

Nach den bisherigen Erfahrungen besitzt die chemische Untersuchung eines Wassers im allgemeinen einen grösseren Wert für die Beurteilung, als die bakteriologische; in speziellen Fällen (Kontrolle von Filteranlagen, Leitungen etc.) wird auch diese zu Rate gezogen werden müssen.

Vergl.: Plagge und Proskauer, Bericht üb. d. Untersuchung des Berliner Leitungswassers. Ztschr. f. Hyg. 1887. II, 401:

A. Gärtner, üb. d. Beurteilung der hygien. Beschaffenheit des Trink- und Nutzwassers nach d. heutigen Stande der Wissenschaft. Arbeiten d. hyg. Sektionen f. d. VI. internat. Kongress. Wien, 1887. Hilger's Vierteljahrschrift 1887. II, 601.

F. Hueppe, d. Zusammenhang der Wasserversorgung mit der Entstehung und Ausbreitung von Infektionskrankheiten und die hieraus in hygienischen Beziehungen abzuleitenden Folgerungen. Arb. d. hyg. Sekt. f. d. VI. internationalen Kongress. Wien, 1887; Hilger's Vierteljahrschrift 1887. II, 603.

Bei der Beurteilung eines Wassers für Versorgungszwecke ist vor allem darauf zu sehen, dass die Möglichkeit einer Verunreinigung von vornherein ausgeschlossen ist. Das Wasser soll nach menschlicher Berechnung voraussichtlich nicht durch mit der Zeit zu erwartende Ausdehnung des Ortes, durch landwirtschaftliche Bearbeitung oder industrielle Benutzung des umliegenden Bodens in seiner Reinheit beeinträchtigt werden können. Es ist unbedingt erforderlich, dass die Prüfung eines für Versorgungszwecke bestimmten Wassers in verschiedenen Jahreszeiten stattfindet.

Die Luft.

Litteratur: von Fodor, Hygienische Untersuchungen über Luft, Boden und Wasser. Braunschweig 1881. — Fr. Renk, die Luft; Handb. der Hyg. u. Gewerbekrankh. von M. von Pettenkofer und H. von Ziemssen. I. T. 2. Abt. 2. Heft. Leipzig 1886. — Artikel „Luft“ in Flügge's Hygienische Untersuchungsmethoden, König, Chem. d. menschl. Nahr.- u. Gen.-Mittel, Uffelmann, Handbuch der Hygiene.

Bestandteile der Luft.

Unsere Erde ist bis zu einer Höhe von ca. 10 geogr. Meilen mit einer gasförmigen, unsichtbaren Hülle, der atmosphärischen Luft, umgeben. Dieselbe besteht im wesentlichen aus einer fast gleichmässigen Mischung (nicht chemischen Verbindung) von Sauerstoff und Stickstoff;¹⁾ dazu treten wechselnde Mengen von Kohlensäure, Wasserdampf, geringe Mengen von Ammoniak, salpetriger Säure und Salpetersäure, meist auch Ozon und Wasserstoffsperoxyd.

Die Menge des in der Luft vorhandenen Stickstoffs beträgt rund 79 Volumprozent, diejenige des Sauerstoffs rund 21 Volumprozent. Das Mengenverhältnis dieser beiden Gase in der Luft schwankt innerhalb sehr enger Grenzen. Nach von Jolly,²⁾ welcher die Luft in München mehrere Monate hindurch mittels eines Kupfereudiometers sowohl, als mittels der Wägemethode untersuchte, betrug die grösste Differenz im Sauerstoffgehalte derselben 0.48 Volumprozent (20.53—21.01); andere Forscher hatten noch geringere Differenzen zu verzeichnen. Regnault³⁾ fand bei 120 Untersuchungen, welche an verschiedenen Punkten der Erde (Lyon, Madrid, Berlin, Toulon, Genf, Guallamba, auf der Südsee, in den Polarmeeren, auf dem Gipfel des Pichincha) angestellt wurden, 20.85—21.00 Volumprozent Sauerstoff, im Mittel aller Versuche 20.96 Volumprozent.

Dieselben Mengen (20.86—21.00%) fand Hempel⁴⁾ in 203 Versuchen, die in Tromsö, Para, Dresden, Bonn und Cleveland ausgeführt wurden.

Wie der Gehalt der Luft an Sauerstoff, ist auch der Gehalt derselben an Stickstoff ein nahezu konstanter und liegt zwischen 79.0 und 79.5 Volumprozent.

¹⁾ Der Sauerstoff wurde 1774 von Priestley, der Stickstoff 1775 von Lavoisier entdeckt; letzterer erkannte auch znerst, dass die atmosphärische Luft aus einer Mischung dieser beiden Gase bestehe.

²⁾ Abhandl. d. königl. bayr. Akad. d. Wissenschaft. II. Cl. XIII. Bd., 1878.

³⁾ Siehe Renk. I. c. 7.

⁴⁾ Biedermann's Ctrbl. XVII, 2.

Der Grund für diese Konstanz liegt hauptsächlich in der Wechselbeziehung zwischen Tier und Pflanze. Das Tier nimmt Sauerstoff auf und athmet Kohlensäure aus, die Pflanze athmet Kohlensäure ein, zerlegt sie in Kohlenstoff und Sauerstoff und giebt letztere wieder an die Atmosphäre ab.

Der Gehalt der Luft an Kohlensäure (im Freien) beträgt nach neueren Untersuchungen von Reiset,¹⁾ Müntz und Aubin,²⁾ Spring und Roland,³⁾ Petermann und Graftiau,⁴⁾ im Mittel 0.0294 Volumprozent, nach A. Lévy u. P. Miquel⁵⁾, deren Beobachtungen sich über 12 Jahre erstrecken, 0.0293 Volumprozent. Derselbe ist im freien Felde niedriger als in Städten, nach anhaltendem Regen niedriger als bei heiterem Himmel, an der Küste niedriger als im Binnenlande. Erhöht wird der Kohlensäuregehalt durch dichte, langsam eintretende Niederschläge (Nebel, Schnee), infolge geringerer Luftströmung und behinderter Diffusion in die oberen Luftschichten.

Der Wassergehalt der atmosphärischen Luft wechselt nach Temperatur und Jahreszeit, nach Witterung und Örtlichkeit ausserordentlich und beträgt zwischen 0 und 30 gr pro 1 Kubikmeter Luft. Kalte Luft enthält weniger Wasserdampf als warme Luft. Jedem Temperaturgrad entspricht eine gewisse Wassermenge, welche die Luft aufnehmen kann; enthält letztere das Maximum an Wasserdampf, so nennt man sie „mit Wasserdampf gesättigt;“ diejenige Temperatur, bei welcher dies eintritt, wird als „Thaupunkt“ bezeichnet; jede nun eintretende Abkühlung dieser mit Wasser gesättigten Luft hat eine Kondensierung des Wasserdampfes, eine „Thaubildung“, zur Folge. Ein Kubikmeter Luft kann folgende Mengen Wasserdampf aufnehmen:

¹⁾ Compt. rend. t. 88, 1007.

²⁾ Compt. rend. t. 92, 247 u. 1229.

³⁾ Biedermann's Ctrbl. 15, 290.

⁴⁾ Biedermann's Ctrbl. 21, 793.

⁵⁾ Annuaire de l'Observatoire Municipal de Montsouris pour l'an 1891.

bei -20° C. = 1.064 gr	bei $+5^{\circ}$ C. = 6.791 gr
„ -15 „ = 1.571 „	„ $+10$ „ = 9.372 „
„ -10 „ = 2.300 „	„ $+15$ „ = 12.763 „
„ -5 „ = 3.360 „	„ $+20$ „ = 17.164 „
„ ± 0 „ = 4.874 „	„ $+25$ „ = 22.867 „
	„ $+30$ „ = 30.139 „

Für gewöhnlich besitzt die Luft jedoch nicht diesen höchstmöglichen Feuchtigkeitsgrad; eine Sättigung mit Wasserdampf tritt nur selten und stets nur auf kurze Zeit ein. Diejenige Feuchtigkeitsmenge, welche die Luft zu einer bestimmten Zeit enthält, ausgedrückt in gr Wasser pro 1 Kubikmeter Luft, nennt man die „absolute Feuchtigkeit“; das Verhältnis dieser zu der höchstmöglichen, in Prozenten ausgedrückt, die „relative Feuchtigkeit“; Hygienisch wichtiger¹⁾ ist das „Sättigungsdefizit“, d. i. die Differenz zwischen absoluter Feuchtigkeit und vollkommener Sättigung der Luft für eine bestimmte Temperatur. Enthält die Luft z. B. bei $+15^{\circ}$ C. nicht 12.76 gr Wasser pro 1 Kubikmeter, sondern nur 8.65 gr, so ist die absolute Feuchtigkeit = 8.65 gr, die relative Feuchtigkeit = 8.65 : 12.76 oder 67.79 : 100, d. h. die Luft enthält 67.79% des höchstmöglichen Wassergehaltes; das Sättigungsdefizit beträgt 12.76 - 8.65 = 4.11.

Die absolute Feuchtigkeit der Luft steigt im Binnenlande von Sonnenaufgang bis Mittag, fällt dann bis Abend, steigt nun wieder bis zur Nacht, um dann zum zweiten Male zu sinken. Am Meere nimmt der Feuchtigkeitsgehalt am Tage mit steigender Temperatur zu, mit fallender ab. Südwestwinde bringen die grösste, östliche Winde die geringste absolute Feuchtigkeit mit sich.

Die relative Feuchtigkeit ist meist bei Sonnenaufgang am höchsten, um Mittag am geringsten, ist im Winter grösser als im Sommer, bei Süd- und Westwinden grösser als bei Nord- und Ostwind, in der Ebene grösser als auf hohen Bergen, im Walde grösser als im Freien.

¹⁾ Ein Kubikmeter Luft von 60% relativer Feuchtigkeit besitzt ein grösseres Sättigungsdefizit, ein grösseres Wasseraufnahmevermögen bei $+20^{\circ}$ als bei $+10^{\circ}$ C.

Das Sättigungsdefizit steigt mit der Temperatur, ist daher morgens am geringsten, um Mittag am grössten.

Das in der Atmosphäre enthaltene Ammoniak stammt von der auf der Erdoberfläche vor sich gehenden Zersetzung stickstoffhaltiger organischer Substanzen; es verbindet sich in der Luft mit Kohlensäure, salpetriger Säure und Salpetersäure zu kohlenurem, salpetrigsaurem und salpetersaurem Ammon.

Levy¹⁾ fand in Montsouris in den Jahren 1881—1890 zwischen 0.018 und 0.023 mgr, Fodor²⁾ in Budapest in den Jahren 1878 und 1879 zwischen 0.0251 und 0.0558 mgr Ammoniak in 1 Kubikmeter Luft.

Salpetersäure und salpetrige Säure sind (an Ammoniak gebunden) in geringen Mengen stets in der Luft nachweisbar; auch diese Stoffe sind wesentlich Zersetzungs- bezw. Oxydationsprodukte organischer Stoffe; geringe Mengen derselben werden unter dem Einflusse elektrischer Entladungen gebildet. Zuverlässige quantitative Bestimmungen liegen, wie es scheint, nicht vor.

Ozon, O₃, eine besondere Modifikation des Sauerstoffs, 1840 von Schönbein entdeckt, wird in der Luft durch elektrische Entladungen gebildet. Die Behauptung von Scoutetten,³⁾ Bellucci,⁴⁾ Gorup-Besanez⁵⁾ u. A., dass an Orten, wo eine stärkere Wasserverdunstung stattfindet (Küste, feuchte Wiesen, Gradirwerke), auch eine grössere Menge Ozon entstehe, weist Em. Schöne⁶⁾ als irrig zurück und erklärt die von diesen Forschern beobachtete stärkere Ozonreaktion mit Jodkalipapier — die Brauchbarkeit dieser Reaktion überhaupt vorausgesetzt — damit, dass die Intensität der Färbung des Jodkalipapiers mit der relativen Feuchtigkeit der Luft wächst. Völlig trocknes Ozon wirkt auf Jodkalium gar nicht ein; ein geringerer Ozongehalt bei

¹⁾ Annuaire de l'Observatoire de Montsouris. 1891.

²⁾ Fodor, Hygien. Untersuchungen etc. 75.

³⁾ C. r. 42, 941 u. 43, 216.

⁴⁾ Berl. Ber. 1875. VIII, 905 u. 1876. IX, 581.

⁵⁾ Ann. Chem. Pharm. 161, 232.

⁶⁾ Berl. Ber. 1880. XIII, 1510.

grosser relativer Feuchtigkeit ruft eine tiefere Färbung hervor, als ein höherer Ozongehalt bei grösserer Trockenheit.

Ozon wird ferner bei allen Verbrennungsprozessen, bei langsamer Oxydation von Alkohol, Äther, Terpentinöl, Schwefelwasserstoff, schwefliger Säure etc. gebildet (Schönebein). Endlich entsteht Ozon wahrscheinlich auch durch die Thätigkeit der Pflanzen unter der Einwirkung des Sonnenlichtes.

Das 3. O-atom des Ozon-Moleküls ist nur locker gebunden und verbindet sich daher gern mit leicht oxydablen Körpern. Ammoniak geht durch Einwirkung von Ozon in salpetrige Säure über, auch Staub wirkt zerstörend auf Ozon ein (Palmieri¹), Wolffhügel²); daher ist die Wohnungsluft ozonfrei.

Die zahlreichen Angaben über das Vorkommen und die Menge des Ozons in der atmosphärischen Luft sind bedeutungslos, da die angewandte Methode keineswegs einwandfrei ist. Ein Stückchen Filtrierpapier, das mit Jodkalistärkekleister befeuchtet und dann getrocknet ist, färbt sich in ozonhaltiger Luft braun bezw. angefeuchtet blau, indem das Ozon aus Jodkali Jod frei macht, welches die bekannte Verbindung mit Stärke eingeht. Allein, abgesehen von einer möglichen Verflüchtigung des frei gewordenen Jodes, enthält die Luft Bestandteile, welche ebenfalls Jodkali zersetzen und das Ozonpapier färben (Wasserstoffsperoxyd, salpetrige Säure, direktes Sonnenlicht etc.); andererseits wird die durch Ozon bewirkte Blaufärbung durch verschiedene Substanzen (schweflige Säure, Schwefelwasserstoff, organische Substanzen etc.) wieder zerstört.

E. Schöne³) hat die Gegenwart von Ozon in der Luft überhaupt in Frage gestellt. Einmal besitzen wir keine chemische Reaktion, welche die Anwesenheit desselben in der Luft beweisen kann; die einzig sichere weder dem Wasserstoffsperoxyd noch den Stickoxyden zukommende Reaktion, die Bildung von Silbersperoxyd auf reinem

¹) C. r. 1872, 1266.

²) Ztschr. f. Biologie XI, 408.

³) Berl. Berl. 1880. XIII, 1503.

Silberblech, wurde nie erhalten (Fremy¹), E. Schöne²), Weltzien³). Schöne hat ferner den Gehalt der Luft an Wasserstoffsuperoxyd quantitativ bestimmt und gleichzeitig den Ozongehalt mittels Thalliumoxydulpapier ermittelt. (Auf letzteres wirken salpetrige Säure und Chlor nicht ein, wohl Schwefelwasserstoff und Wasserstoffsuperoxyd. Die Färbung des Thalliumoxydulpapieres durch Ozon oder Wasserstoffsuperoxyd⁴) ist unabhängig vom Feuchtigkeitsgehalte der Luft). Die Versuchsreihen stimmen so überein, dass es nicht nötig ist, ausser dem Wasserstoffsuperoxyd noch ein anderes oxydierendes Agens (Ozon) in der Luft anzunehmen.

Jlosvay de N. Jlosva⁵) bezweifelt das Vorkommen von Ozon sowohl, wie Wasserstoffsuperoxyd in der Luft, weil durch Schwefelsäure und 40%ige Natronlauge gewaschene Luft keinerlei Reaktion auf die beiden Stoffe zeigte, im Gegensatz zu ozonisierter Luft.

E. Schöne⁶) hat die Behauptungen Jlosvay's bezüglich des Wasserstoffsuperoxyds widerlegt.

W. N. Hartley⁷), welcher die Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre studierte, ist dagegen der Ansicht, dass das Ozon ein konstanter Bestandteil der höheren Atmosphäre und dort in grösserer Menge vorhanden ist als an der Erdoberfläche; nach ihm ist die blaue Farbe der Atmosphäre dem Ozon zuzuschreiben.

Wasserstoffsuperoxyd, H_2O_2 , 1818 von Thénard entdeckt, ist ein konstanter Bestandteil der Luft. Wie Ozon giebt auch Wasserstoffsuperoxyd sein lockergebundenes O-atom leicht ab, in Wasser und freien Sauerstoff zerfallend; allein auch die H-atome sind nur lose gebunden, weshalb das Wasserstoffsuperoxyd auch gewisse reduzierende Wirkungen äussern kann.

¹) C. r. 61, 939.

²) l. c.

³) Jahresb. (Vieweg & Sohn) 1866, 261.

⁴) Vergl. Schönbein, Journ. f. pr. Chem. 1864. 93, 38; u. E. Schöne, Ann. d. Chem 1879. 196, 58.

⁵) Bull. de la Soc. chim. de Paris 1889. Sér. 3. t. II, 360.

⁶) Berl. Ber. 1893. XXVI, 3011; Ztschr. analyt. Chem. 1894. XXXIII, 137.

⁷) Journ. chem. soc. 220, 111; Berl. Ber. 1881, 1390.

Nach Em. Schöne¹⁾ spielt bei der Entstehung des atmosphärischen Wasserstoffsperoxyds das Sonnenlicht eine hervorragende Rolle. Derselbe hat den Gehalt der atmosphärischen Niederschläge an Wasserstoffsperoxyd in zuverlässiger Weise bestimmt und folgende Resultate erzielt: Unter 130 Proben Regenwasser fanden sich nur 4, in denen es nicht gelang, Wasserstoffsperoxyd nachzuweisen, ohne Zweifel aber deshalb, weil die Prüfung erst nach mehr als 12 Stunden angestellt wurde; unter 29 Schneeproben waren es 12, in denen keine sichere Reaktion erhalten wurde; die gefundene Wasserstoffsperoxydmenge betrug 0,04—1,0 mgr, in 1 l. Der Gehalt des Regens an Wasserstoffsperoxyd ist um so geringer, je kleiner die Tropfen sind, in denen er fällt. Nach längerer trockener Witterung ist der zuerst fallende Regen ärmer an H_2O_2 , wie der nachfolgende (Zersetzung durch Staub). Natürlicher Thau und Reif enthielten kein H_2O_2 . Bei Südwest-, West- und Nordwestwind sind die Niederschläge reicher an H_2O_2 , als bei anderen Windrichtungen. So fand E. Schöne bei NO-wind in 1 l Regen 0.008 mgr, bei O-wind 0.038, bei SW-wind 0.284, bei W-wind 0.244 und bei NW-wind 0.221 mgr Wasserstoffsperoxyd. In den Monaten Juli, Juni, dann Mai und August zeigte die Luft den höchsten Gehalt an Wasserstoffsperoxyd, in den anderen Monaten den geringsten.

Verunreinigungen der Luft.

1. Staub und Keime. Der Luftstaub ist je nach der Grösse seiner Bestandteile mehr oder weniger leicht wahrnehmbar. Der mit blossen Auge sichtbare Staub wird durch den Wind, durch Kehrbesen etc. aufgewirbelt und fällt bei ruhiger Luft rasch wieder zu Boden. Einen grossen Teil des Luftstaubes sieht man nur dann, wenn derselbe in einem dunklen Zimmer von einem Sonnenstrahl beleuchtet wird; es sind dies die sog. Sonnenstäubchen, welche sehr leicht sind und sich meistens nicht zu Boden setzen.

Die Bestandteile des Luftstaubes sind anorganischer wie organischer Natur; zu den anorganischen gehören feiner

¹⁾ Berl. Ber. 1874. VII, 1693; 1878. XI, 482. 561. 874. 1028.

Sand, Thon, Kalkerde, Kochsalz (an der Küste), Asche, Steinkohlenpartikelchen etc., zu den organischen Russ, Stärkekörnchen, Pollenkörner, Pflanzenfasern (Blatthaare, Holzzellen, Baumwollfasern), Tierhaare (Wolle) etc.

Fodor¹⁾ untersuchte die Luft im Freien während eines ganzen Jahres, 5 m über dem Erdboden; er fand folgende Mengen Staub in 1 cbm Luft: im Frühling 0.35, im Sommer 0.55, im Herbst 0.43, im Winter 0.24 mgr. Wie zu erwarten, ist die Luft in den feuchteren Wintermonaten staubfreier als in den trockneren Sommermonaten.

In Wohn- und Fabrikräumen ist der Staubgehalt natürlich ein viel grösserer; die Luft in Fabrikräumen enthält manchmal gesundheitsschädliche Bestandteile (arsenige Säure, Bleioxvd etc.); auch in der Luft von Wohnräumen können giftige Bestandteile (Tapetenstaub, Schweinfurtergrün) vorhanden sein. Hesse²⁾ fand in einer Wohn- und Kinderstube 1.6 mgr, im Hadernsaal einer Papierfabrik 3.77 bis 24.9 mgr, in einer Filzschuhfabrik 106.0—175.0 mgr Staub pro 1 cbm Luft; C. Arens³⁾ im Laboratorium (dem Wohnzimmer vergleichbar) 1.4 mgr, in einer Rosshaarspinnerei 10.0, einer Mahlmühle 22.0—28.0, einer Cementfabrik (während der Arbeit) 224.0 mgr Staub pro 1 cbm Luft.

Besondere Beachtung verdienen die in der Luft schwebenden unsichtbaren Bestandteile, die Luftkeime, die Spross- und Spaltpilze, unter denen sich unter Umständen auch pathogene Arten vorfinden können. Die Anzahl der Keime in der Aussenluft wechselt sehr nach Witterung, Jahreszeit und Örtlichkeit. Petri⁴⁾ fand in der Luft des Hofes beim hygienischen Institut in Berlin 0 bis 1071 Bakterien nebst 215—810 Schimmelpilzen, über dem Dache des Instituts 330—510 Bakterien nebst 1190—1240 Schimmelpilzen, Uffelmann⁵⁾ am Ostseestrande bei Warnemünde im Sommer 1887 zwischen 50—300 Keime pro 1 cbm Luft. Die Seeluft, 100 km von der Küste, ist völlig

¹⁾ Fodor, Hyg. Unters. üb. Luft, Boden u. Wasser. 1881, 94.

²⁾ Dingl. Journ. 1881, 240, 52.

³⁾ Arch. f. Hyg. 1894.

⁴⁾ Ztschr. f. Hyg. 1887.

⁵⁾ Arch. f. Hyg. 1888, 300.

keimfrei, ebenso die Luft über sehr hohen Bergen. Nach starkem Regen nimmt die Zahl der Spaltpilze ab, die der Schimmelpilze zu; im Sommer enthält die Luft mehr Keime als im Winter.

Der Keimgehalt der Luft in Wohnungen schwankt ausserordentlich, je nach Lüftung, nach Heizung, Kehren etc. Uffelmann fand in seiner Wohnung zwischen 2600 und 12500, Petri in den Räumen des hygienischen Institutes in Berlin bis 900 Bakterien in 1 cbm Luft.

2. Gasförmige Verunreinigungen der Luft. Hierher gehören einerseits solche Gase, welche sonst in der reinen Luft nicht vorkommen, andererseits aber auch die in abnormaler Menge in der Luft auftretenden konstanten Bestandteile. So kann die Aussenluft grössere Mengen Kohlensäure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Kohlenwasserstoffe aus Dungstätten und Abortgruben aufnehmen; schweflige Säure, Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Fluorwasserstoffsäure, Arsenwasserstoffgas aus Fabrikanlagen; unangenehm riechende Gase aus Poudrettefabriken, Abdeckereien, schlecht gehaltenen Schlachthäusern, Leimfabriken etc. Der Wohnungsluft werden grössere Mengen Kohlensäure durch die Ausatemungsluft, durch Gärkeller zugeführt, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe durch Heizung und Beleuchtung etc.

Die Untersuchung der Luft.

Die Untersuchung der Luft beschränkt sich meistens auf den Nachweis und die event. quantitative Bestimmung von abnormalen Beimengungen oder von abnormen Mengen der der Luft eigentümlichen Bestandteile.

1. Sauerstoff und Stickstoff. Diese Gase werden nur selten und dann nach gasanalytischen Methoden bestimmt; bezüglich der Ausführung verweise ich auf die Spezialwerke.¹⁾

2. Wasserdampf. Die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit geschieht mittels meteorologischer Instrumente (Psy-

¹⁾ Hempel, Gasanalytische Methoden. Braunschweig 1890. — Winkler, Lehrb. d. technischen Gasanalyse. Freiberg 1892.

chrometer von August, Hygroskop von Daniell, Haarhygrometer von Saussure, Klinkerfues oder Kopp).

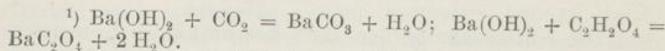
3. Kohlensäure. Verfahren nach v. Pettenkofer. Einem gemessenen Luftquantum (5—6 l) wird eine gewisse Menge (100 ccm) titriertes Barytwasser zugesetzt; dieses absorbiert die Kohlensäure, und der Überschuss an Barytwasser wird mit titrierter Oxalsäure zurückgemessen. An Lösungen sind erforderlichlich:

a) eine Oxalsäurelösung, von der 1 ccm = 1 mgr CO_2 entspricht. 1 Mol. Oxalsäure ist äquivalent 1 Mol. Kohlensäure¹⁾, oder 126 Gewichtsteile Oxalsäure entsprechen 44 Gewichtsteilen Kohlensäure; damit nun 1 ccm Oxalsäure 1 ccm Kohlensäure entsprechen, sind 2.8636 gr Oxalsäure (126:44 = x:1) zu 1 l zu lösen.²⁾

b) Barytwasser, von dem 1 ccm = 1 ccm der Oxalsäurelösung. Zur Herstellung derselben sind ca. 7.0 gr alkali-freies Barythydrat + 0.2 gr Chlorbaryum zu 1 l zu lösen³⁾.

c) eine alkoholische Lösung von Phenolphthaleïn (1:30) oder Rosolsäure (Korallin) (1 gr in 500 gr 80 volumprozentigen Alkohols); die saure Lösung wird mit Barythydrat genau neutralisiert.

Ausführung. Eine reine, völlig trockene Flasche von 5—6 l Inhalt wird leer gewogen, dann mit destilliertem Wasser von 15° C. gefüllt und wieder gewogen. Die Diffe-



²⁾ Von einigen Analytikern wird eine Oxalsäure verwendet, von der 1 ccm = 0.25 ccm CO_2 anzeigt; in diesem Falle sind (da 126 Gew. T. Oxalsäure = 44 CO_2 , da ferner 1 mgr CO_2 = 0.5084 ccm CO_2 bei 0° und 760 mm Druck, also 44 mgr = 22.3696 ccm) nach der Gleichung: 22.3696:126 = 0.25:x; 1.405 mgr pro 1 ccm oder 1.405 gr Oxalsäure pro 1 Liter zu lösen. — Das Barytwasser ist selbstverständlich ebenfalls entsprechend zu verdünnen.

³⁾ Die Barythydratlösung ist vor Kohlensäure geschützt aufzubewahren (Vorlage von kalihydrathaltigem Bimsstein). — Wird Barytwasser, das kohlensauren Baryt und Alkali (KOH oder NaOH) enthält, mit Oxalsäure titriert, so bildet sich zuerst oxalsaures Alkali, das sich sofort mit kohlensaurem Baryt in oxalsauren Baryt und kohlensaures Alkali umwandelt. Durch den Zusatz von neutral reagierendem Chlorbaryum wird etwa vorhandenes Alkali in Chlorid umgewandelt.

renz der Gewichte giebt den Inhalt der Flasche in Gramm oder Cubikcentimetern an.

Die mit einem durchbohrten Gummistopfen, (in dessen Öffnung ein Glasrohr mit Gummischlauch und Glasstopfen sich befindet), verschlossene trockene Flasche wird an den Ort gebracht, wo die Kohlensäure bestimmt werden soll; daselbst wird mittels eines Blasebalgs, dessen Ausströmungsöffnung ein bis auf den Boden der Flasche reichendes Glasrohr besitzt, mit etwa 100 Stößen Luft in die Flasche geblasen. (Bei dem Einblasen der Luft ist die Atmungsluft möglichst fern zu halten.) Nun giebt man mittels einer Vollpipette 100 ccm obiger Barythydratlösung in die Flasche, verschliesst dieselbe und schüttelt langsam um, ohne den Verschluss zu benetzen. Gleichzeitig liest man die Temperatur und den Barometerstand ab. Nach etwa 30 Minuten ist sämtliche Kohlensäure absorbiert; man giesst die trübe Flüssigkeit durch das nun geöffnete Glasrohr des Gummistopfens in einen 100 ccm - Glascylinder und lässt 4—5 Stunden absetzen. Inzwischen ermittelt man den Titer der Barytlösung (Titrieren von 25 ccm Barytlösung + Phenolphthalein mit Oxalsäure bis zur Entfärbung). Hat sich die Barytlösung in dem Cylinder völlig geklärt, so entnimmt man dieser ebenfalls 25 ccm und titriert in gleicher Weise. Der Minderverbrauch an Oxalsäure bei der 2. Titration ist auf Kohlensäure umzurechnen¹⁾.

Beispiel. Die Flasche fasste 5726 ccm; die Temperatur der Luft beim Einfüllen war 18°, der Barometerstand 726 mm. Durch Zusatz von 100 ccm Barytwasser wurde das Luftvolum auf 5626 ccm verringert.

25 ccm ursprüngliches Barytwasser	
erforderten 25 ccm Oxalsäurelösung; 100 ccm = 100 ccm	
25 ccm des mit Luft geschüttelten	
Barytwassers 23.5 ccm Oxalsäurelösung; 100 ccm = 94 ccm	
	Differenz = 6 ccm.

Die weniger verbrauchten 6 ccm Oxalsäure sind also

¹⁾ Durch den 100 ccm-Cylinder, die Pipette und den Titrierkolben saugt man eine Zeit lang mittels der Wasserluftpumpe unter Vorlage einer Natronkalkröhre kohlensäurefreie Luft.

durch Kohlensäure ersetzt, und da 1 ccm der Oxalsäurelösung = 1 mgr CO_2 , so waren in 5626 ccm Luft 6 mgr CO_2 vorhanden.

Dieses in Gewichtsteilen CO_2 pro Volum Luft ausgedrückte Resultat ist noch umzurechnen in Volumproz.; da aber Gasvolumina nur bei derselben Temperatur und demselben Druck vergleichbar sind, wird sowohl das Luftvolum wie die Kohlensäure auf eine gemeinsame Basis (0° und 760 mm) reduziert.

Reduktion der CO_2 : 1000 ccm CO_2 wiegen bei 0° und 760 mm Druck = 1.965 gr; 1 gr CO_2 entspricht also 508.8, 1 mgr = 0.5088 ccm CO_2 bei 0° und 760 mm. Die in 5626 ccm Luft enthaltenen 6 mgr CO_2 entsprechen also $6 \times 0.5088 = 3.05$ ccm CO_2 bei 0° und 760 mm Druck.

Die Reduktion des angewandten Luftquantums geschieht nach der Formel:

$$V^0 = \frac{V \times B}{(1 + 0.00366 \times t) 760};$$

worin:

V^0 = Volum Luft bei 0° und 760 mm

V = Volum der untersuchten Luft (5626 ccm)

t = Temperatur der Luft bei der Füllung (18°)

0.00366 = Ausdehnungscoefficient der Gase.

Also

$$V^0 = \frac{5626 \cdot 726}{(1 + 0.00366 \cdot 18) 760} = 5042.5 \text{ ccm}$$

oder das bei 726 mm Druck und 18° C. gemessene Luftvolum misst bei 0° und 760 mm = 5042.5 ccm und enthält 3.05 ccm CO_2 , d. h. 0.0604 Volumproz.

Ausser dieser exakten Methode von Pettenkofer sind noch eine Reihe anderer Methoden vorgeschlagen, die aber auf wissenschaftliche Genauigkeit keinen Anspruch machen können. Nachstehende minimetrische Methode von Lunge und Zeckendorf (Ztschr. angew. Chem. 1888, 395; 1889, 14) scheint für die Praxis (Prüfung der Luft in Schulzimmern, Fabriken etc.) hinreichend genaue Resultate zu liefern.

Zur Ausführung benötigt man einer Flasche, welche mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen versehen ist;

in der einen Öffnung des Stopfens befindet sich ein kurz unterhalb des Stopfens abgeschnittenes Glasrohr, in der anderen ein bis auf den Boden der Flasche gehendes Glasrohr, das mit einem, mit Rückschlagventil versehenen Kautschukballon von 70 ccm Inhalt verbunden ist.

Durch mehrmaliges Zusammenpressen des Ballons wird zunächst die zu untersuchende Luft in die leere Flasche gedrückt; dann giesst man 10 ccm $\frac{1}{500}$ Norm.-Sodalösung¹⁾ in die Flasche, presst nun den 1. Balloninhalt langsam durch die Flüssigkeit, schüttelt eine Minute lang, indem man gleichzeitig den Schlauch zusammendrückt, lässt den Ballon sich mit neuer Luft füllen und wiederholt das Durchblasen und Schütteln, bis die rotviolette Farbe der Flüssigkeit verschwunden ist. Folgende Tabelle giebt den, den Ballonfüllungen entsprechenden Gehalt der Luft an Kohlensäure in 100 000 Teilen an.

Ballonfüllungen	Kohlensäure in 100 000 T. Luft	Ballonfüllungen	Kohlensäure in 100 000 T. Luft	Ballonfüllungen	Kohlensäure in 100 000 T. Luft
2	30.0	11	8.7	20	6.2
3	25.0	12	8.3	22	5.8
4	21.0	13	8.0	24	5.4
5	18.0	14	7.7	26	5.1
6	15.5	15	7.4	28	4.9
7	13.5	16	7.1	30	4.8
8	11.5	17	6.9	35	4.2
8	10.0	18	6.6	40	3.8
10	9.0	19	6.4	48	3.0

4. Kohlenoxyd. a) In eine 5—10 l haltende Flasche werden 50 ccm stark verdünntes frisches Blut gegeben²⁾

¹⁾ 5.3 gr wasserfreie Soda oder 14.3 gr wasserhaltige, kristallisierte Soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10\text{aq.}$) werden nebst 0.1 gr festem Phenolphthaleïn zu 1 Lit. gelöst; von dieser $\frac{1}{10}$ Norm.-Sodalösung werden 2 ccm mit destilliertem, ausgekochtem, erkaltetem Wasser auf 100 ccm aufgefüllt.

²⁾ Die Blutlösung darf nur noch einen Stich ins Rote haben, muss aber im Spektroskop die charakteristischen Absorptionsstreifen bei einer Reagensglasdicke von 1.5—2 cm noch deutlich zeigen.

und mittels Blasebalg die zu prüfende Luft eingedrückt. Man verschliesst die Flasche und schwenkt, ohne zu schütteln, 20—30 Minuten. Das Kohlenoxyd verdrängt den Sauerstoff aus dem Oxyhämoglobin unter Bildung von Kohlenoxydhämoglobin und gleichzeitiger Umwandlung der dunkelroten Färbung des Blutes in Hellrot. Man giesst die Flüssigkeit in ein Reagensglas aus und prüft dieselbe im Spektroskop. Bei Anwesenheit von Kohlenoxyd treten im Gelbgrün zwei Absorptionsstreifen auf, welche denen des Sauerstoffhämoglobins zwar sehr ähnlich sind, aber etwas näher zusammen liegen als diese. Setzt man jedoch Reduktionsmittel (Schwefelammonium, Zinnchlorür etc.) hinzu, so tritt an Stelle der beiden Streifen des Sauerstoffhämoglobins sofort nur ein, in dem Zwischenraum der früheren gelegener Streifen auf, während diejenigen des Kohlenoxydhämoglobins nicht verändert werden.

b) Alfons Welzel¹⁾ hat zwei Reaktionen beschrieben, welche für die Praxis leichter durchführbar sind.

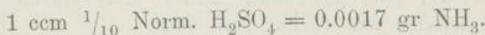
a) Zu 10 ccm verdünnten Blutes (1 Teil Blut und 4—10 Teile Wasser) füge man 5 ccm 20proz. Ferrocyankalilösung und 1 ccm = 20 Tropfen Essigsäure (1 Vol. Eisessig + 2 Vol. H₂O) und schüttelt einige Male sanft um. Der entstehende Niederschlag des CO-Hämoglobins ist hellkirschrot, derjenige des O₂-Hämoglobins grau. Die Farbendifferenz verschwindet in 2—6 Tagen.

β) Zu 5 ccm einer Mischung von 1 Teil normalem bzw. CO-haltigem Blut mit 4 Teilen Wasser giebt man 15 ccm einer 1 proz. Tanninlösung und schüttelt einige Male um. Der entstehende Niederschlag ist nach 2 Stunden, besser nach 24—48 Stunden, im CO-haltigen Blute hellkarmoisinrot, im normalen Blute grau gefärbt. Der Farbenunterschied bleibt monatelang bestehen.

5. Ammoniak. Der qualitative Nachweis geschieht mittels Kurkuma- oder Hämatoxylinpapier, das zur Hälfte zwischen zwei Glasplatten eingeklemmt ist; mit salpetersaurem Quecksilberoxydul getränktes Papier wird schwarz

¹⁾ A. Welzel, Üb. d. Nachw. des Kohlenoxydhämoglobins. Verh. d. physik. med. Ges. zu Würzburg. 1889. N. F. XXIII, No. 3.

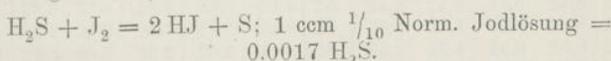
gefärbt (Ausscheidung eines Dimerkurdiamoniumsalzes, $\text{Hg}_2 \cdot \text{NH}_3 \cdot \text{NO}_3$). Betupfen mit HCl macht die Färbung verschwinden (Bildung von Kalomel, Hg_2Cl_2). — Behufs quantitativer Bestimmung leitet man ein bestimmtes Quantum Luft durch titrierte Schwefelsäure und misst den Säureüberschuss mit titrierter Natronlauge, Barytlauge oder Ammoniaklösung zurück.



6. Salpetrige Säure. Dieselbe kann quantitativ in der Weise bestimmt werden, dass man sehr grosse Mengen Luft durch eine 0.2 proz. Natriumhydratlösung streichen lässt, die Lösung stark verdünnt und den Gehalt an salpetriger Säure colorimetrisch (wie bei Wasser) feststellt.

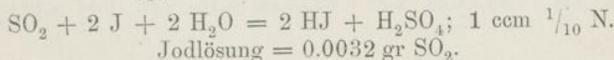
7. Schwefelwasserstoff. Nachweis: Geruch, Schwärzung von mit Bleiacetat angefeuchteten Papierstreifen (PbS), Violettfärbung von Papier, das mit einer ammoniakalischen Lösung von Nitroprussidnatrium getränkt ist.

Bestimmung: Durchleiten eines bestimmten Quantum Luft durch $\frac{1}{10}$ Norm. Jodlösung (12.7 gr J + 20 gr JK in 1 l). Zurücktiteren mit $\frac{1}{10}$ Norm. Natriumhyposulfit (24.8 gr in 1 l).



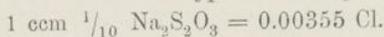
8. Schweflige Säure. Nachweis: Geruch; Schwarzfärbung eines mit salpetersaurem Quecksilberoxydul getränkten Papierstreifens (Ausscheidung von Hg , die Färbung verschwindet nicht beim Betupfen mit HCl).

Bestimmung: Absorption in $\frac{1}{10}$ N. Jodlösung. Zurücktiteren mit $\frac{1}{10}$ N. Natriumhyposulfit.



9. Salzsäure. Bestimmung: Durchleiten von Luft durch titrierte Silbernitratlösung; Zurücktiteren mit titrierter Chlornatriumlösung.

10. Chlor. Bestimmung: Absorption in Jodkalilösung; Zurücktiteren mit Natriumhyposulfitlösung.



11. Staubgehalt der Luft. Man aspiriert ein bestimmtes Quantum Luft durch reines destilliertes Wasser, und verdunstet letzteres.

Oder man füllt eine 8—10 cm lange, an einem Ende verjüngte leichte Glasröhre (Reagensglas) locker mit Baumwolle (3—4 cm dick), trocknet 48 Stunden über Schwefelsäure, wiegt, aspiriert etwa 200 l Luft durch dieselbe, trocknet wieder wie vorher und wägt.

	10
20	19
21	20
22	21
23	22
24	23
25	24
26	25
27	26
28	27
29	28
30	29
31	30
32	31
33	32
34	33
35	34

Laktodensimetergrade.