

Grundwissen über Ozon und Ozonbehandlung[©]

(Dieser Beitrag wurde entsprechend den Autorenrichtlinien
der Zeitschrift „Quintessenz“ gestaltet)

Hans – Georg Schneider, Prof. Dr. sc. med.
Zentrum für Ästhetische Zahnheilkunde
Holländer Str. 34, 13407 Berlin
E-Mail : schneider.prof@googlemail.com

Gläser, Dietmar, Dr. med. dent.
Zahnarztpraxis
Hauptstraße 69 a, 89250 Senden
E-Mail : glaeserdoc@aol.com

Indizes:

Trisauerstoff, natürliches Vorkommen, technische
Herstellung, Allotropie, Wirkungsweise

Zusammenfassung:

Ozon (Tri-Oxygen / O_3) ist eine allotrope Form des Sauerstoffs (Di-Oxygen / O_2). Ozon entsteht auf natürliche Weise durch den Aufprall der tödlichen, ultravioletten Strahlung der Sonne auf Sauerstoffmoleküle der oberen Atmosphäre In einer Menge von ~ 300 Millionen t / täglich. In der erdnahen Atmosphäre entladen sich weltweit ~ 100 Blitze / sec. die ebenfalls eine beträchtliche Menge an Ozon erzeugen. Beide Naturphänomene werden durch sog. Ozongeneratoren technisch imitiert, um Ozon für vielfältige Zwecke herzustellen. Ozon ist ein instabiles, giftiges Gas wenn die Konzentrationen in der Luft mehr als $180 \mu\text{g} / \text{m}^3$ beträgt. Ozon zerfällt nach der Reaktionsformel $O_3 \rightarrow O_2 + O_1$, wobei der atomare Sauerstoff (O_1 / Mono-Oxygen) der „Wirkstoff“ des Ozons ist . Durch die hohe Affinität von O_1 zu den Molekülbrücken organischer Substanzen kommt es zu deren Zerstörung. Daraus ergibt sich die keimtötende, bleichende und desodorierende aber (in höherer Konzentration) auch toxische Wirkung von O_3 . Im photochemischen Smog – eine Beimischung von CO_2 , CO, NO_2 , NO, Ruß- und Feinstaubpartikeln zur Luft – entsteht bei Inversions-Wetterlagen an Verkehrsknotenpunkten sowie in Industrie – und Ballungsgebieten zusätzlich O_3 . Es

werden dann über Rundfunk und Fernsehen Ozonwarnungen ausgestrahlt, die in der öffentlichen Meinung gegenüber dem Ozon Ressentiments erwecken. In dem Beitrag werden die Prozesse dargestellt, die Ozon zu einem Therapeutikum machen, das a l l e Bakterien, Viren und die Sporen oraler Sprosspilze abtötet.

Zielstellung

Der Beitrag soll dem Zahnarzt Sachkompetenz vermitteln, indem er in die Lage versetzt wird, jedem fragenden Patienten fundierte Informationen über das Ozon und die Ozontherapie zu geben und damit der Motivation zu dienen, den Patienten zur aktiven Mitarbeit an seiner Therapie zu bewegen.

Ozon ist ein Naturprodukt

In der Öffentlichkeit wird über das Ozon kontrovers diskutiert. Ein Teil der Bevölkerung hält das Ozon für nützlich (Ozonschicht in der Atmosphäre), ein anderer Teil für schädlich (Ozonwarnung bzw. Ozonalarm). In der Natur wird Ozon permanent in den höheren Schichten der Erdatmosphäre (in 15 – 40 km Höhe) durch den Aufprall der von der Sonne ausgehenden, tödlichen Ultraviolettstrahlen aus Sauerstoffmolekülen gebildet. Die täglich produzierte Menge wurde mit 300 Millionen Tonnen pro Tag berechnet. Die Ozonschicht hat eine Filterfunktion gegenüber den UV-Strahlen und reduziert die Intensität dieser Strahlung auf ein Maß, das Leben auf der Erde ermöglicht. Es soll hier eingefügt werden, dass unser Planet in seiner Entstehungsphase eine Ur-Atmosphäre ohne Sauerstoff besaß. Als sich nach einem ~ 40 000 Jahre dauernden, sintflutartigen Regen die Ur-Ozeane gebildet hatten und sich darin Cyanobakterien entwickelten, begann durch deren Stoffwechsel die Bildung von Sauerstoff. ~ 10⁹ Jahren die Ur-Atmosphäre mit Sauerstoff anzureichern und die Ozonbildung kam – wie eingangs beschrieben – in Gang. .

Die zweite natürliche Quelle für die permanente Ozonbildung befindet sich in der unteren Atmosphäre unseres Planeten, in der sich ständig Gewitter entladen und weltweit ca. 100 Blitze pro Sekunde entstehen, was summa summarum über drei Milliarden elektrischer Entladungen in Jahr entspricht. Es befinden sich ca. 0,6 g Ozon je Tonne/ Luft in unserer Umgebung, was ein Volumengehalt von 0,000029 % ausmacht

Trotz seines natürlichen Ursprungs ist das Ozon in der öffentlichen Meinung als schädliches Gas in Verruf geraten, weil im Sommer bei Inversions-Wetterlage der Rundfunk „Ozonwarnungen“ verbreitet. Tatsächlich entsteht bei langer

Sonnenscheindauer und Windstille in Industriegebieten und Großstädten der sog. photochemische Smog, dessen Entstehung den Auspuffgasen der vielen Autos zuzuschreiben ist. In den Dunstglocken über den großen Städten bildet sich ein Gemisch von Stickoxid und -dioxid bei der Reaktion : $\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{NO} \rightarrow \text{O}_1 + \text{O}_2 / \text{der Luft}$ zusätzliches Ozon, vor dem der Rundfunk warnt, indem die Empfehlung gegeben wird, keinen Ausdauersport zu treiben und körperliche Anstrengungen zu vermeiden. Einzelheiten über den Einfluss des photochemischen Smogs sind bei Fabian³ nachzulesen.

Technische Nachahmung der natürlichen Ozonbildung

2.1 Ultraviolett-Strahlung

Die Erfindung von Quarzglas-Quecksilberdampflampen durch die Techniker der Firma *Heraeus Nobellight* in Hanau 1904 wurde als „Höhensonne“ weltweit vermarktet. Die intensive UV-Strahlung bewirkt nicht nur eine Rötung bzw. Bräunung der Haut sondern erzeugt auch Ozon, das sich mit seinem charakteristischem Geruch bemerkbar macht. Da die bakterizide Wirkung des Ozons zum Zeitpunkt der Erfindung schon bekannt war (1891 beschrieben von *Labbe* und *Quidin, Bontemps, Pfannenstill* – zitiert bei *Dehmlow et al*¹) wurden UV-Strahler alsbald auch als „Keimkiller“ eingesetzt. Die UV-Strahler sind einfach herzustellen und somit im Anschaffungspreis billig, allerdings ist die Ozonausbeute gemessen am Energieeinsatz gering. Diese Art der Ozonerzeuger wird deshalb wegen des geringen Preises vorwiegend in kleineren Air-Condition-Geräten sowie zur Verbesserung der Wassergüte, z. B. für Pool- und Aquarienpflege eingesetzt. Da in der Zahnmedizin nur kleine Ozonmengen benötigt werden, hat die Firma *KaVo* den von ihr produzierten Ozongenerator „*HealOzone*“ mit einem UV-Strahler ausgerüstet. *Lynch*⁷ u. a. haben mit diesem Gerät Erfolge bei der Behandlung von Initiailläsionen im Zahnschmelz erzielt.

2.2. Entladung elektrischer Spannung

Die Herstellung von Ozon durch elektrische Entladung hoher Spannungen (die Blitz-Nachahmung) hat sich weltweit für den Bau leistungsfähiger Ozongeneratoren durchgesetzt. *Werner von Siemens* entwickelte 1846 den Urahn aller Ozongeneratoren, den *Siemens'schen Ozonisator*, der nach dem Prinzip der „stillen Entladung“ arbeitet, die heutzutage als „behinderte elektrische Entladung“ bezeichnet wird (in der anglo.- amerikanischen Literatur „*Dielectric Barriere Discharge / DBD*“). *Kogelschatz*⁶ hat die Entdeckung des Phänomens der „stillen Entladung“ für die weitere technische Entwicklung beschrieben. und *Hirth*⁵ die chemischen Prozesse in Ozonisator untersucht, Bedeutsam ist der Hinweis, dass bei der Verwendung von Luft mit einem Gehalt von ~ 21 % Sauerstoff und ~ 79 % Stickstoff nicht nur Ozon entsteht, sondern auch im geringen Umfang der Stickstoff oxidiert wird, Die

entstehenden Gase Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid sind toxisch und zerfallen nicht wie das Ozon entweder durch Utilisation beim Bakterien- oder Gewebekontakt oder nach der Reaktionsgleichung $2 \text{O}_3 \rightarrow 3 \text{O}_2$ in den physiologisch unbedenklichen Sauerstoff.

Durch die Beimischung nitroser Gase zu dem aus Luft hergestelltem Ozon, ist dieses nicht für den internen Gebrauch geeignet. Aus reinem Sauerstoff hergestelltes Ozon wird wegen der fehlenden Stickoxide deshalb auch als „medizinischer Sauerstoff“ bezeichnet.

Das Prinzip, mit einer Plasmalampe Ozon zu erzeugen, wurde von *Tesla*¹¹ 1896 erfunden. Er bezeichnete diese als „plasmafire glass tube“. Die Definition zum 4. Aggregatzustand, dem Plasma, ist der beigefügten Texttafel 1 zu entnehmen. Fast alle zur Zeit auf dem Dentalmarkt erhältlichen Ozongeneratoren arbeiten mit Plasmalampen. Da sich Glas im flüssigen Zustand durch die Glasbläsertechnik in die verschiedensten Formen bringen lässt, werden dementsprechend viele Formen von Plasmalampen im Handel angeboten (s. Abbildung 1).

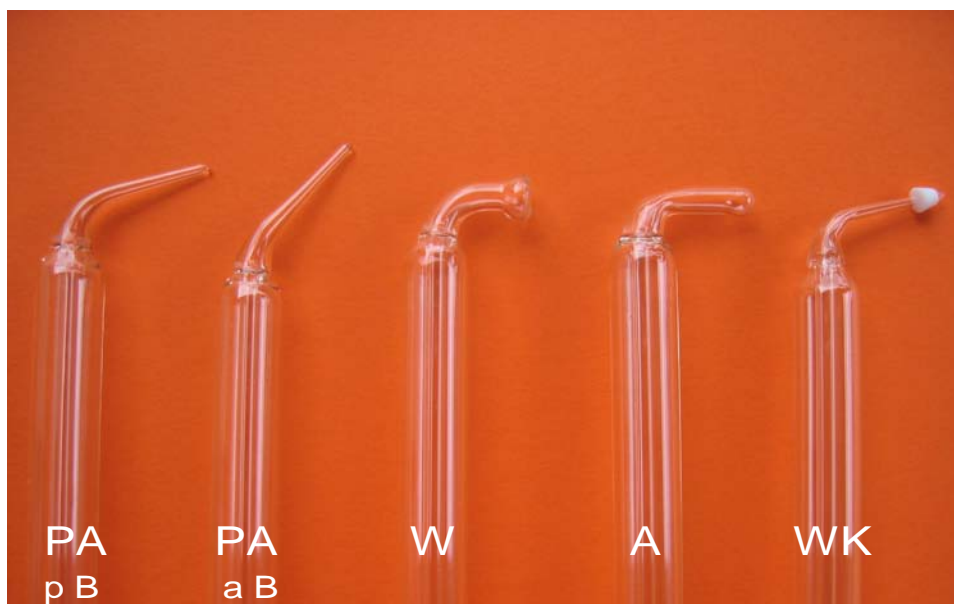


Abbildung 1: Ansatzstücke für dentale Ozongeneratoren, z. B. für OzoneDTA*

Die unterschiedlich geformten Glaskörper der Plasmalampen ermöglichen einen variablen Einsatz (in der Zahn-, Human- und Veterinär-Medizin). Die ersten Plasmalampen (plasmafire glass tube) produzierte 1920 Nikola Tesla (USA).

Bemerkung : * DT = DentaTec / Handels GmbH , A = Apoza / Hersteller
Bezeichnungen. PA = Parodontal-Behandlung, W = Wundbehandlung, A = Alveolitis,
WK = Wurzelkanal - Begasung

Texttafel 1 : Definition des Begriffs „ Plasma „

Am einfachsten kann ein "PLASMA" als Materie im 4. Aggregatzustand verstanden werden. Bei sukzessiver Energiezufuhr (Aufheizung) durchläuft Materie nacheinander die Zustände "fest" - "flüssig" - "gasförmig". Vom gasförmigen Zustand als dem 3. Aggregatzustand führt weitere Energiezufuhr über physikalische Prozesse (Dissoziation, Ionisation), die das Materieverhalten wesentlich verändern, letztlich in den Plasmazustand. Ein molekular vorliegendes Gas wird bei der Dissoziation zunächst in seine atomaren Bestandteile aufgespalten. In dem nachfolgenden Ionisationsvorgang werden von den Atomen jeweils ein oder mehrere Elektronen abgetrennt. Es ergibt sich dadurch ein Gemisch von frei beweglichen Elektronen, Ionen und neutral verbliebenen Atomen. Sobald die Eigenschaften dieses neu entstandenen Mediums überwiegend durch die freien Ladungsträger bestimmt sind, liegt der Plasmazustand vor. Aufgrund der Existenz frei beweglicher Ladungsträger ist das Plasma durch elektrische und magnetische Felder beeinflussbar.

Definitionsquelle : Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik -
Institut für Plasmatechnik und Mathematik der Universität München

Die Formenvielfalt der handelsüblichen Plasmalampen bedingt auch die breite Palette der Anwendungsmöglichkeiten (s. Tabelle 1).

**Tabelle 1 : Indikationen für den Einsatz von Ozongeneratoren
(Ozon-Applikation mit Plasmalampen).**

Gingivitis	
Parodontitis (incl. Parodontalabzeß)	<u>Anwendung intra operationem</u>
Stomatitis	Fräskanäle (Implantate)
Aphthen	Fräskavitäten (WSR)
Candida albicans	Offene Kürettagen (Flap-Op.)
Alveolitis	Wunddesinfektion nach Aufklappung
Wundinfektionen	
Periimplantitis	
Wundheilungsstörungen	<u>Periorale Applikationen</u>
Dentitio difficilis	Herpes labiales
	Infizierte Rhagaden
Karies	Ekzeme
Pulpenperforation	Pickel
Wurzelkanalangrän mit Parodontitis apikalis chronica u. ä. (incl. Fisteln)	Effloreszenen mit bakterieller, bzw. viraler Ursache
	Mykosen

Ozon ist eine allotrope Form des Sauerstoffs

Für alle Ozon – Generatoren (Ozonisatoren) und das von ihnen erzeugte Ozon gilt das von *Tait und Andrews* (zit. bei *Dehmlow und Jungmann*¹) bereits 1856 aufgestellte Gesetz über die Allotropie : „Ozon ist Sauerstoff in einem allotropen Zustand: gleich, aus welcher Quelle es erzeugt wurde, es ist ein- und derselbe Stoff mit ein- und derselben Zusammensetzung“.

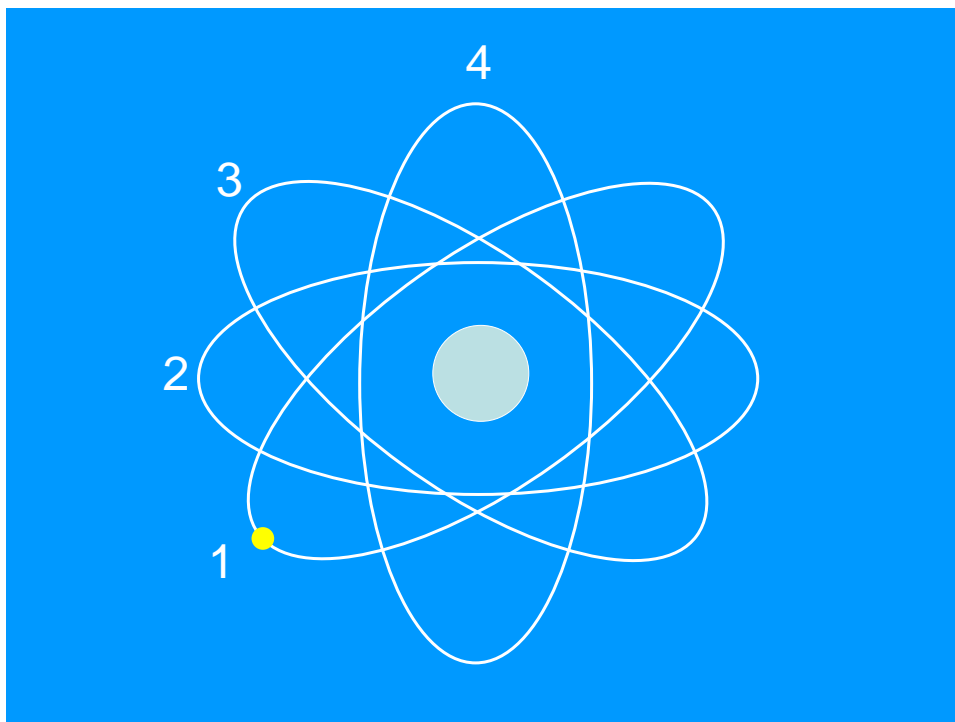


Abbildung 2: Das Bohr von 1913 entwickelte Atommodell (stark vereinfacht).

Der Atomkern besteht aus elektrisch neutralen Masseteilchen (Neutronen) und positiv geladenen Masseteilchen (Protonen), die hier nicht gesondert dargestellt sind. Auf Kreisbahnen umrunden negativ geladene Elektronen den Zellkern in jeweils 150 Attosekunden = 10^{-18} sec je Umrundung mit jeweils wechselnder Rotationsbahn (hier beispielsweise in 4 verschiedenen Kreisbahn- Positionen gezeichnet).

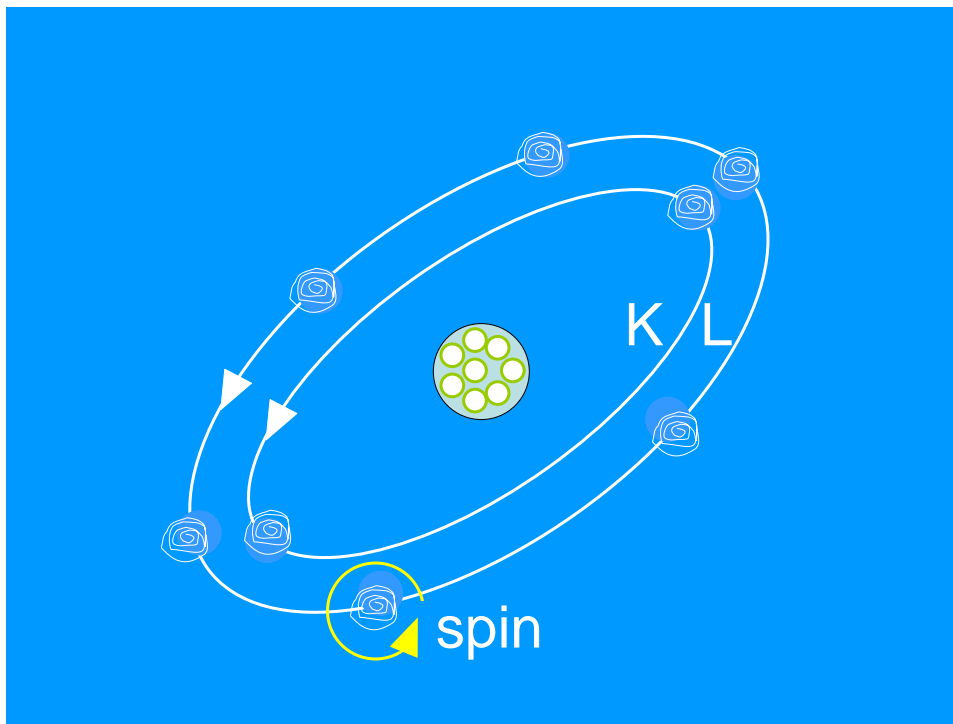


Abbildung 3: Das Sauerstoffatom (vereinfacht dargestellt).

Es besitzt 8 Elektronen, die auf zwei sog. Schalen, die innere K- Schale und die äußere L-Schale den Atomkern umkreisen. Die K-Schale ist mit 2 Elektronen besetzt, die L-Schale mit 6.

Die Elektronen bewegen sich auf den Schalen alle in der gleichen Richtung (s. weiße Pfeile auf den Schalen K und L) bei gleichzeitiger Rotation um die eigene Achse (= spin = gelber Pfeil).

Die Elektronen sind entgegen früherer Auffassungen keine Masseteilchen mit elektrisch negativer Ladung sondern jedes Elektron ist ein um sich selbst rotierendes elektrisches Feld, das erstmals am 25.02.2008 von J. Mauritsson et al. an der Universität Lund fotografiert worden ist (s. Abbildung 4).

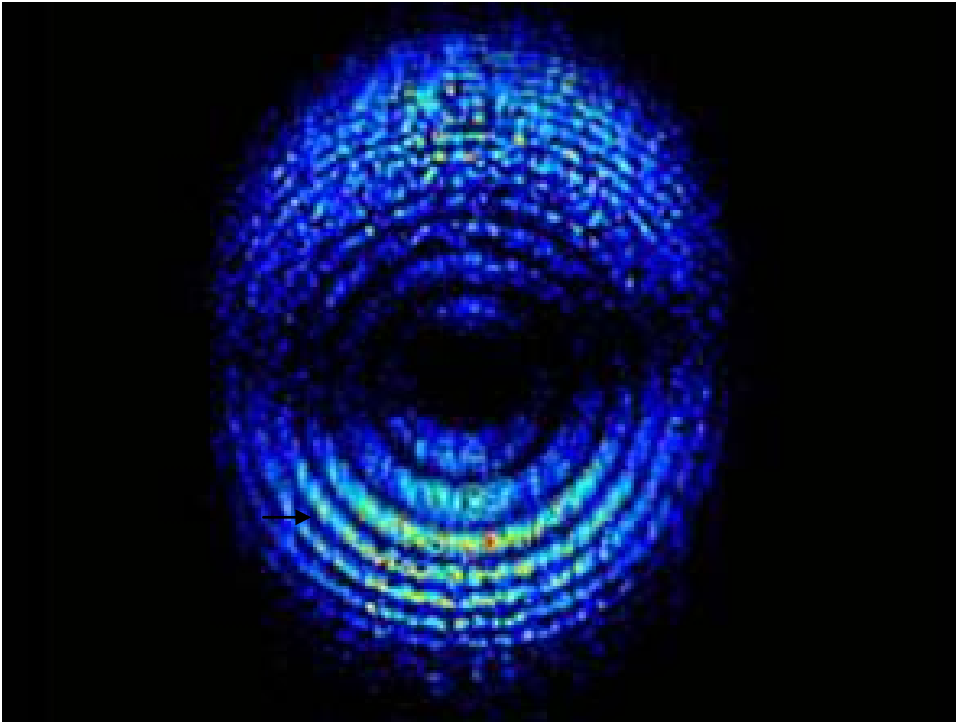


Abbildung 4: Die weltweit erste Aufnahme eines Elektrons.

Diese Aufnahme wurde am 25. Februar 2008 an der Universität Lund gemacht. Ein Elektron ist ein elektro-magnetisches Feld, das um seine Achse rotiert (spin) und zusätzlich schwingt.

In Abbildung 3 ist diese Entdeckung berücksichtigt, indem die Elektronen nicht mehr als Masseteilchen (kleine Kugel wie in Abbildung 2) dargestellt sind.

Durch Energiezufuhr – entweder hochenergetische UV-Strahlung oder elektrische Funkenentladung – wird das Sauerstoffmolekül in zwei Atome getrennt. Diese Umwandlung von Sauerstoff (O_2) in Ozon (O_3) erfolgt in $\sim 10^{-9}$ sec, indem die zwei Sauerstoffatome (Sauerstoff im statu nascendi) sich mit anderen, nicht zerfallenen Sauerstoffmolekülen zu Trisauerstoff (Ozon / O_3) verbinden. In der Spaltungsphase (Reaktionsgleichung $O_2 \longrightarrow O_1 + O_1$) finden durch die o. g. Energiezufuhr Veränderungen in den beiden Sauerstoffatomen statt. Ein Elektron aus der L-Schale der sog. Atomhülle (Atommodell nach Bohr –s. Abbildung 2) wird in eine neue Umlaufbahn, die sog. die M-Schale geschleudert und wechselt zugleich den Spin, d.h. die Rotation des Elektrons um seine eigene Achse ändert sich (s. Abbildungen 5).

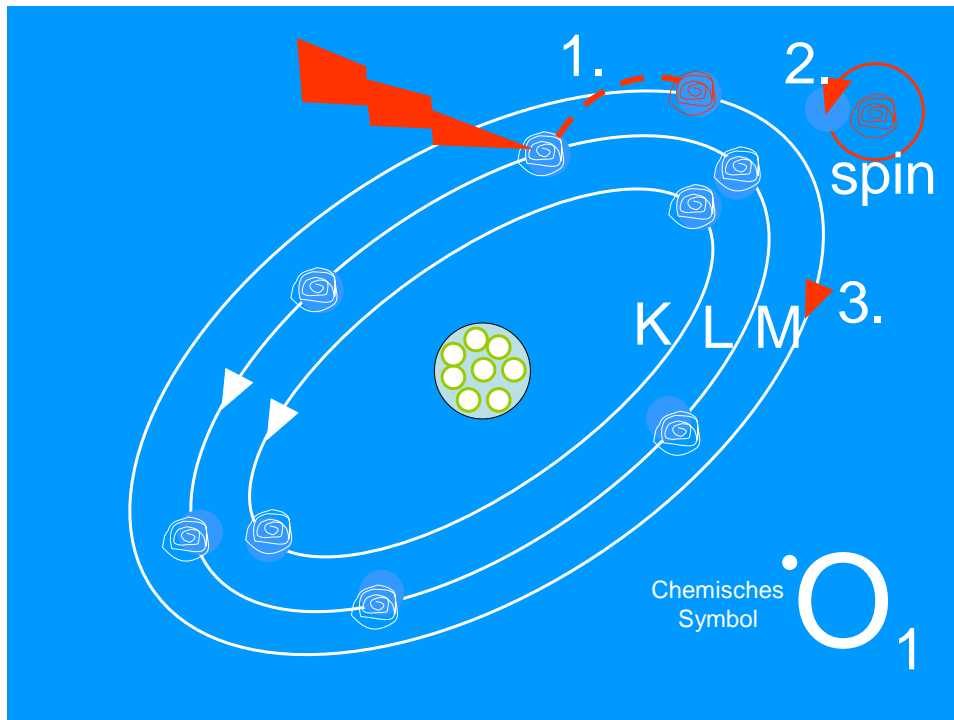


Abbildung 5 : Die Entstehung des atomaren Sauerstoffs durch Spaltung des Sauerstoff-Moleküls in zwei Atome und dem Quantensprung eines Elektrons

Nach der Spaltung des Sauerstoffmoleküls finde in jedem der beiden entstandenen Sauerstoffatome folgende Vorgänge statt:

1. Ein Elektron wird aus der L- Schale in eine höhere Umlaufbahn gebracht (M-Schale). Das bedeutet, dieses Elektron hat ein höheres Energiepotential.
2. Das Elektron verändert seinen „spin“, d.h. die Rotationsrichtung um die eigene Achse.
3. Das Elektron verändert zugleich seine Umlaufrichtung um den Atomkern. (s. weiße Pfeile der Elektronen auf der K- und L-Schale und roter Pfeil des Elektrons auf der „neuen“ M-Schale.) Dieser Vorgang spielt sich in 10^{-9} sec ab.

Das Atom wird in diesem Zustand als „Sauerstoff im statu nascendi“ = Sauerstoff im Zustand der Entstehung bezeichnet. Die aufgenommene Energie steht als Bindungsenergie zur Verfügung und erklärt die Reagibilität des Ozons.

Erste Reaktion des atomaren Sauerstoffs ist immer seine Bindung an ein Sauerstoff-

molekül. Es entsteht Ozon ($O_1 + O_2 \longrightarrow O_3$). Den Energieeintrag kann durch einen Punkt vor dem chemischen Symbol kenntlich gemacht werden (s. oben Abb.4).

Von Bedeutung ist die Tatsache, dass Ozon den Charakter eines Dipols hat, d. h. das Molekül ist sowohl negativ wie auch positiv geladen ist. (s. Abbildung 6). Die immer negativ geladenen Bakterien, die ihr Membranpotential nicht ändern können, sind deshalb einer Ozonattacke schutzlos ausgeliefert. Bakterien können durch den „chemischen Überfall“ – der wie oben beschrieben in $1/10.000$ stel Sekunde stattfindet – keine Resistenz gegenüber Ozon bilden.

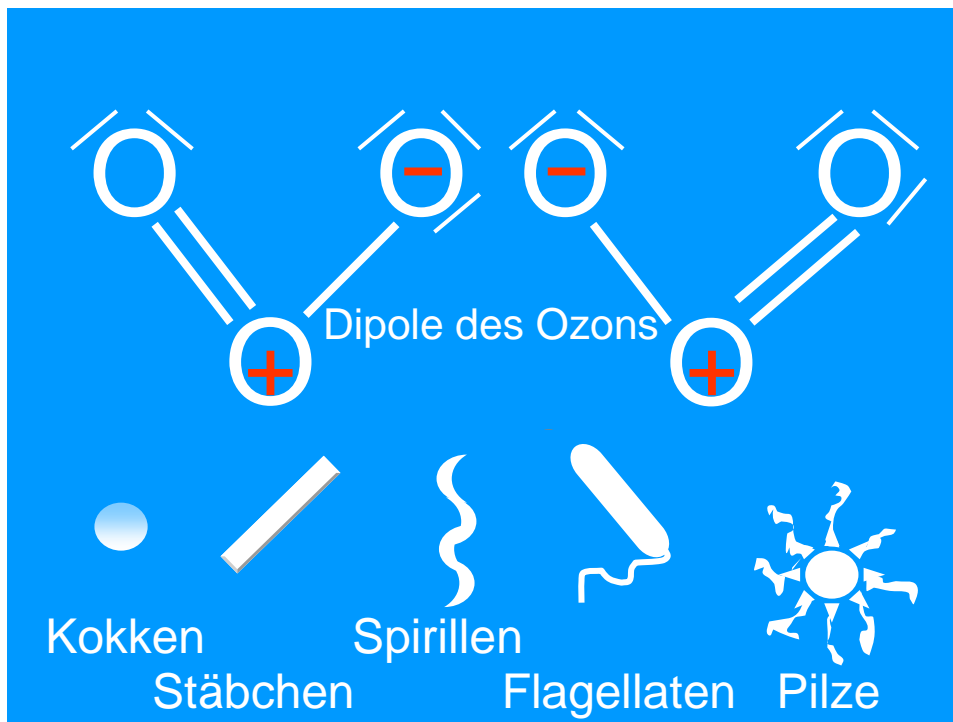


Abbildung 6: Das Ozonmolekül ist ein Dipol.

Bakterien und Viren sind fast immer negativ geladen und haben im Gegensatz zum variablen Membran-Potential des Menschen nicht die Möglichkeit zwischen positiver und negativer Aufladung ihrer Zelloberfläche zu wechseln. Ihre Zerstörung beim Kontakt mit einem Ozonmolekül ist somit unausweichlich. Auf Grund dieses Effekts werden alle Spezies (auch die antibiotika-resistenten Keime) abgetötet.

Erklärung : Seitlicher Strich zum Symbol : „O „ = Elektronenpaare
Strich zwischen den Symbolen : „O “ = Bindungswalenzen.

Ozon ist ein instabiles, giftiges Gas

Ebenso schnell wie sich Ozon bildet, zerfällt es in rückläufiger Reaktion ($O_3 \longrightarrow O_1 + O_2$), sofern der atomare Sauerstoff ein Target trifft und dort andockt. Solche Bindungsstellen sind in den Molekülen organischer Substanzen reichlich

vorhanden: $C=C$ / $S-S$ / $-SH$ / $-NH_2$ / $-OH$. Der sehr reaktionsfreudige „Sauerstoff im statu nascendi“ zerstört das organische Gefüge. Davon betroffen sind die Zellmembranen von Bakterien, Viren und Sporen von Sprosspilzen sowie die Strukturen organischer Pigmente und Geruchsstoffe vielfältiger Art. Sofern Ozon medizinisch eingesetzt wird, zerstört es **alle** Bakterien, Viren und Pilzsporen, mit denen es Kontakt bekommt. Keimresistenzen spielen auf Grund der oben beschriebenen Membranattacken keine Rolle. Nebenerscheinungen treten nicht auf, da der zelluläre Stoffwechsel durch die gesetzten Perforationen und den damit verbundenen Verlust des Zellplasmas nicht mehr existiert (s. Abbildung 7).

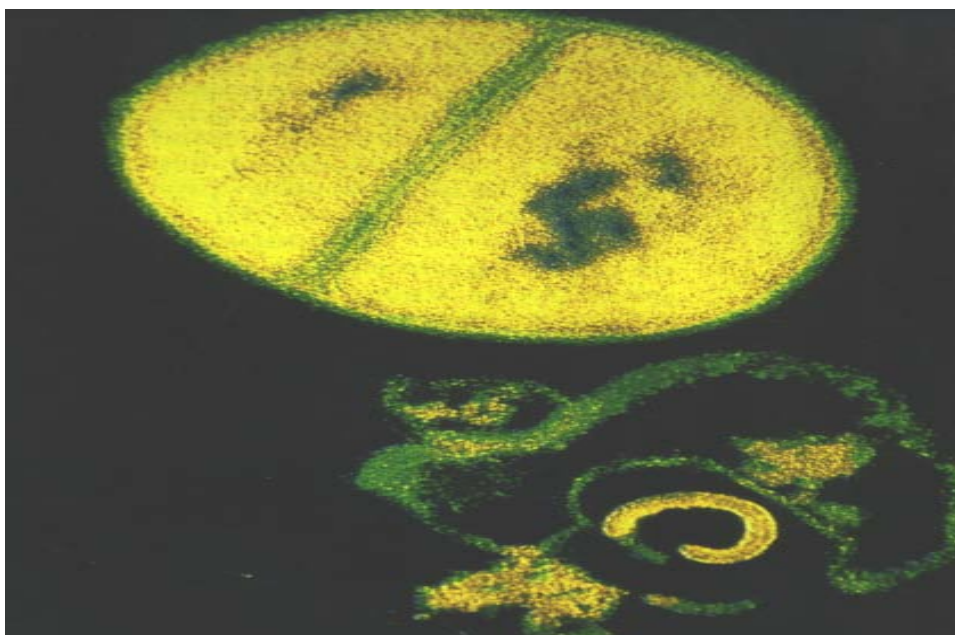


Abbildung 7 : Ozon tötet Bakterien durch Membranperforation und Plasmaverlust.
 Oben : Normale Zelle in Teilung begriffen.
 Unten : Tod einer Zelle nach Membranschädigung und Verlust des Zellplasmas.
 Der DNA-Strang ist augenscheinlich unversehrt und liegt reproduktionsunfähig in der leeren Zellhülle.

Es gilt die pharmazeutische Binsenweisheit: Die Dosis macht das Gift.

*Oddoy*⁸ hat sich eingehend mit dieser Problematik befasst. Im Kontakt mit eiweißhaltigen Medien (Gewebe, Serum, Blut, Eiter) hat Ozon nur eine Halbwertszeit von ~ 10 sec. Im Wasser beträgt diese (in Abhängigkeit von dessen Beimengungen) ~ 10 min und in der Luft (ebenfalls abhängig von dessen Reinheit bzw. Verschmutzung) ~ 10 std. Natürlich ist die Zerfallsgeschwindigkeit – wie jede chemische Reaktion – auch temperaturabhängig.

Die toxische Wirkung des Ozons beruht auf der Fähigkeit, spontan mit jedweder organischen Substanz zu reagieren und dessen Molekularstruktur zu zerstören. Bakterien, Viren und Sporen haben als Einzeller nur begrenzte Möglichkeiten, den

vehementen Angriff des aggressiven, atomaren Sauerstoffs abzuwehren. Die letale Dosis liegt bei Bakterien je nach Spezies zwischen 1 bis 5 ppm, d. h. 1 - 5 Teile Ozon auf 10^6 Teile Luft (nach neuerer Schreibweise 1000 bis 5000 ppb = parts per billion = $1 : 10^9$). Höher entwickelte Lebewesen haben ein höheres biochemisches und biophysikalisches Potential, den rasanten Angriff von O_1 abzufangen . Lediglich die nur aus einer Endothelschicht bestehenden Lungenalveolen des Menschen, deren funktionelle Aufgabe im Gasaustausch besteht, sind dem Ozongas schutzlos ausgeliefert. Deshalb stellt die menschliche Lunge den „ Locus minoris resistentiae “ für die Schädigung durch das aggressive Ozon dar. Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist, reizt das Ozongas zuerst die Geruchsknospen der Nase und die empfindliche Schleimhaut der Konjunktiva, ehe es bei höherer Konzentration zu Lungenschädigungen führt. Die in den Arbeitsschutzbestimmungen festgelegte maximale Arbeitsplatz-Konzentration für Ozon (MAK) – wie in Tabelle 2 angegeben – wurde 1995 durch die Ozon-MAK-Bewertung, Lieferung 21, ausgesetzt und für Innenräume auf 4 Std. Expositionszeit bei dem angegebenen MAK-Wert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verändert . Grund dafür waren die in US-Zeitschriften erschienenen Befürchtungen, Ozon könne kanzerogenen Wirkungen entfalten. Diese Diskussion berücksichtigte die Tatsache, dass Fotokopierer und Laserdrucker bei ihrem Betrieb die Ozonkonzentration in Büroräumen erheblich ansteigen lassen .und somit in vielen Großraumbüros und Kopieranstalten auf Dauer Gesundheitsgefährdungen auftreten könnten.

Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Ozon

Der bereits erwähnte Ozongenerator „*HealOzone*“ der Firma *KaVo* arbeitet mit einem geschlossenen System. Das Ozon wird durch einen ozon-resistenten Schlauch in eine Silikonkappe geleitet, die das zu behandelnde Objekt hermetisch abdichtet. Nach der Applikation wird das überschüssige Ozon abgesaugt und katalytisch zerstört. Schutzmaßnahmen erübrigen sich dadurch, weil das Ozon nicht in die Außenluft gelangt. Nach Herstellerangaben erzeugt das „*HealOzone*“ eine Ozonkonzentration von $2.100 \text{ ppm} = 2.100.000 \text{ ppb}$). Das ist ~ das 400- bis 2000fache der letalen Konzentration für Bakterien. Alle anderen z. Zt. im Handel befindlichen Ozongeneratoren arbeiten im offenen System, d. h. das erzeugte Ozon wird nicht abgesaugt sondern verteilt sich im Raum. Es ergibt sich die Frage; „ Ist das nicht gefährlich ? “. Die Antwort lautet „Nein ! “. Sie gründet auf den allgemeinen physikalischen Strömungsgesetzen von Gasen bei gleich bleibendem Druck (n. *Gay-Lussac*) und gleich bleibender Temperatur (n. *Boyle-Mariotte*), wonach sich Gase gleichmäßig im Raum ausdehnen, Verwirbelungen in der Luft außer acht gelassen. Verwendet man einen x-beliebigen Punkt auf der Oberfläche

einer Plasmalampe als Ursprung, so erfolgt die Gasausdehnung nach der Formel einer Kugel : $V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3$, d. h. einer Exponentialfunktion folgend, denn die ersten beiden Faktoren stellen als Produkt eine Konstante dar, die Variable ist dabei der Radius.

Tabelle 2 : Abnahme der Ozon-Konzentration bei ungehinderter Diffusion in die Raumumgebung. Es bedeutet * = Verdünnung gerundet

Abstand von der Oberfläche der Plasmalampe in mm	Volumen der Gaswolke in mm ³	Verdünnung der ursprünglichen Ozon - Konzentration
(rot gedruckt)		
1 x 1 x 1 =	1, 00	0, 00
10 x 10 x 10 =	1. 000, 00	0, 001. 0000
20 x 20 x 20 =	8. 000, 00	0, 000. 1250
30 x 30 x 30 =	27. 000, 00	0, 000. 0588 *
40 x 40 x 40 =	64. 000, 00	0, 000. 0156 *
50 x 50 x 50 =	125. 000, 00	0, 000. 0080 *
60 x 60 x 60 =	216. 000, 00	0, 000. 0046 *
70 x 70 x 70 =	343. 000, 00	0, 000. 0029 *
80 x 80 x 80 =	512. 000, 00	0, 000. 0019 *
90 x 90 x 90 =	729 .000, 00	0, 000. 0013 *
100 x 100 x 100 =	1.000. 000, 00	0, 000. 0001

Tabelle 3 : Toxizität von Ozon in µg / m³

µg / m ³ Ozon	Beschwerden	Gefährdungslage
30	Geruchswahrnehmung (15 – 50 µg)	
70	Reizung der Konjunktiva	
100	leichte Benommenheit	
160	Kurzatmigkeit	
200	Empfehlung für die maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) Exposition: 8 Std. / Tag, 40 Std. Woche	
> 200	Bei Exposition über 30 min. Lungenschädigung möglich	
350	Starke Beeinträchtigung der Atmung	
400	Atemnot, Schmerzen in der Brust	
> 400	ZNS – Schädigung, starke Benommenheit	

Kommentar zur Tabelle 3 :

Paracelsus (1493 – 1541) hat seine Erkenntnis mit Worten der damaligen Zeit treffend formuliert :

„ Was ist, das nit giftt ist,

all ding sind giftt,

und nichts ohn giftt.

Allein die dosis macht,

das ein ding kein giftt ist „

Zeitgemäß ausgedrückt: Die Dosis macht das Gift !

Die oben angegebene Tabelle 2 weist nach, dass im Abstand von 10 cm zur Oberfläche der Plasmalampe die ursprüngliche Ozonkonzentration nur noch $1/1.000.000$ stel des Ausgangswertes erreicht.

Tabelle 3 erklärt die Tatsache, dass der Technische Überwachungsverein (TÜV) in zwei unabhängig miteinander durchgeführten Prüfungen des plasma-betriebenen Ozongenerators „OzoneDTA“ nur einen MAK-Wert von ~ 18 % in Beziehung zum zulässigen Höchstwert ($200 \mu\text{gO}_3/\text{m}^3$) festgestellt hat.

Darum sind bei diesen offenen Systemen keine Schutzmaßnahmen erforderlich.

Der bakterizide Bereich (1 – 5 ppm = 1000 – 5.000 ppb) endet etwa im Abstand von 28 mm (für die robusten Keime) und von 45 mm (für die ozon-empfindlicheren Bakterien), die für Menschen schädliche Konzentration bei 8stündiger Exposition wird im Abstand von 100 mm unterschritten. Die Tatsache, dass weder der betreffende Zahnarzt noch der betreffende Patient in der Praxis einer Ozonexposition von 8 Stunden ausgesetzt sind, macht die o. g. Ergebnisse des TÜV verständlich. Aus Tabelle 3 geht hervor, dass der Mensch durch seinen Geruchssinn über ein „Frühwarnsystem“ verfügt, dass schon geringe Ozonkonzentrationen signalisiert, die unterhalb des MAK-Wertes liegen. Etwas anders gelagert ist die Situation beim photochemischen Smog, wo der Ozongeruch durch die in der Luft befindlichen nitrosen Gase, den Benzin- und Dieselgeruch u. a. überlagert wird und somit das „Frühwarnsystem“ matt setzt. Diese Geruchsüberdeckung durch andere Gerüche wird als Diskrimination bezeichnet.

Diskussion

Die erfolgreiche medizinische Anwendung von Ozon wurde erstmals 1915 von *Wolff*¹³ beschrieben. Er setzte Ozon zur Behandlung eiternder und gangränöser Wunden in den Lazaretten während des 1. Weltkrieges ein. Die ersten zahnärztlichen Anwendungen erfolgten 1936 durch *Fisch*⁴ für die wirksame Therapie von Wurzelkanalgängen, Dolor post extractionem u. ä. Inzwischen liegen eine unübersehbare Anzahl solcher klinischen Berichte vor. Angesichts der Dominanz der Antibiotika als Therapiemittel bei bakteriellen und viralen, exogen etablierten Infektionen ist Ozon als Therapiemittel in den Hintergrund getreten, man kann fast sagen, in Vergessenheit geraten. Die zunehmende Häufigkeit resistenter Keime belebt die Suche nach Alternativen. Ozon bietet sich dafür an, weil Ozon nachweislich alle Bakterien, Viren und die Sporen von Sprosspilzen abtötet. Diese breite Wirkungspalette macht eine bakteriologische Prüfung der Keimflora vor einer geplanten Ozontherapie überflüssig. Für die Verwendung von Ozon spricht auch die Tatsache, dass zu seiner Herstellung das natürliche Lebenselixier, der Sauerstoff, verwendet wird. Da der in der Luft enthaltene Stickstoff bei der im Abschnitt 2 beschriebenen technischen Herstellung von Ozon zwangsläufig auch oxidiert wird, ist für die interne Anwendung sog. medizinisches Ozon (hergestellt aus reinem Sauerstoff) zu verwenden. Diese Ozonapplikationen sind u. a. bei *Viebahn-Hänsler*¹² näher beschrieben. Das Kapitel 4 dieses Beitrags (Ozon ist ein instabiles, giftiges Gas), skizziert Grenzen und Gefahren der Ozontherapie, die in Tabelle 2 nochmals zusammengefasst werden.

Schlussfolgerungen

Die Affinität von Ozon – insbesondere der vom Ozon abgespaltene atomare Sauerstoff („S. im statu nascendi“) – zu allen organischen Strukturen bedingt seine generelle Wirksamkeit gegenüber Bakterien, Viren und den Sporen oraler Pilze. Ozon entwickelt keine Resistenz, auch nicht bei wiederholter Applikation. Wegen seines breiten Wirkungsspektrums sind bakteriologische Testverfahren zur Therapieabsicherung überflüssig, sofern der Therapeut auf Ozon als Desinfektionsmittel zurückgreift. Ozon wird aus Sauerstoff hergestellt und ist nach dem schon zitierten Allotropie-Gesetz immer ein- und derselbe Stoff, unabhängig von der natürlichen Entstehung

oder technischen Erzeugungsart. Das heißt, die verschiedenen dentalen Ozongeneratoren erzeugen Ozon, zwar in verschiedener Menge und Konzentration, aber niemals ein „besseres“ oder „schlechteres“ Ozon. Die bakterizide, viruzide und fungizide Wirkung setzt bei Ozonapplikation sofort ein, vorausgesetzt, dem Gas wird durch geeignete Vorbehandlungen der Zugang zum infizierten Substrat verschafft. Diese Maßnahmen sind beispielsweise die Destruktion von Biofilmen, Beseitigung von kariösem Detritus, die Exstirpation von nekrotischem Pulpengewebe u. ä. . Wegen der geringen Ozonmengen, die in der Zahnmedizin benötigt und eingesetzt werden, sind Schutzmaßnahmen nicht erforderlich. Da das unverbrauchte Ozon sich auch ohne technische Hilfsmittel in molekularen Sauerstoff zurückverwandelt, treten keine Nebenerscheinungen, wie beispielsweise Allergien auf. Da eine Ozonbehandlung nach Schneider^{10,11} keine Kassenleistung ist, muss bei entsprechender Indikation der jeweilige Patient über den Nutzen dieser Therapie aufgeklärt und motiviert werden um seine Zustimmung zu dieser Therapie zu geben und zur Zahlung dieser Zusatzleistung bereit zu sein.

Literaturverzeichnis :

1. Dehmlow R u. M-Th Jungmann. Handbuch der Ozon-Sauerstoff-Therapien. 2000; Haug Heidelberg.
2. Dehmlow R, Kämper S, Schröbe H, Untermähner B. Sauerstoff - Ozon - Therapien, 2008; Urban & Fischer, München und Jena.
3. Fabian P. Photochemischer Smog und seine Einwirkungen auf die Biosphäre. Forstwirtschaftliches Centralblatt 2007;106:223-235.
4. Fisch, E A . Über die Anwendung von Ozon in der Stomatologie als wirksames Mittel einer neuzeitlichen Therapie, Dtsch. Zahnärztl. Wschr 1936;. 40/41: 953-946 u. 971- 974.
5. Hirth M. Teilprozesse bei der Ozonerzeugung mittels stiller elektrischer Entladungen[†]. Teil II: Die Ozon- und Stickoxydbildung im Ozonisator Beiträge zur Plasmaphysik , Wiley-VCH –Verlag Hoboken / New Jersey 1987; 21: 15 -27.
6. Kogelschatz U et al.
From ozone generator to flat television screens: History and future potential of dielectric-barrier-discharges, Pure Appl. Chem 1999 ;. 71: 1818 - 1828,
7. Lynch E (Ed.) : Ozone: The Revolution in Dentistry Quintessence Publishing Co. .Ltd. London 2004.

8. Oddoy A . Gesundheitliche Wirkungen des Ozons aus pathophysiologischer Sicht. 2003, Wiss. Schriftenreihe der TU Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr Bd.39; Beiträge aus der Verkehrstheorie und -praxis, Hrsg : Wulf-Holger Arndt, Berlin S. 99-119
- 9 . Schneider H-G. Ozon-Therapie, Leistung auf Verlangen nach freier Vereinbarung. Berlin aktuell 2004; 8 :17.
10. ders. Die Ozontherapie ist eine Leistung auf Verlangen – Patienten informieren und instruieren. Dt. Zahnarzt Wo 2005; 45 : 19.
11. Tesla N. Apparatus for Producing Ozone; Patent US –Nr. 568177 (22. Sept. 1896).
12. Viebahn - Hänslers R. Ozon-Sauerstoff-Therapie. Haug 1999 Heidelberg.
13. Wolff A Die medizinische Verwendbarkeit des Ozons. Dtsch Med Wschr 1915; 11: 311 ff.