersberg war eher für den Gebrauch an Verletzten und für therapeutische Zwecke geeignet, ließ den Mund frei und erlaubte das Sprechen. Meyer verwies auf den von Michaelis 1900 vorgestellten Sauerstoffapparat mit einer Mund und Nase umschließenden Maske. Die ersten Anfänge der Sauerstoffanwendung datiert Meyer ins Jahr 1790 und verweist auf ein Schriftstück von Günther, in welchem sich eine Beschreibung eines Apparates von Gorcy findet: „[...] welcher im grossen und ganzen einen Blasebalg darstellte, welcher durch Oeffnung und Schliessung zwei Ventile in Bewegung setzt, durch welche einerseits die verbrauchte Luft mittels Ansatzes aus der Lunge gesogen, andererseits neue Luft wieder in die Lungen hineingebracht wurde. Statt der letzteren wurde auch „dephlogistisirtes Gas“ verwendet, welches aus erhitztem Braunstein oder Salpeter entwickelt wurde. Es handelt sich also hier thatsächlich bereits 1790 um die Anwendung von Sauerstoff zur Wiederbelebung Bewusstloser“ [134]. Jetzt, ein Jahrhundert später, so Meyer, wurde der Sauerstoff in einem Gummireservoir wieder für die gleichen Zwecke verwendet [134].

Der Streit über den Sinn und Unsinn der inhalativen Sauerstoffanwendung brach jedoch nicht ab. So äußerte sich im Jahr 1901 Kohn in seiner Veröffentlichung zur Sauerstofftherapie [101] zur Kontroverse über den Stand der Wissenschaft zur damaligen Zeit. Kohn vertrat die Auffassung, dass die Etablierung der Sauerstofftherapie in Deutschland an der ablehnenden Haltung der Physiologen scheiterte. Er nannte Frankreich und Italien als Länder, in denen die Sauerstofftherapie in größerem Umfang und zeitlich früher eine breitere Anwendung fand [101]. In Deutschland jedoch trafen Verfechter der Sauerstoffanwendungen, wie Ernst Victor Michaelis, v. Leyden (1832-1910) und Wohlgemuth auf harte Kritik seitens ihrer Gegner, die das klinische Experiment in den Vordergrund stellten - namentlich genannt wurden Lazarus, Hans Aronson

(1865-1919) und Franz Müller. Eine schlichtende Position hingegen nahmen die Physiologen Nathan Zuntz (1847-1920) und Adolf Loewy (1862-1937) ein. Zuntz empfahl die Sauerstoffanwendung bei Morphin-, Anilin- und Kohlenmonoxidvergiftungen, da die gestörte Atemmechanik aufgrund einsetzender Atemdepression die Ursache für die Verringerung des Sauerstoffgehaltes in den Alveolen war, was potenziell lebensbedrohlich sei [101]. Zuntz war der Auffassung, dass künstliche Atmung bei Morphinvergiftung ebenso effektiv war, jedoch zeigte sich bei Heinrich Brats (1867-1909) Versuchen über Anilinvergiftung, „dass die Einathmung reinen Sauerstoffs der künstlichen Athmung überlegen war“ [101]. Für Aron, einen vehementen Gegner der Sauerstofftherapie, gab es „keine physiologische Stütze für die therapeutische Verwerthung des reinen Sauerstoffs, wenigstens sei er überall bequem und billig durch die künstliche Atmung zu ersetzen, und was man in der Therapie davon günstiges berichte, sei entweder als Suggestionwirkung zu betrachten oder als Folge einer mit der Sauerstoffeinathmung eingehaltenen Ruhe und gleichmässigen Athmung, also einer gewissermassen unbeabsichtigt geübten Athmungsgymnastik“ [101].

Kohn (*1866) stellte dieser Auffassung die Ergebnisse seiner im Jahre 1897 gemachten Beobachtungen gegenüber. Er führte Untersuchungen zu Sauerstoffinhalationen durch und schilderte den Fall eines an „gastrischen Krisen“ leidenden und durch Syphilis geschwächten Patienten, der Atemstörungen in Form von unregelmäßiger, aussetzender, Cheyne-Stoke-ähnlicher Atmung entwickelte. Es bestanden zusätzlich epileptische Anfälle. Die zu Rate gezogenen Ärzte hielten den Tod des Mannes innerhalb eines Tages für sehr wahrscheinlich. Der Zustand des Patienten wechselte von langen Atempausen mit sehr ausgeprägter Zyanose hin zu normalem Atemrhythmus und abnehmender Zyanose. Nach erfolgloser Anwendung der damals zur Verfügung stehenden Mittel schlug Kohn die Anwendung von Sauerstoffinhalationen vor [101]. Die Konstruktion des Sauerstoffgerätes war sehr dürftig: An die Sauerstoff enthaltenden Gaszylinder, bezogen von der Berliner Firma Elkan (später Michaeli'sche Fabrik, wie Kohn anmerkt), wurde ein Gummischlauch und an diesen ein Glastrichter angebracht, welcher vor Mund und Nase des Patienten

gehalten wurde. Der mitgelieferte Gummiballon fand keine Verwendung, auch eine Maske wurde nicht benutzt, denn das Gas sollte ohne Druck in die Lunge einströmen. So wurde dem bewusstlosen Patienten ein schwacher Strom des austretenden Sauerstoffgases vor die Nase gegeben, und zur Verwunderung aller Beteiligten trat nach kurzer Zeit ein Rückgang der Zyanose und eine Zunahme der Spontanatmung ein [101]. Kohn spekulierte zutreffend, ob das Sauerstoffgas auf die Nasenschleimhaut reizend wirkte oder das Gas, evtl. aufgrund enthaltener Verunreinigungen, durch Reizung des Nervus Trigemini die Atmung angeregte. Die Sauerstoffgabe wurde zeitweise unterbrochen und immer dann wieder eingesetzt, wenn sich die Lippen des Patienten zyanotisch verfärbten und die Atmung abflachte. Jedes Mal wurde „durch Vorhalten des Trichters und Oeffnen des Hahns eine sofortige Abnahme der Cyanose und Besserung der Athmung erzieht [...]“ [101]. Aufgrund der Reproduzierbarkeit des Effektes konnte kein Zweifel an der Wirkung des Sauerstoffes bestehen [101]. Der Patient erlangte am zweiten Tag der Behandlung das Bewusstsein wieder, und am dritten Tag wurden die Sauerstoffinhalationen erfolgreich beendet. Trotz Sauerstoffanwendungen erlag der Patient jedoch sechs Wochen später den gleichen Symptomen [101]. Kohn zog folgende Schlüsse aus der seiner Meinung nach erfolgreichen Sauerstoffanwendung: Der Rückgang der Zyanose unter Sauerstoffinhalation und die Zunahme der vormals ungenügenden Atmung waren in diesem Fall sehr deutlich in Erscheinung getreten und somit ein weiteres wichtiges Kriterium für die Wirksamkeit des Sauerstoffes [101]. Vor allem erwies sich dieser Effekt als reproduzierbar. Diese beobachteten Effekte wurden jedoch von den Kritikern der Sauerstofftherapie in Zweifel gezogen. Kohn verwies auf die bereits von J. Rosenthal aufgestellte Hypothese, nach der aber der Sauerstoffmangel (sowie der Kohlensäureüberschuss) das Atemzentrum in der Medulla oblongata anregte und nicht der Sauerstoffüberschuss. Die beobachtete Wirkung des Sauerstoffes war daher auffallend [101]. Kohn nahm an, dass es bei seinem sich im chronischen Endstadium der Syphilis befindenden Patienten zu einem Übergreifen des entzündlichen Prozesses vom Brechzentrum auf das Atemzentrum der Medulla gekommen war. Er glaubte, dass der Sauerstoff dem Patienten vorerst das Leben rettete, wollte jedoch aus einer Beobachtung keinen generellen Schluss ziehen und war überzeugt, durch Sauerstoffinhalationen eine Zyanose und ungenügende

Atmung bessern zu können, wie am Beispiel der Sauerstoffanwendung am bewusstlosen Patienten gesehen werden konnte. Auch das Argument von Zuntz und Aron einer angeblich ebenso wirksamen künstlichen Atmung wies Kohn entschieden zurück: Es war schließlich nicht möglich, die über zwei Tage angewendete Sauerstoffanwendung durch künstliche Atmung über einen derart langen Zeitraum zu ersetzen [101]. Als Erklärung des beobachteten Phänomens der Abnahme der Zyanose unter Sauerstoffanwendung nahm Kohn die Anreicherung des die Lunge passierenden Blutes mit Sauerstoff an. Trotz zentral verursachter Störung der Atemmechanik war eine ausreichende, die Zyanose beseitigende Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff unter Anwendung von Sauerstoffinhalationen möglich. Bezüglich des Phänomens der Anregung der Atmung unter Sauerstoffinhalationen spekulierte Kohn: Beeinflusste die Reizung des Trigemini in der Nase eine Steigerung der Atmung? Oder reizte der Sauerstoff die peripheren Vagusnervenendigungen in der Lunge, welche angeblich die Selbststeuerung der Atmung ermittelten? Galt die Hypothese Rosenthals nur für gesunde Individuen [101]? Eine befriedigende Antwort wurde damals nicht gefunden.

Kohn sah einen günstigen Einfluss von Sauerstoffeinatmungen nicht nur auf Vergiftungen und Stenosen der Atemwege, sondern auch auf Atmung und Zyanose und somit auf das Allgemeinbefinden des Patienten [101]. Im Jahr 1903 äußerte sich Kraus in Berlin zu neuen Therapieansätzen in der Behandlung der Pneumonie und schrieb „Oxygeninhalationen gegen die dyspnoischen Zustände der Pneumoniekranken [...] eine besonders wohlthätige, wenn auch vorübergehende Wirkung [...]“ zu [103]. Auch Kraus begann seine Darstellung mit einem chronologischen Überblick über die Anfänge der Entdeckung des Sauerstoffs, beginnend mit Democrit (460-380 v. Chr., griech. Philosoph), dessen Theorie nach „[...] die Luft dem Blute einen zum Leben nothwendigen Bestandtheil liefere [...]“ [103]. Leonardo da Vinci (1452-1519) stellte in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts fest, [...] dass das Feuer die Luft verbraucht, welche es ernährt, und dass, wenn die Luft sich nicht im normalen Zustand befindet, darin weder eine Flamme brenne, noch ein Thier der Erde oder Luft leben kann“ [103]. Kraus beschrieb Mayows (1643-1679, englischer Chemiker)

Thesen von 1668: „[...] der Spiritus aero-nitrosus ist das vitale Princip der Luft, welches Verbrennung und Athmung unterhält. Er macht nur einen Theil der Luft aus, welchen Thiere durch ihre Athmung ebenso verbrauchen, wie ein brennender Körper. Die absorbirten Theile der Luft sind dazu bestimmt, das venöse Blut in arterielles umzuwandeln, und diese Absorption ist auch die Ursache der Körperwärme“ [103]. Saechling äußerte sich im Jahr 1932 folgendermaßen: „J. Mayow entwickelt in dem „Tractatus primus“ (1674) die Ansichten über den salpetrigen Luftbestandteil (spiritus nitro-aereus). Es ist derselbe, der vom Salpeter aus der Luft aufgenommen und fixiert ist. Dieser Bestandteil verleiht der Luft die Fähigkeit, das Brennen zu unterhalten und ebenso dem Salpeter auch bei Luftabschluss ; sonst unterbleibt ohne Luft das Brennen. [...] Diese Erklärungsweise zeigt den unverkennbaren Einfluss der damals allgemein verbreiteten Korpusculartheorie. Diese Theorie hat ihren Ursprung bei den griechischen Philosophen, die vielfach Spekulationen über das Wesen der Materie anstellten (Demokrit). Ihre abstrakten Vorstellungen wurden von Francis Bacon (1561-1626) in einer konkreteren Form neugestaltet. Bacon entwickelte die Korpusculartheorie, die als Grundlage der Stoffe kleine Teilchen annahm, welche noch alle wesentlichen Merkmale des Stoffes trugen.“ [155]

Schließlich isolierte 1774 Priestley aus „calcinirtem Merkur wirklich das Sauerstoffgas [...] und bemerkte sogleich, dass eine Flamme in demselben bemerkbar lebhafter brenn.“ [103]. Jedoch erst 1775 erkannte Priestley die Tragweite seiner Entdeckung: Mäuse überlebten unter einer mit Sauerstoffgas gefüllten Glocke doppelt so lange wie in einer mit normaler Luft gefüllten Glocke. Priestley folgerte, dass der Sauerstoff für gesunde Menschen nicht nur von Vorteil sein könnte, „[...] denn wir könnten darin vielleicht zu schnell leben“ [103]. Kraus zitierte Priestley wie folgt: „Ich [...] athmete eine ziemliche Quantität desselben durch einen Heber ein, wobei ich in den Lungen keine andere Empfindung als von gewöhnlicher Luft hatte. Nachher schien mir aber die Brust auffallend erleichtert zu sein. Wer weiss, ob nicht später solche Lebensluftathmungen als Luxus getrieben werden?“ [103] Wenn normale Luft nicht ausreichte, das „putrid-phlogistische Effluvium“ [103] aus der erkrankten Lunge zu entfernen, würde der Sauerstoff eine vorteilhafte Wirkung haben können, schloss Priestley. Diese

Erkenntnis wurde jedoch nicht weiter von der praktischen Medizin verfolgt, sondern von der Physiologie [103].

Johann Ingenhouz (1730-1799, Naturforscher, Mediziner) beschrieb 1785 eine Wirksamkeit des Sauerstoffs bei Asthmatikern bei „biliösen und putriden Fiebern“, der Pest und Phthisis [103]. Sauerstoff belebte Erstickte und wirkte lebensverlängernd bei Sterbenden. Wie Kraus feststellte, war Beddoes´ (1760-1808) Arbeitsweise hingegen, ebenso wie der Franzose Fourcroy Arzt und Chemiker, im Vergleich zu Fourcroy eher praktisch orientiert. Auch er unternahm Versuche mit der Lebensluft [103]. Zwar empfahl Beddoes die Anwendung von Sauerstoffinhalationen bei Asthma, Chlorose und Lepra, jedoch stellte auch er abstrus anmutende Indikationen für Sauerstoffanwendungen bei Skorbut und „Fettanhäufung in der Schwangerschaft“, welche durch Mangel an Sauerstoff bedingt seien [103]. Kraus´ Verweise auf später im 19. Jahrhundert entstandene Arbeiten von Hoppe-Seyler, Pflüger und Schmiedeberg bewiesen, dass die Sauerstofftherapie im 19. Jahrhundert nicht vollkommen vergessen worden war [103]: „Hoppe-Seyler wies nach, dass das Hämoglobin der Blutkörperchen die O-bindende Substanz ist, dass das Arterienblut über 9/10 mit Sauerstoff gesättigt ist und dass O- und Hb-Gehalt des Blutes sich stets proportional verhalten“ [88]. Diese Arbeiten zeigten, „dass die Oxidationsprozesse im Wesentlichen sich in den Zellen abspielen; dem Blute fällt daneben die Aufgabe zu, den Organen den notwendigen Sauerstoff zuzuführen. Pflüger hat weiter nachgewiesen, dass der Verbrauch in den Zellen als wesentlich bestimmender Factor der Grösse des Sauerstoffverbrauches im Organismus betrachtet werden muss“ [103]. Weiterhin zeigten Arbeiten von Löwy, Regnault und Reiset, dass im Organismus die gleiche Menge Sauerstoff absorbiert wie Kohlensäure abgegeben wird [103]: „Lavoisier, später Regnault und Reiset sahen bei Steigerung des O-Drucks in der atmosphärischen Luft bis zu einer Atmosphäre Ueberdruck bei ihren Versuchstieren keinen Einfluss auf die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs und der ausgeschiedenen Kohlensäure“ [87].

Kraus selbst verneinte die These, dass die Einatmung sauerstoffreicher Luft die Sauerstoffaufnahme oder die Kohlensäureausscheidung dauerhaft erhöhen

konnte [103]. Er beschrieb seine Versuche an sich selbst und an anämischen sowie diabetischen Patienten mit Sauerstoffinhalationen mittels Zuntz'schem Respirationsapparat unter Anstrengung und im Ruhezustand. Eine besondere Erleichterung verschaffte die Sauerstoffanwendung in keinem Falle [103]. Kraus stimmte Michaelis jedoch zu, dass Sauerstoffanwendungen bei dyspnoischen Zuständen infolge Verengung der oberen Luftwege, durch bestimmte Bronchitiden und bei Emphysem erfolgreich angewendet werden konnten [103]. Auch die Kohlenmonoxidvergiftung war eine Indikation zur Anwendung von Sauerstoff, die Morphinvergiftung wurde jedoch erfolgreicher behandelt durch Tracheotomie und künstliche Atmung. Kraus selbst konnte Patienten mit Pneumonie, Anämie, Leukämie und Diabetes durch inhalative Sauerstoffgaben nicht helfen: „Auch den Todeskampf des Patienten erleichtert die O₂-Inhalation nicht. Bei Tuberkulose ist in den allermeisten Fällen das Einathmen von Sauerstoff nutzlos. Bei Insufficiencia et Dilatatio cordis aus verschiedenen Ursachen bringt Sauerstoffathmung öfters Erleichterung. Nie habe ich jedoch die Cyanose wirklich schwinden sehen, trotz subjektiv verbesserter Athmung“ [103]. Kraus sah in der Stenosierung der Luftwege die Hauptindikation zur inhalativen Anwendung der rettenden „Lebensluft“, welche den bestehenden Sauerstoffmangel in den Alveolen beseitigen konnte [103]. Er schließt mit der Frage: „Hinsichtlich der Technik werfe ich zum Schlusse die Frage auf, ob nicht die Injection von Sauerstoffgas ins Venensystem (Demarquay-Gaertner) bei drohender Gefahr vorzuziehen sein wird?“ [103]

Im gleichen Jahr, 1903, publizierte Adolf Hecht (*1876), angeregt durch v. Leyden (1832-1910), seine Ergebnisse über Sauerstoffanwendungen bei Kindern [89] und beschrieb die Anwendung der Sauerstoffinhalation mittels lose auf dem Gesicht aufliegender Maske. Eine Suggestionswirkung war seines Erachtens ausgeschlossen, da die zu behandelnden Patienten Kinder waren [89]. Der Gebrauch von Sauerstoff war in der Pädiatrie nicht sehr verbreitet, und Hecht wies auf Arbeiten von Oppenheimer hin, welcher 1896 die Erfolge der Sauerstoffanwendungen bei Pneumonien bei 15 Kindern rühmte [89]. Hecht beobachtete die Puls- und Atmungsfrequenz während der Sauerstoffanwendungen und wollte die These widerlegen, dass die Wirkung des

Sauerstoffs ausschließlich auf Suggestivwirkung beruhte, wie die Kritiker der Sauerstofftherapie behaupteten [89]. Die für die Experimente nötigen Utensilien bezog Hecht von der Sauerstofffabrik, G.m.b.H., Berlin, Tegelstraße 15, vormals ELKAN. [89]. Ein Problem war die Verabreichung des Sauerstoffs, der als Gas aus den Sauerstoffflaschen (schon mit Reduzierventil versehen) mit 1/3 Atmosphäre Überdruck strömte, was die kleinen Patienten nicht gut tolerierten [89]. Zur Gewöhnung der Kinder an das ausströmende Gas wurde kurzerhand der reine Sauerstoff in 20 l fassende Gummiballons gefüllt und manuell entleert. War dies geschehen, wurde die Maske locker auf das Gesicht der Kinder gelegt, um Abwehrreaktionen bei geschlossener Maske zu vermeiden [89]. Es wurden 18 Kinder mit Rachendiphtherie, Croup und Zyanose mit 100 % Sauerstoff behandelt. Hecht berichtete von langsamem Schwinden der Zyanose und Abschwächung der Tachykardie. [89]. Die Zeichen einer Dyspnoe wie Nasenflügeln, hohe Atemfrequenz und Einsatz der Atemhilfsmuskulatur besserten sich jedoch nicht [89]. Hecht sah daher die Indikationen für die Sauerstoffanwendung bei Croup, Pneumonie und anderen Erkrankungen mit konsekutiver Herzschwäche; bei Diphtherie vermochte der Sauerstoff eventuell die Zeit bis zur lebensrettenden Operation hinaus zu schieben oder diese ganz zu vermeiden, indem er die Herzfrequenz senkte und somit die Herzarbeit ökonomisierte [89].

Aus dem Blickwinkel der Krankenpflege betrachtete Cramer 1903 die Sauerstoffinhalationen in seinem Beitrag „Zur Sauerstoffanwendung vom Standpunkte der Krankenpflege aus“ [40]. Cramer war verwundert, dass in den verschiedenen Arbeiten zur Sauerstofftherapie der Tatsache, dass trockene, wasserfreie Gase den Atmungsapparat schädigen könnten, keine Beachtung geschenkt wurde [40]. Hierzu wies Cramer auf die Aussagen Koberts hin, der bereits 1898 auf dem Kongress für Tuberkulose in Berlin die Einatmung von wasserhaltigem Sauerstoff empfahl. Kobert veröffentlichte in seinem „Lehrbuch der Arzneiverordnungslehre“ [40] eine Abbildung eines einfachen Apparates zur Einatmung von wasserhaltigem Sauerstoff [40]. In Beiträgen von Wohlgemuth fanden sich ebenfalls Anmerkungen zur Inhalation wasserhaltigen Sauerstoffs: [...] ich hatte ursprünglich noch nach dem Vorschlage von Kobert, den Sauerstoff nur feucht einatmen zu lassen, vor dem Chloroformapparat ein Wassergefäß

eingeschaltet [...] bin aber wieder davon abgekommen, weil ich fürchte, daß sich durch mitgenommene Wasserteilchen in dem Chloroform Chloride abspalten könnten“ [40]. Cramer argumentierte: „Diese Befürchtung ist durchaus von der Hand zu weisen, denn Chloride können sich aus Wasser, Sauerstoff und Chloroform überhaupt nicht abspalten, und auch andere Zersetzungsprodukte könnten sich bekanntlich nur nach längerem Stehenlassen von Chloroform mit Wasser im Sonnenlichte, unmöglich aber bei nur sekundenlanger Berührung beider während der Einatmung bilden. Im Uebrigen, könnte man auch das Wassergefäß aus braunem Glase herstellen, um jeden Einfluss des Sonnenlichtes zu vermeiden.“ [40] Cramer verwies auf Veröffentlichungen von Professor Kraus [103] und Rogovin [152,153] bezüglich der oben genannten Fragestellungen. Er sah eine eindeutige Wirksamkeit von Sauerstoffinhalationen bei Kranken: „Von später sich ergebenden Gesichtspunkten aus ist es aber notwendig, daran zu erinnern, daß der Mensch Sauerstoff zum Leben unbedingt nötig hat, daß dieser aus der umgebenden Luft, in der er zu 21 Volumenprozent enthalten ist, durch die Atmung in die Lungen aufgenommen und hier sowohl von den roten Blutkörperchen als der Blutflüssigkeit auf dem Wege des Blutkreislaufs dem Körper zugeführt wird. In jenen bildet er mit dem Blutfarbstoff (Hämoglobin) eine feste chemische Verbindung (Oxyhämoglobin), während er in dieser nur in loser Bindung vorhanden ist. Unter 11 Vol.% Gehalt der umgebenden Luft an Sauerstoff kann der Mensch nicht vertragen. Bei jedem normalen Atemzuge nehmen wir aber über unser Bedürfnis Sauerstoff aus der Luft auf. So hat eine künstliche Zufuhr von Sauerstoff bei Gesunden gar keinen Wert, sie würde nur noch den Überfluss an diesem Stoff erhöhen. Sowie dagegen bei Kranken die Atmung oberflächlich wird, oder nur einseitig oder teilweise auch gar nicht mehr stattfindet, da ist das Gebiet der künstlichen Sauerstoffzufuhr, weil hier genügend Sauerstoff nicht nur unter großen körperlichen Anstrengungen, Beschwerden und Schmerzen oder auch gar nicht aufgenommen wird, ein Vorgang, dessen Folgen äußerlich an der stärkeren oder geringeren Blaufärbung des Gesichts u.s.w. (sog. Cyanose) kenntlich werden können.“ Die aus Cramers Sicht sinnvollen Indikationen zur Anwendung von Sauerstoff waren „[...] Rippenbrüche mit schmerzhafter und deshalb oberflächlicher, ungenügender Atmung, Luft- oder Flüssigkeitsansammlung im Rippenfellraum (Pneumo-, Hydro-, Pyothorax),

Verdichtung oder Zerstörung größerer Lungenabschnitte, starre Lungenblähung (Emphysem) u. dgl. Ein weiteres Feld für künstliche Sauerstoffgefahr bieten die Vergiftungsfälle mit sog. Blutgiften, dar. [...] Vergiftungen mit Kohlenoxydgas, Leuchtgas, Grubengas, Schwefelwasserstoff, Cyankali, Chlorsaurem Kali, Blausäure, [...] Chloroformvergiftungen (auch die Äther- und andere Narkosen sind hier zu nennen) [...]. In jenen Fällen ist Sauerstoffzufuhr von unmittelbar lebensrettender Wirkung, indem dadurch Oxydation und Unschädlichmachung der giftigen Stoffe hervorgerufen wird; in diesem Falle dagegen wird durch gleichzeitige Sauerstoffzufuhr zusammen mit dem narkotisch wirkenden Chloroform die Blutgifteigenschaft dieses Mittels aufgehoben, und damit die Narkose zu einer weit gefahrloseren gestaltet.“ [40]

Cramer sah bereits 1903 ein weites Indikationsspektrum für die Anwendung des Sauerstoffs, nicht zuletzt auch bedingt durch die medizinischen und technischen Fortschritte der aufstrebenden Narkosemedizin dieser Zeit [40]. Er beschrieb molekularen Sauerstoff als inaktiven Sauerstoff (O_2). Verglichen mit aktivem Sauerstoff (O) und Ozon (O_3) hatte diese Form des Sauerstoffs eine milde Wirkung. Inhalationen mit Sauerstoff, in seiner Eigenschaft ein trockenes, wasserfreies Gas, wirkten nach Cramer austrocknend und entzogen den mit ihm in Berührung kommenden Schleimhäuten das Wasser [40]. Er verwies in diesem Zusammenhang auf Untersuchungen von Kobert, die eine Austrocknung, insbesondere der Kehlkopfschleimhaut, bei direkter Inhalation des Sauerstoffgases durch den Mund zeigten. Kobert empfahl daher die Inhalation des Sauerstoffgases mittels zwischengeschalteter Wasserflasche und berichtete auf dem XVIII. Kongress für Innere Medizin in Wiesbaden von „angenehmsten Empfindungen“ [40]. „[...] Aber ich muss darauf aufmerksam machen, dass dieser Sauerstoff, wie er aus der Fabrik bezogen wird, chemisch rein, d.h. frei ist auch von Wasser. Man muß ihn deshalb, wenn man ihn länger einatmen lassen will, unbedingt durch Wasser gehen lassen. Das ist sehr wesentlich; Sie schädigen sonst Ihre Patienten.“ [40] Kobert wurde jedoch falsch verstanden. In den Zeitungen las man folgende Worte: „Kobert warnt vor der Anwendung von Sauerstoff“ [40]. Zusammen mit Cramer sahen in der Anwendung von trockenem Sauerstoffgas Gefahren: Bei Kranken konnten die Reizungen und Schädigungen

durch Sauerstoffgas zu Austrocknung bis hin zur Nekrose der oberflächlichen Epithelzellen der Atemwege führen [40]. Aus Sicht der Krankenpflege, deren Handeln dem Grundsatz „nihil nocere“ („nicht schaden“) folgte, sei, so folgerte Cramer, die Sauerstoffinhalation daher abzulehnen [40]. Er verwies auf den Roth-Drägerschen Apparat, dessen Gesichtsmaske ebenfalls eine Öffnung zur Luftzufuhr enthielt, durch welche Wasserdampf eintreten und sich mit dem trockenen Sauerstoffgas vermischen konnte. Cramer sah in dieser Tatsache und in dem physiologischen Mechanismus der Befeuchtung des trockenen Sauerstoffgases durch die Nase eine mögliche Erklärung für die - bisher - geringen Schäden an den Atemwegen. Vom Standpunkt der Krankenpflege aus jedoch konnte Cramer eine Anwendung der Sauerstoffinhalationen aufgrund vager, wissenschaftlich nicht bewiesener Vermutungen nicht befürworten [40]. Als unproblematisch betrachtete Cramer die kurzzeitige Anwendung des Sauerstoffgases bei akuten Vergiftungen. In der Einwirkung des Sauerstoffs und des Chloroforms auf die Atemwege bei längeren Narkosen mittels Chloroform-Sauerstoff-Gemisch sah Cramer eher ein Problem. Er verwies auf eine Arbeit von Falk, in welcher dieser vor der Bildung von Salzsäure aus Sauerstoff und Chloroform warnte, [...] wenn man den zugeführten Sauerstoff etwa den gesamten Chloroformvorrath während der ganzen Narkose durchströmen liesse“ [40]. Auch in Wohlgemuths Arbeit über den Sauerstoffchloroformapparat der Sauerstoff-Fabrik Berlin fanden sich Hinweise auf dieses Problem. Dieses Gerät war demnach so konstruiert, dass sich das Chloroform mit dem Sauerstoff erst kurz vor der Inhalation vermischt, wobei die Bildung von Reaktionsprodukten wie Salzsäure in dieser kurzen Zeit vernachlässigbar war: [...] das Chloroform kommt so nicht in seinem Vorratsgefäß mit dem Sauerstoff in Berührung, nur die vom Sauerstoffstrom angerissene Menge Chloroform mischt sich kurz vor ihrem Eintritt in die Inhalationsmaske mit demselben“ [40].

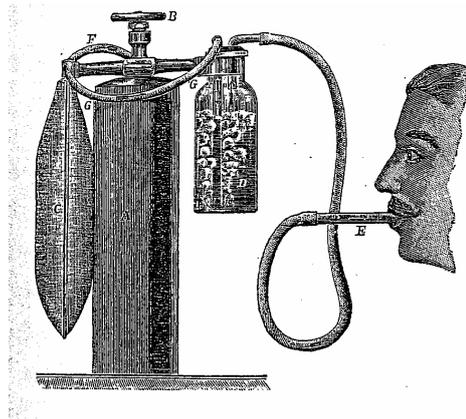


Abb. 13: Aus: Cramer H: Zur Sauerstoffanwendung vom Standpunkte der Krankenpflege aus. Zeitschr Krankenpfl, Berlin; 15-21 (1903) [40]

In Bezug auf die praktische Anwendung der Sauerstoffinhalation wies Cramer zum Schluss auf die Wichtigkeit einer bestimmten Temperatur des befeuchteten Sauerstoffgases hin, wobei nasale Inhalation durch die Anwärmung des Gases in der Nase keine bestimmte Temperatur benötigte. Bei oraler Inhalation jedoch war eine Schädigung der Atemwege durch zu niedrige Temperaturen möglich, und Cramer empfahl eine Temperatur nicht unter 10 C°. Diese Temperatur konnte erreicht werden, indem das Mittelstück des Apparates (Stück zwischen Bombe und Mundstück) in warmes Wasser gestellt wurde. Cramer empfahl dieses Vorgehen auch in gut temperierten Räumen, da sich der aus der Bombe ausströmende Sauerstoff beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand sehr stark abkühlte [40].

Im Jahr 1904 erschien Stabarzt Hasenknopfs Veröffentlichung „Zur Sauerstofftherapie“ [87]. Darin beschrieb er den Krankheitsverlauf eines 1 ½ jährigen Mädchens, welches sich mit seinen polnischen Eltern im Jahr 1902 auf der Durchreise nach Amerika in Berlin befand und an plötzlicher Dyspnoe und starker Zyanose erkrankte. Die durchgeführte tracheale Intubation brachte keine Besserung, der Zustand des Kindes verschlechterte sich rapide. In Chloroformnarkose wurde eine Tracheotomia superior durchgeführt, und es

fanden sich als Ursache des Stridors und der Dyspnoe mit Zyanose keine diphtheritischen Membranen und keine Fremdkörper [87]. Die Ursache der schweren Dyspnoe war weiterhin unklar, es wurde eine bronchiale oder subglottische Stenose als Ursprung vermutet. Bewiesen werden konnte diese Vermutung jedoch nicht. Der Zustand des Kindes verschlechterte sich weiterhin, und es wurde die Inhalation mit Sauerstoff begonnen. Entgegen allen Erwartungen zeigte sich eine enorme Verbesserung, die Zyanose war einer rosigen Gesichtsfarbe gewichen, und die Atmung war tiefer geworden. Insgesamt wurde die Inhalation des Sauerstoffgases über die Kanüle drei Mal in der Nacht angewendet [87]. Hasenknopf schrieb über die Wirkung des Sauerstoffs: „Was nun die Wirkung des Sauerstoffs anbelangt – [...] – so war dieselbe eine so augenfällige, dass ich nicht fehlzugehen glaube, wenn ich dieselbe in diesem Falle als geradezu „lebensrettend“ bezeichne“ [87].

Der Zustand des Kindes verbesserte sich zusehends, es bestand jedoch starker foetider Auswurf und immer wieder ansteigendes Fieber. Nach einem Zeitraum von circa 4 Wochen konnte das Kind geheilt entlassen werden [87]. Hasenknopf mutmaßte, es könnte sich um eine seltene Bronchitis crouposa, einen ascendierenden Kroup, handeln, bei welchem Larynx und Trachea nicht stenosiert waren. Jedoch fehlte bei diesem Kind das für die Diagnosestellung wichtige Symptom des Aushustens von Fibrinmembranen [87]. Am wahrscheinlichsten war es jedoch zu einer Fremdkörperaspiration in den rechten Bronchus gekommen, da ein ventilartig klappendes, expiratorisches Atemgeräusch und eine Dämpfung über der rechten Lunge vorlagen, welche auf die durch den Fremdkörper verursachte Stenose hindeuteten. Wie die Eltern berichteten, hatte das Kind am Tag vor dem Auftreten der Beschwerden in Stücke geschnittenen Speck zu essen bekommen [85]. Nach Hasenknopf waren die Folgen des in den Bronchien festsitzenden Fremdkörpers eine Reizung der Bronchialschleimhaut, eine chronische interstitielle Entzündung und schließlich folgten bei bakterieller Besiedlung „[...] Pneumonien mit Ausgang in Resorption, Verkäsung, Eiterbildung oder Verjauchung [...]. Alles hängt hier von der Art des Fremdkörpers und dem Kräftezustand des Patienten ab. Unter Umständen können solche Pneumonien aber so klein sein, daß sie fast unbemerkt verlaufen.“ [87]. Nachdem die Wirkung des inhalierten Sauerstoffgases in diesem Fall eine so deutliche Besserung

gezeigt hatte und Hasenknopf diese als „lebensrettend“ bezeichnete [87], fand der Sauerstoff vermehrt therapeutische Verwendung bei Erkrankungen im Kindesalter: „Benutzt wurde der in der Arbeit von Michaelis [136] angegebene Apparat und die von diesem konstruierte Inhalationsmaske, welche durch ein geeignetes Ventil die gleichzeitige Einführung von atmosphärischer Luft gestattet. Als ein Mangel wurde es empfunden, dass es nicht möglich ist, die Menge des verbrauchten Sauerstoffs genau zu registrieren. (Anmerkung bei der Korrektur). Der neudings vom Draeger-Werk Lübeck konstruierte Sauerstoffinhalationsapparat (Vertretung Kaiser Friedrichapotheke, Karlstrasse) hilft diesem Uebelstand in zweckmässigster Weise ab und gestattet die genaue Dosierung des in der Minute verbrauchten Sauerstoffs“ [87].

In den Sauerstoff zuleitenden Schlauch war ein Gummiballon zwischengeschaltet, welcher circa 15 l fasste. So war eine ungefähre Bestimmung des Verbrauchs möglich, wobei pro Inhalation drei Ballons, also 45 l, unter Mischung mit atmosphärischer Luft inhaliert wurden. Bei erkennbarer Besserung wurde die Inhalation zweistündig wiederholt [87].

Oertel befürwortete die Anwendung von Sauerstoffinhalationen bei hochgradig herabgesetztem Sauerstoffpartialdruck wie bei „[...] Cyanose und Dyspnoe bei chronischen Katarrhen, Emphysem, Asthma“ [87]. Auch Filipow vertrat die Auffassung, „[...] dass die Einatmung reinen Sauerstoffs keinen Vorzug vor der Einatmung gewöhnlicher reiner Luft verdient und dass sowohl beim Menschen wie bei Tieren (Hund, Frosch) die Körpertemperatur und die Pulszahl während der abwechselnden Atmung des O und der Luft unverändert bleiben. Auch in Vergiftungsfällen konnte er bei Fröschen keinen Vorzug des O vor der Luft konstatieren“ [87]. Ewald hingegen lehnte den Sauerstoff als Therapeutikum ab: „Es ist immer, sagt er (Ewald), auch in der verdorbenen Luft Sauerstoff genug vorhanden, um das Bedürfnis der Blutscheiben vollkommen zu decken. Es ist also widersinnig, von der Einatmung von Ozon oder reinem Sauerstoff eine Erleichterung oder Verbesserung des Atemgeschäfts zu erwarten.“ [87].

Im Jahr 1890 tritt Ephraim in seiner im selben Jahr erschienenen Monographie für die Anwendung von Sauerstoff ein: „Er beklagt die Unkenntnis der Sauerstoffbehandlung im grossen ärztlichen Publikum der damaligen Zeit und erörtert eingehend die Berechtigung des Sauerstoff-Verfahrens. Von den schon citierten Ergebnissen Specks ausgehend, dass bei einer Vermehrung des O-Gehalts der Luft auch die O-Aufnahme steigt, erklären Ephraim und Speck die Art und Weise, wie solch eine vermehrte Aufnahme zu stande komme durch die Annahme „chemischer oder andersartiger, ihrer Natur nach unbekannter Affinitäten, die beim Atmen in atmosphärischer Luft ungesättigt bleiben, bei einem höheren Sauerstoffgehalt aber ihre Sättigung erfahren. Ist diese eingetreten, so wird natürlich eine weitere O-Vermehrung der Einatmung zwecklos sein; es wird von nun an nur eine verhältnismässig geringe Menge O aufgenommen werden können, die der inzwischen ausgeschiedenen entspricht und zu deren Beschaffung die atmosphärische Luft genügt. Der therapeutische Erfolg bleibt aber gesichert, denn „wir überschwemmen gewissermassen durch die wenige Minuten anhaltenden Inhalationen den Körper mit reichlichen Mengen Sauerstoff und führen dadurch eine Aenderung der Konstitution der sauerstoffarmen Gewebe herbei, welche gegenüber dem Einfluss des pathologischen Agens je nach dessen Intensität und Wirkungsweise auf eine gewisse Zeit erhalten bleibt.“ [60] Ephraim entwickelte eine Theorie, nach welcher Parenchymteile der erkrankten Lunge nicht mehr als respiratorische Oberfläche am Gasaustausch teilnahmen und folglich der verbleibende, gesunde Anteil der Lunge mit Sauerstoff überversorgt wurde – vom verbleibenden kleineren Teil wird die größere Menge Sauerstoff aufgenommen S. 246 [87]. Nach Ephraim konnte so der Sauerstoffbedarf ausreichend gedeckt werden. Er plädierte für Sauerstoffanwendungen auch bei Blut- und Stoffwechselkrankheiten [60]. Ein Jahr später, 1891, wendete Honigmann Sauerstoff erfolgreich bei perniziöser Anämie an [87].

Im Februar des Jahres 1901 war die Sauerstofftherapie Diskussionsgegenstand im Verein für innere Medizin und in der Berliner Medizinischen Gesellschaft. In Ersterem äusserte sich Brat [87] über die Therapie von Methämoglobin-Vergiftungen und stellte Erfolge der Sauerstoffanwendungen bei Vergiftungen in Anilinfabriken vor. Nach Brats Theorie war eine Mehraufnahme von Sauerstoff im

Blut, und sei sie auch noch so gering, möglich und konnte Leben retten. Grundlage dieser Theorie war Loewys Annahme, dass durch Erhöhung des Sauerstoffdruckes der Sauerstoffverbrauch nicht gesteigert wurde [87]. Brat erklärte, das zugeführte Sauerstoffgas wirkte bei nicht ausreichend ventilierten Lungen bei flacher und schneller Atmung als Druckerhöhung und konnte dadurch die Atemmechanik vertiefen und verlangsamen.

Rogovin, der mit Michaelis zusammenarbeitete, zeigte 1902 im Tierexperiment, dass mit Strychnin, Morphinum, Chloroform, Leuchtgas oder Anilin vergiftete Mäuse und Kaninchen durch Einatmung von Sauerstoffgas gerettet werden konnten. Rogovin erklärte die lebensrettende Wirkung des Sauerstoffgases durch eine vermehrte Sauerstoffaufnahme [87]. Im gleichen Jahr ging Kovács neue Wege und zog die Gefrierpunktserniedrigung des Blutes zur Prüfung der Effekte der Sauerstofftherapie heran [87]: „Er fand, dass dieselbe bei ungenügender Atmung zunimmt und dass eine ähnliche Veränderung des Blutes auch in vitro durch Kohlensäure hervorgerufen werden kann. Diese Zunahme der Gefrierpunktserniedrigung, ob sie nun in vivo durch ungenügende Atmung oder in vitro durch Kohlensäure hervorgerufen wurde, wich der Sauerstoffeinwirkung, und nahm auch in vivo ab, wenn der Patient Sauerstoff einatmete“ [87].

Für Kraus hingegen ist nur die Stenosierung der Luftwege eine Indikation zur Sauerstoffinhalation. Er hält die Ergebnisse von Kovács für unglaubwürdig [87]. Hasenknopf nannte im Folgenden noch Beispiele für die Sauerstoffanwendung auf dem Gebiet der Kinderheilkunde, ähnlich dem eingangs beschriebenen Fall der wahrscheinlichen Fremdkörperaspiration. Er fasste abschließend zusammen: Inhalationen von Sauerstoffgas sind insbesondere angebracht bei Stenosierungen der Luftwege wie „[...] (Kroup, Fremdkörper, Bronchitis, Kompression der Trachea) und bei allen Zuständen ungenügenden Luftwechsels in den Lungen selbst (Emphysem, verflachte Atmung im Coma, bei Anilin-, Morphinumvergiftungen). Möglichste Unversehrtheit der den Gasaustausch vermittelnden Oberfläche der Lunge bei genügender Herztätigkeit ist Vorbedingung für den Erfolg“ [87]. Bei Erkrankungen des Lungenparenchyms und bei Erkrankungen des Herzens sah Hasenknopf nur temporär eine Besserung. Hier konnte die Wirkung des

Sauerstoffs den Verlauf der Erkrankung nicht beeinflussen. Hingegen günstig beeinflusst werden konnte der Zustand einer Kohlenmonoxidvergiftung, was allseits anerkannt war. Diese Ergebnisse standen, so Hasenknopf, nicht im Widerspruch zu den bekannten physiologischen Gesetzmäßigkeiten, nach denen eine Mehraufnahme von Sauerstoff als möglich betrachtet wurde [87].

In der Medizinischen Gesellschaft Berlin sprach sich Aron [7] 1901 gegen die Anwendung von Sauerstoff aus, wie er es schon im Jahr 1893 getan hatte, als er Sauerstoffinhalationen für nutzlos hielt [8]. Aron sah eventuell nur bei Kohlenmonoxid- oder Anilinvergiftungen eine Anwendungsmöglichkeit der Sauerstofftherapie [87]. 1904 fragte Aron, seinerzeit Assistenzarzt am jüdischen Krankenhaus in Berlin, „Was können wir uns von der Sauerstofftherapie versprechen?“ [8] Zurückgehend bis auf Priestley, welcher den Sauerstoff entdeckte und ihn als Heilmittel vorschlug, wollte Aron, als Gegner der Sauerstofftherapie bekannt, in seiner Arbeit die physiologische und theoretische Wirkungsweise des Sauerstoffs darlegen. Laut Aron setzten insbesondere die Franzosen den Sauerstoff zu Heilzwecken ein [8], aber auch in Deutschland gab es viele Verfechter der Sauerstofftherapie. Die Entdeckung der „Lebensluft“ weckte große Erwartungen in einer Zeit, in der man Lebensvorgänge mit der Verbrennung eines Lichtes verglich [8]. Die in Sauerstoff beschleunigt ablaufende Verbrennung wurde auf die Lebensvorgänge übertragen, und es entwickelte sich die Theorie, nach der bei Einatmung von Sauerstoff die Oxidationsprozesse im Körper beschleunigt ablaufen. Man nahm daher an, dass die Einatmung von Sauerstoff direkt lebensverkürzend wirkte [8]. Die Oxidation lief nach dieser Theorie in den Zellen des Körpers ab und war nicht direkt durch den Sauerstoff bedingt. Die Zelle selbst regulierte die Zersetzungs Vorgänge von Albumin, Kohlenstoff und Fetten, und der Sauerstoff oxidierte die Zersetzungsprodukte zu Kohlensäure und Wasser [8]. Die Sauerstoffaufnahme des Körpers war direkt proportional der Menge, die benötigt wurde, um die Zerfallsprodukte zu Wasser und Kohlensäure abzubauen sowie proportional zur Größe der Lungenoberfläche, der Größe des Thorax, der Blutmenge, der Anzahl der Blutkörperchen und dem Hämoglobingehalt. Eine Kompensation war durch Veränderung einzelner Variablen möglich [8]. Aron beschrieb das physiologische Wissen dieser Zeit, nach

dem bekannt war, dass der Sauerstoff im Blut von Hämoglobin chemisch gebunden wurde. So entstand aus Hämoglobin das oxygenierte Hämoglobin, dessen Menge von der Quantität des vorhandenen Hämoglobins abhängig war. Nach Aron konnte somit nicht mehr Sauerstoff im Blut aufgenommen werden, da die Bildung von Hämoglobin durch Sauerstoffzufuhr nicht zunahm [8]. Das Hämoglobin war nur zu 9/10 mit Sauerstoff gesättigt, außerdem enthielt die Expirationsluft noch Sauerstoff, zusätzlich eingeatmeter Sauerstoff wurde nach Aron einfach vermehrt ausgeschieden und hatte somit keinen Effekt [8]. Dennoch, ein geringer Anteil Sauerstoff war im Blut physikalisch gelöst und bei Inhalation von Sauerstoffgas konnte, so Aron, diese geringe physikalisch gelöste Menge ansteigen [8]. Eine nennenswerte Wirkung hielt Aron für unwahrscheinlich: „Mir ist hingegen sehr einleuchtend, dass dieses Mehr an Sauerstoff, sobald die Zuleitung reinen Sauerstoffs sistirt hat, sehr bald mehr oder weniger vollständig den Körper in der Expirationsluft verlassen wird, noch bevor es Zeit und Gelegenheit hatte, eine Chlorose, Anämie, Asthma, Diphtheritis, Phthisis pulmonum etc. zu heilen.“ [8] Aron verwies auf Versuche von Lavoisier, Regnault und Reiset, nach denen Versuchstiere die gleiche Menge an Sauerstoff aufnehmen und die gleiche Menge Kohlendioxid produzieren - unabhängig davon, ob sie sich in sauerstoffreicher oder in normaler Luft befanden [8]. Aron wies auch auf gegenteilige Ergebnisse hin, wie sie von Speck gefunden wurden [8]. Dieser unternahm in umfangreichen Experimenten an sich selbst Sauerstoffinhalationen und stellte fest, dass sich die Aufnahme von Sauerstoff im Körper tatsächlich erhöhen ließ durch Einatmung sauerstoffreicher Luft. Diese Ergebnisse widerlegten alles bisher Bekannte [8]. Aron beschwichtigte, dass diese Ergebnisse nicht unvereinbar waren mit den vorher akzeptierten Theorien über die Aufnahme von Sauerstoff in den Körper. Diese erhöhte sich zwar, jedoch nur über einen geringen Zeitraum von ca. fünf Minuten. Dies hatte auch Speck in der Interpretation seiner Ergebnisse bereits konstatiert: „Speck selbst betont bereits, dass seine Resultate den Untersuchungen Regnault's und Reiset's keineswegs widersprechen. Er selbst nimmt als sehr warscheinlich an, dass, wenn die Körpersäfte, das Hämoglobin und jene freien chemischen Affinitäten mit Sauerstoff gesättigt sind (was relativ sehr rasch erfolgte), dass dann ein weiterer Mehrverbrauch an Sauerstoff aufhöre.

Da Regnault und Reiset ihre Versuche an Thieren stundenlang fortgesetzt haben, könne ihnen die geringe Steigerung der Sauerstoffaufnahme, welche im Beginne des Versuches erfolge, entgangen sein.“ [8] Folglich musste, wenn die Theorie der Mehraufnahme von Sauerstoff zutreffend war, auch mehr Kohlensäure ausgeschieden werden, was nach den Untersuchungen von Speck so nicht zutraf [8]. Somit war die Aussage, dass die Zelle die Oxidationsprozesse steuert und nicht der Sauerstoff, gestützt worden [8]. Specks Experimente bezogen sich auf gesunde Individuen, und Aron verwies auf Untersuchungen von Möller, Hannover, Pettenkofer und Voit, nach denen auch bei krankem Organismus die gleiche Menge an Kohlendioxid ausgeschieden wurde [8]. Er nahm einen Regulationsmechanismus an, der das Sauerstoffbedürfnis des Körpers regulierte und somit beim gesunden wie auch kranken Körper für gleichbleibende Sauerstoffaufnahme sorgte [8]. Kritik übte er an Untersuchungen Ephraims [57], nach denen komprimierte und sauerstoffreiche Luft die gleiche Wirkung haben sollten. Die Steigerung der Sauerstoffaufnahme durch komprimierte Luft sah Aron bedingt durch die Muskelarbeit des Zwerchfells bei ausgedehnteren Atembewegungen und somit durch verstärkte Verbrennungsprozesse im Körper. Aron zweifelt an der Wirksamkeit des Sauerstoffs: „Wenn wir an der experimentell erwiesenen Thatsache festhalten, dass es selbst bei Einschränkung der respiratorischen und sauerstoffbindenden Flächen nie zu einem Wirklichen Sauerstoffmangel für den Körper kommt, ohne dass der Tod unter Asphyxie rasch eintritt, dass vielmehr durch häufigere und tiefere Atemzüge, durch zahlreichere Herzschläge, durch Ausdehnung der Blutgefäße der Lunge etc., jener Fehler compensirt wird, und selbst bei grosser Atemnoth, wenn sie länger ertragen wird, nicht weniger Sauerstoff aufgenommen wird, als normal, so kann man sich füglich von dieser Art der Therapie wohl doch nur sehr wenig oder gar nichts versprechen.“ [8]

Aron kritisierte die unzähligen Indikationen der Sauerstoffanwendung und bezweifelte, dass es möglich war, bei so verschiedenen Krankheiten Heilung oder Besserung durch nur ein Mittel zu erzielen. Er spekulierte: „Will man seiner Anwendung eine unbestreitbare Wirkung vindiciren, so muss man wohl zu einer mehr räthselhaften Einwirkung desselben auf den Organismus recurriren, ohne

bisher dies Räthsel lösen zu können. Wenn wir andererseits in Betracht ziehen, gegen welche Unmasse von Krankheiten die Sauerstofftherapie vorgeschlagen, und wie stets durch mehr weniger genaue, oft minutiöse, klinische Beobachtungen die Wirksamkeit desselben an einzelnen oder auch mehreren Fällen erwiesen werden soll, so können wir diesen anscheinenden Thatsachen gegenüber uns wohl kaum einer gewissen Skepsis entziehen und werden wohl auch in Zukunft darauf verzichten müssen, einen Modus zu finden, wie wir uns bei den verschiedenartigsten Krankheiten von ein und derselben Behandlungsmethode einen Erfolg erklären wollen. Wir müssten dann annehmen, dass wir in dem Sauerstoff ein Universalmittel hätten, das eben weit mehr leistet, als alle bisher angepriesenen und studirten Heilmittel.“ [8]

Die Sauerstofftherapie wurde bei Krankheiten unterschiedlichster Genese angewendet – für Aron eindeutig unklare, zweifelhafte Indikationsbereiche. So wurden Lungenkrankheiten, Krankheiten des Blutes wie Anämie, Leukämie, Infektionskrankheiten wie Diphtherie, Cholera, Tetanus, Typhus, Syphilis und Lepra, Sepsis, Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes, Schilddrüsenerkrankungen wie Struma oder M. Basedow, Asphyxie durch verschiedene Vergiftungen, Magenerkrankungen, Gicht, Urämie, Erbrechen, Schlaflosigkeit und Impotenz mit Sauerstoff behandelt [8]. Bei so umfangreicher Anwendung der Sauerstofftherapie ließen sich nur einige wenige Krankheiten, diese jedoch den praktischen Beobachtungen zufolge hervorragend, mit Sauerstoff behandeln, während bei anderen jeder Erfolg fehlte. Hier wurden von Aron unter anderem Phthisis pulmonum, Herzfehler, Kohlenmonoxidvergiftungen, Chloroformasphyxie und Cholera genannt [8]. Für ihn waren Sauerstoffinhalationen vom physiologischen Standpunkt aus nutzlos. Erfolge führte er auf zufällig und überraschend eintretende Besserungen oder sogar Heilungen zurück, welche auch ohne Sauerstoffanwendungen vereinzelt bei scheinbarer Aussichtslosigkeit vorkamen [8]). Am Ende des Jahres 1904 schrieb Aron erneut über „Die Aussichten der Sauerstoff-Inhalationen nach den neuesten physiologischen Untersuchungen“ [6]. Er verwies auf neue Ergebnisse von Zuntz und Loewy, die die Annahme, dass das arterielle Blut zu 14/15 beziehungsweise 9/10 mit Sauerstoff gesättigt ist, revidierten und einen Sättigungsgrad des

arteriellen Blutes von 82 % zeigten [6,124,200]. Diese Ergebnisse konnten die Erkenntnisse über die Sauerstoffaufnahme des Körpers unter Sauerstoffeinatmung verändern [6]. Aron wurde jedoch durch neuere Versuche von Zuntz und Durig in seiner Annahme bestätigt, dass eine Mehraufnahme von Sauerstoff für einen gesunden Menschen gar keine Bedeutung hatte und somit der überflüssige Sauerstoff ausgeschieden wurde. Mit Berechnungen zur Sauerstoffaufnahme durch Inhalation bei Anämien und anderen Blutkrankheiten versuchte Aron die Wirksamkeit der Sauerstoffanwendungen zu widerlegen [6]. Gegen eine Aufsättigung des Blutes mit Sauerstoff sprach seiner Meinung nach auch die Applikationsart, welche aufgrund unzureichender Ventiltechnik in der Tat nicht anwenderfreundlich gestaltet war. Durch geöffnete Ventile strömte das Sauerstoffgas unter Druck aus der Flasche, ein kontinuierlicher Fluss war nicht gegeben. Geregelter In- und Expiration waren nicht möglich und somit die tatsächlich eingeatmeten Mengen an Sauerstoff sehr gering und wahrscheinlich ohne Effekt [6]. Um eine Inhalation zu ermöglichen, mussten Reservoirs zwischengeschaltet werden, aus denen der Patient den Sauerstoff einatmete. Auch waren, so schlug Aron vor, In- und Expirationsventile nötig, welche den Luftstrom trennten [6]. Es gab die Möglichkeiten der Inhalation über Gesichtsmasken oder über ein Mundstück, wobei erstere nicht luftdicht am Gesicht abschlossen, sodass auch immer umgebende Raumluft mitgeatmet wurde [6]. Folglich wurde kein reiner Sauerstoff geatmet. Effekte der Sauerstoffeinatmung über Gesichtsmaske bei zyanotischen Patienten führte Aron auf verstärkte Atemgymnastik infolge vertiefter Atmung zurück, welche jedoch nur kurz anhielten. Sauerstoffinhalationen mittels Mundstück waren für schwerkranke Patienten nicht möglich, da das Halten des Mundstücks zwischen den Zähnen eine gewisse Kraft erforderte, welche komatöse oder sehr kranke Patienten nicht besaßen [6]. Konnte das Mundstück aber gehalten werden, war eine Atmung von unverdünntem Sauerstoff möglich. Aron nahm für diesen Fall eine tatsächliche Sättigung von 90 % für den sich in den Alveolen befindenden Sauerstoff an [6]. Er bezweifelte, dass eine vollständige Sättigung des Blutes mit Sauerstoff möglich war, selbst unter optimalen Bedingungen bei Einatmung von reinem Sauerstoff. Das venöse Blut konnte sich in den Lungenkapillaren aufgrund seiner Strömungsgeschwindigkeit seiner Meinung nach nicht vollständig mit Sauerstoff

sättigen [6]. „Dieser Kontakt beträgt nur den Bruchteil einer Sekunde. [...] Bevor nicht ein untrüglicher, experimenteller Beweis dafür erbracht ist, der allerdings die natürlichen Verhältnisse im Tierkörper berücksichtigen muß, bezweifle ich eine derartige volle Sättigung des Blutes mit Sauerstoff.“ [6]. Dem aus heutiger Sicht abstrusen Vorschlag Gärtners, den Patienten Sauerstoff intravenös zuzuführen, stand Aron ebenfalls skeptisch gegenüber: „Injiziert man zu viel Sauerstoff, so gelangt Sauerstoff ungebunden in das rechte Herz; es treten Plätschergeräusche auf, und die weitere Sauerstoffzufuhr auf diesem Wege muß wegen der Gefahren der Luftembolien sistiert werden.“ [6] Das so mit Sauerstoff angereicherte venöse Blut wurde, so folgerte Aron, in den Lungen entsprechend weniger mit Sauerstoff gesättigt, da die vorhandene Kapazität aufgesättigt worden war. Eine nennenswerte Mehraufnahme an Sauerstoff war nach Aron somit unwahrscheinlich, und es war nicht möglich, auf diesem Weg eine bestehende Dyspnoe zu beseitigen [6]. Abschließend schilderte er die Behandlung eines Kindes, welches an einem Pulmonalklappenfehler litt und dyspnoisch in die Poliklinik kam. Aron ließ das Kind Sauerstoffgas über ein Mundstück atmen und bemerkte eine eindeutige Verbesserung der Zyanose. Nach Absetzen der Sauerstoffinhalation wurde das Kind jedoch wieder zyanotisch. Aron ließ erneut inhalieren, jedoch mit Raumluft, wobei sich die Zyanose erneut deutlich besserte [6]. Nach wie vor war Aron nicht überzeugt von der Wirksamkeit des Sauerstoffs: „Nach all diesen Momenten kann ich bisher meine Bedenken gegen die Wirksamkeit der Sauerstoffinhalationen bei Kohlensäurevergiftungen des Tierkörpers nicht fallen lassen.“ [6]

Über „Die erste Anwendung des Sauerstoffs im Charitékrankenhaus zu Berlin im Jahre 1783“ berichtete 1904 der Volontärarzt Mamlock an der I. Medizinischen Universitätsklinik zu Berlin, welcher unter von Leyden arbeitete [130]. Für Mamlock hatte die Sauerstofftherapie eine große Bedeutung, und er wollte den Anfängen dieser Behandlungsmethode Aufmerksamkeit schenken [130]. Er schilderte, dass sich nach der Entdeckung des Sauerstoffs durch Scheele 1774 der Chemiker Archard in Berlin mit Sauerstoff beschäftigte, der damals noch als „dephlogistisierte Luft“ bezeichnet wurde [130]. Archard berichtete daraufhin in der Akademie der Wissenschaften über seine Arbeiten „Sur la déphlogistication de

l'air phlogistique. Premier mémoire.“ [130]. Diese Versuche werden als erste beschriebene Sauerstoffanwendung in Deutschland noch vor ersten therapeutischen Anwendungen in Frankreich betrachtet. Durch Archard informiert, berichtete daraufhin Friedrich der Große (1712-1786) dem Physiker d'Alembert in einem Brief über den Sauerstoff [130]. Der Leibarzt Friedrich des Großen, Professor Selle, versuchte Anfang der 80er Jahre den Sauerstoff als Heilmittel zu nutzen, indem „[...] er ihn in das Krankenzimmer leitete, um so „die Luft in verschlossenen und mit unreinen Dünsten angefüllten Zimmern zu verbessern“ [130]. Seine Versuche blieben erfolglos, da Sauerstoff zu dieser Zeit nur durch Erhitzen von Salpeter herstellbar war, was wiederum die Raumluft verunreinigte [130]. Selle beendete seine Versuche, den Sauerstoff zu nutzen, erfolglos [130]. Der Bruder Friedrich des Großen, Prinz Heinrich, erkannte jedoch, angeregt durch eigene Erfahrungen mit „[...] verdorbener Luft“ [130] in Militärlazaretten die Bedeutung des Sauerstoffs für die Hygiene. Er veranlasste den Bau eines Ofens durch den Berliner Chemiker Archard, in welchem Salpeter geschmolzen werden konnte und ließ einen solchen auch in der Charité errichten, damit Selle dort forschen konnte. Der Ofen befand sich außerhalb des Krankenzimmers, und es führten zwei Mündungen in das Zimmer. An einer befand sich ein Blasebalg, mit dem die zu reinigende Luft in den Ofen geblasen wurde, an der anderen Mündung sollte theoretisch die nun „saubere“ Luft entströmen [130]. Die Mängel waren jedoch offensichtlich: „Vor allen Dingen war nach einstündigem Erhitzen noch nicht so viel Sauerstoff gebildet, um eine deutliche Wirkung in dem betreffenden Raume erkennen zu lassen; [...] oder aber der geschmolzene Salpeter setzte sich in den Retortenhals fest und verstopfte ihn.“ [130] Selle sah trotz aller Schwierigkeiten „[...] dass die an sich sehr wertvolle Methode vorläufig technischer Schwierigkeiten wegen wohl noch nicht zu einer ausgedehnteren Anwendung in der Praxis kommen werde. Er fügt jedoch hinzu, dass, wenn man es je dahin bringt, die Sauerstoffzufuhr wohlfeiler, bequemer und ununterbrochener zu gestalten, man der leidenden Menschheit einen ausserordentlichen Nutzen bringen würde.“ [130] Mamlock resümierte, dass das nun eingetreten war und genau an der Stelle der ersten Versuche mit Sauerstoff, der Charité, wurde nun die Sauerstofftherapie in bedeutendem Maße angewendet. Er verwies auf den Ursprung des Begriffes der „dephlogistisierten Luft“, der in der Phlogistontheorie

begründet lag. Diese Theorie besagte, „dass beim Verbrennen eines Körpers das sogenannte Phlogiston entweicht und an die umgebende Luft geht, die somit phlogistisiert wird, d.h. also in unserer heutigen Ausdrucksweise, ihren Sauerstoff verliert. Danach verstand umgekehrt Scheele und die damalige gelehrte Welt unter dephlogistisierter Luft solche, die ihrerseits zur Aufnahme von Phlogiston fähig ist, d.h. die Verbrennung unterhält, mit anderen Worten den Sauerstoff.“ [...] „Die eigentliche Entdeckung Scheeles bestand nun darin, dass solche dephlogistisierte Luft, also Sauerstoff, in besonderer Reinheit und Menge sich beim Erhitzen von Salpeter bildet.“ [130]

Im Jahr 1905 schilderte Heermann in seinen „Bemerkungen zur Sauerstofftherapie“ [88] die Behandlung eines somnolenten zweijährigen Kindes, das seit drei Wochen an „wandernder Pneumonie“ [90] erkrankt war. Er behandelte das Kind mit Kampfer-Benzoe, Wein und künstlicher Atmung. Schließlich wendete er „[...] Sauerstoffinhalationen (2 stündl. 5 Liter aus einem Gummiballon unter Anwendung eines Mundstückes oder einer gewöhnlichen ventillosen Schimmelbusch-Maske) an“ [90].

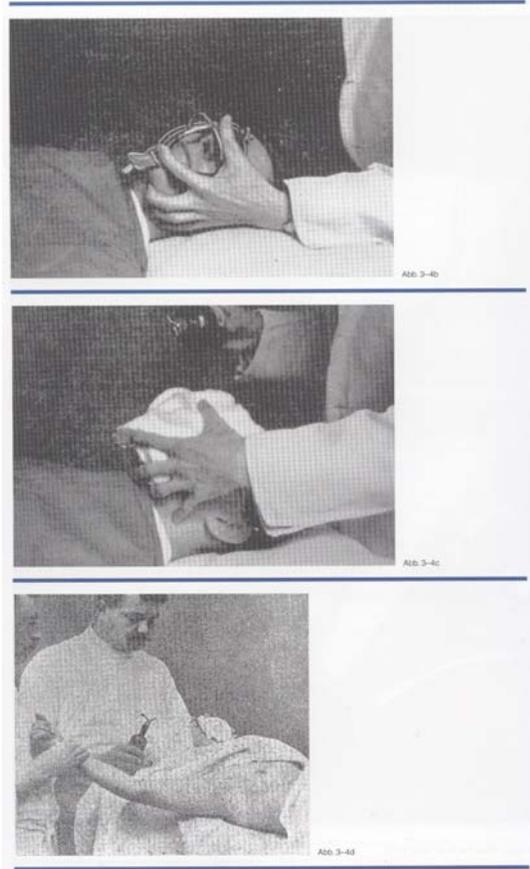


Abb. 14: Aus: Brandt, L.: Illustrierte Geschichte der Anästhesie, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 1997, S. 127, Abb. 3-4b. 3-4c: Haltung der Schimmelbusch-Maske, 3-4d: Curt Schimmelbusch bei der Durchführung einer Tropfnarkose. [25]

Er beobachtete über Tage hinweg einen verstärkten Puls bei jeder Inhalation, war jedoch unsicher, ob dieses Phänomen tatsächlich zur späteren Heilung beitrug. Heermann zog aus seinen Beobachtungen den Schluss, dass wenigstens in einzelnen Fällen der Sauerstoff eine besondere Wirksamkeit haben musste. Suggestion fand nicht statt, da das Kind bewusstlos war. Besondere Ventile, welchen eine spezielle Wirkung auf die Atmungsmechanik zugeschrieben wurde, verwendete man nicht. Heermann sah somit bewiesen, dass die erzielten Effekte allein durch die Wirkung des Sauerstoffs bedingt waren [90].

Ebenfalls im Jahr 1905 schrieb Brat (1867-1909) in der Deutschen Medizinischen Wochenschrift „Ueber einen neuen Sauerstoffatmungsapparat“ [29]. Hierin erwähnte er Michaelis und von Leyden (1832-1910) als Initiatoren, welche die Sauerstofftherapie ins Gespräch gebracht hatten. Brat hielt die Sauerstoffanwendung insbesondere bei Vergiftungen für sehr erfolgreich und verwies auf seine Stellungnahme dazu in Michaelis' „Handbuch der Sauerstofftherapie“ [29,137]. Brat beschrieb die ersten Versuche einer künstlichen Atmung: „Es ist zweifellos, daß man bei Anwendung einer mit Ventilen versehenen Maske, wenn die einigermaßen gut schließt, Sauerstoff unter einem gewissen Druck in die Lungen bringen kann. In der Maske selbst beträgt dieser Druck oder vielmehr Ueberdruck die Stärke des Ventils, welches zur Außenluft führt. Mit Hilfe dieses Ueberdruckes, [...], gelingt es leicht, wie ich mich in mit Herrn Privatdozenten Dr. Oesterreich gemeinschaftlich angestellten Versuchen überzeugen konnte, die Lunge einer Leiche aufzublähen. Aber auch die Expiration geschieht unter diesem Ueberdruck. Die Atmung komprimierten Sauerstoffes mittels einer solchen Maske, [...], ist in Parallele zu stellen mit dem in letzter Zeit viel genannten Ueberdruckverfahren, [...]. Die Anwendung der Maske erscheint mit Rücksicht auf die Erschwerung der Expiration, d.h. wegen der bei ihrer Anwendung eintretenden Verminderung der Ventilationsgröße, unzweckmäßig. In dieser Erkenntnis hatte ich seinerzeit, noch etwas weitergehend als Michaelis, die Entfernung der Maske während der Expiration vorgenommen, resp- angeraten. Dann konnte der Ueberdruck während der Inspiration erzielt werden, während die Hemmung der automatischen Expiration fortfiel.“ [29]

Die bis zu diesem Zeitpunkt übliche Therapie der Sauerstoffanwendung hatte eine Voraussetzung: Der Patient musste noch im Stande sein zu atmen, oder es musste eine künstliche, manuelle Atmung durchführbar sein. Brat stellte im Tierexperiment fest, dass eine mittels Blasebalg ausgeübte künstliche Atmung für die nötige Ventilation der Lungen nicht ausreichend war [29]. In der Ventilation der Lungen sah Brat aufgrund der Funktion der Kohlensäureentfernung sowie der Sauerstoffzuführung den für den Erfolg der Therapie entscheidenden Faktor [29]. Diesen Überlegungen folgend, konstruierte Brat einen Atmungsapparat, „[...] der trotz seiner Einfachheit imstande ist, neben der Zufuhr von komprimiertem O₂ oder

komprimierter atmosphärischer Luft eine ausgiebige künstliche Atmung zu erzielen. Den Apparat habe ich in zahlreichen Tierversuchen, über welche ich an anderer Stelle berichten werde, einer eingehenden Prüfung unterzogen. In den in Gemeinschaft mit Dr. Oesterreich angestellten Versuchen an Leichen konnte ich durch eine kleine Hebelbewegung eine ergiebige künstliche Atmung veranlassen.“
[29]



Abb.15: Atmungsapparat von Brat.
Aus: Brat H: Ueber einen neuen Sauerstoffatmungsapparat. Fig. 9, 1905, S. 595 [29].

„Der Apparat besteht aus einer Sauerstoffbombe (O), welche an einem Reduzierventil (R) einen Inhaltsmesser (J) und ein Manometer (M) zeigt. Von der Ausflußöffnung des Ventils führt ein Schlauch (O-S) zu einem Dreiwegehahn (H); mit einem Weg des letzteren ist eine Vacuumleitung (V-S) verbunden; die letztere geht aus von einer kontinuierlich wirkenden, mit einem Vacuometer (Vm) versehenen Vacuumpumpe (V-P) [Wasserstrahlpumpe, resp. Dampfstrahlpumpe (flüssige Kohlensäure)], der dritte Weg des Hahnes führt zum Maskenschlauch (M-S), an welchem sich die Maske (M) befindet. Der Hahn kann nach Willkür so gestellt werden, daß während der Inspiration die Respirationswege mit der Sauerstoffleitung, während der Expiration mit der Vacuumleitung in Verbindung stehen [Demonstration an zwei Patienten (Lungenemphysem)]“ [29]. Brat gab einen Wert von ungefähr einer halben Atmosphäre für Erwachsene am Druckventil des Sauerstoffauslasses an, welcher durch eine mit dem Manometer in Verbindung stehende Schraube geregelt wurde. Diese Werte waren regelbar je

nach vorhandenen Lungenkapazitäten. Auftretende Undichtigkeiten der Maske verhinderten bei höheren Drücken eine Verletzung der Lungenoberfläche. Indikationen für die Anwendung des Apparates sah Brat überall dort, wo eine Notwendigkeit der künstlichen Atmung bestand, beispielsweise im Rettungswesen, der Inneren Medizin und der Chirurgie. Aber auch dort, wo die jetzt mögliche, bequeme Zugänglichkeit des Apparates eine breitere Anwendung erlaubte, beispielsweise in Bädern [29]. Brat beschäftigte sich eingehend mit praktischen Anwendungsformen der Sauerstofftherapie in Gewerbebetrieben und mit gewerblichen Vergiftungen und deren Behandlung, wie seine umfangreichen Arbeiten zu diesen Themen zeigten [26,27,28,30].

Hingegen zweifelnd äußerte sich Cnopf in seinen „Kasuistischen Mitteilungen zur therapeutischen Verwendung des Sauerstoffs“ an der Wirkung des Sauerstoffs [36]. Jedoch zeigte er sich offen für neue Methoden: „Da aber der alte Grundsatz in schwierigen Fällen „remedium anceps melius, quam nullum“ noch gültig ist, so mögen kasuistische Mitteilungen dazu beitragen, in schwierigen Erkrankungen auch den Sauerstoff nicht unversucht zu lassen“ [36]. Für ihn waren Erfahrungen, die er mit Sauerstoff gemacht hatte, keine ausreichende Begründung für eine generelle Empfehlung und Verwendung, „[...] aber trotzdem haben mir die gemachten Erfahrungen die Notwendigkeit klar gemacht, für ähnliche Notfälle auch noch den Sauerstoff stets parat zu haben“ [36]. In diesem Zusammenhang verwies er auf Arbeiten von Hagenbach-Burckhardt: „In vielen Fällen haben wir den Sauerstoff zu Hilfe gezogen, um Zeit zu gewinnen für die Vornahme der Intubation oder der Tracheotomie. Beide Operationen liessen sich bei dem von seiner äussersten Cyanose befreiten Kind mit Ruhe ausführen. [...] In Fällen, wo die Intubation nicht gelingen wollte, [...] machten es Sauerstoffinhalationen möglich, das Kind von seiner immer ärger werdenden Cyanose zu befreien und die Tube mit Erfolg einzuführen. Auf die Stenose selbst konnte begreiflicherweise durch die Sauerstoffinhalationen keine günstige Einwirkung ausgeübt werden. Wenn auch in der Mehrzahl unserer Fälle der Krankheitsprozess so weit vorgeschritten war, dass wir nur vorübergehende Wirkung beobachten konnten, so haben wir doch einige Fälle erlebt, wo der Sauerstoff als lebensrettendes Mittel von uns angesehen werden musste“ [82].

Eine neue Anwendungsweise der Sauerstoffinhalation durch die Nase empfahl Fleischer im Jahr 1905 [67]. Er verwendete dazu eine birnenförmige Olive aus Elfenbein oder Gummi, welche an dem den Sauerstoff führenden Kautschukrohr befestigt und in ein Nasenloch des Patienten eingeführt wurde. Seiner Ansicht nach war diese Methode ökonomischer, und er hielt diese Art der Sauerstoffinhalation für deutlich wirksamer, als die Anwendung mit Mundstück oder Maske: „Bei der Einführung des den Sauerstoff zuführenden Schlauches direkt in die Nase habe ich nun in zwei Fällen von lobulärer Pneumonie bei capillärer Bronchitis eine erhöhte Wirksamkeit gegenüber der Zuführung des Sauerstoffes per os deutlich wahrgenommen.“ [67] Einen weiteren Vorzug bot die Tatsache, dass Kindern die Maske erspart blieb. Besonders anwenderfreundlich war auch, dass die behandelten Kinder während der Anwendung des Sauerstoffs Milch trinken konnten [67].

„Um zu sehen, was diese Lebenskraft für eine Wirkung auf die Kranken äussere, ist zum besten der Menschheit zu wünschen, dass Aerzte, die den Fortgang der Heilkunde am Herzen haben, die nötigen Versuche zu machen sich eilen, und dies zwar vorzüglich in Spitälern, damit eventuell, ob der Gebrauch dieser Luft vorteilhaft sei, es so bald als möglich entschieden würde.- Gleichwie in einer Sache von dieser Erheblichkeit einem wohlgesinnten und scharfsinnigen Manne nicht ansieht zu leichtsinnig ein Endurteil zu fällen, ebensowenig muss man gleich Triumph schreien, so bald man einigen Anschein des Erfolges erblickt. Noch weniger aber geziemt es sich, ein Arzneimittel gleich zu verwerfen, wenn es nicht den ersten Kranken, über die man es versucht, die Kur bewirkt. Indem wo wegen der grossen Zerrüttungen, die man bei Oeffnung der Leichen in den Eingeweiden antrifft und im Leben des Kranken nicht einmal vermutet hätte, sehr viel durchaus unheilbare Krankheiten gibt. Man stelle also die ersten Versuche nicht über schon verloren gegebene Kranke an.“ [137] So zitierte Michaelis im Jahr 1906 in seinem Vorwort zum „Handbuch der Sauerstofftherapie“ Ingenhouz aus seiner „Abhandlung über die Natur der dephlogistizierten Luft etc. 1782“. Michaelis sah in der Tatsache, dass Ingenhouz kein Gehör geschenkt wurde, den Grund für die lange Zeit, die die Sauerstofftherapie bis zu ihrer Etablierung als therapeutische

Heilmethode benötigte [137]. Er betrachtete seinen Vortrag über Sauerstoffinhalationen auf dem Kongress für Innere Medizin in Wiesbaden im Jahr 1900 als Ausgangspunkt einer erneuten Beschäftigung mit der in Vergessenheit geratenen Sauerstofftherapie [137]. Er bezeichnete die Untersuchungen seines Lehrers von Leyden als ständigen Ansporn, weitere Versuche zu unternehmen und wies namentlich auf die Physiologen Zuntz, Mosso, Jakoby, Haldane, Loewy und Gärtner hin, die sich ebenfalls durch die Forschungen v. Leydens angetrieben fühlten, weitere Versuche zu unternehmen [137]. „[...] Die Anerkennung des Sauerstoffes als wissenschaftlich hervorragendes Heilmittel soll dem Kurpfuscherwesen den Boden entziehen, auf welchem es mit dem Anscheine der Wissenschaftlichkeit so lange sein Unwesen treiben konnte, als eine sachgemässe Kritik fehlte“ [137] schreibt Michaelis in seinem Vorwort über den Sinn seines „Handbuch der Sauerstofftherapie“.

In Michaelis' Werk beschrieb von Leyden im Vorwort die Anfänge: Die Sauerstofftherapie, d.h. die Verwendung des Sauerstoffs als Heilmittel, war so alt wie die Entdeckung des Sauerstoffs selbst durch Priestley und Lavoisier [137]. Die Bedeutung ihrer Entdeckung war ihnen bewusst, würde doch ein Sauerstoffentzug bei der Atmung den Tod zur Folge haben. In den 1860er Jahren entdeckte Schönbein das Ozon, Lender stellte Ozonwasser her, auch Waldenburg [188] sprach sich für den Sauerstoff aus, und Kühne verwendete Sauerstoff bei Kohlenoxidvergiftungen, was die Diskussion um die Sauerstofftherapie belebte [137]. Zur gleichen Zeit, im Jahr 1867, unternahm von Leyden erste erfolgreiche Versuche mit Sauerstoff in der Medizinischen Klinik zu Königsberg, verfolgte diese aber nicht weiter. Es wurde wieder ruhig um die Sauerstofftherapie. Die Gründe dafür sah er in der unkritischen Verwendung des Sauerstoffs als Heilmittel für jede erdenkliche Erkrankung, in der mangelnden Möglichkeit der Herstellung ausreichender Mengen Sauerstoff, der fehlenden Transportmöglichkeit sowie der Verunreinigung mit anderen Gasen. Auch die ablehnende Haltung der medizinischen Wissenschaft und die Ergebnisse der physiologischen Forschungen, die der Sauerstoffanwendung ihre Wirksamkeit absprachen, trugen dazu bei [137]. Besonders in Deutschland betrachtete man den Sauerstoff nicht als Heilmittel. Dagegen wurden in Frankreich, England, Russland, Österreich und

Italien mehr praktische Sauerstoffanwendungen benutzt: „Wir mussten hören, dass gerade bei hochgestellten Persönlichkeiten in ihrer letzten Krankheit die Erleichterung der Atembeschwerden durch O-Inhalation versucht und gefunden wurde.“ [137]

Mehrere Fortschritte führten zu einer erneuten Anwendung des Sauerstoffs. Dieser konnte seit dem Ende des 19. Jahrhunderts in großen Mengen und mit wenigen Verunreinigungen günstig produziert werden. Auch die Apparate zur Einatmung des Sauerstoffs waren weiter entwickelt worden, die Feuerwehr verwendete beispielsweise Sauerstoffgeräte zum Schutz ihrer Mitarbeiter. Verschiedene Methoden der Einbringung von Sauerstoff in den Körper fanden Anwendung, so zum Beispiel über die Nahrung, über den Darm, in das Blut über venöse Gabe sowie durch subkutane und intrapleurale Verabreichung. Durch diese Fortschritte bedingt, kamen die wissenschaftlichen Untersuchungen über die Sauerstoffanwendungen zu besseren Ergebnissen und bildeten so die Grundlage für seine praktische Anwendung [137]. Auch der historische Überblick über die Sauerstofftherapie fehlte nicht in Michaelis Werk, beschrieben von Pagel. Er teilte diese in zwei Episoden: Die erste, beginnend mit der Entdeckung des Sauerstoffs durch Priestley im Jahr 1777 (Pagel verweist auf Scheele, der das Gas schon früher entdeckt, aber seine Ergebnisse nicht publiziert hatte und auf Lavoisier, der die Ergebnisse Priestley´s bestätigte), bezeichnete er als „[...] rohen klinischen Empirismus, beginnend mit Enthusiasmus und überspannten Hoffnungen, nach kaum drei Jahrzehnten mit Misserfolg und Entsagung endend, [...]“ [137]. Die zweite Episode kennzeichnete eine durch Skepsis und Kritik geprägte Phase in der Hälfte des 19. Jahrhunderts, welche erneut den Sauerstoff einer Prüfung unterzog, um ihn schließlich als Heilmittel für bestimmte Indikationsbereiche anzuerkennen [137]. „Zwischen beiden Perioden liegt als eine ziemlich isolierte Phase der auf deutschem Boden vorübergehend eingetretene Ozonrausch, der eine besondere Würdigung erheischt“ [137]. Detailliert beschreibt Pagel Priestley´s Untersuchungen, die schon damals Ergebnisse mit unglaublicher Aktualität erbrachten: „Bei verschiedenen Einatmungsversuchen hatte er das Gefühl, als ob ihm seine Brust leichter würde und er bequemer Atem holen könnte. An Mäusen konnte er nachweisen, dass sie ceteris paribus dreimal so

lange in der „dephlogistizierten“ als in gewöhnlicher Luft lebten. Priestley erkannte auch bereits die rötende Kraft für das dunkle venöse Blut, und es ist lehrreich zu erfahren, dass er mit genialem Instinkt schon Indikationen und Kontraindikationen für den Sauerstoff formulierte, die abstractis abstrahendis unseren gegenwärtigen Anschauungen sich nähern. Danach würde die neue Luftart nützlich sein, um eine unvollkommene Verbrennung zu vollenden, die gewöhnliche Luft zu ergänzen, der Asphyxie vorzubeugen, resp. sie zu heilen, d.h. Scheintote wiederzubeleben; dagegen könnte, zu lange angewendet, der Sauerstoff die Verbrennung übertreiben und konsumptiv wirken, eine Ursache der Abzehrung bilden. Priestley empfahl bereits Sauerstoff zur Reinigung der Luft in Hospitälern“ [137].

Zur Wiederentdeckung des Sauerstoffs trug einerseits die Veröffentlichung Schönbeins bei, der im Jahr 1840 das Ozon entdeckte: „Ozon erwies sich bekanntlich als eine aktive Form, als verstärkte, potenzierte Modifikation des Sauerstoffs, und der Wunsch, ihn praktisch auf seine Heilkraft zu erproben, musste naturgemäss wieder dem Sauerstoff eine grössere Aufmerksamkeit zulenken“ [137]. Andererseits wurde bei der um 1846/47 eingeführten Äther-/Chloroformnarkose der Sauerstoff zur Vermeidung der oft im Anschluss an die Narkose auftretenden Asphyxien als zuverlässiges Gegenmittel angewendet [137]. Aus der nicht zu überblickenden, zahlreich vorhandenen Literatur lassen sich insbesondere die Arbeiten von drei Autoren bezüglich des Wiederaufkommens der Sauerstofftherapie herausstellen: Die Arbeiten des Engländers S.B. Birch, des Franzosen Jean-Nicolas Demarquay (geb.1811-gest.1875) in Paris und des Deutschen Constantin Lender (geb.1820-gest.1888) in Berlin und Kissingen [137]. Birch heilte syphilitische Hautgeschwüre und chronische Furunkulose durch zweimonatige tägliche Sauerstoffinhalationen, denen er eine blutreinigende Wirkung zuschrieb. Er empfahl Sauerstoff bei Krankheiten des Hirns, der Lunge, Leber, Milz, des Pfortadersystems, des Uterus, der Ovarien und bei Gicht. Für Birch war die Wirkung des Sauerstoffs eine sedierende. Er wendete „Aqua oxygenata saturata“ an, inhalierte mit „Oleum ozonisatum“ in Verdünnung mit atmosphärischer Luft und schlug sogar die Gabe von mit Sauerstoff angereichertem Brot vor [137]. Demarquay wendete Sauerstoffinhalationen erfolgreich bei Phthisis, Asthma, Herzkrankheiten, Anämie, Blutverlusten nach

Entbindungen, Skorbut, Fieber, Asphyxie, Vergiftungen, gewissen Formen von Diabetes und Gangrän an, wobei er Experimente an sich und seinen Schülern (namentlich genannt werden Leconte und de Laveyesse) und an Tieren durchführte [137]. Lender untersuchte vor allem die Wirkungen des Ozons, das bei Dyspnoe, Asthma, Asphyxie, Anämie, Chlorose, Blutverlusten, Krämpfen, Neuralgien und Lähmungen, Leuchgasvergiftung etc. helfen sollte. Ferner hatte das Ozon nach Lender die Fähigkeit, das Malariagift zu verbrennen [137]. Fraglich blieb, warum ausgerechnet diese Anwendungen das Wiederaufkommen der Sauerstofftherapie beschleunigten. Pagel schrieb kritisch über Lenders Übertreibungen: „Nach Lender ist Ozon eine wahre Panacee, ein „remedium excitans, desinficiens, antispasmodicum, tonicum. Die Einseitigkeit des Autors hatte diese Vielseitigkeit seines Mittels verschuldet“ [137].

Anfang des 20. Jahrhunderts entstammten die jüngsten Vertreter der Sauerstofftherapie dem Kreis um von Leyden und seinem Schüler Michaelis, der erneut die Prüfung des Sauerstoffs als Heilmittel initiierte [137]. Als Befürworter der Sauerstofftherapie konnten neben Michaelis noch Brat (der die Methämoglobinvergiftung untersuchte), Schliep, Prochownik und Hagenbach-Burckhardt (führte Sauerstoffanwendungen bei Kindern durch) genannt werden [137]. Negative Äußerungen zur Wirksamkeit der Sauerstoffanwendungen stammten von Aron, Klemperer und Speck [137].

Herstellung von Sauerstoffgas

Michaelis beschrieb die Herstellung von Sauerstoffgas und verwies auf Priestley, der Sauerstoffgas durch Erhitzen von HgO aufgrund folgender chemischer Reaktion gewann [137]: $2\text{HgO} = 2\text{Hg} + \text{O}_2$

Diese historische Darstellung von Sauerstoff war neben anderen Verfahren zur Sauerstoffgewinnung mittels Permanganat, Blutlaugensalz, chloresäures Kali oder Braunstein üblich, jedoch konnten diese Verfahren nur geringe Mengen Sauerstoffgas produzieren [137]. Der Weg zur Herstellung von Sauerstoff wurde, so Michaelis, erst um das Jahr 1866 durch den französischen Chemiker

Boussingault geebnet, der Luft bei einer Temperatur von 600°C über Bariumoxid leitete: Es entstand Bariumsuperoxid, während der Stickstoff entwich. Das auf 800°C erhitzte Bariumsuperoxid zerfiel schließlich zu Bariumoxid und reinem Sauerstoff. Boussingault scheiterte jedoch, da das Bariumoxid nach kurzer Zeit keinen Sauerstoff aus der Luft mehr aufzunehmen vermochte [137]. Den Grund für sein Scheitern fanden drei Jahrzehnte später die in England lebenden französischen Brüder Brin, die das Brin'sche Verfahren etablierten und damit den Weg zur industriellen Produktion von Sauerstoff ebneten [137]. Sie zeigten, dass die Beimischungen der Luft wie Kohlensäure, Wasserdampf, organischer Staub, Bakterienkeime und Ähnliches sich mit dem Bariumoxid verbanden und dadurch die Bildung von Bariumsuperoxid verhinderten. Nachdem die eingeleitete Luft von diesen Beimengungen befreit worden war, konnte durch das Brin'sche Verfahren, basierend auf der Boussingault'schen Theorie, auf einfache und billige Weise Sauerstoff gewonnen werden. Dieses Verfahren wurde in der Sauerstofffabrik Berlin zur Gewinnung von Sauerstoff angewendet [137]. Michaelis beschrieb weitere Verfahren, wie die Gewinnung von Sauerstoff aus Kalciumpulmat, die Gewinnung von Sauerstoff durch Elektrolyse und die Herstellung von Sauerstoff aus Natriumperoxid. Diese Verfahren waren jedoch nicht so relevant und verbreitet wie das Brin'sche Verfahren, daher soll nur der Vollständigkeit halber auf diese Herstellungsmöglichkeiten verwiesen werden [137].

Jedoch nicht nur die für die inhalative Therapie notwendige Gasform des Sauerstoffs war von Bedeutung, auch andere Sauerstoffpräparate, wie Sauerstoffwasser, Ozon und Wasserstoffsuperoxid wurden angeboten. So ging Michaelis auf den Gebrauch von Sauerstoffwasser ein, das über den Magen-Darm-Trakt dem Organismus den benötigten Sauerstoff zuführen sollte. Michaelis sah in dieser Art der Verabreichung keinen Nutzen und verwies auf England und Frankreich, wo Sauerstoffwasser in größerem Maße verwendet wurde als in Deutschland [137]. Schließlich erwähnte er das Ozon, entdeckt von Schönbein im Jahr 1840, das in O_2 und O zerfällt und ein potentes Oxidationsmittel darstellte [137]. Ozon wirkte reizend auf Schleimhäute, und durch Erhitzen bei 200°C ließ es sich in O_2 und O umwandeln.

Methodik und Apparatur der Sauerstofftherapie

Schon Priestley und Lavoisier sahen in der Inhalation des Sauerstoffgases den besten Applikationsweg. Auch für Michaelis stellte die Inhalation das gebräuchlichste Verfahren dar [137]. Er berichtete jedoch auch über Versuche, in denen der Dickdarm mit 5 Liter Sauerstoff aufgebläht worden war. Dazu war es nötig, das Darmrohr möglichst weit kranial einzuführen und mit einem sauerstoffgefüllten, 15-Liter fassenden Ballon zu verbinden. Bei Schmerzen sollte der Patient sich sofort äußern, und die Sauerstoffzufuhr wurde unterbrochen [137]. In gemeinschaftlichen Versuchen mit Loewy stellte Michaelis nach Einführung von Sauerstoff ins Rektum einen leicht ansteigenden Sauerstoffverbrauch und einen sinkenden respiratorischen Quotienten fest. Aus den resultierenden geringen Effekten auf die Werte des Gaswechsels schloss Michaelis, dass sich die Methode der rektalen Sauerstoffzuführung als nicht geeignet erwies [137]. Nicht nur die rektale und perorale Anwendung, auch die Aufnahme von Sauerstoff über die Haut wurde untersucht. Michaelis verwies auf Ergebnisse von Regnault und Reiset, die eine Kohlensäureausscheidung über die Haut von $1/220$ der Ausscheidung über die Lunge sowie eine Sauerstoffaufnahme über die Haut von $1/180$ der Lunge zu belegen schienen [137]. Diese geringen Beträge hatten keine Auswirkung auf die Sauerstoffaufnahme des Organismus. Aufgrund der geringen oder fehlenden Effekte wurden diese Therapieoptionen verlassen [137]. Ferner fanden subkutane, intravenöse, intrapleurale und intraperitoneale Anwendungen von Sauerstoffgas statt, die als nicht hoffnungsvoll – ausgenommen die intravenöse Anwendung – bezeichnet wurden. Hierzu verwies Michaelis auf die Abhandlung Gaertners zur intravenösen Sauerstofftherapie [137].

Die ersten Apparate zur inhalativen Anwendung des Sauerstoffgases waren einfache Reservoirs zur Aufbewahrung und Abgabe des Sauerstoffs. An der Öffnung des Apparates war ein Hahn angebracht, dem ein maskenähnliches Gebilde folgte und sich der Gesichtsform anpasste. Michaelis zeigte einen aus einer gereinigten und gefetteten Ochsenblase bestehenden Apparat aus Johann Ingenhouz Abhandlung „Ueber die Natur der dephlogistizierten Luft“ [137]. Inhaliert wurde über die Nase, der Mund blieb völlig frei, da Ingenhouz die

Inhalation durch den Mund als zu anstrengend empfand – eine Meinung, die Michaelis teilte: „[...] eine Erkenntnis, welche auch heute noch vielfach nicht berücksichtigt wird. Die Wiedereinführung des Mundstückes bedeutete einen wesentlichen Rückschritt“ [137].



Abb. 16: Ein erster Sauerstoffatmungsapparat. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, S.121, Fig. 5 [137].

Nur diese beschriebenen Apparate waren erhältlich, als Michaelis begann, sich in der I. Medizinischen Klinik mit der Sauerstofftherapie zu beschäftigen. Die Aufbewahrung des produzierten Sauerstoffs war in Stahlzylindern möglich geworden und die Schweinsblasen durch Gummiballons ersetzt worden: „Der Sauerstoff wurde aus einem Stahlzylinder in einen Gummiballon durch einen abschliessbaren Gummischlauch geführt; derselbe wurde dann von der Sauerstoffbombe entfernt und mit einem mit einer Olive versehenen Gummischlauchstück verbunden. Diese Olive diente zur Einführung in eine Nasenöffnung oder in den Mund“ [137].



Abb. 17: Einfacher Sauerstoffapparat mit Stahlzylinder. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, S. 218, Fig. 1 [137].

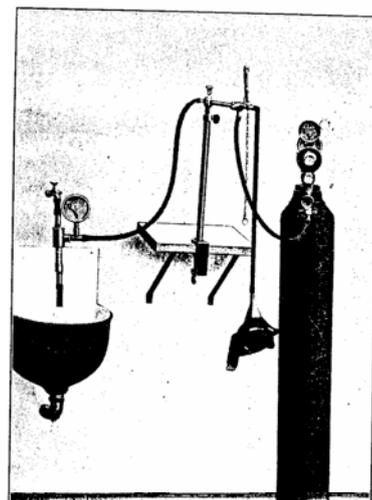
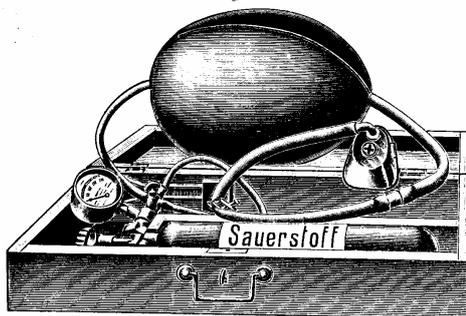


Abb. 18: Erste Sauerstoffapparate. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 8 und 10 [137].

Die therapeutischen Indikationen der Sauerstofftherapie

Aus physiologischer Sicht wurden die Indikationen für die Sauerstofftherapie in den meisten Fällen nicht anerkannt, da die Experimente an gesunden Tieren durchgeführt worden waren. Eine Simulation pathophysiologischer Verhältnisse war an vergifteten Tieren möglich. So wurden Sauerstoffinhalationen bei Kohlenoxidvergiftungen, bei Anilin-, Morphium-, Benzol-, Strychnin- und Nitrobenzolvergiftungen an Tieren erprobt und führten zu dem Ergebnis, dass die Sauerstoffanwendung wirksam war [137]. Besonders im Fall der Strychninvergiftung wurde bewiesen, dass durch Strychnin verursachte Krämpfe durch Sauerstoffinhalationen gebessert werden konnten [137]. „Theoretisch, aber nicht experimentell (abgesehen von der Luftschiffahrt) wurde von denjenigen Physiologen, die der Sauerstofftherapie freundlicher gegenüber standen – ich nenne hier Zuntz und Löwy – die Möglichkeit einer Einwirkung in allen Fällen zugegeben, wo es sich um eine hochgradige Herabsetzung des Sauerstoffgehaltes der Luft in den Lungenalveolen selbst handelte [...]. Hierher gehören Verengerungen der luftzuführenden Wege, Stenosen der Trachea und Bronchien. Klinisch würden bis zu einem gewissen Grade hier auch alle Krankheiten, in denen überhaupt eine Stauungsbronchitis, z.B. bei Herzaffektionen, vorliegt, in Betracht kommen. Physiologische Experimente über diesen Gegenstand stehen bis jetzt noch aus.“ [137] Für Michaelis bestand kein Zweifel daran, dass Sauerstoffgaben bei jeder Art von Sauerstoffmangel des Organismus anzuraten waren. Das Problem war eher die Frage der richtigen Applikation [137]. Als Indikationen nach Michaelis zählten Stenosen des Larynx, der Trachea und der Bronchien. Insbesondere die bei Diphtherie auftretenden Larynxstenosen ließen sich bis zur Intubation oder unvermeidbaren Tracheotomie sehr günstig beeinflussen [137]. Auch durch Kompression hervorgerufene Larynxstenosen bei Tumoren oder Aneurysmen, Bronchiolitis obliterans und schwere Stauungspneumonien waren der Behandlung durch Sauerstoff zugänglich [137]. Michaelis beschrieb besonders hier sehr eindrucksvoll eine rasche Besserung der Zyanose, der Atemnot und des Angstgefühls schon nach einigen wenigen Atemzügen der Sauerstoffinhalation [137]. Die besonders hier so rasch und eindrucksvoll eintretende Besserung der Symptome unter

Sauerstoffgabe war für Michaelis der Hauptgrund, seine klinischen Untersuchungen mit Sauerstoffinhalationen fortzuführen [137]. Bei Lungenerkrankungen mit Diffusionsstörungen beschrieb er die Sauerstoffanwendungen als „Weniger erfolgreich, wenn auch keineswegs aussichtslos, [...]“ [137]. Als Beispiele nannte er Kompression von Lungengewebe durch Pleuraexudat und Pneumonien mit Reduktion des am Gasaustausch beteiligten Gewebes. Unter Sauerstoffinhalation reduzierten sich die Atemfrequenz und -tiefe, was besonders bei dyspnoischen Patienten ein Gefühl der Erleichterung verschaffte [137]. Michaelis widerlegte endgültig den Vorwurf, dass es sich bei den beobachteten Effekten um Suggestion handelte: „Grade bei dieser Frage kommt es uns jetzt besonders zu nutze, dass in den letzten Jahren die Tierarzneikunde angefangen hat, die Sauerstoffinhalationen für sich zu verwerten. Wurde uns früher der Vorwurf gemacht, dass die Suggestion bei unseren Patienten ein Herabgehen der Atmungsfrequenz und der Pulsfrequenz bewirken, so darf dieser Einwand, seitdem bei verschiedenen Affektionen bei Tieren, besonders bei der Brustseuche der Pferde, in einer ganz beträchtlichen Anzahl von Fällen immer wieder ein Heruntergehen der Puls- und Atmungsfrequenz beobachtet wurde, als erledigt betrachtet werden.“ [137] Bei Herzerkrankungen erwartete Michaelis einen Nutzen bei bestehender Lungenbeteiligung. Die Zyanose bei angeborenen Herzfehlern jedoch schien durch Sauerstoffgabe nicht oder nur in sehr geringem Maße beeinflussbar. Nach seiner Überzeugung wurde das venös-arterielle Mischblut in der Lunge schon maximal mit Sauerstoff gesättigt, sodass von zusätzlicher Sauerstoffgabe keine Effekte zu erwarten waren [137]. Sauerstoffanwendungen bei Vergiftungen bescheinigte Michaelis eine besonders eindeutige Wirksamkeit. Bei Kohlenoxid-, Gas- und Rauchvergiftungen, bei zur Methämoglobinbildung führenden Vergiftungen (Anilin-, Benzol-, Nitrobenzolvergiftungen) und bei Morphin- und Opiumvergiftungen war die Wirksamkeit des Sauerstoffs bewiesen [105,137]. Eine lebensrettende Wirkung konnte Sauerstoff bei akutem Blutverlust haben, wie Küttner in seinen Versuchen zeigte [137]. Eine krampfstillende Wirkung des Sauerstoffs glaubte Michaelis bei Strychninkrämpfen feststellen zu können und verwies auf Versuche von Jacobi und Leube. Auch bei Chorea, Eklampsie, Epilepsie und Tetanus sollte der Sauerstoff krampfstillend wirken [137]. Eher

skeptisch betrachtete Michaelis die Anwendung von Sauerstoffinhalationen bei Stoffwechselerkrankungen wie Gicht, Fettleibigkeit und Diabetes [137]. Etwas skurril mutete die Absicht an, experimentell erzeugte Glukosurie an Tieren durch intravenöse Sauerstoffinjektionen zu verhindern, wie angeblich im Jaffé'schen Labor in Königsberg gezeigt wurde [137]. Zur Anwendung des Sauerstoffs bei Chloroform- und Äthernarkosen verwies Michaelis auf Wohlgemuths Arbeiten [137]. Anfänglich wurden Sauerstoffinhalationen nur bei drohender Asphyxie angewendet, jedoch gingen Landerer, Prochownik und Grosse dazu über, Sauerstoff nach jeder Narkose zu verabreichen. Sie hofften auf ein schnelleres Erwachen aus der Narkose und auf geringere, narkosebedingte Nebenwirkungen [137].

Auch kombinierte Sauerstoffchloroformnarkosen wurden angewendet, wie Arbeiten von Aronson [9] und Braun [31] 1901 zeigten. Die Sauerstoffzufuhr begann bereits mit der Gabe der narkotisch wirksamen Substanzen. Michaelis empfand bei dieser Anwendung den durch den Sauerstoff bedingten längeren Narkoseeintritt als Nachteil, jedoch war das Exzitationsstadium geringer ausgeprägt, der Patient hatte einen gleichmäßigeren Puls, eine rosigere Gesichtsfarbe und Erbrechen, Übelkeit und Kopfschmerzen als Nebenwirkung der Narkose traten seltener oder in abgeschwächter Form auf [137]. Ein weiterer positiver Effekt der Kombinationsnarkose aus Sauerstoff und Chloroform war die Reduktion der zur Muskeler schlaffung notwendigen Chloroformdosis. Eine Überdosierung war somit fast ausgeschlossen [137].

Hillischer und Kobert kombinierten Lachgas mit Sauerstoff. Kobert tat dies im Verhältnis 4:1/2 oder 1 und erreichte trotz hypoxischer Applikation ein deutlich herabgesetztes Schmerzempfinden bei fehlender Bewusstlosigkeit und fehlender Zyanose [137]. Konnte die reine Lachgasnarkose nur über einige Minuten angewendet werden, war die kombinierte Lachgas-Sauerstoffnarkose über längere Zeit durchführbar. Kobert sah die Geburtshilfe, die Zahnheilkunde, die kleine Chirurgie und die Behandlung an Tuberkulose Erkrankter als Indikationsbereich für diese Art der Narkose [137]. Die Anwendung von Sauerstoffinhalationen war nach Michaelis besonders angebracht in den

Tätigkeitsbereichen von Luftschiffern, Bergsteigern, Tauchern und Bergwerksarbeitern, da die Arbeit in verdichteter und verdünnter Luft und in giftigen Gasen verrichtet werden musste. Die Sauerstoffeinatmungen sollten in prophylaktischer Absicht die Entstehung von Schädigungen vermeiden. Waren jedoch Schäden aufgetreten, sollte der Sauerstoff diese beheben helfen [16,17,137]. Aber auch andere Anwendungsmöglichkeiten wurden diskutiert. So schrieb Baedeker 1910 in Berlin über „Das Sauerstoffbad in der ärztlichen Hausarztpraxis.“ [10] und Dumstrey äußerte sich 1911 zur Ozon- und Sauerstoffanwendungen in der Medizin [54].

Bernhard Dräger resümierte in seinem Werk „Der Retter Sauerstoff“ im Jahre 1912 über die unterschätzte Wichtigkeit des Sauerstoffs [53]: „[...] Macht man sich jedoch mit den ungeheuren Luftmengen bekannt, welche wir als Sauerstoffnahrung täglich, stündlich, ja minütlich ununterbrochen gebrauchen, so erscheinen einem Luftnahrungssorgen, die etwa eintreten könnten, in einem erschreckenden Lichte, [...]“ [53]. Durch Forschungen an Sauerstoff-Rettungsapparaten erhielt er folgende Ergebnisse: „Nun wird man fragen, wie viel Sauerstoff man denn gebraucht. Wird man mir glauben, wenn ich sage, daß ein normal lebender Mensch, der tagsüber arbeitet und nachts ruht und der täglich etwa 2 bis 3 kg feste Nahrung zu sich nimmt, dazu etwa 20 cbm Luft im Gewicht von 28 kg ein- und ausatmet, und daraus 700l=1kg Sauerstoff sich einverleibt, ihn im Körper zu Kohlensäure verarbeitet und davon etwa 1000l=2kg wieder ausatmet?“ (S. 6)[...] Ein Land von 50 Millionen Einwohnern verbraucht jährlich: 12 ¼ Milliard. Cbm=17 ½ Mill. Tons Sauerstoff, [...]. Müßte diese Sauerstoffmenge als Lebensmittel importiert werden, so würde sie zu ihrer Beförderung auf der Eisenbahn fast eine Million Eisenbahnwagen à 20000 kg Ladefähigkeit erfordern. An Hand solcher Überlegungen gelangt man zur Würdigung der Bedeutung des Sauerstoffs für unsern Lebensprozeß, und man wird zugeben, daß ein Atmungsapparat, der den Menschen befähigen soll, stundenlang ohne Luftzufuhr von außen zu leben und dabei schwer zu arbeiten, eine große Aufgabe zu erfüllen hat. Zielbewußte Arbeit auf diesem spröden Gebiet hat es auch hier zuwege gebracht, die Herrschaft des Menschen über die Natur zu erzwingen und ihm den Luftspeicher, der ihm von der Natur im Körper versagt ist, auf künstlichem Wege

zu schaffen.“ [53]. Die Dräger'schen Systeme waren zu dieser Zeit bereits in der Lage, pro Minute 50 Liter reine Luft zu liefern, konnten minütlich 2 Liter Sauerstoff abgeben und sollten die bei 2 Stunden Arbeit anfallende ausgeatmete Kohlendioxidmenge von 94 Litern neutralisieren können [53].

In Michaelis' "Handbuch der Sauerstofftherapie" schrieb Wohlgemuth in seiner Abhandlung „Der Wert des Sauerstoffs in der Chirurgie“: „Wie der Sauerstoff bald nach seiner Entdeckung einen unaufhaltsamen Siegeszug durch das ganze Gebiet der inneren Medizin nahm und die interne Therapie eine lange Zeit vollkommen beherrschte, sodass man mit Recht von einer „pneumatisch-therapeutischen Aera sprechen konnte, so konnte es nicht Wunder nehmen, dass auch die Chirurgie diese „Lebensluft“ sich nutzbar zu machen suchte“ [137].

Bereits 1784 empfahl Johann Ingenhouz die Anwendung von O₂ bei verunreinigten Wunden [137]. Mit der Entdeckung der Aether- und Chloroformnarkose rückte der in Vergessenheit geratene Sauerstoff als Mittel zur Belebung asphyktischer Patienten wieder in den Mittelpunkt des Interesses [137]. Nur bei akut einsetzendem Sauerstoffmangel wurde Sauerstoff verabreicht, jedoch wendeten Kliniker wie Landerer, Prochownick und Grosse den Sauerstoff prinzipiell nach jeder Narkose an. Prochownick ging bei dieser Methode davon aus, „dass, wenn die Experimente von Thomas Beddoes (4) über die wiederbelebende Wirkung des Sauerstoffs richtig waren, eine sofort eingeleitete Sauerstoffeinatmung, wenn die Betäubung des Kranken nicht mehr Bedürfnis für den Operateur war, schnelleres Erwachen und wahrscheinlich auch besseres Befinden nach der Narkose zur Folge haben würde, was besonders bei Operationen am Leibe von eminenter Bedeutung sein konnte, wenn die Patienten bald nach der Operation imstande wären, bewusst still zu liegen, möglichst nicht zu brechen, überhaupt alle Erschütterungen des Leibes zu vermeiden“ [137].

Den Sauerstoff gemeinsam mit dem Narkotikum einatmen zu lassen, das hatte bereits im Jahr 1850 Ducroy getan und damit die kombinierte Sauerstoff-Chloroformnarkose angewendet [137].

1887 benutzte Neudörffer in Wien erneut dieses Sauerstoff-Chloroformgemisch, indem er [...] „ in einer Blase mit bekanntem Sauerstoffinhalt eine bestimmte

Menge Chloroform zum Verdampfen [brachte] und liess das so hergestellte Chloroform-Sauerstoffgemenge einatmen. Im Jahre 1887 hat Kreuzmann (7) selber nun eine Methode angegeben, die darin bestand, dass er aus einem grossen, Sauerstoff enthaltenden Gummisack Luft durch den Juncker'schen Chloroformapparat pumpte. Ueber die Resultate von 28 solcher Narkosen schreibt er nun: Die Patienten boten nicht das Bild tiefen Komas wie bei gewöhnlicher Chloroform- oder Aethernarkose, sondern das eines ruhig Schlafenden. In allen Fällen erwachten sie mit sofort völlig freiem Bewusstsein wie aus gutem Schlafe, sogar das Strecken und Dehnen Erwachender haben wir gesehen! Keine Klage, keine Uebelkeiten, kein Erbrechen!“ [137]. Jedoch auch diese Methode fand vorläufig keine weitere Verbreitung aufgrund der problematischen Produktion der notwendigen Mengen an Sauerstoffgas [137]. Erst mit der Möglichkeit der Herstellung großer Mengen und der Speicherung in Stahlzylindern kam auch die Sauerstoff-Chloroformnarkose wieder in Verwendung.

Die ersten neuen Sauerstoff-Chloroformapparate stammten 1895 aus Amerika (S. William, J.N. De Hart) [137].



Abb.19: Amerikanischer Apparat aus dem Jahre 1896. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 1, S. 484, [137].

Für Wohlgemuth lag der Grund in der geringen Verbreitung der Sauerstoff-Chloroformnarkose bis zu diesem Zeitpunkt an den mangelhaften Möglichkeiten einer Verabreichung des Gasgemisches aufgrund wenig entwickelter Apparatetechnik [137].

Er schrieb über die inhalative Anwendung des Sauerstoffs: „Die neuen Erfolge der Leydenschen Schule mit der Sauerstofftherapie und im besonderen die Wahrnehmungen, die ich selber auf der I. medizinischen Klinik der Kgl. Charité auf der Abteilung des Herrn Professor Max Michaelis machen konnte, gaben mir aufs neue den Gedanken ein, die Gefahren der Chloroformnarkose durch die gleichzeitige Darreichung von Sauerstoff zu bekämpfen. Und wenn ich auch damals von den bereits voraufgegangenen Versuchen nichts wusste, so haben mir dieselben doch gezeigt, dass das Prinzip ein richtiges und dass die weitere Verbreitung nur daran gescheitert war, dass noch keine praktisch einfache und zuverlässige Form der Darreichung des Chloroform-Sauerstoffgemisches gefunden war. Die ersten Narkosen, die ich mit absolut unvollkommener Einrichtung derart machte, dass ich einen Sauerstoffstrom durch eine geschlossene Maske streichen liess, in der ein mit Chloroform getränkter Gazetupfer lag, waren besonders da sie am schlechtesten Material stattfanden, an 3 Kindern, die schon wegen mehrfacher Knochentuberkulosen zwei und drei mal chloroformiert waren und jedesmal eine Asphyxie bekamen, sodass längere künstliche Atmung nötig war, derartig überraschend, dass ich überzeugt sein musste, dass die Zusammensetzung von Sauerstoff mit dem Chloroform im Moment der Darreichung von hervorragender Bedeutung für die Abwendung der Gefahren des Chloroforms sein musste“ [137].



Abb. 20: Die Sauerstoff-Chloroformnarkose. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 3. S. 485 [137].

Wohlgemuth ließ seinen ersten Apparat von der „Sauerstoff-Fabrik Berlin“ anfertigen [137].

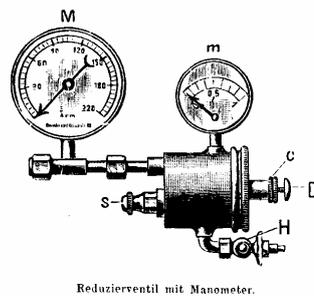
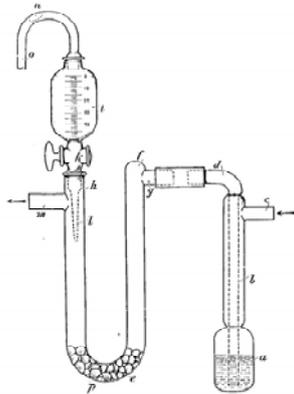


Abb. 21: Erster Sauerstoff-Chloroformapparat nach Wohlgemuth. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 4,5. S. 486-487 [137].



Abb. 22: Das Chloroform-Sauerstoff-Narkosegerät von Wohlgemuth (1901). Technisch handelt es sich hierbei weitgehend um eine Modifikation des von Michaelis erstmals um 100/1901 beschriebenen Sauerstofftherapie-Apparates. Aus: Strätling, M, Schmucker, P: 100 Jahre Sauerstofftherapie, Abb. 3, [179].

Wohlgemuth selbst sah aufgrund offensichtlicher technischer Mängel keine weitere Verwendung für diesen ersten Apparat [137], jedoch soll das Grundprinzip kurz erläutert werden: „Aus einem – für den klinischen Betrieb 1000-1200 l komprimierten Sauerstoffs fassenden – Stahlzylinder strömte der Sauerstoff unter

einem bestimmten regulierbaren Druck von $1/10 - 2/10$ Atmosphäre durch ein U-Rohr, in das aus dem 50 ccm fassenden graduierten Chloroformbehälter ebenfalls regulierbar tropfenweise Chloroform auf einen am Grunde des U-Rohres liegenden Gazetupfer (P) fällt (Fig.4). Dieses Chloroform, das in dem Tupfer eine möglichst grosse Oberfläche einnimmt, wird nun gleich von dem Sauerstoffstrom gasförmig mitgenommen und durch einen entsprechend langen Schlauch in die Inhalationsmaske geleitet. Diese – aus durchsichtigem Celluloid verfertigt, damit man das Gesicht des Chloroformierten beobachten kann, ohne die Maske zu entfernen – hat auf ihrem Rücken ein drehbares Zuleitungsstück, vermittelst dessen man den Schlauch je nach Stellung des Operateurs, der Seite, an welcher operiert wird, nach rechts, links oder nach hinten lagern kann und ist mit einem Expirationsventil versehen. Ihr Gesichtsausschnitt ist so gestaltet, dass sie mit Hilfe eines am Rande aufsitzenden, aufzublasenden Gummirandes nach Bedürfnis vollkommen luftdicht abschließen kann. Der Sauerstoff hatte, bevor er in das U-Rohr eintrat, zwei Manometer zu passieren, deren grösseres (M) (Fig.5) dem Zylinder am nächsten stehendes, den Inhalt desselben in Atmosphärendruck anzeigte, bei halbvollem Zylinder 50 Atmosphären usw. – deren kleineres (m) als Reduzierventil diente und einen Druck bis zu einer Atmosphäre zuliess, der durch eine vor oder unter ihm angebrachte Schraube (D) durch Lockerung derselben verringert, durch hineindreihen derselben verstärkt werden konnte. Der Sauerstoffstrom konnte so verlangsamt oder beschleunigt werden. Ein Hahn zwischen dem Reduzierventil und dem Chloroformapparat schloss auch nach Aufdrehen des Handrades bei geöffnetem Zylinder den Sauerstoffstrom ab. Der ganze Chloroformapparat stand in einem Blechbecken (Fig.6).

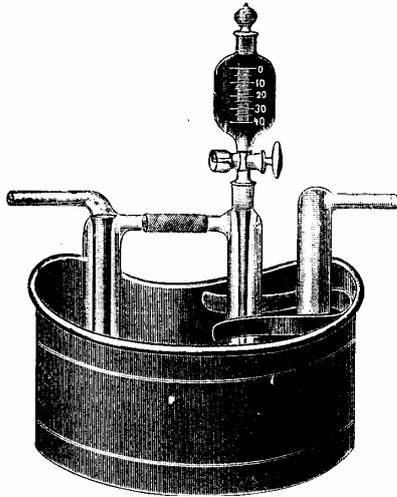


Abb. 23: Chloroformapparat des Wohlgemuth'schen Apparates. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, [137], Fig. 6, S. 487.

Zum Schutze für denselben und das U-Rohr war der Apparat so eingestellt, dass der Schenkel, auf welchen der Chloroformbehälter eingeschliffen ist, der Sauerstoff zuführende, der oben geschlossene Schenkel der das Sauerstoffchloroform-Gemisch zur Maske führende war. Vor dem eigentlichen Chloroformapparat hatte ich noch ein Wassergefäß (Fig. 4 u. 6) eingeschaltet, um eventuell den Sauerstoff nach dem Vorschlage von Kobert (11) anzuweichen“ [137].

Nach Wohlgemuths Auffassung war für die Qualität der Narkose entscheidend, dass sich die zu inhalierenden Gase Sauerstoff und Chloroform erst bei der Inspiration vermischten, da sich das Chloroform bei längerem Kontakt mit Sauerstoff zersetzte [137]. Die genauere Dosierung war seiner Ansicht nach mit der von ihm entwickelten Tropfmethode möglich [137]. An dem 1902 auf einem Chirurgenkongress in Lübeck vorgestellten Apparat von Roth [59] sah Wohlgemuth genau in diesem Punkt eine Fehlkonstruktion, nämlich dass „[...] er den Sauerstoffstrom beständig durch den ganzen Chloroformvorrat streichen liess [...]“ [137].



Abb. 24: Chloroform-Sauerstoff-Narkosegerät von Roth (vorgestellt auf dem Chirurgenkongress 1902 in Lübeck). Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 7. S. 488 [137].

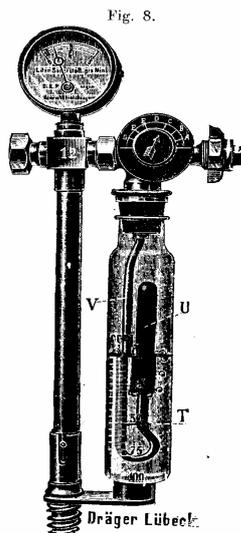


Abb. 25: Vergrößerte Darstellung der Chloroformeinheit am Sauerstoff-Chloroform-Narkosegerät von Wohlgemuth. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 8, S. 488 [137].

Wohlgemuth wies auf Untersuchungen von Falk, Michaelis und Kümmell hin, nach denen das Chloroform schon nach 20 Minuten an Licht und Luft deutliche Zersetzungen zeigte. Diese Zersetzungen traten umso mehr auf, je wärmer und je heller es in der Umgebung war [137]. Das Funktionsprinzip des Roth'schen Apparates war ähnlich dem von Wohlgemuth, jedoch war an diesem Apparat ein sog. Sparbeutel vorhanden (J), ein Sack, der den auch während der Expiration fließenden Gasstrom auffangen sollte. Mittels eines Rückschlagventils wurde ein Eindringen von Expirationsluft in den Sparbeutel verhindert. Ein weiterer Vorteil dieses sich bei jedem Atemzug des Narkotisierten kontrahierenden Beutels

bestand in der optischen Kontrolle der Atmung des Patienten durch den die Narkose verabreichenden Arzt. Roth wandte kein reines Sauerstoffgas zur Mischung mit Chloroformgas an, sondern nur sauerstoffreiche Luft [137]. Wohlgemuth bemerkte: „Er hat zu dem Zwecke am Boden der Maske ein kleines Luftloch angebracht, das wir aus dem Grunde für gut halten, weil bei luftdichtem Abschluss der Maske eine tiefe Inspiration des Patienten bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 3 l Sauerstoff pro Minute nicht genug Luft finden würde. Ich habe deshalb auch von vornherein keinen Wert auf ein luftdichtes Abschliessen der Maske gelegt und dem Chloroformierten daher unter den Rändern der Maske hindurch atmosphärische Luft zukommen lassen.“ [137] Bei der Konstruktion eines verbesserten Apparates legte Wohlgemuth Wert auf die Dosierung des Chloroforms über die Tropfmethode, „[...] weil sie die beste und exakteste Dosierungsform ist [...]“ [137]. Der Apparat war derart konstruiert, dass immer nur die zur Inspiration bestimmte Menge des Chloroform-Sauerstoffgemisches zum Patienten gelangen und eine Zersetzung des Chloroforms somit ausgeschlossen werden konnte [137].

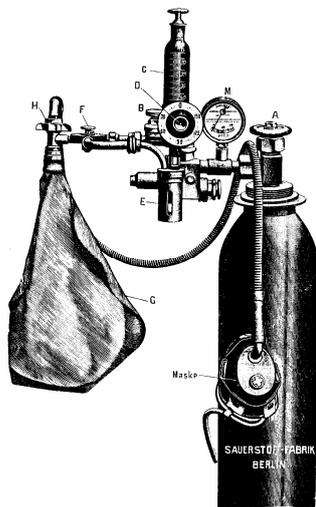


Abb. 26: Der Sauerstoff-Chloroform-Apparat von Wohlgemuth, 1902. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 9, S. 490 [137].

Wohlgemuth publizierte diese Konstruktion im Jahr 1902 im Zentralblatt für Chirurgie [137]. Interessanterweise übernahm auch Roth die bewährte Tropfmethode als therapeutisches Dosierungsprinzip in seine Konstruktion eines Sauerstoff-Chloroformapparates, [...] weil, wie er bei der Publikation seines neuen

Apparates in No. 46 des Zentralblattes für Chirurgie sagt, die Verdunstung des Chloroforms infolge der Abkühlung desselben bei längerem Durchströmen des Sauerstoffes eine Ungenauigkeit in der Dosierung zur Folge hat, auf die es ihm besonders ankommt. Er hat nun von der Firma Dräger in Lübeck einen Apparat konstruieren lassen, der, technisch ausserordentlich exakt gearbeitet, durch die Saugwirkung des Sauerstoffstromes Chloroform tropfenweise sichtbar und hörbar in ein Vakuum fallen lässt, wo dasselbe sofort vergast und von dem Sauerstoffstrom zur Maske geleitet wird. Die Tropfmethode ist hier so exakt wie möglich und hört in demselben Moment auf, wenn der Sauerstoffstrom abgestellt wird [...].“ [137]

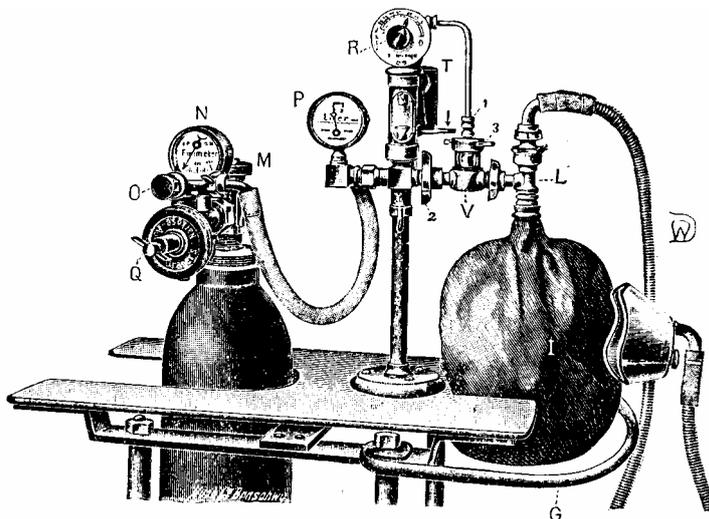
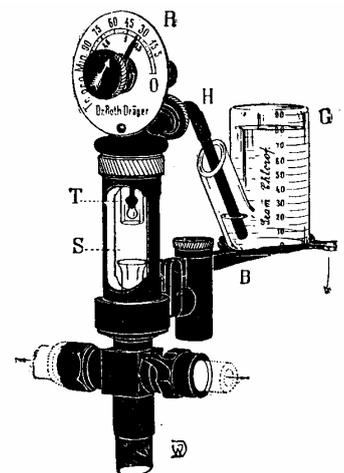


Abb. 28: Sauerstoff-Chloroformapparat von Roth (mit Tropfmethode). Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 11, S. 492 [137].

Abb. 27: Apparat auf Tisch. Sauerstoff-Chloroformapparat von Roth (mit Tropfmethode). Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 10, S. 492 [137].



Für Wohlgemuth entsprachen die Ergebnisse der Anwendung des Sauerstoffs bei der Chloroformnarkose den Beobachtungen, die schon zuvor Prochownick und Grosse mit der Inhalation von reinem Sauerstoff nach der Narkose und die Michaelis mit der Sauerstoffinhalation bei dyspnoischer Zyanose gemacht hatte. Schon im Jahre 1895 äußerte sich Prochownick auf dem VI. Deutschen Gynäkologen-Kongress in Wien äußerst positiv über die auffallend rasche Besserung des Zustandes der Patienten nach der Narkose im Sinne einer rosigeren Gesichtsfarbe, eines regelmäßigeren Pulses und einer regelmäßigeren Atmung [137]. Wohlgemuth selbst bemerkte nach den ersten durchgeführten 300 Narkosen: „Nach den ersten Atemzügen nehmen die Haut und die sichtbaren Schleimhäute eine hellrote Farbe an, sodass hochgradig anämische und schlaffe Patienten eine gesunde Röte zeigen [...]. Der Puls wird langsamer und voller, als ob er unter der Wirkung von Digitalis stände, [...]. Daher muss man, will man z.B. bei Laparatomien dauernd tiefste Narkose und absolute Muskeler schlaffung haben, auch dauernd chloroformieren, ein Zeichen, dass nicht wie bei der gewöhnlichen Chloroformnarkose eine Ueberdosierung in der Weise stattfindet, dass man für 5-10 Minuten tiefster Narkose Chloroform auf einmal geben kann. Wie bei der einfachen Chloroformnarkose hierin zugleich die grösste Gefahr derselben liegt, so müssen wir diese Beobachtung als den grössten Vorteil der Sauerstoffchloroformnarkose betrachten. Die Atemzüge sind absolut gleichmässig, langsam und ruhig. Sie sind nicht von besonderer Tiefe, da kein Sauerstoffmangel da ist. [...] Wie die Sauerstoff-Chloroformnarkose gleich beim Beginn dem Patienten eine angenehme, nicht mit Reizerscheinungen von seiten der Respirationsorgane verbunden ist, so ist auch das Erwachen, welches sehr schnell nach dem Aufhören der Inhalation eintritt, meist in 5-10 Minuten, ein für den Patienten angenehmes und von dem aus der reinen Chloroform – oder Aethernarkose vollkommen abweichendes.[...] In vielen Fällen erfolgt das vollkommene Erwachen noch während des Verbandes auf dem Operationstisch“ [137].

Als Fazit aus den dargestellten Beispielen lässt sich festhalten und belegen, dass sich um das Jahr 1902 der Wendepunkt in der Geschichte der inhalativen Sauerstofftherapie in Deutschland vollzog.

Eine dosierte Applikation war durch technischen Fortschritt mittels Reduzierventilen möglich geworden. Industriell war die Herstellung größerer Mengen reinen Sauerstoffgases möglich, und die inhalative Anwendung am Patienten etablierte sich als therapeutische Heilmethode in großem Umfang, wie in den oben beschriebenen Ausführungen gezeigt werden konnte.

E. Diskussion

Das 1798 von Beddoes gegründete Institut für inhalative Gastherapie ist zweifellos das früheste Zeugnis für der Pneumatischen Medizin, die von England aus ihren Weg in die übrige Welt nahm. Weitere, in der frühesten englischsprachigen Literatur gefundene Hinweise auf Sauerstoff und seine Anwendung als Heilmittel stammten aus dem Jahr 1801 von Hill [91]. Sauerstoff half bei Asthma und bereits Hill erkannte die positive Wirkung des Sauerstoffs bei in Bergwerken arbeitenden Menschen [91]. Gegen Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts finden sich vielfältige Hinweise im englischsprachigen Schrifttum auf die inhalative Anwendung des Sauerstoffs bei Pneumonien, bei Diphtherie, bei Morphin- und Opiumvergiftungen sowie bei Tuberkulose. Hinweise auf Anwendungen von Ozongas fanden sich in der englischsprachigen Literatur ab 1893, im gleichen Jahr berichtete Thomson über die Anwendung von Sauerstoffgas bei Bergwerkarbeitern [185]. Auffällig ist eine weitgehend fehlende Rezeption des kontinentaleuropäischen Schrifttums in der angelsächsischen Literatur.

In ähnlichem Zeitrahmen angesiedelt wie in England lassen sich die in der französischsprachigen Literatur gefundenen frühesten Hinweise in das Jahr 1780 zurückverfolgen und gehen auf den Namen Chaussier zurück. 1780 führte dieser erste Experimente mit einem speziell entwickelten Kehlkopftubus an dyspoischen Erwachsenen und asphyktischen Neugeborenen durch. 1783 beschrieb Caillens die Heilung zweier Phthisiker durch Sauerstoffeinatmungen. Zwei Jahre später, 1785, erhält Jurine eine Auszeichnung für seine Untersuchungen über

Sauerstoffeinatmungen. Mitte des 19. Jahrhunderts bedingte der verzweifelte Kampf gegen die Choleraepidemien erneute Experimente mit Sauerstoff, die in der französischsprachigen Literatur ausführlich rezipiert wurden. Ende des 19. Jahrhunderts jedoch verebbten die Publikationen bezüglich des Sauerstoffs in Frankreich, und es fanden sich nur noch wenige Hinweise auf Sauerstoffanwendungen.

Ebenso in der italienischen Literatur: Hier ließen sich die ersten Hinweise auf inhalative Anwendung des Sauerstoffs in das Jahr 1878 verfolgen, wie der italienische Arzt Galli 1908 betonte.

In Deutschland berichtete Mamlock im Jahr 1904 von der ersten Anwendung des Sauerstoffs an der Charité in Berlin. Diese fand 1783 statt und somit kurz nach den erstmals 1780 in Frankreich beschriebenen Versuchen, den Sauerstoff als Inhalativum zu nutzen. Als Schüler von Leydens erwies sich schließlich um die Jahrhundertwende Michaelis als Vorreiter auf dem Gebiet der inhalativen Anwendung des Sauerstoffs. Sein Werk „Handbuch der Sauerstofftherapie“ schilderte die Ergebnisse seiner erfolgreichen Arbeiten umfassend. Auch mithilfe modernster Ventiltechnologie der Firma DRÄGER war eine Anwendung des Sauerstoffs als inhalatives Heilmittel möglich geworden.

F. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Dissertation war, die Geschichte der Entdeckung des Sauerstoffs und die Anwendung des Sauerstoffgases als medizinisches Heilmittel in Deutschland umfassend darzustellen. Dabei diente vor allem neben zahlreichen anderen Quellen das 1906 erschienene Werk von Max Michaelis (1869-1933) „Handbuch der Sauerstofftherapie“ als Grundlage der Analyse zur Neubewertung des zeitlichen Rahmens, in dem der Beginn der modernen Sauerstofftherapie angesiedelt werden kann.

In der internationalen Historiographie wurde allgemein das Jahr 1917 als Beginn der modernen Sauerstofftherapie anerkannt. Begründet wurde diese Annahme mit den Arbeiten des britischen Forschers John Scott Haldane (1860-1936), der im Jahr 1917 über die Behandlung Giftgasverletzter mit Sauerstoff berichtete.

Einen Überblick über die frühe Geschichte der Sauerstofftherapie erstellte ich mit Hilfe der von mir zitierten Sekundärliteratur (vgl. Literaturverzeichnis) und der Primärliteratur, soweit diese auffindbar war. Das Werk von Michaelis belegte daran anschließend eindrucksvoll die von mir zu prüfende These, dass der Beginn der modernen Sauerstofftherapie früher, um das Jahr 1902, angesiedelt werden konnte - und dass viele der entscheidenden Weiterentwicklungen, Forschungen und Schlüsseltechnologien von Deutschland ausgehend in der ganzen Welt Verbreitung fanden.

Die frühen Vertreter der „Pneumatischen Medizin“ und Sauerstofftherapie in Großbritannien hatten unstrittig Großes geleistet. Die Entwicklung der Sauerstofftherapie begann mit der Entdeckung des Sauerstoffs durch Joseph Priestley (1733-1804) im Jahr 1774, der ein Jahr später diese Entdeckung publizierte. Der schwedisch-deutsche Apotheker Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) hatte den Sauerstoff zwar bereits 1772 entdeckt, veröffentlichte seine Ergebnisse jedoch erst 1777, zwei Jahre nach Priestley. Fortgeführt wurde die „Pneumatische Medizin“ von Thomas Beddoes (1760-1808), der das erste „Institut für Inhalative Gastherapie“ 1798 im englischen Bristol gründete. In Zusammenarbeit mit James Watt (1736-1819), der die benötigten Gase herstellte, und Humphrey Davy (1778-1829) [56], der das Institut u.a. von ärztlicher Seite aus leitete, wurden in diesem Institut die ersten Gaben von Sauerstoffgas mit therapeutischer Zielsetzung angewendet. Der erste Apparat für Sauerstofftherapie wurde 1796 von Thomas Beddoes und James Watt konstruiert und bestand aus einem Reservoirbeutel, in welchen das hergestellte Gas unmittelbar eingeleitet wurde. Der Patient atmete das Gas durch einen mit einem Mundstück, später mit Applikationsmasken versehenen Schlauch ein, wobei einfache Ventile die Rückatmung verhindern sollten. Meist jedoch blieben diese Gasanwendungen

aufgrund der enormen Verunreinigungen wirkungslos, sodass Beddoes sein Institut 1802 schließen musste.

Dennoch kann die Pneumatische Medizin als gemeinsame Wurzel der inhalativen Sauerstofftherapie und der inhalativen Anästhesie betrachtet werden.

Speicherung und Herstellung der Gase waren nach wie vor problematisch und kostspielig. Der Brite Barth komprimierte 1853 erstmals Lachgas in Gaszylindern aus Kupfer. Sauerstoff konnte ab 1868 in Stahlzylindern gespeichert werden, und der 1866 in London erfundene Brin Process vereinfachte die Herstellung von Sauerstoff.

Die Zeit bis zur praktikablen Anwendung von Sauerstoffgas im nächsten Jahrhundert war geprägt von widersprüchlichen und zum Teil abtrübselten Theorien und Anwendungen des Sauerstoffs. Seine heilsame Wirkung wurde teilweise erkannt, war jedoch aufgrund des verabreichten, mit Zusätzen verunreinigten Sauerstoffgases nicht immer wirksam und reproduzierbar.

Parallel zu Entwicklungen in Großbritannien befasste sich neben vielen anderen vor allem Louis Waldenburg (1837-1881) 1875 in Deutschland in seinem Werk „Die Pneumatische Therapie“ mit der therapeutischen Anwendung von Sauerstoffgas. Seine ersten konstruierten Apparate zur Sauerstoffanwendung zeigten bereits deutliche Ähnlichkeiten mit den Apparaten, die noch folgen sollten. Im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts ging dann vor allem Max Hugo Michaelis (1869-1933) der Frage der Wirksamkeit von inhalativen Sauerstoffanwendungen nach. Er wendete Sauerstoffinhalationen mittels eines ersten einfachen Apparats an, der aus einem mit Sauerstoff gefüllten Stahlzylinder, einem Reservoirballon und einem Schlauchsystem bestand. Eine kontinuierliche Applikation dosierbarer Mengen von Sauerstoffgas war nicht möglich, jedoch verzeichnete Michaelis Erfolge trotz der anfangs widrigen Umstände in der Verabreichung des Heilmittels.

1901/1902 wurden die für die Praktikabilität der Sauerstoffanwendung entscheidenden Druckreduzierventile von der Firma Dräger, Lübeck, entwickelt, und das „Linde-Verfahren“ stellte ausreichende Mengen an qualitativ hochwertigem Sauerstoffgas her. Diese Technologien verbanden sich konstruktiv mit Michaelis Arbeiten und führten schließlich zur Entwicklung des ersten Chloroform-Sauerstoff-Narkosegerätes von Wohlgemuth im Jahr 1901: Erstmals war hierbei die Anwendung von Sauerstoffgas als therapeutisches Prinzip verwirklicht worden.

Max Hugo Michaelis (1869-1933) trug mit seinen Arbeiten entscheidend zur Etablierung der Sauerstofftherapie bei. Aus deutscher Sicht bildete er mit seinen Forschungen den Ausgangspunkt für die Etablierung der modernen Sauerstofftherapie auf dem Gebiet der Anästhesie und der Rettungsmedizin.

Die vorgelegte Analyse der deutschen sowie der relevanten englischen Historiographie zur inhalativen Sauerstofftherapie bestätigte die in dieser Arbeit zu überprüfende These.

Wenn es überhaupt sinnvoll erscheint, einen Wendepunkt hin zur Etablierung einer tatsächlich wirksamen Sauerstofftherapie festzulegen, ist dieser viel eher in dem Zeitrahmen um 1902 anzunehmen. Die kontinentaleuropäischen Beiträge hierzu und der Sauerstoff als immerhin heute wichtigstes Basistherapeutikum in der Medizin sind in der bisherigen Literatur und Forschung unterschätzt worden.

G. Anhang

G.I. Physiologie der Atmung nach heutigem Stand des Wissens

Der eingeatmete Sauerstoff gelangt nach Aufnahme über die Atemwege etwa 23 Aufzweigungen in die Lungenalveolen, von denen ein Mensch ca. 300×10^6 besitzt. Diese weisen eine Gesamtoberfläche von $50-100 \text{m}^2$ auf. Diese Alveolen werden von Pneumozyten Typ I gebildet, die mit ihrem extrem ausgezogenen Zytoplasma den Gasaustausch ermöglichen. Diese Zellen stammen von

Pneumozyten Typ II ab, die Surfactant produzieren und den Regenerationspool für Typ I Pneumozyten darstellen. Über tight junctions, sog. Zellverbindungen, sind Pneumozyten Typ I miteinander verbunden und bilden zusammen mit dem Endothel der Blutgefäße eine doppelschichtige alveolo-endotheliale Barriere. Diese schützt vor einem Einstrom von Flüssigkeit aus dem Gewebe. Durch den Unterschied der Partialdrücke von Sauerstoff und Kohlendioxid bedingt ist der Gasaustausch zwischen Alveolarluft und Lungenkapillaren ein passiver Diffusionsprozess. Die Diffusionsgeschwindigkeit von Sauerstoff beträgt etwa 1 Mikrometer/Sekunde. Atemhilfsmuskulatur, Thorax und Lunge bringen somit Luftdruckdifferenzen zustande, die den Gastransport von der Außenluft in die Alveolen ermöglichen. Weiterhin kann die Atmung durch chemische Stimuli beeinflusst werden. So bedingt ein Anstieg des Kohlendioxidpartialdrucks im zentralen Nervensystem eine Stimulation der Atmung im Sinne einer „hyperkapnischen Atemstimulation“ [Aus: Renz-Polster. H; Braun;J: Basislehrbuch Innere Medizin, 2. Auflage, Urban & Fischer, 2001, S. 398].

Erklärt wird dieser Mechanismus durch Reaktionen zentraler Chemorezeptoren in der Medulla oblongata auf veränderte pH-Werte des Liquors. CO₂ diffundiert hierbei über die Blut-Hirn-Schranke und verändert den pH-Wert entsprechend. Im Rahmen einer chronisch bestehenden Hyperkapnie bei z.B. chronische Bronchitis kann die Sensitivität der Rezeptoren jedoch auch verloren gehen. Paradoxe Weise kann bei solchen Patienten so die gut gemeinte Sauerstoffgabe zu einer weiteren Hemmung des Atemtriebs führen, sodass in diesen Fällen Sauerstoff nur unter Überwachung des Patienten indiziert ist. Auch ein Azidose des zentralen Nervensystems beispielsweise im Rahmen einer diabetischen Ketoazidose mit Kussmaul-Atmung und konsekutiver Hyperventilation bedingt so eine Stimulation der Atmung. Nicht zuletzt werden durch einen erniedrigten Sauerstoffpartialdruck im arteriellen Blut periphere Chemorezeptoren im Glomus caroticum und in der Aorta gereizt. Diese Stimulation der Atmung ist jedoch bei weitem nicht so deutlich ausgeprägt wie die Stimulation durch CO₂-Anstieg. Aufgaben der Lunge sind somit Oxygenierung (Aufnahme von Sauerstoff ins Blut), Abgabe von CO₂ aus dem Blut in die Atmosphäre und Regulation des Säure-Basen-Haushalts durch

Abgabe von CO₂. Voraussetzung für diesen Gasaustausch sind eine adäquate Ventilation, Diffusion und Perfusion.

G.II. Sauerstofftransport im Blut

Abhängig vom Sauerstoffpartialdruck lösen sich bestimmte Mengen an Sauerstoff im Plasma, maximal 3 ml gelösten Sauerstoff pro Liter Blut. Der menschliche Körper benötigt jedoch schon in Ruhe 250 ml Sauerstoff pro Minute. Der physikalisch gelöste Sauerstoff reicht somit nicht zur adäquaten Versorgung des Körpers aus. Das Hämoglobin des roten Blutkörperchens bindet Sauerstoff nach der Formel $\text{Hb} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{HbO}_2$ und kann pro Gramm bis zu 1,34 ml Sauerstoff binden.

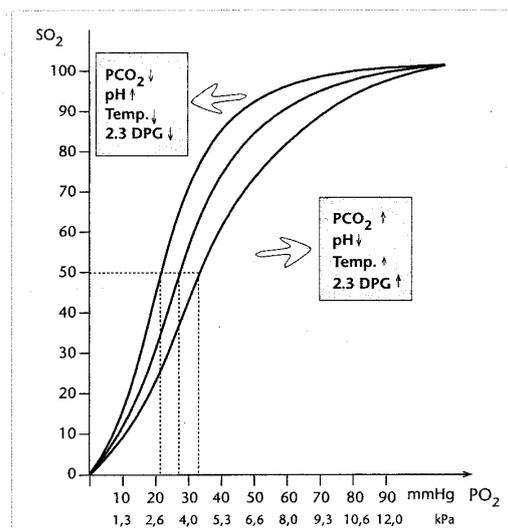


Abb. 29: Schematische Darstellung der Sauerstoffdissoziationskurve in Abhängigkeit von dem PCO₂, dem pH-Wert, dem 2.3-Diphosphoglycerat (2,3-ADPG) und der Temperatur. Aus: Renz-Polster. H; Braun;J: Basislehrbuch Innere Medizin, 2. Auflage, Urban & Fischer, 2001, Abb.7-2, S. 403.

Somit folgt, dass in sauerstoffreicher Umgebung vom Hämoglobin Sauerstoff schlechter aufgenommen wird und in sauerstoffarmer Umgebung der Sauerstoff vom Hämoglobin zwar schneller gebunden, jedoch auch schneller wieder abgegeben wird.

G.III. Übersicht Sauerstoffhomöostase

(aus: Renz-Polster. H; Braun;J: Basislehrbuch Innere Medizin, 2. Auflage, Urban & Fischer, 2001, S. 408):

Die **Aufnahme von O₂** ist die Primäraufgabe der Lunge. Pro Minute werden jeweils etwa 250 ml O₂ an die Körperzellen abgegeben und über die Lungen aufgenommen. Unter Ruhebedingungen transportiert Blut etwa 50 ml O₂ pro Liter.

Die **O₂-Konzentration** der eingeatmeten Luft liegt bei 20,9 %, was auf Meereshöhe einem pO₂ in wasserungesättigter Luft von etwa 150 mmHg entspricht. Im arteriellen Blut liegt der pO₂ je nach Alter, Meereshöhe und pCO₂ bei 70-104 mmHg, im gemischt-venösen Blut bei ca. 40 mmHg. Der alveoläre pO₂ und der arterielle pO₂ unterscheiden sich selbst unter Idealbedingungen um etwa 5-10 mmHg; dies wird durch den obligaten Rechts-Links-Shunt erklärt (s. Text).

O₂ wird in zwei verschiedenen Formen transportiert: physikalisch gelöst (etwa 3 %) und an Hämoglobin gebunden (97 %).

Sauerstoffsättigung (SaO₂): Anteil des mit O₂ gesättigten Hämoglobins [in %].

Sauerstoffgehalt des Blutes (O₂-Transportkapazität): die Menge des im Blut transportierten Sauerstoffs hängt vom Hämoglobinwert sowie der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins (SaO₂) und dem unter Normalbedingungen zu vernachlässigenden physikalisch gelösten Anteil an O₂ ab; 1g Hämoglobin transportiert dabei maximal 1,34 ml O₂, zudem gehen pro mmHg Sauerstoff-Partialdruck 0,003 ml O₂ pro dl Blut physikalisch in Lösung: Sauerstoffgehalt des Blutes [ml O₂/dl] = Hb [g/dl]x SaO₂ x 1,34 [ml/g] +(0,003 [ml O₂/mmHg] x pO₂ [mmHg]. Demnach berechnet sich der Sauerstoffgehalt etwa für einen Patienten mit einem Hb von 15 g/dl, einer Sauerstoffsättigung von 90 % und einem pO₂ von 60 mmHg wie folgt: 15 g/dl x 0.9 x 1,34 ml/g + (0.003 ml/mmHg x 60 mmHg)= 18,27 ml/dl.

Sauerstoffangebot: wieviel Sauerstoff an die Zellen abgegeben werden kann und damit für die Gewebeoxygenierung zur Verfügung steht, hängt neben der Transportkapazität für Sauerstoff auch vom Herzminutenvolumen ab:
 Sauerstoffangebot=O₂-Transportkapazität x Herzzeitvolumen [in ml O₂/Min].

Sauerstoffverbrauch: Wieviel O₂ von den Zellen verbraucht wird, schwankt von Gewebe zu Gewebe und je nach körperlicher Aktivität erheblich. Insgesamt werden in Ruhe etwa ¼ des Sauerstoffgehaltes des arteriellen Blutes von den Körpergeweben verbraucht. Der Sauerstoffverbrauch kann aus der Differenz der arteriellen O₂-Transportkapazität und derjenigen des gemischtvenösen Blutes berechnet werden (letztere berechnet sich analog zur O₂-Transportkapazität des arteriellen Blutes).

Tab. 11.6: Normwerte der BGA			
	arterielles Blut	gemischt-venöses Blut*	venöses Blut
pH	7,40 (7,37-7,44)	7,36 (7,31-7,41)	7,36 (7,31-7,41)
pCO ₂ in mmHg	35-45	41-51	40-52
HCO ₃ ⁻ mmol/l	22-26	22-26	22-28
Base excess	-2-+2	-2-+2	-2-+2
* aus dem rechten Vorhof gewonnen mittels Pulmonalkatheter			

Abb. 30: Normwerte der BGA. Aus: Renz-Polster. H; Braun;J: Basislehrbuch Innere Medizin, 2. Auflage, Urban & Fischer, 2001, Tab.11.6, S. 956.

G.IV. Tab. Aufstellung: „Meilensteine“ in der Geschichte der Sauerstofftherapie

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
1775		PRIESTLEY: O ₂ , Veröffentlichung und Namensgebung: „Dephlogisticated Air	LAVOISIER: Analyse der Bestandteile der Luft, Namensgebung: „oxygène“	
1776				FONTANA/SPALLANZANI: O ₂ als lebendes Prinzip der Einatemungsluft [125]
1777	SCHEELE: Veröffentlichung der Entdeckung des O ₂ , „Feuerluft“ , tatsächliche Entdeckung 1774			
1778			LAVOISIER: Denkschrift über Atmung und Oxidation	
1780			CHAUSSIER: O ₂ als Heilmittel gegen Dyspnoe	
1783	Erste Anwendung des O ₂ in der Charité, Berlin (beschrieben von		CAILLEN: Erstmals therapeutische Anwendung	

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
	Mamlock []		von O ₂	
1784				MOROZZO: verwendet O ₂ bei asphyktischen Tieren
1785	INGEN-HOUZ behandelt Asthmatiker mit O ₂		JURINE: veröffentlicht seine Arbeit zur erfolgreichen O ₂ -Inhalation bei TBC	
1787			FOURCROY: O ₂ -Anwendungen; veröffentlicht 1. Mémoire	
1789			LAVOISIER/SEGUIN: Messungen zur O ₂ -Aufnahme	
1796		BEDDOES/WATT: erster Apparat für O ₂ -Therapie		
1798		BEDDOES: Pneumat. Institut für inhalative Gastherapie, Bristol	FOURCROY: 2. Mémoire	

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
1799			ODIER: Innerl. Anwendung von O ₂ -Wasser	
1800		DAVY: Analget. Wirkung des Lachgases entdeckt		
1801		HILL: „Lebensluft“		
1831	SCHWARZ: O ₂ -Inhalationen bei Cholera LENDER: Ozoneinatmung/Sauerstofftherapie			
1837	MAGNUS/PFLÜGER: O ₂ wird vom Hämoglobin transportiert [82] MAYER zeigt, dass die Oxidation die Energie im Körper bereitstellt [82]	Patentierung der ersten Druckreduzierventile		
1845		WILSON beschreibt in Edinburgh O ₂ als Heilmittel		
1848			De SMYTTÉRE: O ₂ -	

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
			Einatmungen im Kampf gegen die Cholera	
1850		BIRCH: O ₂ -Inhalationen gegen Cholera		
1853	SCHWANN-LÜTTICH: Erster Aerophor, Atemschutzgerät			
1856		BARTH: Speichert Lachgas in Gaszylindern		
1866	WALDENBURG: O ₂ als Heilmittel			
1867			DEMARQUAY [45]: O ₂ -Inhalation, -wasser, -bäder	
1868		BARTH: Speicherung von O ₂ in Zylindern SIEVEKING: O ₂ -Inhalation bei Leuchtgasvergiftung	LINAS/CREQY [41]: O ₂ -Inhalationen bei CO-Vergiftung	
1870	LENDER:			

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
	Ozonsauerstoffinhalationen bei Leuchtgasvergiftung			
1871	LENDER: Vortrag in Kissingen		LIMOUSIN: O ₂ gegen Asphyxien	
1874	HARTUNG: schreibt über physiologische und therapeutische Wirkung des O ₂			
1875	WALDENBURG: Die pneumatische Behandlung der Respirations- und Circulationskrankheiten [195]			
1878				BACELLI: Wendet O ₂ bei Pneumonien an (Galli)
1883			LIMOUSIN: O ₂ gegen Ayphyxien BOUCHER: O ₂ bei Diphtherie	
1886		Brin-Process, London [138]		

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
1889	Gründung Drägerwerk Lübeck [48] GYURKOVECHKY: Therapeutische Anwendung des O ₂ (seit 1882) [78]		GONTHIER: O ₂ -Inhalationen bei Diptherie	
1890	EPHRAIM: Verfechter der O ₂ - Therapie, beklagt Unkenntnis [57]			
1891	KRAUS/CHVOSTEK: O ₂ - Inhalationen bei Ateminsuffizienz HONIGMANN: Wirkung von O ₂ - Einatmungen auf den Organismus			
1892		LANCASTER behandelt Diptherie mit O ₂ -Gabe		
1893		THOMSON: Effekte von O ₂ - Inhalationen aus Bergwerkarbeitermit		

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
		Asphyxien		
1894		MERRY und STRYKER: O ₂ bei Opium- und Morphinvergiftungen		
1896	OPPENHEIMER: O ₂ bei Pneumonien bei Kindern			
1897	KOHN: Versuche zur O ₂ -Inhalation			
1898	KOBERT: O ₂ -Inhalationen bei TBC (Cramer 1903)	PLAYFAIR wendet O ₂ bei Opium- und Morphinvergiftungen an	GALLOIS: wendet mit O ₂ versetztes Wasser bei Hyperemesis gravidarum und Tuberkulose an	
1900	M.MICHAELIS: Apparat für inhalative O ₂ -Therapie MEYER: O ₂ im Rettungswesen			
1901	DRÄGER: Erste praktikable Druckreduzierventile WOHLGEMUTH'scher			

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
	Narkoseapparat			
1902	ROTH/DRÄGER-Narkoseapparat DRÄGER Atemschutzgeräte LINDE-Verfahren			
1903	KRAUS: O ₂ -Inhalationen bei Dyspnoe der Pneumonie HECHT: O ₂ -Inhalationen bei Kindern CRAMER: O ₂ in der Krankenpflege			
1904	HASENKNOPF: „Zur O ₂ -Therapie“ ARON: Gegner der O ₂ - Inhalationen			
1905	BRAT: O ₂ -Atmungsapparat FLEISCHER: nasale O ₂ -		REDARD: O ₂ -Gabe bei Tuberkulose	

	Deutschland	England	Frankreich	Italien
	Inhalationen			
1908				GALLI: Weist auf Michaelis Buch hin, berichtet über O ₂ -Therapie, insbes. In
1917		HALDANE: Berichte über Behandlung Giftgasverletzter mit O ₂		
1935		HALDANE: „Respiration“		

G.V. Beiträge zur Geschichte der Sauerstofftherapie, modifiziert nach Pagel [137]

Nach der Entdeckung des Sauerstoffs trat ein „Sauerstoffrausch“ ein:

Fontana, Felix, 1776, Italien, Naturforscher: Recherches physiques sur la nature de l'air déphlogistique et de l'air nitreux, Paris 1776.

Morozzo, Carlo Lodovico, Graf, 1784, Turin: Sur la respiration dans le gaz déphlogistique. Journ. Phys. XXV. 1784. Stellte fest, dass Sauerstoff asphyktische Tiere beleben kann.

Macquer, Pierre Joseph, 1778, Professor der Pharmazie, Paris: Dictionnaire de chimie. 2 éd. Paris 1778. Empfahl Sauerstoff als lebensrettendes Mittel bei Asphyxie durch mephitische Gase.

Achard, Franz Carl, 1775, Berlin: Ueber die Natur der fixen Luft. Journ. Litt. de Berlin 1775. Chym.-physical. Schriften. Berlin 1780.

Fontana, Morozzo, Macquer und Archard wiederholten die Versuche Priestleys und bestätigten seine Ergebnisse [138, S.5].

Chaussier, F., 1777, 1780-1781; Mém. Sur l'air inflammable. Journ. phys. 1777. Mém. de la Soc. r. d. méd. 1780-1781. Um 1780 machte Chaussier die ersten therapeutischen Versuche an Patienten mit Dyspnoe und asphyktischen Neugeborenen mit einem von ihm konstruierten Kehlkopftubus.

Caillens, 1783: Gaz. de santé 9. mars 1783 (zitiert nach Laveyesse, Léon de, Etude physiologique et thérapeutique de l'oxygène. Paris 1867. Thèse. 98 pp. in 4°.)

Caillens berichtete 1783 über die Heilung zweier Phthisiker durch Einatmung von reinem Sauerstoff.

Pouille, Alexandre, 1784, Montpellier: Positiones chemico-medicae de aere vitali seu dephlogistico tamquam novo sanitatis praesidio. Pouille rühmte in seiner Dissertation den Sauerstoff als universelles Mittel gegen Pest, Fieber und Infektionskrankheiten jeder Art.

Ingen-houz, Johann (gest.1799), 1779, Arzt in Wien: Account of a new kind of inflammable gaz. Philos. Transact. 1779. Experiment upon vegetable, discovering their great power of purifying the common air in sunshine and of injuring it in the shade and at night. London 1779. Wien **1784**: Vermischte Schriften. II. S. 387. Ingen-houz studierte die Wirkung von Sauerstoff an Pflanzen und an sich selbst. Er empfahl Sauerstoff gegen maligne Fieber (1783), als Inhalation bei asthmatischen Anfällen (1784) und bei unreinen Wunden.

Mensching, 1787, Göttingen: Dissertatio physico-medica de aeris dephlogistici in medicinae usu. Pries in seiner Dissertation die Wirkung des Sauerstoffs bei Brustkrankheiten, Phthisis, Asthma, und Fiebern an.

Goodwyn, Edmund, 1786, schottischer Physiologe, Edinburgh: De morbo et morte submersorum investigandis. Untersuchte am Tierexperiment den Sauerstoff und empfahl ihn daraufhin bei asphyktischen Zuständen Ertrunkener.

Jurine, Louis, 1787, Genfer Arzt: Mém. sur cette question: déterminer quels avantages la médecine peut retirer des découvertes modernes sur l'art de connaître la pureté de l'air par les differents eudiomètres. Mém. de la Soc. roy. de méd. 1798.

Jurine berichtete in dieser Arbeit von durchschlagenden Erfolgen bei an Tuberkulose Erkrankten mit der inhalativen Sauerstoffanwendung.

Odier, Louis, um 1799, Genfer Arzt und Kollege von Jurine: Instruction sur les moyens de purifier l'air etc. Genève 1801. Empfahl den innerlichen Gebrauch von mit Sauerstoff angereichertem Wasser bei Asthma, Hypochondrie, Hysterie, Krämpfen.

Gorcy, Pierre-Christophe, 1789, Arzt aus Neu-Breisach: Mémoire sur les différents moyens de rappeler à la vie les asphyxiques. Journ. gén. de méd. 1789. Schrieb über die Wiederbelebung Asphyktischer mithilfe des Sauerstoffs, der mittels „pompes apodopniques“ in die Lunge geblasen werden sollte.

Van Marum, 1793: Betrachtungen über die zur Wiederbelebung Asphyktischer vorgeschlagenen Mittel. Deutsch. Harlem 1793. Der Niederländer modifizierte den Apparat von Gorcy.

Courtois, Heus, 1790: Mém. sur l'asphyxie, 1790. Er schlug zur einfacheren Anwendung des Apparates von Gorcy die einleitende Tracheotomie vor.

Auch die Kritiker der Sauerstoffanwendungen beschrieben ihre Ergebnisse:

Chaptal J. A. C, 1789: Eléments de chimie. Paris 1790. Ann. de chimie, 1789. IV. p. 21. Nahm systematische Anwendungen an an Tuberkulose Erkrankten vor, folgte somit den Versuchen Caillens. Sprach sich aufgrund der Nebenwirkungen gegen Sauerstoffanwendungen aus.

Fourcroy, Antoine Francois, 1783-1789, Pariser Chemie Professor: Mémoire sur les propriétés médicinales de l'air vital. Lue à la Soc. royale de méd. Paris 1789. Sur la coloration des matières végétales par l'air vital. Ibid. 1789. La médecine éclairée par les sciences physiques. Paris 1791 (auch u.d.T.: Journal des découvertes relatives aux différentes parties de l'art de guérir. T. I-IV. Ibidem. 1792). Mém. Sur l'application de la chimie à l'art de guérir. Paris 1798. Warnte vor Sauerstoffanwendungen bei an Tuberkulose Erkrankten. Er prüfte diese umfassend von 1783-1789. Bei ca. 20 Patienten brachte der Sauerstoff anfangs Verbesserungen, besonders den quälenden Husten betreffend. Später verschlechterte sich das Allgemeinbefinden erneut. Positive Wirkungen des Sauerstoffs beschrieb er bei „adynamischen Krankheiten“, Bleichsucht, Skrofulosis, Skorbut, bei „feuchtem Katarrh“ und Asthma. (Pagel S. 6)

Dumas, Charles Louis, 1800: Principes de physiologie ou Introduction à la science expérimentale etc. Paris 1800. Teilte die Auffassungen Fourcroys bezüglich der Sauerstoffanwendungen bei Tuberkulose.

Es entstand eine „Pneumatische Schule“ mit der Annahme, ein Mangel an Sauerstoff oder ein Überfluss an Stickstoff verursachten gewisse Krankheiten. Sauerstoff wurde eine positive Wirkung zugeschrieben.

Beddoes, Thomas (1760-1808), 1799, Bristol: Notice of some observations made at the medical pneumatic Institution. Salzburger med. chir. Zeitg. 1800. Bd. III. Considerations on the medicinal use of factitious airs. Bristol 1794-1796: deutsch von Zollikofer. Halle 1796. A letter to Erasmus Darwin on a new method of treating pulmonary consumptions. Bristol 1793, deutsch: Leipzig 1794. Observations on the nature and cure of calculus, seascorvy, consumptions etc. London 1793. Als eigentlicher Begründer der Pneumatischen Schule anzusehen. 1795 Gründung des Pneumatischen Instituts. Versuche mit Inhalationen eines Gemisches von atmosphärischer Luft und Sauerstoff bei Asthma, Chlorose, Skorbut. Diese führten zu z.T. abenteuerlichen Anschauungen. Mangel an Sauerstoff führte nach Beddoes zu Skorbut und Verfettung, einen Überschuss desselben machte er für die Tuberkulose verantwortlich. Es wurden Erfolge berichtet bei der Behandlung von Tuberkulose, Skorbut, Syphilis, Gicht, Chlorose, Asphyxie, nervösem Asthma, allgemeiner Schwäche, bes. der Verdauungsorgane, bei Opiumvergiftungen.

Cavallo, Tiberius, 1798, London: An essay on the medicinal properties of factitious airs. Deutsch von Scherer: Leipzig 1799. Stellte in Zusammenarbeit mit Watt Atmungsapparate für das Pneumatische Institut von Beddoes her.

Watt, James, 1796, Birmingham: Description of a pneumatic apparatus. Stellte in Zusammenarbeit mit Cavallo pneumatische Apparate für das Pneumatische Institut her. Erfinder der Dampfmaschine.

Rollo. John, Arzt der englischen Flotte, später Oberarzt des Militärspitals in Woolwich, wendet Sauerstoff bei Diabetikern an. Leitete Krankheiten vom Mangel

oder Überfluss an Sauerstoff her. Einteilung der Arzneimittel in oxidierende und desoxidierende.

Baumès, Jean Baptiste Théodore, 1798, Montpellier: De la phthisie pulmonaire. **1806**: Traité élémentaire de nosologie, contenant une exacte classification de toutes les maladies. Sauerstoff bildete in seiner Theorie das nosologische Prinzip. Anwendung bei Tuberkulose, Angina pectoris und Scheintod.

Humboldt, Alexander von (1769-1859), 1799, Braunschweig: „Ueber die unterirdischen Gasarten und die Mittel, ihren Nachteil zu verhindern“. Ermöglichte 1796 Bergwerksarbeitern mittels Sauerstoff den Aufenthalt unter Tage. Betonte die Kraft des Sauerstoffs, Lebensprozesse positiv zu beeinflussen.

Pascal Joseph de Ferro (1753-1809), Wiener Arzt, **1793**: „Versuche mit neuen Arzneimitteln, 1. Teil. Ueber die Wirkungen der Lebensluft.“ Anhänger der Sauerstofftherapie, insbesondere bei chronischen Lungenkrankheiten.

Doktordissertationen zur „Pneumatischen Medizin“ zeigten, dass diese zwischen 1801-1802 ein fester Bestandteil der Schulmedizin geworden war:

Ward, 1800: Diss. De medicina pneumatica. Edinburgh.

Hill, Daniel, 1801: Beobachtungen und Versuche über die Heilkraft des Sauerstoffs oder der Lebensluft. A.d. Engl. v. E.H.G. Münchmeyer, Göttingen.

Münchmeyer, E.H.G., 1801: De viribus oxygenii in procreandis et sanandis morbis. Göttingen.

Sander, 1801: Diss. De aeris oxygenii vi adprocerandos et sanandos morbos. Göttingen.

Van Toulon, 1801: Diss. De principii oxygenetici sive elementi acidifici eximia et amplissima inn corpus humanum efficacitate.

Hoechstetter, 1802: Diss. Sistens chemiae penumaticae rationem ad scientiam medicam, Jena.

Günther, Ferdinand, 1801: Darstellung einiger Resultate, die aus der Anwendung der pneumatischen Chemie auf die praktische Arzneikunde hervorgehen. Diss. De

aeris in corpus humanum effectu nec non de methodo species gassium variis in morbis applicandi. Marburg.

Gegner der Sauerstofftherapie:

Herz, Marcus: Berlin 1777-1784: Briefe an Ärzte.

Minderer, 1790: Beobachtungen, welche den Schaden der reinen Lebensluft in Faulfiebern beweisen.

Muehry, Georg Friedrich, 1796: Diss. De aeris fixi inspirati usu in phthisi pulmonali. Göttingen.

Platt, Charles, 1802: Inquiry into the efficacy of oxygene in the cure of syphilis. London.

Am Anfang des 19. Jahrhunderts versiegten die Publikationen über die Sauerstofftherapie. Schaden nahm sie von den auf der einen Seite maßlosen Übertreibungen und auf der anderen Seite von Ergebnissen einiger Forscher (Lavoisier, Seguin) die zeigten, dass ein erhöhter Sauerstoffgehalt der Luft die Oxidation im gesunden Organismus nicht beeinflusste.

Die Choleraepidemien der Jahre 1831, 1848 und 1850 belebten den Gebrauch des Sauerstoffs erneut. Es wurde eine belebende Wirkung des Sauerstoffs im Stadium der Asphyxie bei Cholera gesehen. Besonders französische Autoren wie Millingen, Foy, Sandras, Coster, Bories, Saint-Ange, de Smyttère äußern sich zu Sauerstoffanwendungen. Laut Pagel finden sich diese sämtlich in der Arbeit von Léon de Laveyesse: Etude physiologique et thérapeutique de l'oxygène. Paris 1867. Thèse. 98pp in 4°.

Schwarz 1831; Zur Behandlung der Cholera. Hufeland's Journ.

Huebbenet, C. von, 1850: Bericht über die im Kiew'schen Militärhospital im Jahre 1848 beobachtete Cholera-Epidemie. Riga 1850.

Eine Wiederbelebung der Sauerstofftherapie bewirkte die Entdeckung des Ozons als modifizierte Form des Sauerstoffs durch Schönbein im Jahr 1840. Auch die Äther-/Chloroformnarkose fand im Sauerstoff um 1846-1847 ein wirksames Gegenmittel bei narkosebedingten Asphyxien.

Schönbein, Chr. Fr., 1840: Ueber den bei Elektrolyse des Wassers und dem Ausströmen der gemeinen Elektrizität aus Spitzen bemerkbaren Geruch. Poggendorfs Ann. 1840. Ueber die Anwesenheit des Ozons in der atmosphärischen Luft. Zeitschr. f. Biolol. 1867. III. 101-112. Ueber das Vorkommen des thätigen Sauerstoffs in organischen Materien. Verhandl. d. Naturf.-Ges. Basel. V. 1868. H.1.S.1-57.

Von Leyden hat mit seiner Lehre und den physikalischen Heilmethoden zur Etablierung des Sauerstoffs als therapeutisches Heilmittel sehr wesentlich beigetragen. Die Applikationstechnik wurde von von Leydens Schülern verbessert.

Zur Wiederbelebung der Sauerstofftherapie trugen insbesondere der Engländer Birch, der Franzose Demarquay und der Deutsche Lender bei.

Birch, S.B.: sieht eine blutreinigende Wirkung im Sauerstoff und heilt mit Sauerstoffinhalationen chronische Furunkulose und syphilitische Hautgeschwüre. Er lässt Sauerstoff mit einer niedrigeren Temperatur als die Umgebung einatmen. Er empfahl die Einnahme von Aqua oxygenata saturata und die Inhalation von Oleum ozonisatum verdünnt mit atmosphärischer Luft. 1869 schlägt er vor, „oxygenated bread“ zu sich zu nehmen, ein mit Sauerstoff angereichertes Brot. Die Herstellung erfolgte durch Entzug der Kohlensäure und der atmosphärischen Luft des Brotes mittels einer Luftpumpe. Stattdessen wurde Sauerstoff zugefügt.

Dermarquay: angeregt durch Arbeiten von Pravaz über komprimierte Luft verfasst er ein größeres Werk zur „Pneumatologie médicale“, dass bei Waldenburg die Hauptquelle bildete. Auch seine Schüler gelangten zu ähnlichen Resultaten. **Foucras** beobachtete positive Effekte von Sauerstoffbädern bei Gangraena senilis, **Bérenger-Férand** behandelte Diabetes mit Sauerstoffinhalationen, **Brichetau** wendete Sauerstoffbäder an und **de Laveyesse** beobachtete tonische Wirkungen von Sauerstoff und empfahl daher Sauerstoffwasser bei Atonie des

Magen-/Darmtrakts und bei Rekonvaleszenz. **Constantin Paul** wendete Sauerstoffinhalationen bei Koma nach Opium- und Rauchvergiftung an und beobachtete eine Rückkehr des Bewusstseins. Seinen Ergebnissen zufolge war Sauerstoff kein Gift, sondern ein gutes Mittel bei asphyktischen Zuständen, bei nervösem Asthma und bei feuchten Katarrhen mit Emphysem. Keinen Effekte hatte Sauerstoff bei Phtisis. Bei Albuminurie, Diabetes und lokaler Gangrän sollte Sauerstoff Besserung bringen. Die französischen und englischen Arbeiten betrachteten den Sauerstoff teilweise kritisch, im Gegensatz dazu standen die einseitig übertreibenden Arbeiten des Deutschen **Lender**. Dieser beschäftigte sich mit Ozoninhalationen, die in ruhenden Körpern die Verbrennungsprozesse steigern und Giftstoffe in Blut und Organen oxidieren und somit entsorgen konnten. Fast hätte diese übertriebene Anpreisung des Sauerstoffs als Heilmittel zu seinem Verschwinden beigetragen. Die Sauerstofftherapie stand jedoch bereits auf einer guten Grundlage. Wertvolle Arbeiten und günstige Beobachtungen mit Sauerstoff bei putrider Bronchitis und Gangrän machten **von Leyden** und **Jaffé** und bei Kohlenmonoxydvergiftung **Linnaeus** und **Sieveking**.

Die physiologischen Arbeiten festigten die Stellung der Sauerstofftherapie zusätzlich:

Bert, P. sah im Sauerstoff ein gefährliches Gift für den tierischen Organismus und tötete bei direktem Kontakt die Zellen.

Aune, Henri dagegen sah in Sauerstoffeinatmungen positive Wirkungen, wie Appetitsteigerung, leichte Gewichtszunahme, leichtes Rauschgefühl, Kribbelparästhesien, erhöhte Atem- und Pulsfrequenz.

Hayem, G. beobachtete antiemetische Wirkungen bei Personen mit Verdauungsbeschwerden, bei schmerzhafter Dyspepsie ohne akute Schleimhautschädigung, bei Magenerweiterung, Schwangerschaftserbrechen und Urämie.

Doreau, L., Paris 1881: Contributin à l'étude de l'oxygène en thérapeutique. Thèse 136 pp in 4°. Er pries Sauerstoffinhalationen bei septischen Zuständen, Blasenentzündung, Dekubitus und Abdominaltyphus.

Binz sah eine schlaffördernde Wirkung in ozonisierter Luft: Binz, C, Ozonisierte Luft, ein schlafmachendes Mittel. Berl. klin. Wochenschr. **1882**. No. 1 u. 2. S. 6 u. 17. No. 43. S. 645. Die Wirkung ozonisierter Luft auf das Gehirn. Berl. klin. Wochenschr. **1884**. No. 40. S. 633.

Filippoff sprach sich von physiologischer Seite gegen Sauerstoff aus und bestritt die o.g. Wirkung von Binz. Er führte in Dogiel's Labor in Kasan an Menschen und an Tieren Versuche durch: Philippoff M., Zur therapeutischen Bedeutung von Sauerstoff und Ozon. Pflüger's Archiv. Bd. 34. **1884**. p. 335.

Loysel riet auf der Grundlage von Tierversuchen zu Sauerstoffinhalationen bei Asphyxien Neugeborener: Loysel, Jules, **Paris 1883**: Contribution à l'étude de l'oxygène appliqué au traitement de l'asphyxie at de certains empoisonnements. Thèse. 76 pp. in 4°.

Gresswell, D. Astley behandelte in **London 1888** 588 Scharlachkranke mit Sauerstoffwasser und -inhalationen. Das mit Sauerstoff angereicherte Wasser wurde als durstlöschend, antiemetisch und appetitanregend beschrieben, die Inhalationen als vorteilhaft bei Kollaps, bei urämischem Koma und bei pulmonalen Komplikationen sowie in der Rekonvaleszenz: The therapeutic value of oxygen admistered in scarlet fever and in certain morbid conditions incidental thereto. The practitioner. London 1888. Oct.-Nov. 24/321.

Der Amerikaner **Bleyer** wendete **1887** in New York Ozondämpfe bei Diphtherie und Pharynxkrankheiten an. Sein Landsmann **Kellogg** empfahl **1887** hingegen die Anwendung von Sauerstoffklistieren.

Kirnberger, 1883: erzielte Erfolge mit Sauerstoffanwendungen bei Leukämien: Zur Therapie der Leukämien und Pseudoleukämien. Deutsche med. Wochenschr.

1883. No. 41. Auch **Sticker, Georg** veröffentlichte **1886** Erfolge mit Sauerstoffanwendungen bei Leukämien: Zur Therapie der Leukämie. Münch. med. Wochenschr. 1886. No 43/44.

Honigmann (Georg, 1863-1930) setzte die von Sticker begonnenen Untersuchungen in Giessen **1891** fort und stellte einen günstigen Einfluss von Sauerstoff auf den Stickstoffwechsel fest: Beitrag zur Kenntnis der Wirkung von Sauerstoff-Einatmungen auf den Organismus. Zeitschr. f. klin. Med. 1891. XIX. H. 3. S 271. Zur Therapie der Anaemia splenica. Centralbl. f. inn. Med. 1896. XVII.

Als Befürworter der Sauerstofftherapie nannte Pagel: **Ephraim (1890), Neumann (1891) und Landi (1891)**.

Gegner der Sauerstofftherapie:

Kraus, Friedrich (1858-1936) und Chvostek, Franz (*1864, Wien): Ueber den Einfluss der Krankheiten auf den respiratorischen Gaswechsel und über Sauerstofftherapie (zitiert nach Virchow-Hirsch, Jahresber. 1891. I. 307/308).

Sauerstoff als Antidot gegen Koma bei bestimmten Vergiftungen und Asphyxien aller Art. Diese Indikationen waren das Ergebnis der 1894-1895 publizierten Arbeiten von

Thomson, W. Gilman (New York): The therapeutic value of oxygen inhalation. Practitioner. Lond. 1889. Aug. p. 97.

Merry, W.J.C., 1894: The value of oxygen in opium poisoning. Lancet. I. Juni 2. p. 1372.

Ashburn, P.M. und Stryker S.S., Philadelphia, 1894: Inhalations of oxygen in two cases of opium poisoning. Am. Med. News. 1894. July 26. p.96.

Macalister, Chas., 1895: Abstract of two cases illustrating the therapeutic value of oxygen. Lancet 1895. II. 7. Dez., p. 1428.

Loewy, Adolf (1862-1937), 1895, Berliner Physiologe, sah den Nutzen von Sauerstoff auch in sauerstoffarmer Atmosphäre (bei Bergkrankheit) und bei Erkrankungen, wo mechanische Hindernisse die Sauerstoffzufuhr zu den Geweben beeinträchtigten (Asthma bronchiale, Stenosen, Fremdkörper). Der respiratorische Gaswechsel sei unabhängig von der geatmeten Luft, und die Anreicherung der Luft mit Sauerstoff ändere weder die Kohlensäureausscheidung noch die Sauerstoffaufnahme.

Auf Anregung von von Leyden hatte **Michaelis** erneut den Sauerstoff einer umfangreichen Prüfung unterzogen. In seinen Publikationen beschrieb er die exakten Indikationen zur Anwendung des Sauerstoffs. **Michaelis, Max, 1900/01**: Ueber Sauerstofftherapie. Zeitschr. f. diätet. u. phys. Therapie, herausgeg. von v. Leyden und Goldschneider. IV. H. 2. Oktober. 1900/01. S. 122-137.

Aron, E (1901). und Klemperer, G. gingen mit Äußerungen von **Speck** gegen Sauerstoffanwendungen konform: An dem Sauerstoffverbrauch und an den Stoffwechselforgängen änderte demnach auch eine veränderte Lungenventilation oder eine Atemgymnastik nichts.

Brat beobachtete **1901** günstige Effekte bei Methämoglobinvergiftungen: Ueber gewerbliche (Methämoglobin-)Vergiftungen und deren Behandlung mit Sauerstoff-Inhalationen. Deutsche med. Wochenschr. 1901. No. 19. S. 197; No. 20. S. 320.

Insgesamt positive Beobachtungen mit Sauerstoff machten **1901 von Leyden, Schliep, Prochownik, Hagenbach-Burckhardt** (bei Kindern) und **Albert Salamonski**:

Leyden, E. von, 1901: Ueber Sauerstofftherapie. Chemische und medizinische Untersuchungen. Festschr. z. Feier des 60. Geburtstages von Max Jaffé. Sonderdr. Braunschweig 1901. 12 Ss.

Schliep, Stettin, 1897: Der jetzige Stand der Sauerstofftherapie. Ther. Monatsh. 1897. Nov. S. 595.

Hagenbach-Burckhardt, 1901: Ueber Sauerstoffinhalationen bei Kindern. Jahrbuch f. Kinderheilk. Bd. 54. H.4. 1901.

Salamonski, Albert (Berlin) 1902: Zur Geschichte der Sauerstofftherapie. Diss. Leipzig 1902. 39 Ss. (Von M. Michaelis inspiriert)

„Ist auch schliesslich von der unübersehbaren Fülle der praktischen und literarischen Arbeit, die der Sauerstoff hervorgerufen hat, nur ein Teil geblieben, welcher dauernde Bedeutung beansprucht, und haben sich auch von den vielen Hoffnungen, mit denen man die Entdeckung des Mittels begrüßte, in dem man zeitweise eine wahre Lebensluft, ein neues Verjüngungsmittel, eine Panacee von universellem Wert gefunden zu haben glaubte, wenige erfüllt, so ist doch immerhin etwas geblieben, das nicht zu unterschätzen ist. Hierin teilt der Sauerstoff das Schicksal einer Reihe anderer, allmählich in harten Kämpfen für und wider dem Heilschatz einverleibter und Gemeingut unserer Kunst gewordener Mittel, ja, man darf sagen, das Schicksal der Therapie selbst. In dem Entwicklungsgange der Medizin haben bekanntlich die Zeiten therapeutischer Polypragmasie mit denen des Nihilismus häufig genug gewechselt. [...]“ [137].

H. Legende

Abb.:	Abbildung
ca.:	circa
etc.:	et cetera
Fig.:	Figur
griech.:	griechisch (-er, -e)
Hb:	Hämoglobin
kg:	Kilogramm
KG:	Körpergewicht
Lit.verz.:	Literaturverzeichnis
österr.:	österreichischer
S.:	Seite
St.:	Sankt
stündl.:	stündlich
Tab.:	Tabelle
v. Chr.:	vor Christus
Vol.Proc.:	Volumenprozent
z.B.:	zum Beispiel

I. Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Thomas Beddoes (1760-1808). Sharples Pastel Collection, Bristol Museum. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panacea. Anaesthesia, 1974, 29: 194-208, Fig. 3.	11
Abb. 2: Humphrey Davy (1778-1829) by Jackson, National Portrait Gallery, London. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panacea. Anaesthesia, 1974, 29: 194-208, Fig 2.	12
Abb. 3: The Pneumatic Institute in September 1971; [...]. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panacea. Anaesthesia, 1974, 29: 194-208, Fig. 4.	12
Abb. 4: James Watt (1736-1819) by H. Howard. National Portrait Gallery, London. Aus: Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panacea. Anaesthesia, 1974, 29: 194-208, Fig. 1.	13
Abb. 5: Das Brin'sche Verfahren. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906. S.109, Fig. 1. [137].....	15
Abb. 6: Sauerstoff-Inhalator mit Mundstück. Ähnlich dem 1796 von Beddoes und Watt beschriebenen Apparat. Aus einem Down Bros. Katalog 1919. Aus: Leigh JM: The evolution of oxygen therapy apparatus. Anaesthesia, 1974, 29, 462-85, Fig. 1.	16
Abb. 7: Das erste Dräger-Druckreduzierventil „Lubeca“ (1889). Aus: Strätling/Schmucker: 100 Jahre Sauerstofftherapie [179], Abb. 4.....	18
Abb. 8: John Scott Haldane (1860-1936). Frontispiece from “The Regulation of Human Respiration” (Ed. by D:J:C: Cunningham and B.B. Lloyd) (1963) Blackwell Scientific Publications, Oxford. Aus: Leigh JM: The evolution of oxygen therapy apparatus. Anaesthesia, 1974, 29, 462-85, Fig. 1.....	20
Abb. 9: Haldane's Sauerstoffapparat. Aus: The Therapeutic Administration of Oxygen. Haldane JS, BMJ , 181-183 (1917) [83].....	25
Abb. 10: Apparat zur Verabreichung von Sauerstoff. Aus: Haldane, JS: Respiration, 1935, S. 229. Fig. 66 [85].....	27
Abb.11: Waldenburgs transportabler pneumatischer Apparat. Aus: Waldenburg, L: Die Pneumatische Behandlung der Respirations- und Zirkulationskrankheiten, Berlin 1875 [189]. Fig. 4, S. 128.	36
Abb. 12: Sauerstoffapparat von Michaelis. Aus: Michaelis M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig.1 [137]	46

Abb. 13: Aus: Cramer H: Zur Sauerstoffanwendung vom Standpunkte der Krankenpflege aus. Zeitschr Krankenpfl, Berlin; 15-21 (1903) [40]	62
Abb. 14: Aus: Brandt, L.: Illustrierte Geschichte der Anästhesie, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart, 1997, S. 127, Abb. 3-4b. 3-4c: Haltung der Schimmelbusch-Maske, 3-4d: Curt Schimmelbusch bei der Durchführung einer Tropfnarkose. [25]	75
Abb.15: Atmungsapparat von Brat. Aus: Brat H: Ueber einen neuen Sauerstoffatmungsapparat. Fig. 9, 1905, S. 595 [29].	77
Abb. 16: Ein erster Sauerstoffatmungsapparat. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, S.121, Fig. 5 [137].	86
Abb. 17: Einfacher Sauerstoffapparat mit Stahlzylinder. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, S. 218, Fig. 1 [137].	87
Abb. 18: Erste Sauerstoffapparate. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 8 und 10 [137].	87
Abb.19: Amerikanischer Apparat aus dem Jahre 1896. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 1, S. 484, [137].	93
Abb. 20: Die Sauerstoff-Chloroformnarkose. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 3. S. 485 [137].	94
Abb. 21: Erster Sauerstoff-Chloroformapparat nach Wohlgemuth. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 4,5. S. 486-487 [137].	95
Abb. 22: Das Chloroform-Sauerstoff-Narkosegerät von Wohlgemuth (1901). Technisch handelt es sich hierbei weitgehend um eine Modifikation des von Michaelis erstmals um 100/1901 beschriebenen Sauerstofftherapie-Apparates. Aus: Strätling, M, Schmucker, P: 100 Jahre Sauerstofftherapie, Abb. 3, [179].....	95
Abb. 23: Chloroformapparat des Wohlgemuth'schen Apparates. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, [137], Fig. 6, S. 487.....	97
Abb. 24: Chloroform-Sauerstoff-Narkosegerät von Roth (vorgestellt auf dem Chirurgenkongress 1902 in Lübeck). Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 7. S. 488 [137].	98
Abb. 25: Vergrößerte Darstellung der Chloroformeinheit am Sauerstoff-Chloroform-Narkosegerät von Wohlgemuth. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 8, S. 488 [137].	98
Abb. 26: Der Sauerstoff-Chloroform-Apparat von Wohlgemuth, 1902. Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 9, S. 490 [137].....	99

Abb. 27: Apparat auf Tisch_Sauerstoff-Chloroform-apparat von Roth (mit Tropfmethode). Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 10, S. 492 [137]...... 100

Abb. 28: Sauerstoff-Chloroformapparat von Roth (mit Tropfmethode). Aus: Michaelis, M: Handbuch der Sauerstofftherapie, 1906, Fig. 11, S. 492 [137]..... 100

Abb. 29: Schematische Darstellung der Sauerstoffdissoziationskurve in Abhängigkeit von dem PCO_2 , dem pH-Wert, dem 2,3-Diphosphoglycerat (2,3-ADPG) und der Temperatur. Aus: Renz-Polster. H; Braun;J: Basislehrbuch Innere Medizin, 2. Auflage, Urban & Fischer, 2001, Abb.7-2, S. 403. 108

Abb. 30: Normwerte der BGA. Aus: Renz-Polster. H; Braun;J: Basislehrbuch Innere Medizin, 2. Auflage, Urban & Fischer, 2001, Tab.11.6, S. 956..... 110

J. Literaturverzeichnis

1. Ackerknecht EH; Murken AH : Geschichte der Medizin. Encke, Stuttgart, 7. Auflage (1992)
2. Adams NH: The use of oxygen in pneumonia. Clin Review, Chicago, xxi, 330-332 (1904-5)
3. Allen WH: Oxygen and strychnine in pneumonia. Br Med J London, i, 501 (1892)
4. Ananoff: Ueber die Wirkung von Sauerstoffgas auf die erhöhte Reflexerregbarkeit. Centralbl für die med Wissenschaft, Berlin, xii, 417 (1874). Verhandlungen der Berliner medizinischen Gesellschaft (1900-1901), xxxii, pt.2, 283-302.(Diskussion), pt.1, 113;126 (1902). Auch: Berl Klin Wochenschr, xxxviii, 951;972, (Diskussion), 553;632 (1901)
5. Anonymus: The use of oxygen in the treatment of acute pneumonia. Philadelphia Polyclinic. Iv, 389 (1895)
6. Aron E: Die Aussichten der Sauerstoff-Inhalationen nach den neuesten physiologischen Untersuchungen. Dtsch Med Wochenschr, Leipzig und Berlin, xxx, 1957-1960 (1904)
7. Aron E: Ueber Sauerstoff-Inhalation. Verhandlungen der Berliner medizinischen Gesellschaft (1900-1901), xxxii, pt.2, 283-302. (Diskussion), pt.1, 113;126 (1902). Auch: Berl Klein Wochenschr, xxxviii, 951;972, (Diskussion), 553;632 (1901)
8. Aron E: Was können wir uns von der Sauerstoff-Therapie versprechen? Dtsch Med Wochenschr, Leipzig und Berlin, xix, 644-648 (1893)
9. Aronson: Ueber Narkosen mit Chloroform-Sauerstoff-Gemisch. Dtsch Med Wochenschr, Leipzig und Berlin, xxvii, Verlags-Beilage, 81 (1901)
10. Baedeker J: Das Sauerstoffbad in der ärztlichen Hauspraxis. Ther Ggw, Berlin 1910, li, 54-60 (1910).
11. Bainbridge WS: Oxygen in medicine and surgery – A Contribution, With Report of Cases, New York State J Of Med, Vol. 8, No. 6 (June 1908), 281-295 (1908)
12. Barth G: Oxygen, a remedy in disease. London (1865)

13. Bateman RW: Pneumonia sucessfully treated by Brin´s oxygen. Lancet, London, ii, 308 (1892)
14. Beddoes T, Watt J: Considerations on the medicinal uses of factitious airs, and on the manner of obtaning them im large quantities, bulgin and rosser, Bristol (1795)
15. Behbehani K: Mechanical Ventilation. In: Bronzino JD (ed.): The biomedical engineering handbook. Hartford: CRC:1301-1310 (1995)
16. Bergmann P: Ueber Inhalation von Sauerstoff. Ther Ggw, Berlin, liii, 400-402 (1912)
17. Bergmann P: Der Sauerstoff als innerliches Heilmittel. Klin ther Wochenschr, Berlin, xviii, 395-400 (1911)
18. Bernstein J : Weitere Versuche über der Sauerstoffzehrung in den Geweben. Verhandungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte. 1891, Leipzig, lxiv, pt.2, 148-151 (1892)
19. Birch SB: On the therapeutic use of oxygen. Lancet (1.8.1857),112 (1857)
20. Birch SB: On oxygen as a therapeutic agent; Br Med J (Vol. CLVL;24.12.1859),1033-1035 (1859)
21. Blodgett AN: The continuous inhalation of oxygen in cases of pneumonia otherwise fatal, and in other diseases. Boston M. & S.J., cxxiii, 481-485 (Diskussion), 493-495 (1890)
22. Blume G: Zur Geschichte es Drägerwerkes von 1889 bis 1936 – Erinnerungen eines Werkmeisters. In: Dräger Lisa (Hrsg.). Lübeck: Dräger-Druck (1994)
23. Boucher L: Action favorable des inhalations d´oxygène dans un cas d´angine diphthéritique. Gaz. d. hop., Paris, lvi, 1106 (1883)
24. Bradburne AA: Case of acute pneumonia with hyperpyrexia; beneficial effect of oxygen. Lancet London, ii, 1730 (1900)
25. Brandt L (Hrsg.): Illustrierte Geschichte der Anästhesie. Stuttgart: Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft, (1997)
26. Brat H: Die Sauerstofftherapie in der gewerbehygienischen Praxis. Zeitschr ärztl Fortb, Jena, ii, 473-475 (1905)
27. Brat H: Die Stellung eines Sauerstoffatmungsapparates in der Therapie. Berl klin Wochenschr, xlii, 494-499 (1905)

28. Brat H: Sauerstoff-Atmungsapparat. Illustrierte Monatschr ärztl Polytechn, Berlin, xxviii, 69 (1906)
29. Brat H: Ueber einen neuen Sauerstoffatmungsapparat. Dtsch Med Wochenschr, Leipzig und Berlin, xxxi, 594-596, (Diskussion), 521 (1905)
30. Brat H: Ueber Erfolge der Sauerstofftherapie, unter besonderer Berücksichtigung der in den Gewerbebetrieben gewonnenen Erfahrungen bei gewerblichen Vergiftungen. Klin Jahrbuch, Jena, xiv, 531-546 (1905)
31. Braun H: Über Mischnarkosen und deren rationelle Verwendung. Arch Klin Chir (64. Band). Berlin: Hirschwald, 201-235 (1901)
32. Brügelmann W: Ueber Sauerstofftherapie. Ther Monatshefte, Berlin, vi, 122 (1892)
33. Brunton TL, Prickett M: On the use of oxygen and strychnine in pneumonia. Br Med J, London, i, 172 (1892)
34. Buchheim R: Ueber die therapeutische Verwendung des Sauerstoffs. Arch experim Pathol und Pharmakol, Leipzig, iv, 137-145 (1875)
35. Chambers J: Oxygen gas in pneumonia. Lancet, London i, 1120 (1890)
36. Cnopf: Kasuistische Mitteilungen zur therapeutischen Verwendung des Sauerstoffs. Münch Med Wochenschr, lii, 353 (1905)
37. Coltelli H, von: Ueber Sauerstoff-Inhalationen. Zeitschr für Therapie mit Einbeziehung der Elektro- und Hydrotherapie, Wien, i, 197-201 (1883)
38. Conklin WL: The therapeutic value of oxygen. New York State J Med, September 2: 338-341 (1899)
39. Cottew AA: Beneficial effect of oxygen in pneumonia. Ibid., i, 892 (1901)
40. Cramer H: Zur Sauerstoffanwendung vom Standpunkte der Krankenpflege aus. Zeitschr Krankenpfl, Berlin, xxv, 15-21 (1903)
41. Creqy: Deux observations d'asphyxie traitée par l'oxygène. Gaz.méd. de Paris 49, 656 (1868)
42. Davenport JH: Oxygen as a remedial agent. Boston Med Surg J, Vol. X, No 4 (July 25), 61-64 (1872)
43. Davy H: Researches, chemical and philosophical; chiefly concerning nitrous oxide, or dephlogisticated nitrous air, and its respiration. J. Johnson, London (1800)

44. Davy H: Humphrey Davy's chemische und philosophische Untersuchungen ueber das oxidirte Stickgas und das Athmen desselben. Lemgo: Meyer'sche Buchhandlung (1814)
45. Démarquay JN: Versuch einer medizinischen Pneumatologie: physiologische, klinische, therapeutische Untersuchungen über die Gase. Dt. Bearbeitung von O. Reyher, Leipzig (1867)
46. Dräger H: Lebenserinnerungen von Heinrich Dräger. In: Jansen Alfred (Hrsg) Hamburg. Erstdruck 1914, 1917
47. Dräger L (Hrsg.): Lebenserinnerungen von Elfriede Dräger. In: Lisa Dräger (zusammengestellt und herausgegeben). Lübeck: Verlag Graphische Werkstätten (1990)
48. Drägerwerk Lübeck: Über Sauerstoff-Atmungsgeräte für den Feldgebrauch – Eine kurzgefaßte Darstellung zur Ergänzung der Feldanweisungen R und W. 4. Auflage. In: Rathgens HG (Hrsg.), Lübeck (1916)
49. Drägerwerk AG: Damals... – Dräger-Mitarbeiter erinnern sich. Lübeck, Graphische Werkstätten (1987)
50. Drägerwerk AG: Die Geschichte der Dräger-Narkoseapparate. 1. überarb Version. In: Geschäftsbereich Anästhesie (Hrsg.), Hamburg. Haupt J 1970 (1996)
51. Drägerwerk AG (Hrsg): Die Evolution der Beatmung – vom Pulmotor zur Evita. Lübeck, Bahns A (1997)
52. Drägerwerk AG: Presse und Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg). Technik für das Leben 1889-2000, Lübeck (2000)
53. Drägerwerk Lübeck: Der Retter Sauerstoff, Katalog R, 8. dt. Ausgabe (1912)
54. Dumstrey F: Die systematische Verwendung von Sauerstoff und Ozon in der Medizin. Leipzig (1911)
55. Duncum BM: The development of inhalation anaesthesia. University Press, Oxford (1947)
56. Eckart WU, Gradmann C (Hrsg.): Ärzte-Lexikon. Von der Antike bis zur Gegenwart. 3. Auflage. Springer-Verlag 2006.

57. Ehinger CE: Oxygen in therapeutics. A treatise explaining the apparatus, the material and the processes used in the preparation of oxygen and other gases with which it may be combined. Also, its administration and effects...W.A. Chatterton &Co., Chicago (1887)
58. Engelhardt D, von: Biographische Enzyklopädie deutschsprachiger Mediziner. Herausgegeben von Dietrich von Engelhardt. Bd. 1 und 2. K.G. Saur, München 2002.
59. Engelmann F: Ueber Erfahrungen mit dem Roth-Drägerschen Sauerstoffnarkosenapparat. Centralbl Chir, Leipzig, xxix, 961-967 (1902)
60. Ephraim A: Ueber Sauerstofftherapie. Berl Klin, 20. Hft., 1-27 (1890)
61. Erskine AM: Treatment of pneumonia by inhalations of oxygen gas. Ibid., i, 330 (1898)
62. Evill FC: A case of pneumonia cured by the use of oxygen. Austral Med J, Melbourne, n.s., xiv, 619-622 (1892)
63. Fink BR: Diffusion anoxia. Anaesthesiology 16, 511 (1955)
64. Fischer I: Biographisches Lexikon hervorragender Ärzte der Neuzeit. Bd. I-III. Urban & Schwarzenberg 1932.
65. Fisher HM: Pneumonia treated with oxygen inhalations; recovery. New York Med J, lxxvi, 355 (1897)
66. Fleischer: Ueber Wesen, Wirkung und Anwendung des Sauerstoff-Heilverfahrens; Novozone-Therapie. Berlin (1903)
67. Fleischer: Eine neue Anwendungsweise der Sauerstoffinhalation. Wiener Med Wochenschr, lv, 322 (1905)
68. Foss K: Sauerstoff in der Krankenpflege. Zeitschr Krankenpfl, Berlin, xxii, 237,294,341 (1900)
69. Frankel WK: The introduction of general anaesthesia in Germany. J Hist. Med 1, 612-617 (1946)
70. Frenkel M: Ueber Sauerstoffpräparate und Sauerstofftherapie. Apotheker-Zeitung, Berlin, xix, 581 (1904)
71. Galli G: Zur Geschichte und Indikation der Sauerstofftherapie. Münch Med Wochenschr, lv, 124 (1908)

72. Gallois P, Bonnel: L'eau oxygénée dans le traitement des vomissements de la grossesse et de la tuberculose. Bull général de thérapie etc., cxxv, 419-428. Auch: Nouvelles remèdes, Paris, xiv, 145-150 (1898)
73. Gärtner G: Ueber intravenöse Sauerstoffinfusion. Allg Wien Med Zeitung, xlvii, 229, 239. Auch: Wien Klin Wochenschr, xv, 691,727 (1902)
74. Geddes PSW: Pneumonia treated by oxygen. Mass Med J, Boston, xv, 387 (1895)
75. Gilchrist AW: On the use of oxygen and strychnine in pneumonia. Br Med J, London, i, 327 (1892)
76. Goerig M, Schulte am Esch J: Frühe Beiträge zur Entwicklung der Lachgas-Sauerstoff-Anästhesie in Mitteleuropa. Anaesthesiolog Reanimat; 27 (2), 42-53 (2002)
77. Goerig M; Schulte am Esch J, Helmut Schmidt – an early protagonist of professionalized anaesthesia in Hamburg. In: Schulte am Esch J, Goerig M (Hrsg.): The history of anaesthesia - proceedings of the fourth international symposium on. (Hamburg 26th – 29th April 1997). Lübeck: Dräger Druck, 367-378 (1998)
78. Goerig M, Schaffner E, Wohlgemuth H, Roth O: The men behind the technique. In: Schulte am Esch J; Goerig M (Hrsg.). The history of anaesthesia – proceedings of the fourth international symposium on (Hamburg 26th-29th April 1997. Lübeck: Dräger Druck, 815-822 (1998)
79. Goerke H: Medizin und Technik – 3000 Jahre ärztliche Hilfsmittel für Diagnostik und Therapie. München, Callwey (1988)
80. Gonthier MT: Étude sur les inhalations d'oxygène das la diphtérie. Paris (1889)
81. Gyurkovechky V, von: Beiträge zur therapeutischen Anwendung des Sauerstoffs. Wien Med Presse Nr. 25, 1030-1032 (1889)
82. Hagenbach-Burckhardt E: Ueber Sauerstoffinhalationen bei Kindern. Jahrb Kinderheilkunde, Berlin, n.F., liv, 502-511 (1901)
83. Haldane JS: The therapeutic administration of oxygen; Br Med J, February 10: 181-183 (1917)
84. Haldane JS: Organism and environment as illustrated by the physiology of breathing, New Haven, Yale University Press (1917)

85. Haldane JS: Respiration, Yale Universtity Press, New Haven (1922)
86. Hartung A: Der Sauerstoff, seine physiologische und therapeutische Wirkung. Leipzig (1874)
87. Hasenknopf: Zur Sauerstoff-Therapie. Charité-Annalen, Berlin, xxviii, 228-262 (1904)
88. Haynes IS: Ozone in the treatment of diphteria, with reports of seven cases. New York MJ, lviii, 66-69 (1893)
89. Hecht A: Ueber Sauerstoffinhalationen bei Kinderkrankheiten. Jahrb Kinderheilk, Berlin, n.F., lvii, 204-214 (1903)
90. Heermann A: Bemerkungen zu der Sauerstofftherapie. Ther Monatshefte, Berlin, xix, 526 (1905)
91. Hill D: Beobachtungen und Versuche über die Heilkräfte des Sauerstoffgas oder der Lebensluft. A.d. Engl. von E.H.W. Münchmeyer, Göttingen bey Philipp Georg Schröder (1801)
92. Hill D: Practical observations on th use of oxygen, or vital air in the cure of diseases: To which are added, a few experiments on the vegetation of plants. Privately Printed, London (1820)
93. Hill L: The administration of oxygen; Br Med J (January 13, 1912), 71-72 (1912)
94. Hobbs et al.: Action de l'ogygène sur les cobayes tuberculisés. Bul. Soc. D'anat. et physiol de Bordeaux, xxx, 625 (1900)
95. Holtzapple GE: The uses and effects of oxygen gas and nux vomica in the treatment of pneumonia. Repr. orig. communicat. New York Med J, 16-19 (1887,1888)
96. Honigmann G: Beiträge zur Kenntniss der Wirkung von Sauerstoffeinathmungen auf den Organismus. Habilitationsschrift. (Giessen). Berlin. Auch in: Zeitschr Klin Med, Berlin, xix, 270-293 (1891)
97. Keys TE: Die Geschichte der chirurgischen Anästhesie. Anästhesiologie und Wiederbelebung, Band 23. Berlin-Heidelberg-New York. Springer (1968)
98. Kinnear BO: Pneumonia treated by heat over the spine and by the inhalation of pure oxygen. Boston M.& S.J., cxxxvii, 575-577 (1897)

99. Klemperer F: Zusammenfassende Uebersicht über Sauerstofftherapie. Ther Ggw, Berlin-Wien, n.F., iii, 257-261 (1901)
100. Koch H; Ueber die Verwendung des Sauerstoffs in der Heilkunde. Ärztl Rundsch, München, xiv, 553-556 (1904)
101. Kohn H: Zur Sauerstofftherapie. Dtsch Med Wochenschr, Leipzig und Berlin, xxvii, 490 (1901)
102. Kraus F, Chvostek F: Ueber den Einfluss von Krankheiten auf den respiratorischen Gaswechsel und über Sauerstofftherapie. Wien Klin Wochenschr, Nr.33, iv, 605f (1891)
103. Kraus F: Zur Sauerstofftherapie. Ther Ggw, Berlin und Wien, xlv, 1-5 (1903)
104. Lancaster E. Le C: Oxygen in diphtheria. Br Med J, London, i, 551 (1892)
105. Le Beuf: A case of opium poisoning sucessfully treated by inhalations of oxygen. Proc. Orleans Paris M. Soc. (1904), New Orleans, 208, (1905)
106. Leigh JM: Oxygen therapy techniques after 200 Years – A survey of present practise and current trends. Anaesthesia (28), 164-169 (1973)
107. Leigh JM: Variation in performance of oxygen therapy devices. Annals of the Royal College of Surgeons of England (52), 234-253 (1973)
108. Leigh JM: Early treatment with oxygen. The Pneumatic Institute and the panaceal literature of the nineteenth century. Anaesthesia (29), 194-208 (1974)
109. Leigh JM: Ideas and anomalies in the evolution of modern oxygen therapy. Anaesthesia (29), 335-348 (1974)
110. Leigh JM: The evolution of the oxygen therapy apparatus. Anaesthesia (29), 462-485 (1974)
111. Lender C.: Der Giftstoff und der Arzneikörper der Luft. Vortrag gehalten zum Besten der Verwundeten am 9. August 1871 im Conversations-Saale zu Kissingen. T.A. Schachenmayer, (1872)
112. Lender C: Sauerstoff und Ozonsauerstoff nebst ihrer Anwendung bei Verwundeten. Nach einem im Berliner Inhalatorium gehaltenen Vortrage. Berlin (1870)
113. Lender C: Sauerstoff und Ozonsauerstoff. Dtsch Zeitschr prakt Med, Leipzig, 265-267 (1875)

114. Lender C: Zur Anwendung von Sauerstoff und Ozon-Sauerstoff. Dtsch Klinik, Berlin, xxii, 435 (1870)
115. Lender C: Zur Behandlung mit Sauerstoff. Ibid., 80;92;99;113; 143; 187; 198; 207.
116. Lender C: Zur Behandlung mit unerregten und erregtem Sauerstoff. Ibid., xxiii, 54-56 (1871)
117. Leyden E, von: Ueber Sauerstofftherapie. Chemische und medizinische Untersuchungen, Festschrift. Max Jaffé, Braunschweig, 1-12 (1901)
118. Lilienfeld M: Gewinnung und Anwendung von Sauerstoff und Ozon. Oesterr Chemiker-Zeitung, Wien, iii, 349-352 (1900)
119. Limousin: Emploi de l'oxygène dans le cas d'asphyxie. Assoc. Franc. Pour l'avance. d. sc. Compt—rend. (1883), Paris, (1884), xii, 1042-1045
120. Limousin: Traitement de l'asphyxie par les inhalations d'oxygène. Bull. Soc. de méd. prat. de Paris, 94-98 m(1871)
121. Linas: Asphyxie lente et graduelle par le charbon, traitement et guérison par les insoirations d'oxygène, Gaz. méd. de Paris 18, 244 (1868)
122. Linde AG (Gesellschaft für Lindes Eismaschinen-Aktiengesellschaft): 50 Jahre Sauerstoffanlagen. Festschrift. Hollriegelskreuth (1952)
123. Linde AG. Wiesbaden: Linde und die Geschichte der Luftzerlegung. <http://www.linde-anlagenbau.de>
124. Loewy A, Zuntz N: Ueber den Mechanismus der Sauerstoffversorgung des Körpers. Arch Physiol, Leipzig, 166-216, 1 pl (1904)
125. Loewy A: Über die Bindungsverhältnisse des Sauerstoffes im menschlichen Blute. Centralbl Physiol, Leipzig und Wien, xiii, 449-454 (1899)
126. Loewy A: Ueber die Wirkung des Sauerstoffs auf die osmotische Spannung des Blutes. Berl Klin Wochenschr xl, 23-27 (1903)
127. Loud F: Pneumonia treated successfully with inhalations of oxygen gas. Br Med J, London, ii, 1179 (1897)
128. Lyons AS, Petrucelli RJ: Medicine – an illustrated history. New York: Harry N. Abrams (1987)
129. Mackey E: On the Therapeutical Value of the Inhalation of Oxygen Gas. Practitioner, Vol. 2, 276-287 (1869)

130. Mamlock GL: Die erste Anwendung des Sauerstoffs im Charitékrankenhaus zu Berlin im Jahre 1783. Zeitschr diätet und physikal Ther, Leipzig, vii, 501 (1903-1904)
131. Martin L: Oxygen Therapy: The First 150 Years; Curiosities, quackeries, and other historical trivia; A chronology from Priestley to Haldane, based mainly on original sources; Mt. Sinai Medical Center, Cleveland, Ohio: <http://www.mtsinai.org/pulmonary/papers/ox-hist-intro.htm> (1999)
132. Maughan JT: Oxygen in pneumonia. Br Med J, London, i, 551 (1892)
133. Merry WJC: The value of oxygen in opium poisoning. Lancet, London, i, 1372 (1894)
134. Meyer G: Die Anwendung des Sauerstoffs auf dem Gebiete des Rettungswesens. Dtsch Med Wochenschr, Leipzig und Berlin, xxvi, 41 (1900)
135. Michaelis L; Sauerstoff-Apparate in der Medizin. Krankenpflege, Berlin 1902-1903, ii, 139-151.
136. Michaelis M: Ueber Sauerstofftherapie. Verhandlungen des Congresses für Innere Medizin, Wiesbaden, (1900), xviii, 503-530. Auch: Zeitschr diätet und physikal Ther, Leipzig, iv, 122-137 (1900)
137. Michaelis M: Handbuch der Sauerstofftherapie. Berlin, Verlag von August Hirschwald, Nw. Unter den Linden 68 (1906)
138. Michaelis M: Lungenkrankheiten und ihre Verhütung. Berlin W 15, Max Hesses Verlag, 1-67.
139. Mitchell E: Oxygen in the treatment of pneumonia. Cincinnati Lancet-Clinic, n.s., xlvi, 654-656 (1902)
140. Oppenheim A: Ueber neuere Anwendungen des Sauerstoffs in Rücksicht auf Gesundheitspflege. Dtsch Med Wochenschr, Berlin, ii, 97-101 (1876). Auch: Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin, Berlin, n.F., xxv, 405-409 (1876)
141. Osler W: The principles and practise of medicine. New York, D. Appleton and company (1892)
142. Paul C: De l'emploi de l'oxygène en thérapeutique. Bull.gen. de therap. Août 15, 97 (1867)

143. Pawlinoff C: Der Sauerstoffmangel als Bedingung der Erkrankung und des Ablebens des Organismus, Berlin (1902)
144. Penrose CA: Infusion of salt solution combined with a special method for the administration of oxygen inhalations as a treatment in pneumonia. John Hopkins Hospital Bulletin, Baltimore, x, 127-129 (1899)
145. Playfair DT: The value of oxygen in poisoning by morphine. Lancet, London, ii, 545 (1898)
146. Potts, WH: Oxygen Therapy – a critical resume. Am J Med Sci (184), 616 (1932)
147. Priestley, J: Experiments and observations on different kinds of air and other branches of natural philosophy connected with the subject; 2nd edition in three volumes; Pearson, Birmingham/London (1790) (1st edition in six volumes: 1775)
148. Prinz JP: Die experimetelle Methode der ersten Gasstoffwechseluntersuchungen am ruhenden und quantifiziert belasteten Menschen (Lavoisier AL und Seguin A (1790)) – Versuch einer klinischen Deutung. Sankt Augustin, Academia Verlag (1992)
149. Pütter AFR: Die Wirkung erhöhter Sauerstoffspannung auf die lebendige Substanz (Göttingen), Jena (1904)
150. Rasch H: Die Zündungen durch versichteten Sauerstoff und die Explosionsgefahr des Stickoxyduls. Weimar, Steinert (1904)
151. Redard P: La médication oxygénée dans le traitement des tuberculoses locales. Cong. Internat. de la Tuberculose 1905, Paris, ii, 140-143 (1906)
152. Rogovin E: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Sauerstofftherapie. Med Blatt, Wien, xxv, 685-687 (1902)
153. Rogovin E: Klinische und experimentielle Untersuchungen über den Werth der Sauerstoff-Inhalation. Zeitschr Klin Med, Berlin, xlv, 337-376 (1902)
154. Ruprecht J; van Lieburg, M; Lee, J A; Erdman, W (Edits.): Anaesthesia – Essays on its History, Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo (1985)
155. Saechtling C: Die Entwicklung der Phlogistontheorie und der Sauerstofftheorie bis Lavoisier. Inauguraldissertation der Philosophischen Fakultät der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin (1932)

156. Sasaki H: Ueber die Sauerstoffinhalationen. München (1902)
157. Saunders FW: Administration of oxygen and hypodermic injections of strychnia in acute lobar pneumonia. Lancet, London, i, 992 (1893)
158. Scheele CW: Chemische Abhandlungen von der Luft und dem Feuer. Nebst einem Vorbericht von Tobern Bergmann. Leipzig: Crusius, Erstausgabe:1777 (1782)
159. Schickler: Ueber Sauerstoffinhalationen. Medizinisches Cor-Blatt des württembergischen ärztlichen Vereins, Stuttgart, lxxiii, 599-605 (1903)
160. Sieveking: Two cases of suffocation by coal gas treated with inhalation of oxygen gas. Lancet, Jan 30, 159 (1868)
161. Schröder H: Dräger-Sauerstoff-Behandlungsgerät für den Luftschutz-Sanitärdsdienst. Aus: Dräger-Gasschutz im Luftschutz, Drägerwerk Literatische Abteilung (Hrsg.), Rathgens Lübeck
162. Schrötter H, von: Der Sauerstoff in der Prophylaxe und Therapie der Luftdruckerkrankungen. (Erweiterter Sonderabdruck aus dem Werke: M. Michaelis, Sauerstofftherapie.) Berlin, (1906)
163. Schulte am Esch J; Goerig M (Hrsg.): The History of Anaesthesia – Proceedings of the Fourth International Symposium on....(Hamburg, 26th – 29th April 1997); Dräger Druck, Lübeck, 1998: 247-250.
164. Schulte am Esch, J; Goerig M (Hrsg.) (1997): The History of Anaesthesia; Programme and Abstracts, The fourth international symposium on the history of Anaesthesia, Hamburg, 26.-29.4.1997, Verlag Dräger Druck, Lübeck
165. Schulte am Esch, J; Goerig M (Hrsg): The History of Anaesthesia – Anaesthetic equipment in the history of german Anaesthesia; Catalogue of the exhibition at the Museum für Kunst und Gewerbe, Hamburg, 23.4.-4.5.1997.
166. Silliman B: Elements of chemistry in the order of the lectures given in Yale College; Hezekiah Howe, New Haven (1830)
167. Smith AH: Oxygen gas as a remedy in disease; Advertising Pamphlet; 56 pages; D. Appleton & Company; New York (1870)
168. Smith CJ: Clinical Notes: Oxygen in therapeutics. Lancet, December 18, 1172 (1886)

169. Smith JL: The pathological effects of breathing oxygen at a high tension
170. Smith WDA: A History of nitrous oxide and oxygen in Anaesthesia – Part I: Joseph Priestley to Humphry Davy. *Br J Anaes* (37), 790-798 (1965)
171. Smith WDA: A History of nitrous oxide and oxygen in Anaesthesia – Part V: The crucial experiment, it's eclipse, and its revival. *Br J Anaes* (38), 143-156 (1966)
172. Smith WDA: A history of nitrous oxide and oxygen in Anaesthesia – Part IX: The introduction of nitrous oxide and oxygen Anaesthesia; *Br J Anaes* (38), 950-963 (1966)
173. Smith WDA: A history of nitrous oxide and oxygen in Anaesthesia – Part X: The Early Manufacture, Storage and Purity of Nitrous Oxide;. *Brit. Journ. Anaes* (39): 351-381 (1967)
174. Smith WDA: A history of nitrous oxide and oxygen in Anaesthesia – Part Ia: The discovery of nitrous oxide and of oxygen. *Br J Anaes* (44), 297-304 (1972)
175. Smyttère, de: Sur l'inspiration de l'oxygène comme moyen de combattre le choléra. *Abstr., Compt rend Acad. d. sc., Paris*, xxvii, 393 (1848)
176. Speck C: Ueber die Beziehungen des Sauerstoffs zum gesunden und kranken Organismus. *Ther Ggw, Berlin -Wien, n.F.*, iii, 391-401 (1901). *Auch: Blatt Klin Hydrother, Wien*, xi, 260-274 (1901)
177. Starkey, GR: Compound Oxygen – Ist mode of action and results. Starkey and Palen, Philadelphia (1881)
178. Stoker G: Notes on a case of acute pneumonia treated by continuous inhalation of oxygen gas. *Lancet, London*, i, 1288 (1899)
179. Strätling M; Schmucker P (2002): 100 Jahre Sauerstofftherapie (1902 – 2002) – eine medizinhistorische Neubewertung – Teil I: *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2002; 37: 712-720 (2002). Teil II: *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2003; 38: 4-13 (2003)
180. Strätling M, Schmucker P, Dräger C: Die Bedeutung der Universitätsstandorte Schleswig-Holsteins für die Entwicklung der Anaesthesiologie, der Intensiv- und Notfallmedizin, der Schmerztherapie und der Medizintechnologie. *Schlesw-Holst Ärztebl* 55(6), 60-66 (2002)

181. Strauss H: Ueber Sauerstoffbehandlung. Zeitschr Ärztl Fortblg, Jena, i, 639-641 (1904)
182. Stryker SS: A case of acute opium poisoning treated with oxygen, venesection, and hypodermoclysis. Medical News, New York, lxxi, 208 (1897)
183. Stryker SS: Inhalations of oxygen in two cases of opium poisoning. Medical News, Philadelphia, lxxv, 96 (1894)
184. Thomas KB: The development of anaesthetic apparatus. Blackwell, Oxford (1975)
185. Thomson WEF: The physiological action of the inhalations of oxygen in asphyxia, more especially in coal mines. (Report). Rep Br Ass Adv Sci (1893), London, (1894), lxxiii, 551
186. Toepper: Zur Behandlung der Brustseuche mit Sauerstoff. Berl Thierärztl Wochenschr, 37-42 (1903)
187. Turner PE: On pneumonia and the pneumococcus, with especial reference to the action of oxygen. St. Barth. Hospital Reprint (1898), London (1899), xxxiv, 87-106
188. Waldenburg L: Geschichtlicher Rückblick auf die Sauerstoff-Therapie und Mittheilung der zur Einathmung von Sauerstoff anderen Gasen nothwendigen Apparate. Allg Med Centralzeitung, Berlin, xxxv, 253;265 (1866)
189. Waldenburg L: Die pneumatische Behandlung der Respirations- und Circulationskrankheiten. August Hirschwald Verlag, Berlin (1875)
190. Wallian SS: Sources of failure in the use of oxygen. The Therapeutic Gazette, June 16: 351-365 (1890)
191. Wallian, SS: Further Report: On oxygen as a therapeutic agent. The Medical Record, October 31: 483-488 (1885)
192. Wawersik J: Merkmale und klinische Bedeutung einer modernen Narkosetechnik. Christiana-Albertina (Kieler Universitätszeitschrift) Heft 14: 13-21 (1972)
193. Wawersik J: Die Geschichte des Narkoseapparates in Grundzügen. Anaesthesist, 31, 541-548 (1982)

194. Wawersik J: History of Anaesthesia in Germany. *J Clin Anaesth*; Vol.3, May/June, 235-244 (1991)
195. Wawersik J: Die Geschichte der Chloroformnarkose. *Anaesthesiolog Reanimat* 22; Heft 6, 144-152
196. Wettendorfer A: Der Sauerstoff in der ärztlichen Praxis. *Med-Chir Zentralbl, Wien*, xxxviii, 357 (1903)
197. White LW: Adopting commercial oxygen for medical use. *Respiratory Therapy* (9), 30-32 (Jan/Febr 1979).
198. Wilson G: On the employment of oxygen as a means of resuscitation in asphyxia and otherwise as a remedial agent. Edinburgh (1845). Reprint from: *Tr. Royal Scottish Soc Arts* (1845), iii
199. Winfield JM: Inhalations of oxygen as an adjunct in the treatment of pneumonia. *Brooklyn Med J*, iv, 146-152 (1890)
200. Zuntz N: Blutgase und respiratorischer Gaswechsel. In: *Handbuch der Physiologie des Kreislaufs, der Athmung und der thierischen Wärme*, Leipzig, Vogel (1882).

K. Danksagung

Von ganzem Herzen danken möchte ich meinem Doktorvater, PD Dr. med. Meinolfus Strätling, für seine stets engagierte, geduldige und nachdrückliche Begleitung meiner Dissertation. Seinem Engagement verdanke ich wertvolle Anregungen für die Umsetzung dieser Arbeit.

Den Mitarbeitern des medizinhistorischen Institutes der Universität zu Lübeck spreche ich ebenfalls meinen Dank aus für die freundliche Unterstützung bei meinen Recherchen und Studien.

Schließlich bedanke ich mich bei meiner Familie und bei meinem Freund Frank Seddig für die Unterstützung und Nachsicht, insbesondere beim Korrekturlesen.

L. Lebenslauf

Am 29. März 1975 wurde ich, Christina Koßobutzki, in Kiel geboren.

Mein Vater, Dr. rer. nat. Karl-Heinz Koßobutzki, war als Diplom-Physiker bei der Bundeswehr beschäftigt und befindet sich seit April 2003 im Ruhestand.

Meine Mutter, Anna Margarete Koßobutzki, war beruflich als Sekretärin tätig und befindet sich seit November 2006 ebenfalls im Ruhestand.

Von 1981 bis 1985 besuchte ich die Grundschule am Heidenberger Teich in Kiel, von 1985 bis 1994 das Gymnasium im Bildungszentrum Mettenhof, Kiel, das ich mit dem Abschluss der Allgemeinen Hochschulreife verließ.

Im Oktober 1994 nahm ich das Studium der Ökötrophologie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bis zum April 1995 auf. Von April 1995 bis Oktober 1995 studierte ich an der gleichen Universität Politologie, Französisch und Öffentliches Recht. Von Oktober 1995 bis Oktober 1996 übte ich eine Tätigkeit als Schwesternhelferin im Städtischen Krankenhaus Kiel, aus.

Im Oktober 1996 begann ich das Studium der Humanmedizin an der Georg-August-Universität zu Göttingen.

Im März 2000 wechselte ich an die Medizinische Universität zu Lübeck und schloss dort mein Studium mit der Ärztlichen Prüfung im Dezember 2003 ab.

Im Rahmen meiner Tätigkeit als Ärztin im Praktikum arbeitete ich von Januar bis März 2004 in der Gemeinschaftspraxis Ärzte für Augenheilkunde/Augenklinik Bellevue, Kiel. Von April 2004 bis Juli 2005 war ich in der Praxis Dres. Zinke/Kaiser, Ärzte für Kinder- und Jugendmedizin in Hamburg, tätig. Von August 2005 bis April 2007 war ich als Assistenzärztin in der Kinderklinik des Kreiskrankenhauses Rendsburg beschäftigt. Seit Mai 2007 arbeite ich als Assistenzärztin auf der Kinderintensivstation der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin des Westküstenklinikums in Heide/Schleswig-Holstein.

Publikationen:

1. Strätling M, Kossobutzki C, Schmucker P (2005) Inhaled Oxygen-Therapie - a reassessment of the international historiography on the most basic therapeutic agent in modern medicine. In: Sixth International Symposium on the History of Anaesthesia, Cambridge, England, 15.-18. September 2005, Abstract Booklet: 98.
2. Wüllenweber K, Kossobutzki C, Strätling M (2007): Neue Erkenntnisse aus der Geschichte der Rettungstechnik und des Atemschutzes – oder: war der berühmte britische Physiologe John Scott Haldane (1860-1936) ein Plagiator und Patentdieb? 54. Deutscher Anästhesiekongress DAC 2007 (Hamburg, 5.-8. Mai 2007) (Abstract/Posterpräsentation): Abstract-CD: 1.6.2.
3. Graw M, Wüllenweber K, Kossobutzki C, Strätling M (2007): 100 Jahre Pulmotor 1907-2007 – ein entscheidender Meilenstein in der Geschichte der modernen Rettungsmedizin und Beatmungstechnik. 54. Deutscher Anästhesiekongress DAC 2007 (Hamburg, 5.-8. Mai 2007) (Abstract/Posterpräsentation): Abstract-CD: 1.6.3.

