

## Ozon versus Singulett-Sauerstoff ©

( 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: [mail@prof-schneider.de](mailto:mail@prof-schneider.de)

Dietmar Gläser, Dr. med.dent.  
Zahnarzt / Oralchirurgie  
Hauptstr. 69a, 89250 Senden  
E-Mail: [glaeserdoc@aol.com](mailto:glaeserdoc@aol.com)

**Indices:** Ozon, Singulett-Sauerstoff, atomarer Sauerstoff, Sauerstoff  
im statu nascendi

### Zusammenfassung :

Auf dem Dentalmarkt sind gegenwärtig sowohl plasma-betriebene Ozongeneratoren als auch Laser zur Aktivierung von farbstoffhaltigen Gelen (Photosensibilisierern) im Handel, die Triplett-Sauerstoff der Umgebungsluft ( $O_2$ ) in Singulett-Sauerstoff ( $O_2^{-}$ ) umwandeln. Beide Sauerstoffspezies haben bakterizide, viruzide und fungizide Wirkungen. Der Unterschied besteht im Wesentlichen darin, dass Ozon infolge der dem Gasen eigenen physikalischen Gesetze in jede Nische dringt (z. B. eine Zahnfleischtasche), jeden Hohlkörper ausfüllt (z. B. eine Zyste) und durch enge Spalten und Röhren diffundiert (z. B. in einen Wurzelkanal) wogegen die in Gelen eingebetteten Photosensibilisierer direkten Kontakt mit den Keimen haben müssen, um wirksam zu sein.

Der zweite Unterschied besteht darin, dass Photosensibilisierer als Verbrauchsmaterial im Dentalhandel gekauft werden müssen, sofern das Gel zur Neige geht. Die Plasmaslampen der Ozongeneratoren generieren das Ozon ( $O_3$ ) aus der Umgebungsluft, die kostenlos und in unbegrenzter Menge zur Verfügung steht. Die gleiche Wirksamkeit von Ozon und Singulett-Sauerstoff außer Frage gestellt, hat somit die Ozonapplikation gegenüber der Photosensibilisierer einige Vorteile.

## Präambel :

Tabelle1). Die Zunahme der penicillin-resistenten Bakterienstämme (MRSA – Keime) sowie der Häufigkeit von Allergien gegenüber den Antibiotika verstärkt die Suche nach Alternativen, wobei den Spezies des Sauerstoffs besondere Beachtung geschenkt wird muß (s. Tabelle 1 ).

### Tabelle 1 : Biologisch relevante Spezies des Oxygeniums (Sauerstoffs).

Mono-Oxygenium  $O_1$  = atomarer S. = S. im statu nascendi ,  
 Di- Oxygenium  $O_2$  = molekularer S. in Triplett- und Singulett-Form ,  
 Tri- Oxygenium  $O_3$  = Ozon.  
 ( Die Peroxide, als Bestandteil von Waschmitteln („Weißmacher“)  
 sowie die Peroxide in den dentalen Bleaching-Präparaten bleiben im  
 Folgenden unberücksichtigt).

Die Sauerstoff – „Familie“				
<b>der</b>	Triplett – Sauerstoff der Luft	→	$O_2$	{ (molekularer S. = Di-Oxygenium)
	Sauerstoff, ionisiert	→	$O_2^-$	
	Singulett –Sauerstoff	→	$O_2^{*-}$	{ (atomarer S. = Mono-Oxygenium = S. in statu nascendi)
<b>die</b>	Peroxide, z. B. $H_2O_2$ zerfällt in	→	$H_2O + O_1^{*-}$	
<b>das</b>	Ozon (Tri-Oxygenium / $O_3$ ) zerfällt in		$O_2 + O_1^{*-}$	

Bemerkung : \* = durch Elektronentransfer hochgradig aktiviert / reagibel

## Historie :

Während das Ozon erstmals 1916 von dem deutschen Militärarzt *H. Wolff*<sup>10</sup> mit großem Erfolg zur Behandlung von Gasbrand, Phlegmonen, infizierten Schuss- und Granatsplitterverletzungen eingesetzt wurde und der Schweizer Zahnarzt *Fisch*<sup>3</sup> die Ozontherapie 1931 in der Zahnheilkunde einführte, hat eine andere Therapieform erst in den letzten drei Jahrzehnten eine konkurrierende Stellung zur Ozontherapie erlangt.

Anfang der 80ziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurden in den USA chemische Substanzen entwickelt, die durch Bestrahlung mit Lasern den reaktionsträgen Triplett-Sauerstoff in den reaktiven Singulett-Sauerstoff umwandeln (sog. Photosensitizer). Schon 1987 veröffentlichte *Beems et al*<sup>1</sup> positive klinische Ergebnisse beim Einsatz der sog. Photosensitizer. In dem von *Hasan, Hamblin und Trauner*<sup>2</sup> im Jahr 2000 vorgelegten Patent: US 6107466 wurden bereits 24 chemische Substanzen aufgelistet, die als Photosensitizer eingesetzt werden können. In der Zahnmedizin ist diese Behandlungsmethode inzwischen auch „angekommen“<sup>5,6</sup> und wird gegenwärtig unter Bezeichnungen wie „PDT / Photodynamische Therapie, PACT / Photodynamic Antimicrobial Therapy, PAD / Photo Activated Disinfection „ mit werbetechnischem Aufwand<sup>9</sup>, auf den Markt gebracht.

### Ausführungen zu Ozon und Singulett-Sauerstoff :

Das Ozon entsteht ständig in der Atmosphäre unserer Erde auf zweierlei Weise :

1. Durch die Sonnenbestrahlung der Lufthülle unserer Erde. Der ultraviolette Anteil des Sonnenlichts spaltet Sauerstoffmoleküle in Sauerstoffatome ( $O_2 \rightarrow O_1 + O_1$ ), die sich nachträglich mit anderen Sauerstoffmolekülen zu Ozon verbinden ( $O_1 + O_2 \rightarrow O_3$ ).

Dieser Vorgang vollzieht sich ständig im Wechselspiel zwischen Ozonbildung und Ozonzerfall (tägliches Umschlag 300.000 t).

2. Eine weitere natürliche Ozonbildung findet in unserer erdnahen Atmosphäre bei der elektrischen Entladung der Gewitterwolken durch Blitze statt. Weltweit entstehen in jeder Sekunde 100 Blitze, was sich im Jahr auf > 3 Milliarden Entladungen summiert.

Wie viel Ozon dabei entsteht, ist nicht bekannt. Beide erwähnten Wege der natürlichen Ozonerzeugung werden technisch nachgeahmt und haben zur Erfindung vieler Typen von Ozongeneratoren geführt. Am gebräuchlichsten ist die Ozonerzeugung mittels Funkenladung, als Stoßentladung oder sog. stille Entladung.

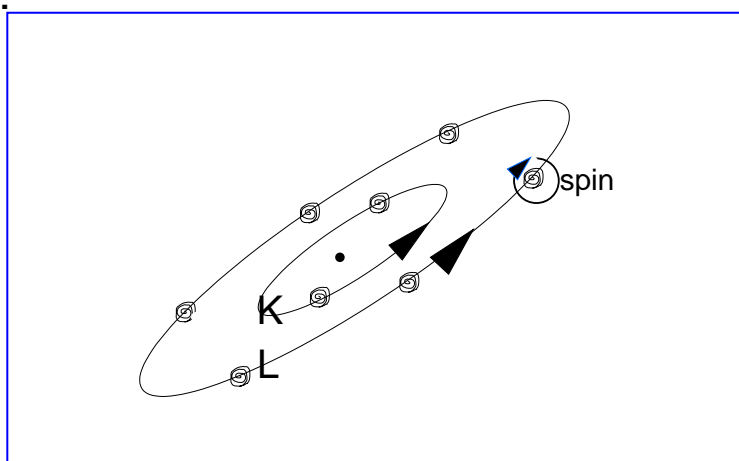
Ausführliche Informationen über das Ozon<sup>8</sup> sind über die aufgeführte Quelle zu finden.

In der Medizin incl. der Veterinär- und Zahnmedizin werden bevorzugt Plasmalampen zur Ozonerzeugung eingesetzt. Da die Lampenkörper in jeder erdenklichen Form hergestellt werden können, ist die Palette der Einsatzgebiete groß. Es gibt kolben-, kugel-, zylinder-, teller- und sonden-förmige Plasmalampen. Neuerdings gibt es auch Glasspritzen, in deren Zylinder die Elektroden angeschmolzen sind, sodass Ozon mittels Kanüle aus dem Spritzenkolben angesaugt und direkt in Wurzelkanäle, Fistelgänge u. ä. gedrückt werden

kann. Für die Herstellung von Singulett-Sauerstoff haben sich in der Zahnmedizin Farbstoffe etabliert, die als Färbemittel für histologische Schnittpräparate seit langem bekannt sind : Toloniumchlorid = Toluidinblau, das als Färbemittel für histologische Schnittpräparate seit langem bekannt ist so wie Toloniumchlorid = Toluidinblau, ein Anilinderivat und weiterhin Methylenblau, ein Phenothiazin-Abkömmling. Diese Farbstoffe werden mit Gel vermischt und sind in dieser Form bequem applizierbar allerdings aus Kostengründen nur in eng begrenzter Lokalisation. Der jeweilige Photosensitizer soll 60 sec vor der Laserbestrahlung aufgetragen werden damit das Gel die Bakterien umhüllen kann. Dieser Hinweis ist in allen Beipackzetteln zu finden und ein Indiz dafür, dass nur bei unmittelbarem Kontakt mit Bakterien der gewünschte Effekt erreicht wird. Bei einer Parodontalbehandlung an Zahngruppen bzw. dem gesamten vorhandenem Zahnbestand ergibt sich daraus eine Verlängerung der Sitzungsdauer, die die Zeitökonomie belastet. Die Lichtenergie wird mit Lasern und Wellenlängen von 635 nm bzw. 650 nm in das Gel eingetragen. Im Prospekt eines Herstellers war zur Wirkung der Photosensitizer zu lesen : „ Aktivierung und Spaltung des Umgebungssauerstoffes – selektive Zerstörung der Zellwände durch den gespaltenen, hochreaktiven Sauerstoff “.

Es handelt sich dabei um die Umwandlung von Triplett- in Singulett-Sauerstoff ( $O_2 \rightarrow O_2^{\cdot -}$ ), d. h. die Wandlung von einer reaktionsträgen in eine aktive Form des Sauerstoffs, die in ihrer bakteriziden, viruziden und fungiziden Wirkung der des Ozons entspricht( s. später Abbildung 4 ).

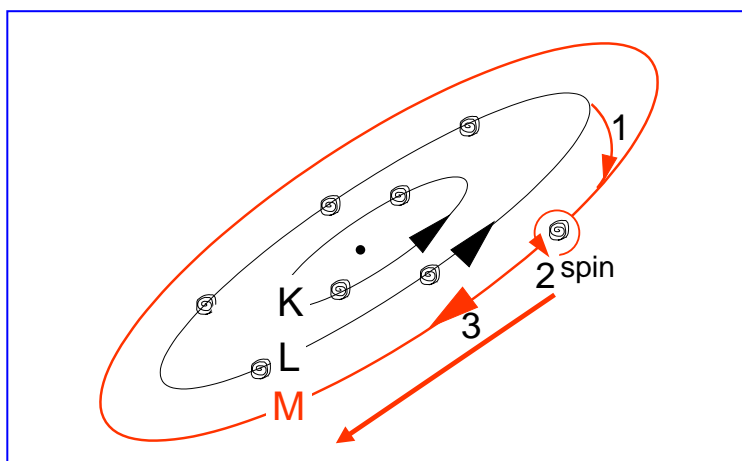
Die Abbildungen 1, 2 und 3 sollen Verständnis für die Unterschiede zwischen den beiden biologisch hochaktiven Substanzen, dem Ozon und dem Singulett-Sauerstoff, verdeutlichen :



**Abbildung 1** : Struktur eines Sauerstoffatoms, Atomkern als Punkt verkleinert, Umlaufbahnen der Elektronen disproportioniert dargestellt.

Wenn man sich den Atomkern als Kugel mit einem Durchmesser von 1cm vorstellt, umkreisen die Elektronen mit einer Distanz von ~ 150 mtr. in einer  $\frac{1}{1.000.000.000.000.000}$ stel Sekunde den Atomkern.

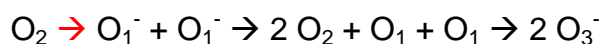
Um den Atomkern kreisen 8 Elektronen (=  $e^-$  = kleine negativ geladene elektromagnetische Felder) und zwar 2 auf der inneren Bahn = K-Schale, 6 auf der äußeren Bahn = L –Schale. Jedes Elektron dreht sich um sich selbst = spin (nur bei einem Elektron in Abbildung 1 eingezeichnet). Durch Energieeintrag per Funken oder UV-Licht verändert sich das Sauerstoffatom erheblich (s. Abbildung 2).



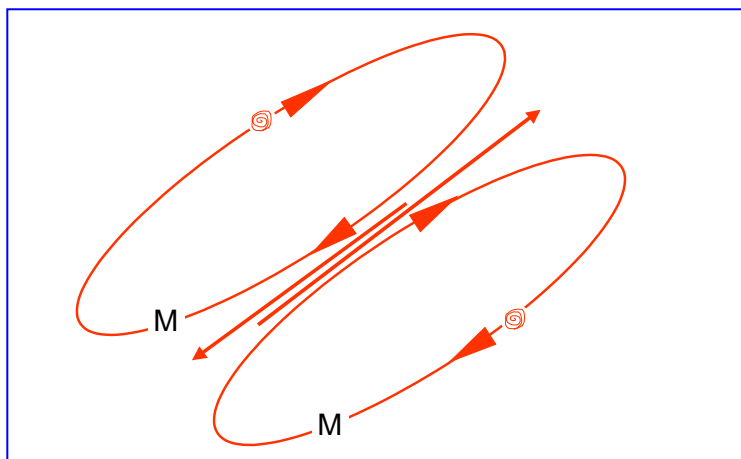
**Abbildung 2 :** Veränderung des Sauerstoffatoms durch Energiezufuhr.  
( UV-Strahlung / Funkenentladung / Laser in Verbindung mit Photosensitizer )

1. Ein Elektron wird auf eine neue Bahn geschleudert (M-Schale).
- 2, Das Elektron ändert seinen spin (Rotation um sich selbst).
3. Das Elektron läuft auf entgegen gesetzter Umlaufbahn zu den anderen Elektronen.

Das Atom wird dabei paramagnetisch (s. geraden roten Pfeil / Abb. 2), d. h. das aktivierte Atom wird von äußeren Magnetfeldern in Pfeilrichtung angezogen. Diese Veränderungen beziehen sich auf den atomaren Sauerstoff nach Spaltung von molekularem Sauerstoff (=  $\rightarrow$ ) nach der Gleichung :



Ganz anders verläuft der vom Laserstrahl induzierte Elektronentransfer in den Sauerstoffmolekülen der umgebenen Luft mittels Photosensitizer zum Singulett-Sauerstoff, der im molekularen Verbund bestehen bleibt, wobei beide Sauerstoffatome in gleicher Weise wie in Abbildung 1 dargestellt, aktiviert werden (s. Abbildung 3).



**Abbildung 3** : Aktiviertes Sauerstoffmolekül = Singulett-Sauerstoff  
(nur M-Schale dargestellt).

In jedem der beiden Atome wurden die in der Legende der Abbildung 2 als **1.**, **2.** und **3.** aufgezählten Veränderungen in den beiden Sauerstoffatomen durch die Energieaufnahme aus dem Laserstrahl vollzogen.

Im Kontaktbereich der beiden Atome hebt sich die magnetische Kraft auf (s. gerade Pfeile) → der Singulett-Sauerstoff ist diamagnetisch, d. h. er wird nicht durch äußere Magnetfelder angezogen ist somit magnetisch „neutral“. Das ist ein Nachteil.

Der Unterschied in der magnetischen Eigenschaft zwischen Ozon und Singulett-Sauerstoff hat praktische Bedeutung :

Die Plasmalampen der Ozongeneratoren erzeugen ein elektromagnetisches Feld das tief in das Gewebe eindringt. Die Ozonmoleküle „schwimmen“ gewissermaßen in diesem elektromagnetischen Feld in das Gewebe ein und bewirken dadurch eine Tiefenwirkung des Ozons.

### Wirkungen von Ozon und Singulett-Sauerstoff :

Das aktivierte Sauerstoffatom verbindet sich in  $\sim 10^{-4}$  Sekunden mit einem benachbarten Sauerstoffmolekül durch die Reaktion:  $O_1^- + O_2 \rightarrow O_3^-$  zu Ozon. Ozon ist ein Gas, das eingebettet in Luft (Stickstoff-/Sauerstoff-Gemisch und geringfügigen Edelgasmengen) sich nach den Regeln der Gasgesetze ( Boyle - Mariottesche G., Amontonische G., Gay – Lussacsche G., dem Joule –Thomson-Effekt u. a.) verhält. Das Gas breitet sich bei unbehinderter Diffusion im Raum sphärisch aus (Volumen einer Kugel bei unbehinderter Ausbreitung).

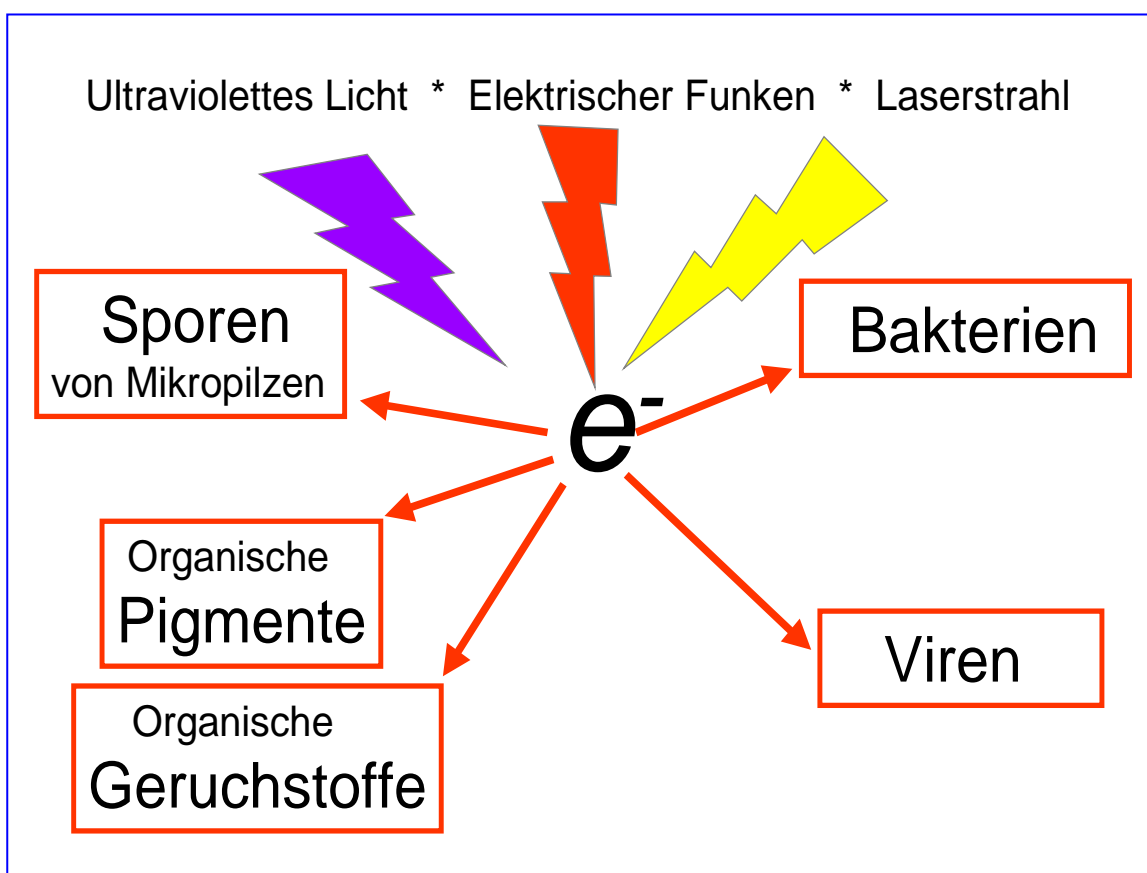
Das Volumen einer Kugel ist :  $V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3$ . Gas verdünnt sich dementsprechend schnell  
 $\rightarrow r$  in mm =  $1^3 - 2^3 - 3^3 - 4^3 - 5^3 - \dots - 10^3$  usw. , d. h. in 10 mm Entfernung von der Ozonquelle beträgt die Verdünnung  $1/1.000$ stel vom Ausgangswert, in 100 mm Abstand nur noch  $1/1.000.000$ stel. Plasmalampen erzeugen eine Ozonkonzentration von  
 $\sim 100.000$  ppm (part per million)\* Das ist  $\sim$  das 20fache der letalen Dosis für Bakterien.  
 Durch die sphärische Verdünnung ist weder der Patient noch der Behandler während einer Ozontherapie gefährdet.  
 Ozon reagiert mit organischen Substanzen, (vorrangig Einzeller und devitale Gewebe).  
 Durch Abkoppelung des Sauerstoffatoms aus dem Ozonmolekülverbund entsprechend der Reaktion:  $O_3 \rightarrow O_2 + O_1^-$  bindet sich das mit hoher Energie „beladene“ Sauerstoffatom bevorzugt an Molekülbrücken wie C = C, S – H, S – S, N – H<sub>2</sub> u. ä. Findet das Sauerstoffatom keine Bindung, geht es mit einem anderen Atom die „rückläufige,,  
 Reaktion:  $O_1^- + O_1^- \rightarrow O_2$  ein. Es neutralisiert sich durch Umwandlung in ein normales, nur schwach reaktives Sauerstoffmolekül.  
 Von Bedeutung ist ferner, dass das Ozonmolekül einen Dipol ( + und - ) darstellt und dadurch sowohl an negativ geladenen als auch an positiv geladenen Oberflächen andocken kann. Während Zellen von Eukaryoten \*\* das Membranpotential im Millisekundenbereich von Plus auf Minus und umgekehrt wechseln können, haben Prokaryoten\*\*\* diese Fähigkeit nicht. Das ist für Einzeller ein durch die Evolution bedingter biologischer Nachteil.

$\rightarrow$ \* 1 ppm ist nach neuerer Schreibart = 1.000 ppb [part per billion (*am.*)] .Im Europäischen Sprachraum ist eine (*am.*) „billion“ eine Million, d. h. der Potenzsprung von  $10^{-6}$  zu  $10^{-9}$  ist eine 3er-Sprung, kein 6er-Sprung [  $10^{-12}$ ].  
 $\rightarrow$  \*\* Eukaryoten \*\* „ Organismen, deren Zellen im Zellkern und Zytoplasma differenziert sind. E. besitzen echte Chromosomen, die während der Zellteilung ( Meiose, Mitose) in objekttypischer Anzahl und Form mikroskopisch nachweisbar sind.“  
 $\rightarrow$  \*\*\* Prokaryoten sind Organismen ohne Zellkern. Die DNA liegt als perlenartig strukturierter Ring frei im Zytoplasma. Keine so hohe Differenzierung im Zytoplasma. Die Vorsilbe „ Pro.. “ deutet an, dass die P. entwicklungsgeschichtlich vor den Eukaryoten vorhanden waren [ eu..(*griech.*) u. a. recht  $\rightarrow$  eutroph, Eugnathie usw.)

Die Abbildung 4 verdeutlicht die Wirkungspalette des Sauerstoffs im statu nascendi ( $O_1^-$ ), die mit der des Singulett-Sauerstoffs ( $O_2^-$ ) identisch ist.  
 Sowohl der atomare Sauerstoff (S. im statu nascendi) als auch der Singulett-Sauerstoff tragen auf der M-Schale Elektronen ( $e^-$ ), die ein hohes Energiepotential besitzen und

dadurch die Strukturen von Molekülen „cracken“ können [ to crack (*engl.*) = zerbrechen ]. Rein theoretisch hat der Singulett-Sauerstoff die doppelte zerstörerische Kraft wie Ozon, da das Ozonatom nur ein reaktives Elektron, der Singulett-Sauerstoff aber zwei  $e^-$  hat.

Das exogene Wirkungsspektrum von Ozon und Singulett-Sauerstoff ist gleich, weil in beiden Fällen ein gleichartiger Elektronentransfer stattfindet. Die drei unterschiedlich gefärbten Zick-Zack-Pfeile in Abbildung 4 weisen auf die verschiedenen Möglichkeiten hin, den Energieeintrag zu erreichen :



**Abbildung 4 :** Der Energietransfer läuft entweder über die Molekülsplaltung des Sauerstoffs zu atomaren Sauerstoff und der zuvor dargestellten Änderungen in der Elektronenfiguration (Abb. 2) ab oder per Photosensitizer durch Laserbestrahlung mit nachfolgenden zwei Elektronentransfers ( $2 \times e^-$ ) im Sauerstoffmolekül zum Singulett-Sauerstoff (Abb. 3).

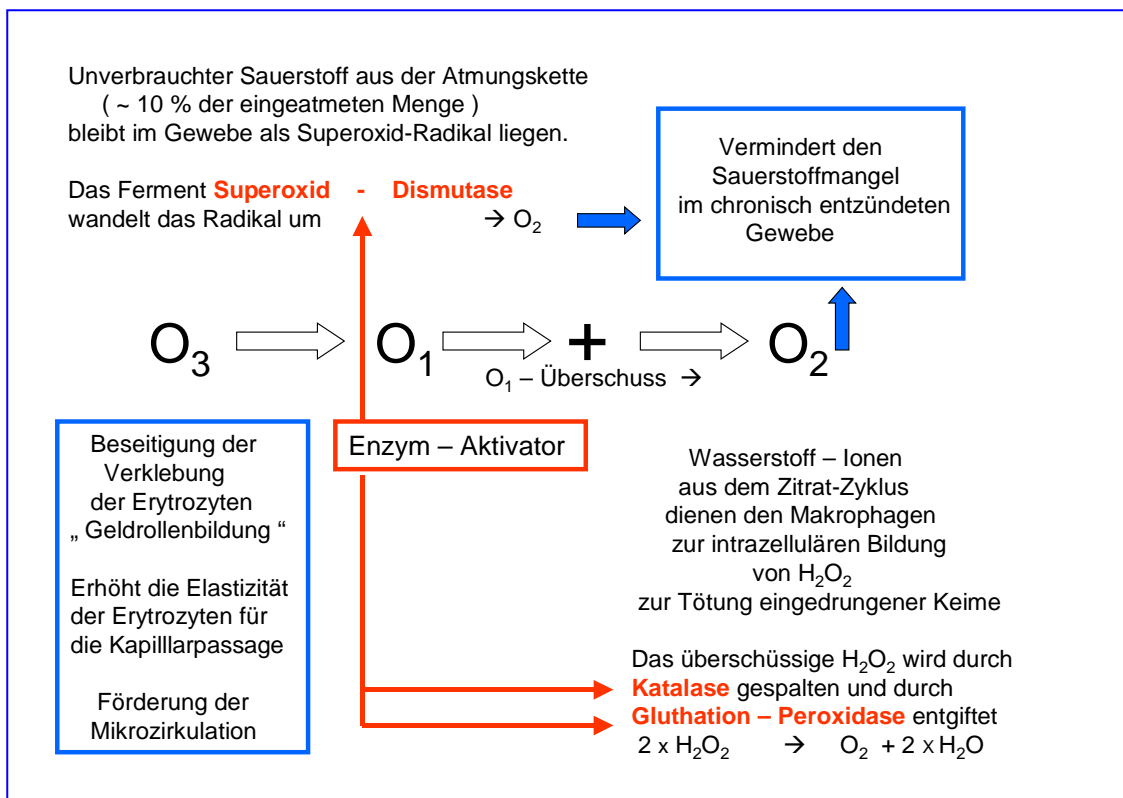
Sofern das Ozongas durch Plasmalampen erzeugt wird (und nicht durch UV-Lampen), entsteht ein elektromagnetisches Feld mit Schwingungen im Frequenztakt, d. h. im

Regelfall mit 50 Hz. Die elektromagnetischen Stoßwellen lösen heilsame Tiefeneffekte im oralen Weichteilgewebe aus, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Als Nebeneffekt ist die Durchflutung des Körpers mit schwachen Stromstößen ( $\sim 0,5 - 1,5$  mA je nach Generatortyp) zu sehen, die es ratsam macht, bei Hochschwangeren, bei hypermobilen Kindern und Trägern von Herzschrittmachern auf die Anwendung eines plasma-betriebenen Ozongenerators zu verzichten. Da der Induktionsstrom an hypersensiblen Zahnhälsen Irritationen auslösen kann, sollte bei Zahnfleischbehandlungen, insbesondere bei der Ozonbehandlung von Zahnfleischtaschen ein Zahnkontakt vermieden und statt dessen eine Insufflation per diffusionem, d.h. durch die Gingiva hindurch vorgenommen werden. Das aktivierte Sauerstoffatom ist paramagnetisch (s. Abbildung 2), wird von äußeren Magnetfeldern angezogen, die durch die Plasmalampe im Betriebszustand entstehen.

Da in der Zahnmedizin bevorzugt plasma-betriebene Ozongeneratoren verwendet werden, entsteht ein äußeres elektro-magnetisches Feld an der Außenhaut der Plasmalampe, das im übertragenem Sinne wie ein „Sog-Effekt“ das paramagnetische Ozon anzieht und dessen gute Tiefenwirksamkeit erklärt, die der Singulett-Sauerstoff aufgrund seines Diamagnetismus nicht hat. Der soeben beschriebene Effekt kommt bei der Behandlung von Wundheilungsstörungen per Plasmalampe voll zu Geltung.

Durch die Diffusion des Ozongases in das Weichteilgewebe werden zahlreiche metabolische Effekte ausgelöst bzw. gefördert, wie z. B. in Abbildung 5 dargestellt :

Die durch die elektro-magnetischen Stoßwellen von Plasmalampen ausgelösten Massage-Effekte sollen an dieser Stelle lediglich erwähnt werden ohne das eigentliche Thema „Ozon versus Singulett-Sauerstoff“ zu berühren, denn physikalische Effekte durch das elektro-magnetische Feld der plasma-betriebenen Ozongeneratoren werden von den mit PDT, PACT und PAD benannten Methoden nicht erzeugt und können deshalb nicht in den Vergleich einbezogen werden.



### Abbildung 5 : Endogene Wirkungen des Ozons

**Rot umrandet :** Enzymatische Effekte

**Blau umrandet :** Wirkungen auf die Mikrozirkulation und den Sauerstoffpartialdruck ( $pO_2$ ) im Gewebe

### Fazit :

Die Ozontherapie und die photodynamische Therapie haben die gleiche bakterizide, viruzide und fungizide Wirkung, mit großer Wahrscheinlichkeit trifft das auch für die deodorierende und bleichende Wirkung zu. Eindeutig besser schneidet die Ozontherapie bei den endogenen Wirkungen ab, wobei das Diffusionsvermögen des Gases ebenso eine Rolle spielen dürfte wie die unbegrenzte Menge an Ozon (die aus der Umgebungsluft gewonnen werden kann) und die paramagnetische Eigenschaft des Ozons, die dem Singulett-Sauerstoff fehlt.

## Literatur

1. Beems et al.. Growth Factor and Wound Healing. J Am Surg 1987;46 :639-643
2. Broadwater, W T et al.. Sensitivity of Three Selected Bacterial Species to Ozone. Appl. Environ Microbiol 1973; 26:391-393.
3. Fisch, E A.. Über die Anwendung von Ozon in der Stomatologie als wirksames Mittel einer neuzeitlichen Therapie. Dtsch Zahnärztl Wschr 1936; 40/41: 953-946/971-974.
4. Hasan T, Hamblin R, Trauner K. Acceleration of wound healing by photodynamic therapy. US Patent 6 107 466, 2000 : Publication 22-08-2000
5. Sigusch, B W et al.. Effizienz der Photodynamischen Therapie mit dem Helbo-Verfahren. Zahnarzt Wirtschaft Praxis 2007;13:328 -334,
6. Sigusch, B. W. et al.. Effizienz der Photodynamischen Therapie (PDT) mit dem Helbo-Verfahren. Dtsch Zahnärztl 2007;116:589 -594,
7. Van Marum. Op to geeven den toestle van de electrophore, J de physique 1783
8. Weiterführende Literaturquellen zu Ozon : [www.o3-dental.de](http://www.o3-dental.de) + [www.o3-medical.de](http://www.o3-medical.de)
9. Weiterführende Literaturquellen zum Singulett-Sauerstoff : [www.helbo.de/wissenschaft](http://www.helbo.de/wissenschaft)
10. Wolff, H zit. bei Dehmlow R, M-Th Jungmann. Handbuch der Ozon-Sauerstoff - Therapien. 2000 ; Haug Heidelberg