

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Historisch-kritische Studien über das Ozon

Engler, Carl

Halle a. d. S., 1879

Das Ozon als Bestandtheil der Atmosphäre

[urn:nbn:de:bsz:31-266621](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-266621)

hat.¹⁾ Auch hier kann selbstverständlich aus der Nuance der Bläuung auf den mehr oder weniger bedeutenden Ozongehalt der betreffenden Luft geschlossen werden, Houzeau macht jedoch hiervon bei seinen Bestimmungen keinen Gebrauch, vielmehr spricht er immer nur von einer bestimmten Anzahl von Ozontagen, die er innerhalb eines bestimmten Zeitraumes wahrnehmen konnte, d. h. also von der Anzahl von Tagen, an welchen er innerhalb eines grösseren Zeitraumes überhaupt eine deutliche Ozonreaction beobachtete, und so stellt er also fest, wie viel Ozontage vergleichsweise z. B. auf 30 Regentage, 30 sonnige Tage, 30 stürmische Tage, 30 Tage des Frühlings, des Sommers etc. kommen, auch inwieweit gewisse locale Verschiedenheiten von Einfluss sind.

Die Houzeau'sche Methode leidet, wie ersichtlich, nur an dem Uebelstand, dass beim Exponiren des Papiers auf die verschiedene Bewegung der Luft keine Rücksicht genommen ist, was, wie schon weiter oben auseinandergesetzt wurde (S. 43), zu grossen Ungenauigkeiten führen muss. Selbstverständlich aber kann auch bei Anwendung dieses Ozonpapiers jene Fehlerquelle unter Benützung des Aspirators mit der Ozonbüchse vermieden werden.

Fox²⁾, der mittelst des Houzeau'schen Papiers sehr viele seiner ozonoskopischen Beobachtungen angestellt hat, wendet anstatt des auf der einen Seite mit Jodkalium getränkten Lakmuspapiers, wobei die Grenze, insbesondere bei Anwendung fliessenden Filtrirpapiers, nicht scharf genug hervortritt, immer zwei Streifen an, von welchen der eine mit Lakmus und Jodkalium, der andere mit Lakmus allein imprägnirt ist. Die Breite der Streifen beträgt $\frac{3}{8}$, die Länge $2\frac{1}{4}$ Zoll engl.; sie müssen in gutverkorkten Flaschen und im Dunkeln aufbewahrt werden.

Das Ozon als Bestandtheil der Atmosphäre.

1. Natürliche Ozonquellen. 2. Schwankungen des Ozongehalts mit den Jahreszeiten, bei Tag und Nacht, bei verschiedenem elektrischen Zustande der Luft und bei Gewittern, verschiedenem Luftdruck, bei Regen, Schnee etc., bei verschiedener Windstärke und Windrichtung, mit der Höhe über der Erdoberfläche, mit der topographischen Lage, an der See, in Wäldern, in Städten und auf dem Lande, in Wohnräumen und im Freien. Absolute Menge des Ozons in der atmosphärischen Luft.

Die Frage nach dem Gehalt der atmosphärischen Luft an Ozon hat die Chemiker, Meteorologen und

¹⁾ Bei mehr als 4000 Beobachtungen, die Houzeau (Annal. d. chim. phys. (4) XXVII, 22) an freier Luft anstellte, hat sich der nur mit Lakmus imprägnirte Theil des Papiers nicht ein einziges Mal gebläut, woraus er schliesst, dass das kohlen-saure Ammoniak in der atmosphärischen Luft sich nicht so häufig findet, wie gewöhnlich angenommen wird.

²⁾ „Ozone and Antozone“ by Fox, London 1873, 239.

Hygieniker schon seit Jahrzehnten beschäftigt; auf der einen Seite hielt man das Vorhandensein für erwiesen, oder suchte neue Beweise dafür beizubringen, auf der anderen bestritt man dasselbe. Bis in die heutigen Tage zieht sich diese Controverse hinein, indem es noch heute Chemiker giebt, die einen Ozongehalt der Luft leugnen. Abgesehen jedoch von den gleich nach der Entdeckung des Ozons durch Schönbein ausgeführten Versuchen, die allerdings nicht in jeder Richtung einer scharfen Kritik Stand halten, ist durch die neueren Versuche von Houzeau, von Andrews, von Fox, von Wolffhügel u. A. der Beweis für den Ozongehalt normaler frischer Luft für jeden Chemiker erbracht, der nicht aus Mangel an Kritik oder aus Gewohnheit noch der entgegengesetzten Ansicht huldigt.

1. Die Bildungsweisen des Ozons in der Atmosphäre. Nach den Thatsachen, die in dem Kapitel über die Bildungsweisen des Ozons im Allgemeinen mitgetheilt wurden, sind auch in der Natur eine Reihe von Bedingungen gegeben, die eine fortwährende Quelle für unser atmosphärisches Ozon bilden.

Gleich zu Anfang seiner Entdeckung des Ozons machte Schönbein¹⁾ darauf aufmerksam, dass der eigenthümliche meist mit „schwefelig“ oder „phosphorig“ bezeichnete Geruch, der in der Nähe von Orten zu bemerken ist, wo der Blitz eingeschlagen hatte, von Ozon herrühren müsse. Er hatte selbst Gelegenheit, sich nach einem Blitzschlage von der Identität des dabei auftretenden Geruches mit demjenigen des Ozons zu überzeugen. Auch von mehreren anderen Seiten ist diese Wahrnehmung bestätigt worden, und es darf deshalb als wahrscheinlich bezeichnet werden, dass das Ozon unter der Wirkung des Blitzstrahls sich in gleicher Weise bildet, wie beim Durchschlagen des elektrischen Funkens durch die Luft, mit anderen Worten, dass die Blitze eine Quelle für das Ozon unserer Atmosphäre bilden.

Houzeau²⁾, dem wir im Uebrigen auf diesem speciellen Gebiete sehr reiche Kenntnisse verdanken, ist allerdings anderer Meinung; er glaubt, dass die Blitzschläge mehr nur Veranlassung zur Entstehung von salpetriger Säure und Salpetersäure geben, und dass Ozon höchstens spurenweise durch dieselben gebildet wird. Er schliesst dies, wie er mittheilt, insbesondere aus der Wahrnehmung, dass auch im Kleinen beim Durchschlagen des Funkens durch atmosphärische Luft nur spurenweise Ozon entsteht, und er wird in seiner

¹⁾ „Ueber d. Erzeugung d. Ozons auf chem. Wege“, Basel 1844, S. 21. Ferner: Ber. über d. Verhandlgn. d. naturf. Ges. Basel IV, 70.

²⁾ Annal. d. chim. phys. (4) XXVII, 60.

Ansicht durch Fremy und Becquerel bestärkt, welche gefunden haben, dass nur aus reinem Sauerstoff unter der Wirkung des elektrischen Funkens Ozon gebildet werde.¹⁾ Dieser Angabe stehen jedoch eine Reihe von Beobachtungen entgegen, die es zweifellos erscheinen lassen, dass auch der durch Luft hindurchtretende Funken Veranlassung zu Ozonbildung giebt; bediente man sich früher zur Darstellung des Ozons auf elektrischem Wege ja doch vielfach der Methode, solche Funken durch atmosphärische Luft hindurchtreten zu lassen; und Andrews und Tait haben durch ihre Versuche sogar das gegenseitige Mengenverhältniss des durch den Funken und durch stille Entladungen gebildeten Ozons durch eine Reihe von Versuchen festgestellt (S. 24). Wenn aber der elektrische Funken in diesem einen Fall, im Kleinen, Veranlassung zur Ozonbildung giebt, warum nicht auch in dem anderen. Wünschenswerth wäre es allerdings, dass bei Gelegenheit auch einmal in der Luft in nächster Nähe eines vom Blitz getroffenen Ortes das Ozon mittelst des Ozonpapiers von Houzeau (siehe oben S. 45) nachgewiesen würde.

Abgesehen von dieser allerdings noch nicht direct beobachteten Entstehungsweise steht es jedenfalls ausser allem Zweifel, dass in der atmosphärischen Luft die sogenannten stillen Entladungen wie bei den Versuchen im Kleinen der Bildung des Ozons besonders günstig sind. Alle neueren Apparate zur Darstellung des Ozons auf elektrischem Wege sind ja ihrer Construction nach auf diese Erfahrung basirt. Dass eine Wechselwirkung zwischen den mit Elektrizität geladenen Wolken einerseits und dem Boden unserer Erde andererseits fortwährend stattfindet in der Weise, dass ein Uebertritt der gegensätzlich polarisirten Elektricitäten von der einen nach der anderen Seite erfolgt, ist eine von den Physikern und Meteorologen längst erkannte Thatsache; und da der Raum zwischen Boden und Wolken mit atmosphärischer Luft ausgefüllt ist, sind alle Bedingungen zur Bildung des Ozons gegeben. Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht neben verschiedenen anderen, weiter unten zu besprechenden Thatsachen insbesondere die von Houzeau gemachte Wahrnehmung, dass während der Gewitter oder nach denselben die Luft ganz besonders ozonreich ist.

Eine weitere Quelle für das atmosphärische Ozon ist vorhanden in den verschiedenen Verdunstungs-

¹⁾ Houzeau führt als Gewährsmann hierfür auch van Marum auf. Verf. hat sich jedoch im Original überzeugt („Beschreibung einer ungemein grossen Elektrisirmaschine etc.“ von van Marum. Deutsche Uebersetzung, Leipzig 1786, S. 28), dass van Marum nicht allein beim Durchschlagen des Funkens durch „dephlogistirte Luft“ (Sauerstoff), sondern auch durch atmosphärische Luft eine Ozonisation erhielt.

processen, die an der Oberfläche der Erde statthaben und auf die weiter oben (S. 25) ausführlicher aufmerksam gemacht worden ist. Insbesondere haben v. Gorup-Besanez sowie Bellucci gefunden, dass bei jeder intensiven Wasserverdunstung Ozon gebildet wird, und um so mehr von letzterem, je energischer der Verdunstungsprocess vor sich geht, und je mehr Salze in dem verdunstenden Wasser gelöst sind. So fanden dieselben die Luft ausnehmend stark ozonisirt in der Nähe von Wasserfällen, von Berieselungsvorkehrungen, Gradirwerken, auf und in der Nähe der See¹⁾ u. s. f. Dass auch diese Ozonbildung auf eine elektrische Einwirkung, auf die durch Reibung der verdampfenden Flüssigkeits- resp. Salztheilchen erzeugte Elektrizität, zurückgeführt wird, ist schon weiter oben (S. 25) ausführlicher auseinandergesetzt, und ebenso wird die in bewegter Luft bemerkte Verstärkung des Ozongehaltes auf die gleiche Ursache, die Reibung der Lufttheilchen, zurückgeführt.²⁾

Ob auch die Pflanzen in ihrem ausgeschiedenen Sauerstoff Ozon bilden, ist durch die neuesten Untersuchungen Bellucci's zum Mindesten sehr zweifelhaft geworden, wenngleich auch hier die Bedingungen für Ozonbildung — Freiwerden von Sauerstoff aus einer chemischen Verbindung — vorhanden zu sein scheinen.³⁾

Dagegen wissen wir, dass fast bei allen langsamen und raschen Verbrennungsprocessen geringe Mengen von Ozon gebildet werden⁴⁾, und haben wir deshalb auch darin eine Quelle für das Ozon unserer atmosphärischen Luft, eine Quelle, die in Anbetracht der vielen langsamen und raschen Verbrennungsprocesse, die sich auf der Erdoberfläche vollziehen, nicht unterschätzt werden darf.

Die Schwankungen des Ozongehalts der atmosphärischen Luft unter verschiedenen örtlichen, klimatischen und meteorologischen Verhältnissen. Wenn man sich die vielerlei Ungenauigkeiten vor Augen hält, die in den meisten ozonoskopischen Beobachtungen dadurch entstanden sind, dass man sich dabei des Jodkaliumstärkepapiers ohne besondere Vorsichtsmassregeln bediente, so muss man sich leider gestehen, dass trotz der fast unzähligen

¹⁾ Die Literaturangaben hierüber siehe S. 53.

²⁾ Darüber, dass der höhere Ozongehalt in bewegter Luft nur ein scheinbarer ist, siehe S. 43 u. 52.

³⁾ Das Ozon, welches Mantegazza (Jahresb. f. gesamt. Medic. 1870, I, 316) in der Umgebung von stark riechenden Pflanzen oder deren Essenzen (Kirschlorbeer, Lavendel, Münze, Wachholder, Fenchel, Bergamotte u. a.) findet (weshalb er an miasmenreichen Orten die Anpflanzung jener Pflanzen empfiehlt), muss wohl mehr auf eine dem oxydirten Terpinol ähnliche Wirkung (Seite 29) zurückgeführt und darf nicht als durch Pflanzen ausgeschiedener activer Sauerstoff betrachtet werden.

⁴⁾ Die Literaturangaben hierüber siehe S. 28—30.

Bestimmungen noch nicht viele sichere Anhaltspunkte vorhanden sind, die einen Schluss auf die Ursachen des schwankenden Ozongehalts unserer Atmosphäre zulassen. Fox hat in seinem mehrfach citirten gründlichen Werk über das Ozon (S. 271 u. f.) die Fehlerquellen zusammengestellt, die auch dann noch vorhanden bleiben, wenn die Herstellung und die Aufstellung des Ozonpapiers völlig *lege artis* erfolgt sind. Sehr feuchte Luft z. B. veranlasst eine theilweise Verflüchtigung des aus dem Jodkalium ausgeschiedenen Jods, gleichgültig, ob dasselbe an Stärke gebunden ist oder nicht, während ozonhaltige Luft in zu trockenem Zustande auf das ebenfalls trockene Jodkaliumstärkepapier nicht oder nur wenig einwirkt. Daher die häufig irrigen Angaben, dass ganz feuchte und ganz trockene Luft nur wenig oder gar kein Ozon enthalte. Das Gleiche gilt bezüglich der Abhängigkeit des Ozongehalts von der Lufttemperatur: weil bei höherer Temperatur, insbesondere bei gleichzeitig grossem Feuchtigkeitsgehalt sich viel Jod verflüchtigen kann, hat man daraus oft fälschlich auf einen geringen Ozongehalt in warmer gegenüber kalter Luft geschlossen. Und nicht allein darf bei vergleichenden Versuchen das Ozonpapier nicht das eine Mal der bewegten, das andere Mal der ruhigen Luft ausgesetzt werden, weil im ersteren Falle grössere Quantitäten auf die gleiche Fläche des Papierstreifens zur Wirkung kommen, nein, auch wenn man mittelst Aspirators und Ozonbüchse dafür sorgt, dass jedesmal gleiche Volumen Luft über das Ozonpapier hinweggehen, kommt es auch auf die Geschwindigkeit an, mit welcher die Luft durch den betreffenden Apparat hindurehaspirirt wird. Fox¹⁾ hat nachgewiesen, dass farbloses Jodkaliumpapier sich stärker färbt, wenn ein bestimmtes Volumen Luft langsam, als wenn es rasch übergeleitet wird, was er darauf zurückführt, dass bei rascherem Durchgang das Ozon nicht völlig zur Wirkung kommen kann, also theilweise unzersetzt durch den Apparat passirt. Die hier angedeuteten Gesichtspunkte und die schon weiter oben (S. 42) besprochenen Fehlerquellen, bedingt durch die Anwesenheit noch anderer accessorischer Bestandtheile der Luft, die auf Jodkaliumstärkepapier einwirken u. a. m., mahnen zur Vorsicht bei Beurtheilung ozonometrischer oder ozonoskopischer Mittheilungen über das atmosphärische Ozon. Nur diejenigen Beobachtungen, bei welchen alle angeführten Vorsichtsmassregeln berücksichtigt sind, oder die wenigstens, wenn in freier Luft ohne Aspirator und Ozonbüchse ausgeführt, unter möglichst gleich-

mässigen Bedingungen der Bewegung, Temperatur und des Feuchtigkeitsgehalts der Luft gemacht wurden, können bei jener Beurtheilung von Werth sein. Zuverlässiger sind, wie schon oben ausführlich auseinandergesetzt ist, die Beobachtungen mit dem Ozonpapier von Houzeau, wengleich auch bei Anwendung dieses Ozonoskopes die gleichen Fehler wie beim Jodkaliumstärkepapier entstehen für den Fall, dass beim Exponiren desselben nicht auf die Bewegung der Luft Rücksicht genommen ist.

Aus dem Gesagten erhellt, dass bei Beurtheilung der Schwankungen im Ozongehalt der atmosphärischen Luft, über welche in fast zahllosen Mittheilungen berichtet ist, unterschieden werden muss zwischen solchen, welche als directe Folge der tatsächlichen Differenzen in der Menge des atmosphärischen Ozons betrachtet werden dürfen, und solchen, die theilweise oder ganz nur durch ungenügende Methoden der Bestimmung veranlasst sind. Gewiss sind die meisten ozonoskopischen Beobachtungen der letzteren Kategorie zuzuzählen, was jedoch als ein Vorwurf gegen die betreffenden Beobachter nicht betrachtet werden darf, wenigstens nicht gegen Diejenigen, welche ihre Wahrnehmungen zu Zeiten machten, in welchen eine Fülle von Fehlerquellen, deren Kenntniss wir vor Allem erst Fox verdanken, noch unbekannt war. Es ist aber zu constatiren, dass die deutsche Ozonoskopie bezüglich ihrer Bemühungen, jene Fehlerquellen zu vermeiden, weit hinter derjenigen der Engländer zurücksteht, und dass bei uns noch viele ozonoskopische Beobachtungen in sehr roher Weise ausgeführt wurden zu einer Zeit, da man in England, auch in Frankreich, schon zu weit zuverlässigeren Beobachtungsmethoden übergegangen war.

Der Wechsel der Jahreszeiten bringt auch einen Wechsel im Ozongehalt der atmosphärischen Luft mit sich. Bei der Veränderung der Bedingungen, welchen das Ozon seine Entstehung verdankt: der Veränderung des elektrischen Zustandes unserer Atmosphäre und der Temperatur derselben, den veränderten Verdunstungs- und Vegetationsverhältnissen hat diese Thatsache natürlich nichts Auffälliges, und die Schwankungen würden vielleicht noch bedeutendere sein, wenn nicht andererseits die Ozonconsumption, wie wahrscheinlich, einen Regulator für die Ozonproduction abgeben würde.

Ausser Zweifel scheint es zu stehen, dass die Luft das Maximum ihres Ozongehaltes immer in den Frühjahrsmonaten aufweist, während das Minimum auf die Herbstmonate fällt. Darüber jedoch, ob Winters, ob Sommers der Ozongehalt ein grösserer ist, herrscht in

¹⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, London 1873, 289.

den Angaben wenig Uebereinstimmung; Bérigny¹⁾ findet mehr im Sommer, ebenso T. Böckel²⁾ und Houzeau³⁾; dagegen Ebermeyer⁴⁾, v. Löseke⁵⁾, Moffat⁶⁾ u. A. mehr im Winter.⁷⁾ Die Angaben von Houzeau verdienen jedenfalls ganz besondere Beachtung, denn sie sind mit Ozonpapier erhalten, welches nicht wie das Jodkaliumstärkepapier auch noch durch andere Bestandtheile der Luft verändert wird, und ausserdem erstrecken sich seine Untersuchungen auf einen so langen Zeitraum, dass Zufälligkeiten mehr als bei vielen anderen Bestimmungen ausgeglichen werden. Houzeau, der bei seinen Beobachtungen bekanntlich (siehe S. 46) nur immer die Tage bestimmt, an welchen innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (Monat, Jahr etc.) deutliche Ozonreaction auftritt, fand als Mittel aus den 10 Jahren 1861—1870 in den Monaten:

Tage mit deutlichem Ozongehalt		
December	3,6	Summe im Winter = 12,6 Ozontage.
Januar	3,6	
Februar	5,4	
März	11,7	Summe im Frühjahr = 40,5 "
April	12,8	
Mai	16,0	
Juni	15,9	Summe im Sommer = 37,4 "
Juli	12,2	
August	9,3	
September	8,1	Summe im Herbst = 19,3 "
Oktober	6,3	
November	4,9	

Noch weniger Uebereinstimmung zeigt sich in den Angaben über Maximum und Minimum im Ozongehalt der Luft in den einzelnen Monaten. Nach Bérigny ist der ozonreichste Monat der Mai, der ozonärmste der November, Houzeau findet in den 10 Mai-monaten seiner zehnjährigen Untersuchungen bei Rouen (1861—1870) in Summa 160 Tage mit starker Ozonreaction, in den 10 Junimonaten 159, in den Monaten Januar und December nur je 36 Ozontage; nach ihm sind demnach Mai und Juni die ozonreichsten, Januar und December die ozonärmsten Monate des Jahres. Aus einer Zusammenstellung von Fox⁸⁾ ergeben sich

¹⁾ Compt. rend. LX, 904.
²⁾ Annal. d. chim. phys. (4) VI, 235.
³⁾ Ibid. (4) XXVII, 37.
⁴⁾ „Einfluss der Wälder auf die Beschaffenheit der Luft“ von Ebermeyer, 1873, und Monit. scientif. (3) III, 891.
⁵⁾ Arch. Pharm. 1874, 427.
⁶⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, London 1873, 57.
⁷⁾ Prestel findet als Maximum („Die jährliche period. Aenderung des atmosph. Ozons und die ozonoskopische Windrose als Ergebniss von Beobachtungen zu Emden.“ Dresden 1865) für den Ozongehalt Tag- und Nachtgleiche.
⁸⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, London 1873, 58.

die sehr verschiedenartigen Resultate, welche bei Bestimmung der Maxima und Minima des Ozongehalts auf 17 verschiedenen Beobachtungsstationen als Mittel von vielen Bestimmungen erhalten worden sind:

Station	Maximum	Minimum
Prag	Juli u. August	October
Wien	Februar	September
Kremsmünster	Februar	Juli
Banbridge, Irland	December	Juli u. August
Eccles b. Manchester	März u. April	November
Salzburg	Februar	Nov. u. Dec.
Versailles	Mai	November
Rouen	Mai u. Juni	Januar
Scotland	Mai	November
Königsberg	März	November
Toronto	März	April
Insel Islay	Februar u. Mai	October
Whitby	April	November
Shetland	Februar	November
Culloden	April	August
Insel Lewis	März	Juli
Faröer	Juli u. September	April.

Also auch hier wieder, trotz sehr vieler Abweichungen, die meisten Maxima im Frühjahr, die meisten Minima im Herbst, insbesondere im November.

Auch über die Schwankungen des Ozongehalts der Luft bei Tag und bei Nacht, ja sogar zwischen den einzelnen Stunden des Tages und der Nacht sind zahlreiche Untersuchungen angestellt worden. Die meisten Beobachter, wie z. B. Gröger¹⁾, Prestel²⁾, Scoutetten³⁾, Poey⁴⁾, Schiefferdecker⁵⁾, Rogers⁶⁾, Lowe⁷⁾, Zittel⁸⁾, Ascher-son⁹⁾ u. A. finden mehr Ozon in der Nachtluft, als in der des Tages, so dass in Anbetracht der fast zahllosen Bestimmungen der Satz, dass die Luft bei Tage ozonärmer ist als bei Nacht, im Allgemeinen als richtig wird gelten dürfen. Immerhin ist jedoch zu erwähnen, dass einzelne Beobachtungen, und unter diesen diejenigen von Houzeau⁶⁾ in Rouen, zu dem entgegengesetzten Resultat geführt haben, sowie dass Kosmann⁷⁾ gefunden hat, dass nur die Luft in Städten einen höheren Ozongehalt bei Nacht aufweise, dass dagegen die Landluft bei Tage ozonreicher sei. Die Bestimmung der Schwankungen des Ozongehalts zwischen den einzelnen Stunden des Tages und der

¹⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, London 1873, 59—62.
²⁾ „Die jährl. period. Aenderung des atmosph. Ozons etc.“ Dresden 1865. Siehe auch bei Fox S. 58.
³⁾ Compt. rend. LVII, 344. Chem. Centr. 1864, 351.
⁴⁾ München. Sitzungsber. 1874, I, 215.
⁵⁾ „Naturforscher“ 1877, 274 u. München. Sitzungsber. 1877, I, 77.
⁶⁾ Annal. d. chim. phys. (4) XXVII, 42.
⁷⁾ Compt. rend. LV, 731.

Nacht haben noch keine Resultate ergeben, die zu allgemeinen Schlüssen berechtigen.¹⁾

Inwieweit der Ozongehalt der Luft direct abhängig ist von dem elektrischen Zustand derselben, konnte bis jetzt, trotzdem die meisten Beobachter sich für eine je nach der Luftelektricität steigende resp. fallende Ozonmenge aussprechen²⁾, noch nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Die Bedingungen für eine Ozonreaction compliciren sich dabei in einem solchen Grade, dass die bisherigen Beobachtungen zur Beantwortung dieser schwierigen Frage längst nicht ausreichen. Jahres- und Tageszeiten, Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt etc., Umstände, die mit dem elektrischen Zustand der Luft jedenfalls in Beziehung stehen, sind auch von directem oder indirectem Einfluss auf die ozonoskopischen Versuchsergebnisse, die mittelst des Jodkaliumstärkepapiers erhalten werden. Nach Saussure z. B. geben die Nebel zu starker Elektricitätsbildung in der Luft Veranlassung und obgleich a priori zu vermuthen ist, dass dabei auch viel Ozon entsteht, wird man doch unter Umständen in stark nebliger Luft weniger Ozon finden, weil durch den grossen Feuchtigkeitsgehalt Jod verflüchtigt, die Bläuung des ozonoskopischen Papiers also verringert wird. Ist dagegen, wie z. B. Koemtz³⁾ angiebt, in nebliger Luft nur wenig Elektricität vorhanden, so wird man unter Umständen gar kein Ozon finden, während in einer mittelfeuchten Luft von gleichem Ozongehalt noch deutliche Ozonreaction eintreten kann. Kurz, die Verhältnisse liegen hier so complicirt, dass erst durch weitere Ausbildung der Ozonoskopie, durch Beseitigung der die Reaction beeinträchtigenden störenden Einflüsse, wie Temperaturschwankungen, verschiedener Feuchtigkeitsgrad der Luft etc. sichere Anhaltspunkte für Beantwortung dieser Frage gefunden werden können.

Der Einfluss der Gewitter auf den Ozongehalt der Luft ist ebenfalls schon vielfacher Untersuchung unterzogen worden, doch auch hier muss wieder bezüglich der meisten dieser Untersuchungen constatirt werden, dass sie nicht unter Berücksichtigung aller der Vorsichtsmassregeln angestellt worden sind, die durch die complicirten Verhältnisse geboten erscheinen. Veränderte Bewegung in der Luft, veränderte Temperatur, veränderter Feuchtigkeitsgehalt vor, während und nach dem Gewitter sind Fehlerquellen, die sich gerade auch wieder beim Jodkaliumstärkepapier,

das zu den meisten Bestimmungen benutzt wurde, in störender Weise geltend machen müssen, und es verdienen deshalb die mittelst Jodkaliumstärkepapier ausgeführten Bestimmungen Houzeau's⁴⁾ vorzugsweise Beachtung. Derselbe bemerkte, dass während mehrerer Gewitter eine bedeutende Zunahme des Ozongehaltes der Luft wahrzunehmen war und dass der hohe Ozongehalt auch einige Tage nach den Gewittern anhielt, den ersten Tag nachher sich sogar noch steigerte. Die gleiche Wahrnehmung machte Böhm zu Prag; unter 17 Gewittern waren 12 von einer Steigerung des Ozongehaltes begleitet. Bei Beobachtungen in Königsberg ergaben dagegen nur 2 von 6 Gewittern eine Verstärkung der Ozonreaction und auch dies immer erst den folgenden Tag. Weltzien⁵⁾ dagegen nimmt überhaupt nur bei Gewittern einen Ozongehalt in der Luft an. Nach Beobachtungen von Relshuber, Moffat, Fox⁶⁾ u. A. ist dagegen keine Steigerung der Ozonreaction durch Gewitter wahrzunehmen, zum Mindesten ist nach Relshuber die Ozonzunahme direct abhängig von der Menge des wässrigen Niederschlages, der das Gewitter begleitet, während nach Moffat sogar eine Abnahme im Ozongehalt zu bemerken ist für den Fall, dass sich während des Gewitters ein Steigen des Barometers zeigt. Nur bei sinkendem Barometerstand bemerkte er Ozonmengen, die dem Mittelgehalt nahe kamen.⁴⁾

Ueberhaupt zeigt sich nach Moffat ganz allgemein bei steigendem Barometer, also sich vermehrendem Luftdruck, ein geringer, oft nicht mehr wahrzunehmender Ozongehalt, während das Umgekehrte bei sinkendem Barometer, also sich vermindertem Luftdruck, statthat. Auch Neumann⁵⁾ findet um so mehr Ozon, je niedriger das Barometer; ebenso Lowe, während Schiefferdecker und E. Böckel keinen Zusammenhang zwischen Luftdruck und Ozongehalt bemerken können.⁶⁾

Regen, Schneefall, Hagelschlag und Nebel stehen nach den Angaben vieler Beobachter auch in Zusammenhang mit der Ozonmenge der Luft und bedingen nach den meisten Angaben eine Steigerung des Ozongehalts. Houzeau hat auch hierüber eingehende Untersuchungen angestellt. In den 10 Jahren von 1861—1870 kam er bei seinen ozonoskopischen Beobachtungen zu folgenden Resultaten:

¹⁾ Siehe „Ozone and Antozone“ b. Fox, London 1873, 62 u. f., woselbst detaillirte Angaben.

²⁾ Ibid. S. 66.

³⁾ Nach Fox S. 69 aus Koemtz „Cours complet d. Météorologie“.

⁴⁾ Annal. d. chim. phys. (4) XXVII, 57.

⁵⁾ Annal. Chem. Pharm. CXXXVIII, 129.

⁶⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, London 1873, 71.

⁷⁾ Ibid. 71.

⁸⁾ Poggend. Annal. CII, 614.

⁹⁾ Siehe „Ozone and Antozone“ b. Fox, 86.

	Zahl der Regentage 1861—70	Zahl der Regentage mit Ozongehalt	Auf 100 Regentage kommen also Ozontage
Frühjahr	309	156	50
Sommer	285	156	55
Herbst	302	92	30
Winter	308	60	19
	Im Mittel pr. Jahr: 38.		

	Zahl der Tage mit schönem Wetter	Zahl der schönen Tage mit Ozongehalt	Auf 100 schöne Tage kommen also Ozontage
Frühjahr	567	236	42
Sommer	558	215	38
Herbst	486	91	19
Winter	486	66	13
	Im Mittel pr. Jahr: 28.		

Es ergibt sich daraus, dass bei Regen der Ozongehalt der Luft ein höherer ist, als bei schönem Wetter.¹⁾ Schönbein²⁾ ist bezüglich des Schneefalls zu dem gleichen Resultat gelangt und führt den erhöhten Ozongehalt dabei auf die durch die Schneeflocken bedingte Reibung zurück; auch Wolf, Schiefferdecker, Reishuber u. A. bestätigen, dass Regen und Schneefall einen erhöhten Ozongehalt in der Atmosphäre zur Folge haben.³⁾ Insbesondere Schiefferdecker hat eingehende Versuche darüber angestellt und bei seinen vom 1. Juni 1852 bis 31. Mai 1853 angestellten Versuchen gefunden, dass das Jodkaliumstärkepapier mit 20theiliger Scala im Mittel zeigte für

Schöne Tage	6,9°
Regentage	8,9°
Tage mit Schneefall .	10,1°

Auch Wolf und Reishuber bestätigen den ganz besonders hohen Ozongehalt bei Schneefall und soll speciell der Ozongehalt der Schneeflocken oftmals so bedeutend sein, dass jede einzelne auf Schönbein'schem Ozonpapier die Bildung eines blauen Flecks bewirkt.

Scoutetten⁴⁾ fand bei Nebeln in sehr feuchter Luft einen geringen oder gar keinen Ozongehalt, dagegen Verstärkung der Ozonreaction beim Verschwinden derselben. Zum umgekehrten Resultat kam er bei Nebeln in verhältnissmässig trockner Luft. Wie bei Gewittern, so ist nach Moffat auch in nebliger Luft der Ozongehalt abhängig vom Luftdruck und von der Windrichtung.

Nach Ascherson's Beobachtungen in der

Lybischen Wüste ist der Ozongehalt nach thaurischen Nächten besonders gross¹⁾.

Da sich aus den mitgetheilten Beobachtungsergebnissen im Allgemeinen ergibt, dass alle Niederschläge eine Erhöhung des Ozongehalts in unserer Atmosphäre zur Folge haben, ist es wohl am Platze, die Frage aufzuwerfen, ob diese Erhöhung direct oder nur indirect durch jene Niederschläge bedingt ist. Erinnert man sich der Untersuchungen Tyndall's über die in jeder freien Luft in Form von feinen Staubtheilchen anorganischer und organischer Natur enthaltene „schwebende Materie“, bedenkt man ferner, dass diese schwebende Materie mit Regen, Schnee, Thau etc. niedergeschlagen, aus der Luft also gleichsam ausgewaschen wird, so ist sicherlich die Möglichkeit, dass die beobachtete Ozonvermehrung nur dadurch veranlasst ist, dass durch die atmosphärischen Niederschläge jene das Ozon zerstörenden Stoffe aus der Luft entfernt worden sind, nicht bloss nicht ausgeschlossen, vielmehr zur Wahrscheinlichkeit erhoben. Schon Fox²⁾ und Wolffhügel³⁾ machen, und mit vollem Recht, hierauf aufmerksam. Wenn wir die Ozonschwankungen zurückführen auf Schwankungen in der Production und Consumption des Gases, so muss unbedingt, sobald durch meteorologische Veränderungen in unserer Atmosphäre die Consumption vermindert wird — und dies ist eben bei atmosphärischen Niederschlägen im Allgemeinen der Fall — bei gleichbleibender Production sofort eine Vermehrung des Ozongehalts eintreten. Ob aber diese Vermehrung gleichzeitig auch eine Folge ist einer verstärkten Production, darüber wissen wir noch nichts Bestimmtes. Wolffhügel ist geneigt, die ganze Zunahme des Ozons nur auf Rechnung der Luftreinigung zu setzen; ich kann mich seiner Ansicht aus folgenden Gründen nicht anschliessen. Schon a priori ist bei der elektrischen Spannung zwischen Wolken und Erdoberfläche zur Zeit von Gewittern anzunehmen, dass durch die vor sich gehenden dunklen Entladungen in der zwischenliegenden Luftschicht eine verstärkte Ozonbildung eintritt. Dazu kommt, dass auch bei Gewittern, die nicht von atmosphärischen Niederschlägen begleitet sind, oftmals eine Erhöhung des Ozongehalts wahrzunehmen ist. Wenn dies nicht bei allen trockenen Gewittern zu bemerken ist, so kann es daran liegen, dass in solchen Fällen der durch gleichzeitigen heftigen Wind aufgewirbelte Staub das Ozon theilweise zerstört hat. Auch die von allen Seiten bestätigte Thatsache, dass Schneefall

¹⁾ Annal. d. chim. phys. (4), XXVII, 5.

²⁾ Verhandlgn. d. naturf. Ges. Basel⁴⁾ IV, 786.

³⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, S. 72 u. 73.

⁴⁾ Ibid. S. 73.

¹⁾ München. Sitzungsber. 1877, I, 77.

²⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, S. 74.

³⁾ Zeitschr. f. Biologie XI, 408.

noch mehr als Regen zur Vermehrung des Ozons in der Luft beiträgt, scheint mir dafür zu sprechen, dass nicht allein die Luftreinigung jene Vermehrung bedingt, da doch anzunehmen ist, dass im einen wie im anderen Fall, d. h. bei Schneefall wie bei Regen, die bewirkte Auswaschung der Luft die gleiche bleibt.

Ueber den Einfluss der Windstärke und der Windrichtung auf den Ozongehalt der Luft sind ebenfalls sehr viele Untersuchungen angestellt worden, von welchen aber auch wieder die grösste Zahl wegen Nichtberücksichtigung der störenden Nebenumstände nur zu unbrauchbaren Resultaten geführt hat. Es mag ja a priori etwas Wahrscheinliches haben, dass in Folge stärkeren Wechsels zwischen oberen und unteren Luftschichten zur Zeit von Stürmen der Ozongehalt der gerade über der Erdoberfläche befindlichen Luftschicht ein grösserer wird; wenn aber die meisten Beobachtungen starken Ozongehalt bei heftigem Wind ergeben haben, so liegt dies sicherlich theilweise auch daran, dass bei rascher Luftbewegung in der gleichen Zeit ein viel grösseres Luftquantum mit dem Ozonpapier in Berührung kam als bei Windstille.

Fox¹⁾ führt ein sehr einfaches Experiment an, durch welches man sich von der Berechtigung dieses Bedenkens überzeugen kann. Man befestige, so sagt er, beim Spazierengehen auf dem Hut zwei Ozonpapiere, das eine vorn, das andere hinten. Ist auch nur wenig Ozon in der Luft, so wird nach der Rückkehr das Papier, welches sich vorn auf dem Hut befand, viel dunkler gefärbt sein, als das hinten befindliche; einfach nur, weil das erstere mehr mit immer wieder erneuter Luft in Berührung kam, als das letztere. Mit Recht macht Fox deshalb auch darauf aufmerksam, dass die ozonoskopischen Beobachtungen bisher mehr nur den Anzeigen eines Anemometers als denjenigen eines Ozonometers entsprechen.

Als massgebend bei Beantwortung der Frage nach dem Einfluss der Windstärke auf den Ozongehalt können deshalb nur solche Beobachtungen betrachtet werden, die mit Hilfe der früher beschriebenen Aspiratoren und Ozonbüchsen (S. 43) oder unter Anwendung anderer entsprechender Vorsichtsmassregeln gemacht worden sind. An solchen Beobachtungen fehlt es aber zur Zeit noch und muss die Frage deshalb noch als eine offene betrachtet werden.

Das Gleiche gilt bezüglich des Einflusses der Windrichtung auf den Ozongehalt der Luft. Fast unzählige Beobachtungen sind darüber gemacht; je nach der zufälligen Stärke des Luftstroms musste man

aber, das liegt auf der Hand, zu völlig abweichenden Resultaten gelangen; denn haben z. B. Nordwind und Südwind in Wirklichkeit den gleichen Ozongehalt, die Geschwindigkeit des ersteren beträgt aber bei der Beobachtung zufällig das Doppelte von der des letzteren, so wird die ozonometrische Bestimmung für Nordwind den doppelten Ozongehalt wie für Südwind ergeben. Die jahrelange Nichtberücksichtigung der Windstärke ist wohl auch die Hauptursache, weshalb in den Angaben über den Maximalgehalt an Ozon kaum eine Richtung der Windrose nicht ihren Vertreter gefunden hat. Dazu kommt noch, dass der Ozongehalt der bewegten Luft durch gewisse örtliche Einflüsse ganz wesentlich bedingt ist. Man hat zur Evidenz nachgewiesen, dass, wenn die ozonoskopische Beobachtung gemacht wurde, nachdem der Wind über Städte, über Sümpfe etc. weggezogen war, sehr oft nur ganz wenig oder gar kein Ozon mehr nachzuweisen war, während die Luft meist starken Ozongehalt zeigt, wenn sie durch den Wind von der See her oder über Wälder nach dem Ort der Untersuchung geweht wurde. Im ersteren Falle haben wir eine Verminderung des Ozongehalts durch Vermengung der Luft mit Emanationen, die das Ozon zerstören, vor uns, während im letzteren eine Bereicherung durch verdunstendes Seewasser oder durch die Wirkung der Wälder anzunehmen ist.

Aus einer vergleichenden Zusammenstellung der auf 28 Stationen gemachten sehr zahlreichen Beobachtungen zieht Fox¹⁾ den Schluss, dass an den meisten Orten die stärkste Ozonreaction dann zu bemerken ist, wenn West- und Südwestwind herrscht, die schwächste bei Nord- und Südostwind. Houzeau²⁾ hat dagegen gefunden, dass bei Rouen die meisten Tage mit deutlichem Ozongehalt zu bemerken waren bei Süd- und Südostwind, dann bei Nordost- und Nordwind, die wenigsten bei Westwind. Bérigny³⁾ fand während 9jähriger Beobachtungen in Versailles, dass die Winde von West, Südwest, Süd und Nordwest die stärkste Reaction geben und führt dies darauf zurück, dass durch diese Windrichtungen die Luft von den Seeseiten — Atlantischer Ocean, Busen von Biscaya, Mitteländisches Meer — hergeführt wurde, lässt also die verstärkte Ozonreaction auch nur von localen Einflüssen abhängen. Auch Schiefferdecker u. A. halten die Windrichtung an sich für bedeutungslos hinsichtlich des Ozongehalts. Jedenfalls ist auch diese Frage noch längst nicht als abgeschlossen zu betrachten, und wird der

¹⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, 191.

¹⁾ Ibid. 77 u. 78.

²⁾ Annal. d. chim. phys. (4) XXVII, 47.

³⁾ Compt. rend. LX, 908.

Abschluss in Anbetracht der complicirten Verhältnisse gewiss auch noch lange auf sich warten lassen.

In wie hohem Grade gewisse locale Einflüsse auf den Ozongehalt der Luft sich bemerkbar machen, zeigt eine Reihe von Beobachtungen, welche in verschiedenen Höhen über der Erde, in einer Anzahl von Städten und Ortschaften oder in deren Umgebung, in der Nähe der See, bewaldeter Districte etc. gemacht worden sind. Es ergibt sich daraus im Allgemeinen, dass an und in der Nähe von Orten, an welchen Ozon producirt wird, die Atmosphäre einen höheren, in der Umgebung solcher, an welchen eine Consumption stattfindet, einen geringeren Gehalt an Ozon zeigt.

Die Höhe der Luftschicht über der Erdoberfläche bedingt eine Veränderung im Ozongehalt; je höher der Punkt, je entfernter also von thierischem Leben und dessen Emanationen, desto ozonreicher die Luft. Seoutetten untersuchte die Luft in verschiedenen Höhen auf der Kathedrale von Metz und fand unter Anwendung von Jodkaliumstärkepapier die folgenden Ozongrade:

	23. März	14. April
Bei 20 m Höhe	1	2
„ 40 m „	2	3
„ 60 m „	5	8
„ 80 m „	5	6
„ 100 m „	6	10

Decharmes kam bei seinen Versuchen auf der Kathedrale von Amiens zu ähnlichen, ja entsprechend der Höhe noch regelmässiger steigenden Zahlen, und Untersuchungen von Lowe, sowie Beobachtungen, die auf den Alpen bis in eine Höhe von 8000 Fuss verfolgt wurden, ergaben das gleiche Resultat.¹⁾ Da ausserdem Versuche von Poey,²⁾ die jedoch mehr in Rücksicht auf die durch locale Einflüsse bedingten Schwankungen ausgeführt sind, auch in Havana eine solche Zunahme ergeben haben, muss der oben ausgesprochene Satz des mit der Höhe steigenden Ozongehalts als richtig angenommen werden.

Dass jedoch nicht in allen Luftschichten gleicher Höhe auch gleicher Ozongehalt vorhanden ist, beweisen die Beobachtungen Glaisher's.³⁾ Derselbe fand bei 85 Fuss an der Seeküste 2,2°, bei gleicher Höhe im Binnenlande nur 0,6°, und selbst 170 Fuss ergaben hier erst 1,3°, 255 Fuss 3,8° der Ozonscala. Auch Bergeshöhen zeigen grösseren Ozongehalt als gleiche Höhen in Thälern.

¹⁾ Siehe detaillirte Angaben bei Fox „Ozone and Antozone“ S. 102.

²⁾ Compt. rend. LVII, 344. Chem. Centr. 1864, 351.

³⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, S. 102.

Die topographische Lage eines Ortes bedingt ohne Zweifel eine Aenderung im Ozongehalt der Luft. Kleinere Inseln z. B., die ja von allen Seiten von der so ozonreichen Seeluft umgeben sind, zeigen in ihrer Atmosphäre immer einen ausnehmend hohen Ozongehalt, wie Untersuchungen¹⁾ auf Islay, Guernsey, Jersey, Faröer, auch auf Texel²⁾ ergeben haben. Das Gleiche gilt selbstverständlich auch von solchen Orten, die in der Nachbarschaft der Küste gelegen sind. In England sind gerade hierüber eine grosse Zahl von Untersuchungen ausgeführt worden, aus welchen sich ausserdem mit Bestimmtheit ergibt, dass die Luft von Küstenstrichen immer viel ozonreicher ist, wenn der Wind von der See als vom Lande her weht. Fox³⁾ insbesondere bestätigt die schon vor ihm gemachten dahin gehenden Wahrnehmungen von Chimmo, Jansen, Mitchell, Fitzroy u. A. durch seine Beobachtungen zu Scarborough. Auf die gleiche Ursache, welche den erhöhten Ozongehalt der Seeluft bedingt — die Verdunstung des Wassers — muss auch die Wahrnehmung zurückgeführt werden, dass Ozonpapiere in der Luft über Binnenseen und Flüssen⁴⁾, in der Nähe von Gradirwerken⁵⁾ und von Wasserfällen⁶⁾ viel intensiver als durch gewöhnliche Luft gefärbt werden.

Die Nähe der Wälder hat ebenfalls einen erhöhten Ozongehalt der Luft im Gefolge, wie die Untersuchungen von Ebermayer⁷⁾ dargethan haben. Nach seinen Mittheilungen ergeben sich aus ozonoskopischen Beobachtungen, welche während circa dreier Jahre auf sechs verschiedenen bayrischen Forststationen angestellt worden sind, als mittlere Ozongrade:

Im Frühjahr	8,07,
„ Sommer	7,65,
„ Herbst	8,07,
„ Winter	8,31,
Jahresmittel:	8,02.

Vergleichende Bestimmungen mit dem nämlichen Papier ergaben in Leipzig als Jahresmittel 4,50, in Zwickau 2,95, in Greiz 1,80. Nur das von Wald umgebene Aschaffenburg zeigt den verhältnissmässig hohen Grad von 6,51. Nach den weiter oben gegebenen Darlegungen (S. 28) ist es nicht wahrscheinlich, dass der erhöhte Ozongehalt der Luft in Wäldern

¹⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, S. 100.

²⁾ Huizinga: Journ. f. prakt. Chem. CII, 201.

³⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, S. 100 u. 108.

⁴⁾ Ibid. S. 108.

⁵⁾ v. Gorup-Besanez: Annal. d. Chem. u. Pharm. CLXI, 232.

⁶⁾ Bellucci: Ber. d. deutsch. chem. Ges. 1875, 905.

⁷⁾ Ueber den Einfluss d. Wälder auf d. Beschaffenheit d. Luft. Ebermayer 1873 und Monit. scientif. (3) III, 895.

eine Folge der Bildung ozonisirten Sauerstoffs durch die Pflanzen ist. Ebermayer führt denselben auf die Feuchtigkeit der Waldluft zurück. Mit dieser Annahme stimmt aber nicht der hohe Ozongehalt im Winter, in welcher Jahreszeit Feuchtigkeit und Verdunstung sicherlich geringer sind, als beispielsweise im Herbst, der trotzdem einen geringeren Ozongehalt aufweist. Sollte hier nicht noch ein anderer Umstand in Betracht kommen? Ebermayer giebt an, dass die Luft im Innern der Wälder weniger ozonreich ist als über den Gipfeln der Bäume, dass der Ozongehalt wächst mit der Höhe über dem Boden. Diese Thatsache erklärt sich meiner Ansicht nach am besten durch die Annahme, dass Aeste, Zweige und Blätter resp. Nadeln der Bäume ein dachartiges Filter über dem Boden bilden, welches das Ausströmen und Ausstreuen organischer Emanationen und losgerissener schwebender Materie in die äussere Luft verhindert. Erinnerung man sich dabei, dass die Luft nach den Untersuchungen Glaisher's (S. 53) in einer Höhe von 170 Fuss mehr als den doppelt so grossen Ozongehalt zeigt als bei 85 Fuss Höhe, und dass diese Unterschiede grossentheils nur bedingt sind durch die grössere Ozonconsumption in den unteren Luftschichten in Folge ihres Gehalts an organischen Ausdünstungen und von der Erdoberfläche fortgerissener schwebender Materie, so ist es sehr wohl denkbar, dass durch das reinigende Filter eines Waldes, die an anderen Orten eintretende Ozonconsumption sehr herabgemindert werden kann. Demgemäss sehe ich die ozonisirende Wirkung des Waldes als nicht oder doch nur zum sehr geringen Theile auf einer wirklichen Production, vielmehr wesentlich als auf einer Verminderung der Consumption an Ozon beruhend an.¹⁾

An bewohnten Orten, insbesondere in Städten, ist der Ozongehalt der Luft immer geringer als auf dem Lande: dieser Satz schien sich schon aus den früheren, wenig genauen Beobachtungen zu ergeben, er hat sich aber auch bei den exacteren Bestimmungen nach neuerer Methode von Houzeau, Fox, Wolffhügel u. A. als vollkommen richtig erwiesen. Die Beobachtungen Hou-

¹⁾ Die filtrirende und desinficirende Wirkung des Waldes gegenüber in der Luft schwebenden Infectionsstoffen ist schon vor Jahren von Rigaud de l'Isle (Bibl. univ. XIII) und Becquerel (Compt. rend. XXXVI, 12) hervorgehoben worden.

Die Beobachtungen Bérigny's („Ozone and Antozone“ by Fox, 100), wonach die Waldluft im Mai den grössten, im November den geringsten Ozongehalt zeigte, und Fautrat's (Compt. rend. LXXXIII, 752), der sogar eine Verminderung des Ozongehalts in den Wäldern wahrzunehmen glaubte, seien hier nur erwähnt; sie haben bis jetzt keine Bestätigung gefunden und widersprechen den ausführlichen und gründlichen Untersuchungen Ebermayer's.

zeau's sind auch hier wieder von besonderem Werth, weil sie mit einem Papier angestellt sind, welches nur Ozon anzeigt, während das Jodkaliumstärkepapier, dessen sich fast alle übrigen Beobachter bedienen, auch durch salpetrige Säure und Wasserstoff-superoxyd in gleicher Weise wie durch Ozon verändert wird, so dass bei letzterem Ozonoskop immer nur die Gesamtwirkung aller dieser Stoffe, der sogenannten „Luftreiner“, zur Erscheinung kommt.

Die Untersuchungen Houzeau's¹⁾, welche zu gleicher Zeit und unter möglichst gleichen Bedingungen in Paris, Rouen und auf dem Lande (bei Rouen) angestellt wurden, ergaben:

	Januar 1862 Ozontage	März 1863 Ozontage
Paris	0	0
Rouen	3	17
Land	12	30

Shapter²⁾ findet Aehnliches für die Stadt Exeter, Haviland³⁾ für Bridgewater. Beide constatiren, dass der Ozongehalt mit Entfernung von der Stadt zunimmt. So zeigte beispielsweise die Luft in Bridgewater den Ozongrad 0, $\frac{3}{4}$ Meilen davon 4,2, $3\frac{1}{4}$ Meilen 6,1. Auch Faraday bestätigt diese Wahrnehmungen für Brighton, Angus Smith für Manchester, während Tripe und Evans für London, Boehm für Prag, Rogers für Boston nachweisen, dass immer eine starke Desozonisation der Luft eintritt, wenn letztere über die Stadt vorher hinweggeht. Je volkreicher überhaupt die Stadt, je enger die Strassen und je geringer der Luftwechsel, je mehr Schmutz auf den Strassen und je mehr Unreinigkeiten in der Luft, durch Ausdünstungen, starke industrielle Thätigkeit in Fabriken, durch Rauch etc. bedingt, desto geringer der Ozongehalt, denn um so grösser ist eben der Verbrauch an Ozon. Die Richtigkeit dieses Satzes ist durch unzählbare Bestimmungen, die in Wien, Prag und einer grossen Zahl österreichischer Städte, in Königsberg, Strassburg, Emden, Leipzig etc., in Paris, Lyon, Rouen, Amiens, zu London, Manchester, Glasgow, Birmingham, Greenock und vielen anderen französischen und englischen Städten, zu Washington etc. zur Ausführung gekommen sind⁴⁾, festgestellt.

Dass es nicht zwei Orte auf der Erde giebt, an welchen trotz Anstellung methodisch absolut übereinstimmender ozonoskopischer Beobachtungen ganz gleiche Resultate bezüglich der in der Luft enthaltenen Ozon-

¹⁾ Annal. d. chim. phys. (4) XXVII, 27.

²⁾ Aus „Climate of Devon“ bei Fox, S. 94.

³⁾ Aus „Climate, Weather and Disease“ bei Fox, S. 94.

⁴⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, 94—101. Nur Berlin soll, was noch der Bestätigung bedarf, nach Lichtenstein („Wesen u. Aufg. d. Ges.-Pflge“ II, 8) normalen Ozongehalt zeigen.

menge gefunden werden, kann jetzt nicht mehr auf-
fallen, denn es giebt nicht zwei Orte, an welchen die
zahlreichen Bedingungen der Production und Consump-
tion des Ozons völlig gleiche sind.

Die Verschiedenheit des Ozongehaltes der Luft
erstreckt sich jedoch nicht bloß auf einzelne Gegenden,
Städte und Ortschaften, sie geht noch weiter: so wie
jeder Stadttheil, jede Strasse, jedes Haus seine beson-
deren Bedingungen für die Existenz des Ozons besitzt,
so zeigt auch die Luft diesen Bedingungen entsprechende
Verschiedenheiten im Ozongehalt. Böhm¹⁾ hat dahin-
gehende Versuche in Prag ausgeführt, und seine Be-
obachtungen, vom 23. December 1857 bis 28. Februar
1858, Tag und Nacht durchgeführt, ergaben im Mittel:

Hradschin Observatorium St. Katharina					
Nachts		Tags		Nachts	
Tags	Nachts	Tags	Nachts	Tags	Nachts
2,22	0,96	1,55	0,88	3,95	3,74

In den Jahren 1866 und 1867 wurden entspre-
chende Versuche in Paris²⁾ zur Durchführung gebracht,
und sind die dabei erhaltenen Resultate nicht bloß von
Interesse, weil sie die Unterschiede im Ozongehalt ein-
zelner Stadttheile deutlich machen, sondern auch wegen
der bedeutenden Veränderungen im Ozongehalt, die
sich in Folge ganz localer Einflüsse zeigen. Hier die
Resultate:

Stationen	Mittel aus täglichen Beobachtungen 1866 u. 1867
Passy (in der Nähe harzreicher Bäume)	6,39
Monceau	4,04
Montmartre	4,48
La Villette (Raum an einem Seine-Quai)	0,96
Charonne	4,34
Ménilmontant (bei einer Fettwaarenfabrik)	1,16
Boul. d. Picpus	4,49
La Boule-Rouge	2,45
Fontaine-Molière (über einem öffentl. Pissoir)	0,38
Ecole d. Médecine (Hospitalraum)	0,80
Rue Racine (in der Nähe eines Reservoirs)	1,69
Panthéon	2,83
Saint-Victor	4,98
Boul. d'Italie	3,08
Vaugirard	0,89
Réservoir de Vaugirard (auf einem Damm des Reservoirs)	8,37
La Chapelle (Raum b. d. artesischen Brunnen)	3,08
Butte-aux-Cailles	4,79

Auch aus Königsberg liegen Beobachtungen über
den Ozongehalt in verschiedenen Stadttheilen mit gleichen
Resultaten vor, und für Washington constatirte Wethe-

¹⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, 104.

²⁾ Bull. d. Statistique Municipale Februar 1868.

rill, dass sich Nachts auf öffentlichen Plätzen starke
Ozonreaction zeige, gar nicht dagegen in den Strassen.

Fast sämtliche Beobachtungen haben zu dem
bemerkenswerthen Ergebniss geführt, dass in be-
wohnten Räumen wenig, meist aber gar kein
Ozon nachzuweisen ist: Heaton¹⁾, Burder¹⁾,
Houzeau²⁾, Fox¹⁾, Wolffhügel³⁾ u. A. haben sich
durch zahlreiche Versuche von der Richtigkeit dieses
Satzes überzeugt. Insbesondere auch in Krankenhäusern
wurde von Bérigny¹⁾, Scoutetten¹⁾ und E. Böckel¹⁾
die völlige Abwesenheit oder doch wenigstens die An-
wesenheit nur minimaler Mengen Ozon constatirt, so
dass man vielfach der Ansicht war, das Ozon werde
durch die Exhalationen und Excrete der Kranken ver-
braucht und zerstört.⁴⁾

Wolffhügel, der sich in einer sehr ergebnis-
reichen Untersuchung⁵⁾ mit der Frage nach den Ur-
sachen des geringen Ozongehalts in Wohnräumen be-
fasste, kam zu dem Schluss, „dass es die Verunrei-
nungen unserer Wohnräume und deren Luftwege sind,
welche das Ozon der Luft sofort für sich in Anspruch
nehmen“. Er ging von der Wahrnehmung aus, dass
in geschlossenen Räumen nur an solchen Tagen Ozon-
reaction eintrat, an welchen durch heftige Bewegung
der Luft oder grosse Temperaturdifferenz der freiwillige
Luftwechsel gesteigert und ausserdem der Ozongehalt
der Luft ein bedeutender war, und so kam er zu dem
Schluss, dass das Eintreten einer Ozonreaction in
Wohnräumen mindestens theilweise von der Grösse
des Luftwechsels bedingt ist. Da er aber andererseits
bemerke, dass man selbst mit dem vierfachen Quantum
Luft eines sehr gut gelüfteten Zimmers nicht die gleich
starke Ozonreaction erhielt wie mit der Luft im Freien,
suchte er nach weiteren Ursachen für das so eigen-
thümlich rasche Verschwinden der Ozonreaction der in
die Wohnräume beim Ventiliren eindringenden Luft.
Er dachte an Zerstörung des Ozons durch Reibung an
Wandungen, Ventilationsröhren etc. in Erinnerung der
Beobachtungen von Palmieri und von Houzeau
(S. 36), nach welchen das Ozon verschwindet, wenn ozoni-
sirter Sauerstoff durch eine lange Glasröhre hindurch-
geleitet wird. Er constatirte aber bei dieser Gelegenheit,
dass die Zerstörung des Ozons im Palmieri'schen Ver-
such nicht durch Reibung erfolgte, vielmehr, wie schon
früher bemerkt, durch die an den Innenwandungen der
Glasröhren aus der durchziehenden Luft abgelagerte

¹⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, 107.

²⁾ Compt. rend. XLVI, 89.

³⁾ Zeitschr. f. Biologie XI, 422.

⁴⁾ Die Behauptung Lichtenstein's (Med. Centr.-Ztg.
XXXI, 258), dass durch Hautausdünstung, Lungenthätigkeit
des Menschen Ozon erzeugt werde, bedarf sehr der Bestätigung.

⁵⁾ Zeitschr. f. Biologie XI, 408.

schwebende Materie, so dass, wenn das Durchleiten ozonisirter Luft durch eine solche Röhre genügend lange, d. h. bis zur Zerstörung der abgelagerten schwebenden Materie fortgesetzt wurde, fernerhin auch das Ozon unzersetzt durch die Röhre hindurchging. Nachdem auf diese Weise die Reibung als erklärende Ursache des Ozonverlustes beseitigt war, suchte er in den Wegen der freiwilligen und künstlichen Ventilation nach Stoffen, welche die Zerstörung des Ozons möglicherweise herbeiführen konnten, und kam zu der Frage, ob vielleicht die Baumaterialien, welche bei der freiwilligen Ventilation von der Luft bekanntlich durchzogen werden, die ozonzerstörende Wirkung ausüben?

Aus den Untersuchungen, die Wolffhügel¹⁾ unter diesem Gesichtspunkt mit dem Mörtel ausführte, ergaben sich sehr beachtenswerthe Resultate. Er aspirirte ozonhaltige Luft durch die von ihm construirte, schon oben (S. 43) beschriebene, Ozonbüchse, in welcher vor dem Ozonpapier Pfropfen verschieden präparirten Mörtels eingeschaltet waren, und fand, dass beim Passiren von Luft durch wenig permeable Mörtelsorten die Ozonreaction oft theilweise oder ganz zum Verschwinden kam. Durch Versuche mit den einzelnen im Mörtel enthaltenen Stoffen: Sand, kohlensaurem Kalk, Kalkhydrat, Wasser, ergab sich, dass nur das Kalkhydrat unter gewissen Bedingungen desozonisirend auf die Luft zu wirken im Stande ist. Ob nun aber hierbei das Kalkhydrat durch Abgabe oder Aufnahme von Wasser, oder durch eine andere chemische Veränderung wirkt, konnte nicht constatirt werden; nur soviel wurde noch festgestellt, dass der Permeabilitätsgrad allein die desozonisirende Wirkung nicht bedingt.

Demnach steht es ausser Zweifel, dass die Luft bei der freiwilligen Ventilation, bei welcher jene die Baumaterialien unserer Wohnräume durchdringt, einen Verlust an Ozon erleidet.

Aber auch bei der künstlichen Ventilation, bei offenen Fenstern oder unter Anwendung besonderer Ventilationskanäle verschwindet das Ozon auffallend rasch. Es beruht dies nach Wolffhügel darauf, dass der Staub, mit welchem sich Wände, Decke, Boden und Möbel etc. beschlagen, nach direct ausgeführten Versuchen eine stark ozonzerstörende Wirkung besitzt, so dass die Luft, mit jenen Wänden, Möbeln etc. in Berührung, äusserst rasch ihr Ozon verliert. Die Wände unserer Wohnräume sind aber nicht bloss oberflächlich mit solchem Staub bedeckt; indem sie vielmehr als Filter für die freiwillig ventilirende Luft dienen, dringt jener Staub bis zu einem gewissen Grad auch unter die Oberfläche ein, was man daraus

¹⁾ Zeitschr. f. Biologie XI, 431.

schliessen kann, dass Renk¹⁾ im Mörtelbewurf eines Krankenzimmers bis zu 0,115 Procent Stickstoff nachgewiesen hat. Wolffhügel weist deshalb mit Recht darauf hin, wie auf diese Weise und bei dem sehr wechselnden Feuchtigkeitsgehalt der Luft die Wände unserer Wohnungen zu Brutstätten für gesundheitsschädliche Agentien werden können, und dass sich deshalb oft wiederholte Erneuerung der oberen Schichten des Bewurfes durch Abkratzen und Tünchen etc. in hohem Grade empfiehlt.

Der starke Ozonverlust, der sich auch unter Anwendung künstlicher Ventilationsysteme zeigt, ist ebenfalls auf die Staubbiederschläge zurückzuführen, die sich in den Ventilationskanälen finden. Directe Versuche, die Wolffhügel²⁾ mit solchem Staub ausführte, beweisen dies zur Evidenz. Immer trat beim Durchleiten ozonisirter Luft durch Röhren, die mit solchem Staub beschlagen waren, theilweises oder völliges Verschwinden des Ozons ein.

Die Grundluft ist nach den Versuchen Wolffhügels³⁾ nicht ozonhaltig, auch hat derselbe direct nachgewiesen, dass z. B. Gartenerde das Ozon in künstlich ozonisirter Luft zum Verschwinden bringt.

Aus den sämmtlichen hier mitgetheilten Untersuchungen geht hervor, dass der Ozongehalt unserer Atmosphäre fortwährenden Schwankungen unterworfen ist, und dass wenigstens über dem festen Lande ein fortwährender Kampf zwischen den höheren und niederen Luftregionen stattfindet, bei welchem das Ozon durch die aus der Tiefe aufsteigenden gasförmigen Emanationen oder durch aufgewirbelte Staubtheilchen — Producte vegetabilischen, insbesondere aber animalischen Lebens und Absterbens — theilweise oder ganz vernichtet wird. Doch die Natur mit ihren unerschöpflichen Hilfsquellen ersetzt diese Verluste, indem sie durch Luftwechsel von oben nach unten und durch Neubildung von Ozon in einer grossen Zahl von Processen die desozonisirten Luftschichten durch ozonführende ersetzt, und demgemäss ist der jeweilige Ozongehalt unserer Atmosphäre gerade so gut wie ihr Gehalt an Sauerstoff oder Kohlensäure ein Ergebniss von Production und Consumption.

Dass unter diesen Umständen die Bestimmungen der absoluten Menge des in der Luft enthaltenen Ozons zu keinen übereinstimmenden Resultaten führen konnten, liegt auf der Hand. Es kommt dazu, dass die verschiedenen Methoden, deren sich die einzelnen Analytiker bei ihren Bestimmungen bedienten,

¹⁾ Zeitschr. f. Biologie XI, 441.

²⁾ Ibid. 442.

³⁾ Ibid. 444.

zu verschiedenen Resultaten führen mussten. Die folgenden Angaben liefern den Beweis dafür.

Plesse und Pierre¹⁾ fanden in 255 Liter Luft 0,02 mg, Zenger²⁾ in 100 Liter = 0,002—0,01 mg, Houzeau³⁾ giebt an, dass 450,000 Gew.-Thle. Luft in maximo 1 Gew.-Thl., resp. 700,000 Vol. Luft 1 Vol. Ozon enthalten.⁴⁾ Nach Richardson⁵⁾ ist schon in 10,000 Thln. Luft 1 Thl. Ozon enthalten. Plesse und Pierre sowie Zenger bestimmten das Ozon zu einer Zeit (1857), in welcher noch nicht bekannt war, dass bei der Einwirkung desselben auf Jodkalium nur der dritte Theil des Sauerstoffs zur Wirkung kommt ($2KJ + O^3 + H^2O = 2KHO + J^2 + O^2$), gaben also, da sie das Ozon aus dem ausgeschiedenen Jod des Jodkaliums berechnen, nur den dritten Theil des wirklichen Ozongehalts an. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes, wonach jene Angaben also mit 3 zu multipliciren sind, ergaben sich aus den gemachten Bestimmungen die folgenden Mengen des in der Luft enthaltenen Ozons.

	Ozongewicht in 1 Mill. kg = 20,000 Ctr. Luft	Ozonzvolumen in 1 Mill. Liter = 1000 cbm Luft
Nach Plesse u. Pierre	182 g	109,7 ccm
„ Zenger	46,4—231,9 g	28,0—139,9 ccm
„ Houzeau	2 kg 222 g	1 Lit. 340 ccm
„ Richardson	100 kg	60 Lit. 31 ccm

Nach Schönbein⁶⁾ enthalten 500,000 Thle. einer Luft, die noch deutlichen Ozongeruch zeigt, 1 Thl. Ozon.

Die Uebereinstimmung in diesen Angaben ist eine so geringe, dass der Werth derselben sehr illusorisch erscheint, und es wäre deshalb im höchsten Grade wünschenswerth, dass durch weitere Untersuchungen genauere und zuverlässigere Bestimmungen der absoluten Menge des in unserer Atmosphäre vorhandenen Ozons zur Ausführung gelangen würden.

Die sanitäre Bedeutung des Ozons.

1. Physiologische Wirkung künstlich ozonisirter und natürlicher ozonhaltiger Luft. Ozoninhalationen und Ozonwasser. 2. Zusammenhang zwischen Ozongehalt der Luft und einigen Epidemien, insbesondere der Cholera. 3. Desinfectirende Wirkung und Benützung derselben zur künstlichen Desinfection von Krankenzimmern und Wohnräumen im Allgemeinen. 4. Menge, Bildungsweise und Bedeutung der übrigen sogenannten „Luftreiner“ (Wasserstoffsperoxyd und Oxyde des Stickstoffs) der Atmosphäre.

Bei der äusserst energisch oxydirenden Wirkung, welche das Ozon gegenüber fast allen organischen Ge-

¹⁾ Wien. Acad. Ber. XXII, 211.

²⁾ Ibid. XXIV, 78.

³⁾ Annal. d. chim. phys. (4) XXVII, 29.

⁴⁾ Das spec. Gew. des Ozons nach Soret zu 1,685 angenommen, berechnet sich 1 Vol. Ozon in 746,100 Vol. Luft.

⁵⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, 144.

⁶⁾ Journ. prakt. Chem. LVI, 349. Phil. Mag. (4) IV, 545.

bilden zeigt und welche beispielsweise diejenige des Chlors noch um ein Bedeutendes übertrifft, kann seine heftige Wirkung beim Einathmen nicht auffallen. Schönbein¹⁾ bemerkte diese Eigenthümlichkeit der ozonisirten Luft sehr bald nach Entdeckung des Ozons; sie zeigte sich bei ihm durch starke Affection der Schleimhäute und der Lunge, durch heftigen Husten etc. Jeder, der häufiger mit stark ozonisirtem Sauerstoff zu thun hatte, muss sich von der unangenehmen Wirkung desselben beim Einathmen überzeugt haben. Houzeau²⁾ insbesondere, auch P. Thenard³⁾ u. A. bestätigen die lästige und schädliche Wirkung des Ozons auf die Athmungsorgane. Dass das Ozon unter Umständen geradezu giftig wirkt, beweisen die Versuche von Dewar und Kendrick⁴⁾, nach welchen kleine Thiere, wie Kaninchen, Mäuse, kleine Vögel, in ozonisirtem Sauerstoff schon nach kurzer Zeit sterben. Das Einathmen stark mit Ozon beladener Luft verringert die Anzahl der Athemzüge und der Pulsschläge, während zu gleicher Zeit die Temperatur des Thieres merklich sinkt. Nach dem Tode findet sich das Blut in venöses verwandelt. Auch Redfern⁵⁾ hat dahingehende Versuche mit Thieren ausgeführt und gefunden, dass insbesondere ganz kleine Thiere in Luft mit $\frac{1}{240}$ Ozongehalt oft schon nach 15 Secunden getödtet wurden. Der Tod erfolgt dabei durch intensive Compression der Lunge mit Emphysema und Distention der rechten Seite des Herzens mit flüssigem oder coagulirtem Blut, begleitet von Convulsionen. Beim Einathmen in verdünntem Zustande werden die Thiere schläfrig und sie sterben unter im Uebrigen ähnlichen Erscheinungen am Coma. Auch die Experimente von Richardson⁶⁾, Ireland⁷⁾ und Schwartzenbach⁸⁾ bestätigen die heftige Wirkung ozonisirter Luft auf die Athmungsorgane. Fox⁹⁾ macht insbesondere auf die verschieden intensive Wirkung aufmerksam, welche das Ozon gegenüber verschiedenen Thieren zeigt: Mäuse können schon in einer Luft mit $\frac{1}{6000}$ Ozon nicht leben, während beispielsweise Tauben und die Vögel überhaupt viel resistenzfähiger sind. Dass gerade die Vögel weniger empfindlich gegen das Ozon sind, ist nach Fox nicht auffallend, da sie im Allgemeinen viel mehr auf die höheren ozonreicheren Luft-

¹⁾ „Ueber die langsame und rasche Verbrennung der Körper“ von Schönbein, Basel 1845, S. 13.

²⁾ Compt. rend. LXXV, 143.

³⁾ Compt. rend. LXXXII, 157.

⁴⁾ R. Soc. Edinb. Proceed. Session 1873—1874. Siehe auch „Nature“ IX, 104 und Poggend. Annal. CLII, 330.

⁵⁾ Siehe bei Andrews „Nature“ IX, 366 u. Poggend. Annal. CLII, 329.

⁶⁾ Brit. Assoc. f. th. Adv. of Science Rep. 1865.

⁷⁾ Chem. News, März 1863.

⁸⁾ „Verhandlgn. d. physik. med. Ges. Würzburg“ VI, 322.

⁹⁾ „Ozone and Antozone“ b. Fox, 142.