

Prüfbericht

Bestimmung der Ozonbildung des Verfahrens
„Plasma Plus Air“
unter verschiedenen Betriebszuständen
in Form einer medizinischen Risikobewertung



Kooperationsprojekt zwischen
Umwelthygiene Marburg GmbH & Co. KG und Dr. Schmelz GmbH Malsfeld

Durchführung der Untersuchungen:
22.04.2020 bis 27.04.2020

Datum des Prüfberichts: 27.04.2020

1. Fragestellung und Darstellung der Methodik:

Die Geräte der Serie „Plasma Plus Air“, bzw. „Ioxmed“ erzeugt durch stille Entladung an entsprechenden Elektroden eine Umsetzung des Sauerstoff der Luft zu Hydroxylradikalen. Die Hydroxylradikale stellen die wirksame Komponente (Wirkagens) dar.

Hierzu wird die Umgebungsluft am Boden des Geräts durch einen Ventilator angesaugt und im Gerät an den Elektrodenoberflächen entlang geleitet. Im Bereich der Elektrodenoberflächen ist das Gasgemisch Luft leitfähig, sodass dort ein atmosphärisches Niedertemperaturplasma entsteht. In dem Plasmazustand des Gasgemischs Luft wird die oben beschriebene Umsetzung des Luftsauerstoffs zu Hydroxylradikalen vollzogen.

Dazu ist eine bestimmte Elektrodenkonfiguration und eine bestimmte Elektrodenoberfläche notwendig, die herstellerseitig entsprechend installiert ist.

Durch Veränderung der Spannung zwischen den Elektroden kann bei einem Ruhepotential von 1750 Volt (1,75kV) weitgehend sichergestellt werden, dass fast ausschließlich Hydroxylradikale entstehen. Eine Ozonbildung (O_3) unterbleibt bei dieser Spannung.

Durch ein Drehpotentiometer an der Rückseite des Geräts kann die Elektrodenspannung stufenlos auf 3500 Volt (3,5kV) erhöht werden, sodass zwischen 1750 Volt und 3500 Volt ebenfalls stufenlos eine Ozonbildung einsetzt. Das bedeutet, dass das Gerät optional (!) neben Hydroxylradikalen auch Ozon zu bilden vermag, was für forcierte Entkeimung oder Desodorierungsmaßnahmen (Entfernung von Störgerüchen) verwendet werden kann.

Die Ozonbildung kann also in bestimmten Fällen erwünscht sein. Dazu wird die Ozonbildung durch die vorher beschriebene Erhöhung der Potentialdifferenz der Reaktionsoberflächen im Gerät aktiviert.

Umgekehrt ist meistens im Einsatzbereich des täglichen Gebrauchs die Ozonbildung unerwünscht, in diesen Fällen wird sie durch die zuvor genannte Begrenzung der Potentialdifferenz der Reaktionsoberflächen auf 1,75 kV weitgehend inaktiviert.

Das primäre antimikrobielle Wirkagens des Plasmagenerators sind die im Rahmen des Niedertemperaturplasmas entstehenden Hydroxylradikale (in Verbindung mit Spuren von Wasserstoffperoxid).

Daher ist die Ozonbildung dieses Verfahrens immer als optionaler Prozess zu betrachten, die im Rahmen dieses Gutachtens bezüglich der Konzentration der freigesetzten Ozons betrachtet werden soll.

Gleichzeitig wird eine entsprechende medizinische Risikobewertung vorgenommen.

Ozon kann im Gegensatz zu Hydroxylradikalen nachteilige gesundheitliche Auswirkungen haben:

Ozon (O_3) ist ein pulmonales Reizgas, das konzentrationsabhängig zu Schleimhautreizungen führen kann (Augen, Nase, tiefe Luftwege, Lunge) und darüber hinaus unspezifische Symptome, wie Kopfschmerzen oder Konzentrationsstörungen verursachen kann.

Daher ist die medizinische Bewertung der Ozonbildung Gegenstand dieses Gutachtens.

2. Material und Methoden:

2.1 Material

- Gaswaschflasche 1000mL
- Messzylinder 1000mL und 100mL
- Verbindungsschläuche PVT
- Laborstative und Klemmen
- Gaszähler
- Vakuumpumpe
- Pipetten
- Photometrischer Ozontest auf Basis von DPD (Fa. Macherey-Nagel Düren)
- Photometer zu dem Testverfahrens (PF-11)
- dest. Wasser
- Plasmagenerator (Prüfling des Verfahrens)

2.2 Methodik:

Zur Untersuchung wird der Plasmagenerator auf einer glatten Tischoberfläche entsprechend einer bestimmungsgemäßen Verwendung positioniert.

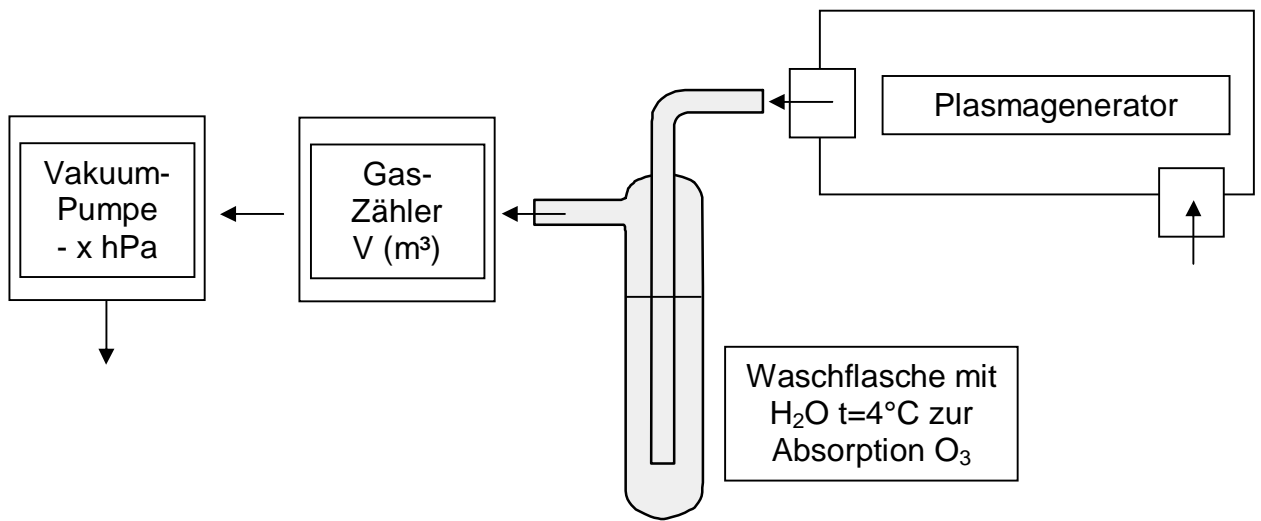
Im Testraum wird eine rel. Luftfeuchtigkeit von 25% bei einer Temperatur von 21°C eingestellt. Eine möglichst niedrige rel. Luftfeuchtigkeit erhöht die Wahrscheinlichkeit der Ozonbildung und soll bei gewünschter Abwesenheit der Ozonbildung nachweisen, dass dann möglichst keine Ozonbildung erfolgt.

An der Austrittsöffnung des Plasmagenerators wird ein Schlauch positioniert, der mit einer Waschflasche verbunden ist. Die Waschflasche ist mit 1000mL Wasser gefüllt. Das Wasser wird einem Eisbad entnommen und hat ein Temperatur von 4°C (da unter diesen Bedingungen die Löslichkeit von Ozon in Wasser am höchsten ist und gleichzeitig der spontane Zerfall über einen Zeitraum von 30min nicht relevant ist, sofern die verwendeten Glasgeräte frei von Stäuben und organischen Ansammlungen sind).

Die Waschflasche ist mit einem Gaszähler zur Feststellung des durchströmten Volumens verbunden. Abschließend befindet sich eine Vakuumpumpe, welche den Volumenstrom durch die Prüfapparatur fördert.

Der Plasmagenerator wird aktiviert, parallel wird die Vakuumpumpe eingeschaltet. Dadurch wird das aus dem Plasmagenerator austretende Gas durch die Waschflasche geleitet, dabei erfolgt die Anreicherung des Ozongases in der Wasser-Vorlage der Waschflasche. Das Gas wird durch den Gaszähler geführt, dadurch wird das zur Anreicherung in der Waschflasche verwendete Gasvolumen bestimmt. Über die Vakuumpumpe gelangt das Gas wieder in die Luft.

Schematische Darstellung des Prüfaufbaus:



Prüfaufbau insgesamt:



Vakuumpumpe, Gaszähler, Waschflasche, Plasmagenerator

Anschließend wird das Ozon photometrisch als oxidatives Desinfektionsmittel mit der DPD Methode im Anreicherungswasser der Waschflasche bestimmt.



Es werden zwei Geräte mit jeweils zwei Betriebsarten geprüft:

- Plasma Plus Air 12m³/h
 - Ozon ein
 - Ozon aus
- Plasma Plus Air 95m³/h
 - Ozon ein
 - Ozon aus

t (Luft) = 21°C
rF (Luft) = 25%

3. Ergebnisse:

Plasmagenerator "Plasma Air" - Ozonbildung: Bewertung und Auswertung:

Nr.:	Gerät	Betriebsart:	V (Luft) 1	V (Luft) 2	V (Luft Test)	Anreich.volumen	β (Ozon) [mg/L]	β (Ozon) im Anreich.Vol.	β (Ozon) [m ³ Luft]	Q Luft [m ³ /h]	Ozon gesamt / h
1	Plasma Air 12	Ozon an	335,740 m ³	337,980 m ³	2,220 m ³	1000 mL	0,28 mg/L	0,28 mg	0,128 mg/m ³ (ppm)	12 m ³ /h	1,514 mg Ozon/h
2	Plasma Air 12	Ozon aus	337,980 m ³	340,090 m ³	2,130 m ³	1000 mL	0,01 mg/L	0,01 mg	0,005 mg/m ³ (ppm)	12 m ³ /h	0,056 mg Ozon/h
1	Plasma Air 95	Ozon an	340,090 m ³	342,400 m ³	2,310 m ³	1000 mL	0,08 mg/L	0,08 mg	0,026 mg/m ³ (ppm)	95 m ³ /h	2,468 mg Ozon/h
2	Plasma Air 95	Ozon aus	342,400 m ³	344,450 m ³	2,050 m ³	1000 mL	0,01 mg/L	0,01 mg	0,005 mg/m ³ (ppm)	95 m ³ /h	0,463 mg Ozon/h

Gerät: Jeweils geprüftes Gerät, die Zahl gibt das Luftvolumen pro Stunde an, 12 = 12m³/h

Betriebsart: Die Ozonbildung kann durch Erhöhung des elektrischen Potentials an den Reaktionsoberflächen zugeschaltet werden; es wird ohne, sowie mit Aktivierung der Ozonbildung geprüft.

V (Luft) 1, V (Luft) 2 = Volumenanzeige der Gaszähleinrichtung

V (Luft Test) = Differenz aus V2 und V1, dies ist das Volumen, in welchem das Ozon bestimmt wurde

Anreicherungs-volumen = die Anreicherung findet in einer Waschflasche mit Wasser statt. Das hier genannte Volumen ist das für die Anreicherung des Ozons verwendete Wasservolumen

β(Ozon) [mg/L] = Im Anreicherungs-volumen photometrisch festgestellte Ozonkonzentration

β(Ozon) im Anreich. Volumen = im Anreicherungs-volumen von z.B. 1000mL festgestellte Masse an Ozon in mg

β(Ozon) [m³ Luft] = Berechnete Ozonkonzentration am Austritt des Plasmagenerators

Q Luft [m³/h] = Luftvolumenstrom in m³ pro Stunde, welche der Plasmagenerator umsetzt

Ozon gesamt / h = Berechnete Ozonmasse pro Stunde

4. Interpretation, Bewertung und Empfehlungen:

Es wurden zwei Modelle des Geräts PlasmaPlusAir geprüft. Die Modelle unterscheiden sich im Volumenstrom Q. Dieser beträgt in der kleineren Ausführung 12m³/h, in der größeren Ausführung liegt ein Volumenstrom von 95m³/h vor.

Gerät Plasma Plus Air 12m³/h

Ozon an: 0,126 mg/m³ 1,514 mg/h
Ozon aus: 0,005 mg/m³ (<) 0,056 mg/h (<)

Gerät Plasma Plus Air 95m³/h

Ozon an: 0,026 mg/m³ 2,468 mg/h
Ozon aus: 0,005 mg/m³ (<) 0,463 mg/h (<)

Im aktivierten Zustand (der aktivierte Zustand wird durch eine blaue LED indiziert, vgl. Abbildung Seite 1) liegt eine geringe, aber signifikante Ozonbildung von ca. 1,5mg/h im Hinblick auf das Gerät Plasma Plus Air 12m³/h vor. Das Gerät Plasma Plus Air 95m³/h zeigt ebenfalls eine geringe bis mittlere Ozonbildung mit 2,468 mg/h.

Sofern die Ozonbildung inaktiviert ist (Drehpotentiometer der Gerätrückseite, LED aus), wird Ozon unter den angewandten Prüfmethoden unterhalb der Bestimmungsgrenze des Analyseverfahrens festgestellt.

In Abhängigkeit der Spannung (Potentialdifferenz) der Reaktionsoberflächen im Gerät kann die Ozonbildung moduliert werden. Bei inaktivierter Ozonbildung liegt eine Potentialdifferenz von 1,75 kV vor.

Unter diesen Bedingungen kann Ozon analytisch mit ausreichender Signifikanz nicht mehr nachgewiesen werden. Unabhängig davon kann eine marginale (geringe) Hintergrundozonbildung auftreten.

Das Gerät Plasma Plus Air 12m³/h erzeugt demnach < 0,056 mg/h Ozon und das Gerät Plasma Plus Air 95m³/h eine Dosis von < 0,463 mg/h Ozon als maximale mögliche Hintergrund-Ozonsynthese bei ca. 1,75kV Potentialdifferenz an den Reaktionsoberflächen.

Daher werden für Risikoberechnungen die Konzentrationen / die Dosis an der Bestimmungsgrenze des Verfahrens zugrunde gelegt.

Medizinische Risikobewertung:

Ozon ist ein dosisabhängiges, pulmonales Reizgas, das Schleimhautreizungen und unspezifische Befindlichkeitsstörungen verursachen kann.

Bis 2005 galt eine Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) von 0,2 mg/m³. Ab 2005 wurde mit der Neufassung des Gefahrstoffrechts der MAK-Wert durch den

Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) ersetzt. Für Ozon wurde bislang (2020) kein neuer AGW definiert, daher gilt weiterhin eine Konzentration von $0,2\text{mg}/\text{m}^3$ als Obergrenze für die Exposition.

Der MAK / AGW ist festgelegt für ein Arbeiterkollektiv, welches 8h am Tag dem Arbeitsstoff ausgesetzt ist und arbeitsmedizinisch untersucht wird.

Im allgemeinen Raum gelten die Empfehlungen des Umweltbundesamtes für Ozon in der Umgebungsluft. Hier liegt eine Warnschwelle von $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($= 0,18\text{mg}/\text{m}^3$), die möglichst nicht überschritten werden sollte.

Sofern sichergestellt ist, dass die Warnschwelle von $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschritten wird, ist eine Ozonkonzentration im Hintergrund als nicht medizinisch relevant einzustufen.

Modellberechnung der durch die Plasmageneratoren erzeugten Ozonkonzentrationen:

Es wird ein neutraler, geschlossener Raum folgender Größe angenommen. Bewusst wird ein *sehr kleines Raummaß verwendet*, damit ungünstige räumliche Bedingungen Berücksichtigung finden:

Seitenlänge: 2,0 m
 3,0 m
Raumhöhe: 2,5 m
Volumen (Kubatur): 15 m³

In diesem Raum werden die geprüften Plasmageneratoren betrieben. Dabei ergeben sich folgende Ozonkonzentrationen:

Plasma Plus Air 12m³/h:

Ozonbildung *ein*: 1,5 mg/h O₃
Nach 1 h: 0,1 mg/m³
Nach 2 h: 0,2 mg/m³

Nach ca. 2h wird der MAK / AGW in dem betrachteten Raum erreicht. Nach ca. 1,5h ist der Warnwert des Umweltbundesamts erreicht.

Hinweis: Die Halbwertszeit von Ozon beträgt ca. 20 bis 50 Stunden, sodass nach ca. 2h ein Verlust von ca. 15 bis 20% der initialen Ozonkonzentration zu beschreiben ist. Durch die relativ lange Halbwertszeit ist die Abnahme der Ozonkonzentration durch Spontanzerfall unter dieser Betrachtung nur von geringer Relevanz.

Plasma Plus Air 12m³/h:

Ozonbildung *aus*: < 0,056 mg/h O₃
Nach 1 h: < 0,004 mg/m³
Nach 2 h: < 0,008 mg/m³

Der MAK / AGW würde theoretisch nach mehr als 50h (oder länger) erreicht sein, der Warnwert des Umweltbundesamts würde theoretisch nach ca. 45h (oder länger) erreicht.

Hinweis: In diesem Falle wäre noch die Halbwertszeit von 20 bis 50h für Ozon in der Umgebungsluft zu berücksichtigen. Dadurch ergibt sich eine Verlängerung des Intervalls, bis der Warnwert des Umweltbundesamts erreicht ist von ca. weiteren 30h. Außerdem ist noch die Verdünnung durch Luftwechsel (Fugenlüftung, Fensterlüftung, Raumlufthanlage) zu berücksichtigen.

Die betrachteten Konzentrationsangaben gehen von der Bestimmungsgrenze des Analyseverfahrens aus. Die tatsächlichen Konzentrationen sind deutlich geringer, können aber mit dem Messverfahren und der analytisch gegebenen Bestimmungsgrenze nicht mehr angegeben werden. Daher ist festzustellen, dass die Ozonbildung im Hintergrund noch geringer ist, als begrenzt durch die Bestimmungsgrenze – ausgedrückt werden kann.

Es wird deutlich, dass unter den vorhergesehenen ungünstigen Betriebsbedingungen keine Ozonkonzentrationen oberhalb des Warnwerts des Umweltbundesamts, bzw. dem MAK / AGW auftreten kann.

Plasma Plus Air 95m³/h:

Ozonbildung *ein*: 2,468 mg/h O₃

Nach 1 h: 0,16 mg/m³

Nach 2 h: 0,32 mg/m³

Nach ca. 1,5h wird der MAK / AGW in dem betrachteten Raum erreicht. Nach ca. 1,0h ist der Warnwert des Umweltbundesamts erreicht.

Hinweis: Die Halbwertszeit von Ozon beträgt ca. 20 bis 50 Stunden, sodass nach ca. 2h ein Verlust von ca. 15 bis 20% der initialen Ozonkonzentration zu beschreiben ist. Durch die relativ lange Halbwertszeit ist die Abnahme der Ozonkonzentration durch Spontanzerfall unter dieser Betrachtung nur von geringer Relevanz.

Plasma Plus Air 95m³/h:

Ozonbildung *aus*: < 0,463 mg/h O₃

Nach 1 h: < 0,030 mg/m³

Nach 2 h: < 0,060 mg/m³

Der MAK / AGW würde theoretisch nach mehr als 7h (oder länger) erreicht sein, der Warnwert des Umweltbundesamts würde theoretisch nach ca. 6h (oder länger) erreicht.

Hinweis: In diesem Falle wäre noch die Halbwertszeit von 20 bis 50h für Ozon in der Umgebungsluft zu berücksichtigen. Dadurch ergibt sich eine Verlängerung des Intervalls, bis der Warnwert des Umweltbundesamts erreicht ist von ca. weiteren 4h. Außerdem ist noch die Verdünnung durch Luftwechsel (Fugenlüftung, Fensterlüftung, Raumlufthanlage) zu berücksichtigen.

Die betrachteten Konzentrationsangaben gehen von der Bestimmungsgrenze des Analyseverfahrens aus. Die tatsächlichen Konzentrationen sind deutlich geringer, können aber mit dem Messverfahren und der analytisch gegebenen Bestimmungsgrenze nicht mehr angegeben werden. Daher ist festzustellen, dass die Ozonbildung im Hintergrund noch geringer ist, als begrenzt durch die Bestimmungsgrenze – ausgedrückt werden kann.

Unter den vorgesehenen Betriebsbedingungen kann nach einem Arbeitstag von 8h der MAK/AGW und der Warnwert des Umweltbundesamts für Ozon erreicht werden.

Es wird deutlich, dass unter den vorhergesehenen ungünstigen Betriebsbedingungen keine Ozonkonzentrationen oberhalb des Warnwerts des Umweltbundesamts, bzw.

dem MAK / AGW auftreten kann, sofern arbeitstäglich ein ausreichender Luftwechsel im Raum sichergestellt ist.

Insgesamt gesehen, ist die Hintergrund-Ozonbildung im inaktivierten Zustand der Ozonbildung des Plasmagenerators sehr gering.

Der Plasmagenerator mit kleinem Luftdurchsatz von 12m³/h erreicht den MAK/AGW und der Warnwert des Umweltbundesamts bezüglich Ozon praktisch nicht.

Der Plasmagenerator mit hohem Luftdurchsatz von 95m³/h erreicht den MAK/AGW und den Warnwert des Umweltbundesamts nach einem Arbeitstag von ca. 8h.

Daher können beide Geräte sehr gut im üblichen Umfeld (am Arbeitsplatz oder zu Hause) betrieben werden. Sofern die Ozonbildung ausgeschaltet ist, ist praktisch keine Ozonbelastung gegeben.

Sofern Ozon gewünscht ist, tritt dies in geringen bis moderaten Konzentrationen auf:

Bei aktivierter Ozonbildung werden zwar Konzentrationen oberhalb des MAK/AGW und des Warnwerts des Umweltbundesamts erreicht, dies ist in den betreffenden Fällen aber gewünscht und wird aktiviert, indem die Ozonbildung willentlich aufgeschaltet wird. Sofern die Ozonbildung aktiv ist, sollten daher bei Räumen eines Volumens < 15m³ (in der Tat sehr kleine, ungünstige Räume) keine Personen im Raum sein.

Für größere Räume können die theoretischen Ozonkonzentrationen aus den in diesem Gutachten dargestellten Kenndaten berechnet werden.

Bei aktivierter Ozonbildung ist diese mit 1,5 bzw. 2,46 mg/h in einem überschaubaren Level. Als singuläres Desinfektionsagens ist das nicht ausreichend. Dennoch unterstützt die Ozonbildung – sofern es gewünscht ist – die Desinfektionsleistung, welche primär durch die Hydroxylradikale bedingt wird.

Weiterhin wird durch Ozonbehandlung auch eine Desodorierung von Räumen und Oberflächen erreicht.

Bei normaler Lüftung ist auch bei kleinen Räumen eine gesundheitlich beeinträchtigende Ozonbelastung praktisch ausgeschlossen, sofern die Ozonbildung am Plasmagenerator abgeschaltet ist. Unabhängig davon sollten Räume mit Plasmabehandlung ebenfalls regelmäßig gelüftet werden.

Die aktivierte Ozonbildung sollte möglichst in der Nachtphase vorgenommen werden, sofern die Räume nicht in normaler Nutzung befindlich sind. Ansonsten ist die Ozonkonzentration bei gegebener Freisetzung eine Funktion des Raumvolumens und des Luftwechsels im Raum und kann individuell berechnet werden. Je größer der Raum, desto geringer die Konzentration, da die Ozonbildung eine Funktion der Zeit darstellt und nur wenig vom Volumenstrom des Plasmagenerators abhängig ist.



gez. PD Dr.med. Ulrich F. Schmelz

PD Dr.med. | Dipl.-Chem. | Dipl.-Ing.(FH), Leiter der Einrichtung
Arzt für Med. Mikrobiologie & Infektionsepidemiologie, Dipl.-Lebensmittelchemiker, Dipl.-Ing.(FH) Verfahrens- und Anlagentechnik