

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

**Aabach TechnoAir GmbH  
Herrn Frank Windel  
Graf-Zeppelin-Straße 14**

**33181 Bad Wünnenberg-Haaren**

☎ 0 92 21 – 8 27 6130

📠 0 92 21 – 8 27 6133

E-Mail: [info@cenas.de](mailto:info@cenas.de)

Homepage:

[www.cenas.de](http://www.cenas.de)



DAC-PL-0173-02

Kulmbach, den 08.11.2010

## Prüfbericht zur Versuchsreihe: Ermittlung der Keimreduktion durch den Einsatz eines Luftionisators

### 1. Ziel des Versuchs

Der Effekt der Keimreduktion in der Luft durch den Einsatz eines Luftionisators sollte anhand verschiedener Mikroorganismen quantitativ erfaßt werden. In die Untersuchung einbezogen wurden: *E. coli* als hygienerelevanter Gram-negativer Keim (auch stellvertretend für die Gesamtkeimzahl), *Listeria innocua* als Gram-positives Bakterium, *Bacillus subtilis* als aerober Sporenbildner, *Clostridium perfringens* als anaerober Sporenbildner, *Saccharomyces cerevisiae* als Hefe und *Penicillium commune* als Beispiel für einen Schimmelpilz.

Die Untersuchungen wurden zeitgleich immer in der Versuchskammer mit Ionisator und in der Referenzkammer ohne Ionisator durchgeführt.

### 2. Material

**Ionisationsgerät:** Integra FCU.190, Luftentkeimungsgerät zur bipolaren Ionisation zum Einbau in Klima- und Lüftungsanlagen mit 1 Ionisationsröhre 190mm, 220 – 230 VAC mit integrierter Steuerung. Der Ionisator wurde während der gesamten Versuchsreihe auf der niedrigsten Stufe des Drehreglers betrieben.

**Versuchskammern:** Zwei geschlossene Kammern aus 5mm dickem Acrylglas, Innenmaße: 1200mm x 800mm x 1040mm (Volumen: 0,9984m<sup>3</sup>) mit seitlicher Türe (200 x 400mm)  
Versuchskammer mit Ionisator, Referenzkammer ohne Ionisator

**Verneblungsgerät:** Flaem®N Masterneb F400

**Ventilator:** Ventilator Aeolus N14, Lüfter für Notebooks o.ä. ohne Gehäuse

**Mikrobiologische Nährmedien:** Plate-Count-Agar (für Bakterien und Hefen) und YGC-Agar (für Schimmelpilze)

**Ozon-Messung:** Dräger Gasdetektion accuro mit Dräger-Teströhrchen für Ozon (0,05 – 1,4 ppm)

**Mikroorganismen:** *Escherichia coli* ATCC 25922, *Saccharomyces cerevisiae* DSMZ 70449, *Clostridium perfringens* ATCC 13124, *Bacillus subtilis* (Eigenisolat), *Penicillium commune* (Ringversuchsstamm)

1 von 16

Alle Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Proben. Der Prüfzeitraum bezieht sich auf den Zeitraum zwischen Probeneingang und Prüfberichtserstellung. Dieser Prüfbericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung der CENAS AG, auch nicht auszugsweise, vervielfältigt oder veröffentlicht werden.

### 3. Versuchsaufbau

#### 3.1. Versuchskammern

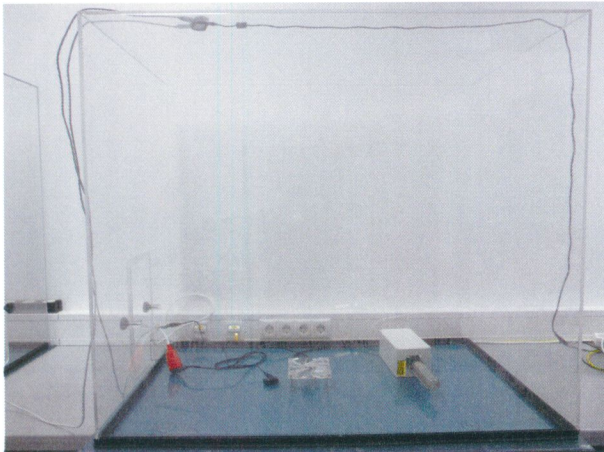


Abb. 1: Versuchskammer mit Ionisator

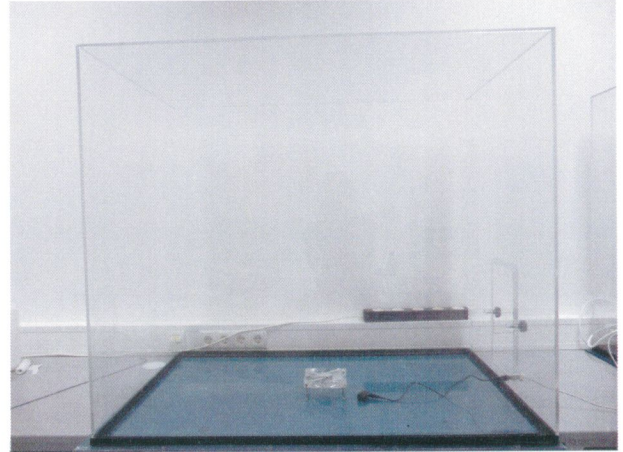


Abb. 2: Referenzkammer ohne Ionisator

#### 3.1. Versuchsaufbau 1:

**Sedimentationsverfahren:** In Versuchs (Abb. 1)- und Referenzkammer (Abb. 2) wurde mit einem handelsüblichen Vernebler jeweils die gleiche Menge (1 – 2ml) einer Bakterien- bzw. Schimmelpilzsuspension mit definierter Keimzahl eingeblasen und anschließend zur gleichmäßigen Verteilung der Bakterien in der Luft der Ventilator eingeschaltet. Nach 5 Minuten wurden jeweils 4 Nährbodenschalen (Durchmesser 90mm) mit unselektiven Nährmedien an den zuvor festgelegten Stellen in den Kammern platziert und für 30 Minuten offen stehen gelassen (Ermittlung der Luftkeimzahl im Sedimentationsverfahren zum Zeitpunkt 0). Der Abstand der Nährbodenplatten vom Ionisator betrug maximal

50 cm. Nach dem Entfernen der Nährbodenschalen aus den Kammern wurde in der Versuchskammer der Ionisator eingeschaltet und weitere Nährbodenschalen nach 3, 6, 9 und 24 Stunden für jeweils 30 Minuten eingestellt. Diese Nährbodenschalen wurden unter den für den getesteten Mikroorganismus optimalen Bedingungen inkubiert und danach die Bakterienkolonien ausgezählt.

#### 3.2. Versuchsaufbau 2:

Die Nährbodenschalen wurden vor Versuchsbeginn mit einer definierten Bakterien- bzw. Schimmelpilzsuspension beimpft. Zum Zeitpunkt 0 wurden diese beimpften Nährböden in die Kammern eingestellt und in der Versuchskammer der Ionisator eingeschaltet (Abb. 2 und 3). Der Abstand der Nährbodenplatten vom Ionisator betrug bei den Versuchen maximal 50 cm. Nach 1, 2, 3 und 6 Stunden wurden Schalen entnommen, wie oben unter den für den getesteten Mikroorganismus optimalen Bedingungen inkubiert und danach die Bakterienkolonien ausgezählt. Die Keimzahlen zum Zeitpunkt 0 wurden durch Inkubation analog beimpfter Nährböden ermittelt, die nicht in die Kammern verbracht wurden.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Versuchsaufbau 1

Bei den Ergebnissen des Versuchsaufbaus 1 zeigte sich, daß in der Versuchskammer mit dem Ionisator eine deutliche Keimreduktion erfolgte (Abb. 5). Nach 3 Stunden war *E. coli* in der Versuchskammer nicht mehr nachweisbar. Allerdings nahmen auch die Keime in der Referenzkammer rapide ab.

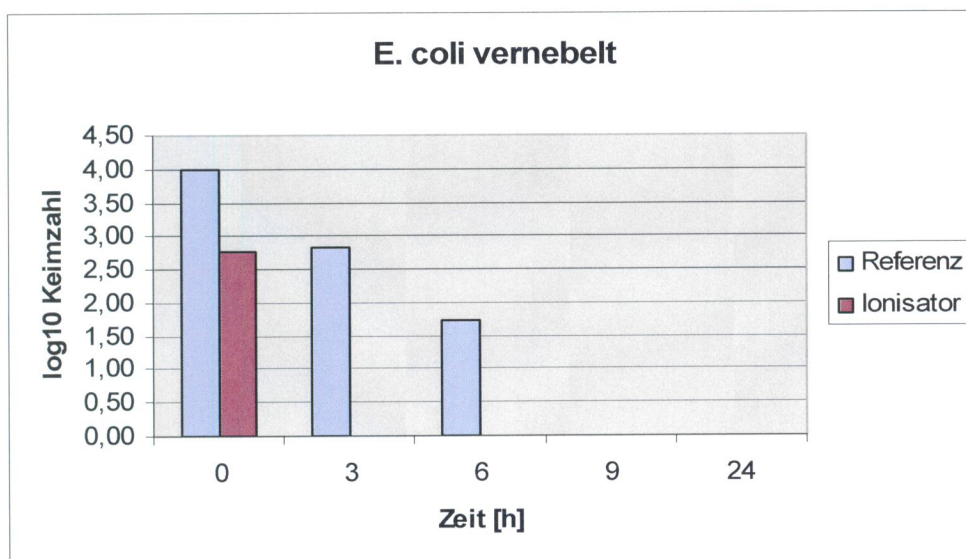


Abb.5: Keimreduktion von *Escherichia coli* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken), Sedimentationsverfahren

Ähnlich stellten sich die Versuche mit anderen Bakterien dar (Abb. 6 – 9). Da auch die Keimzahlen zum Zeitpunkt 0 in beiden Kammern bei identisch eingeblasenen Keimmengen unterschiedliche Ergebnisse lieferten, wurde bei den weiteren Durchgängen von diesem Versuchsaufbau abgesehen. Die Wirkung des Ionisators war aufgrund dieses Sachverhaltes nur schwer ermittelbar. Außerdem zeigte sich hier, dass die Untersuchungsintervalle feiner aufgelöst auf die Anfangsstunden (0 – 6 Stunden) gelegt werden sollten.

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

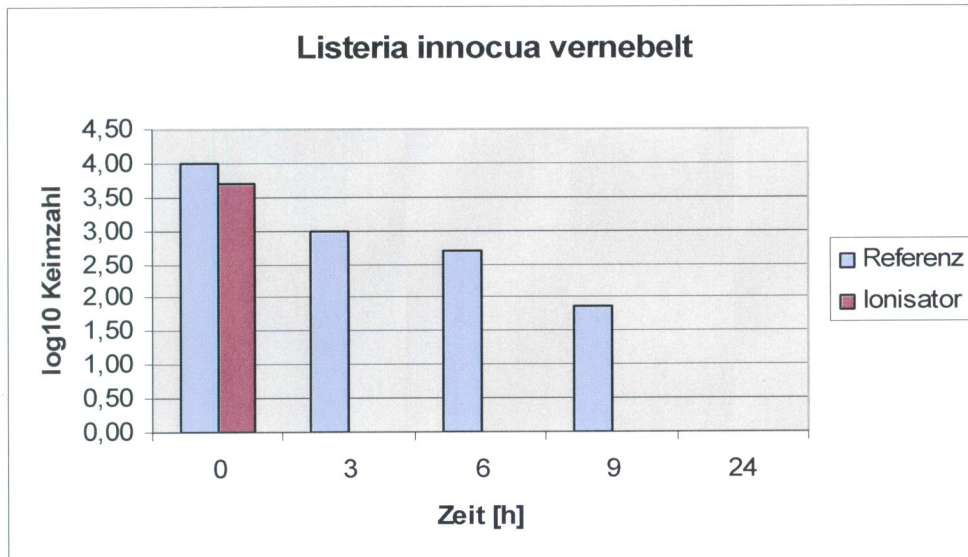


Abb.6: Keimreduktion von *Listeria innocua* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken), Sedimentationsverfahren

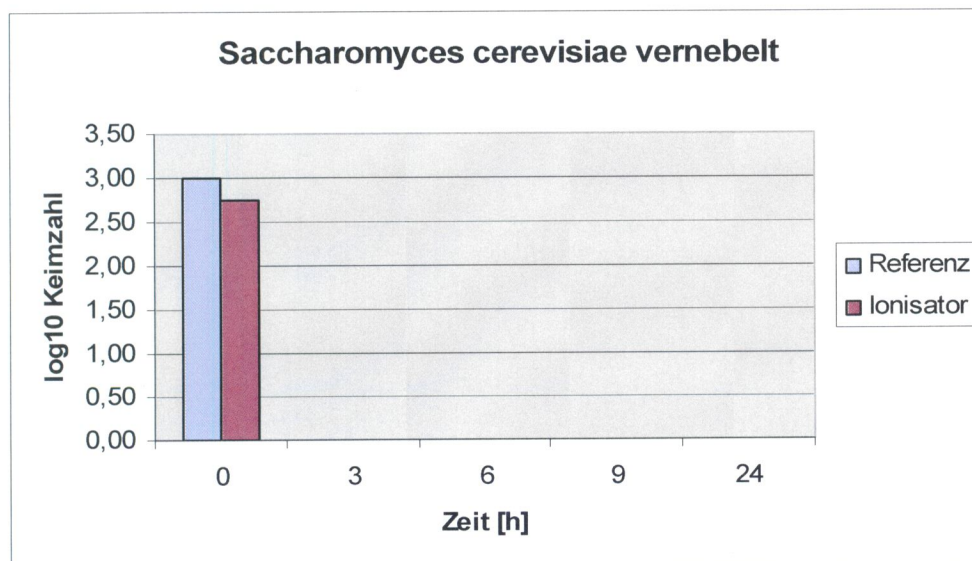


Abb.7: Keimreduktion von *Saccharomyces cerevisiae* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken), Sedimentationsverfahren

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

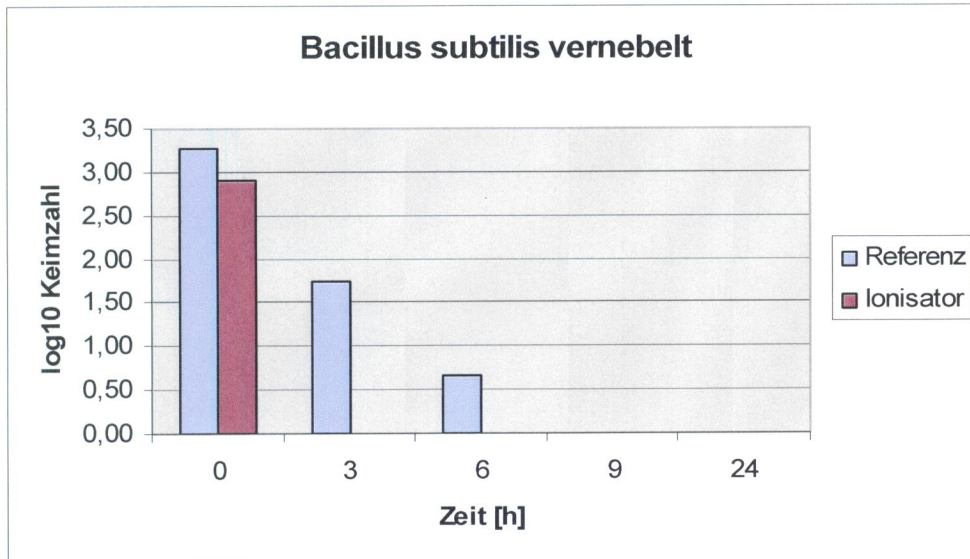


Abb.8: Keimreduktion von *Bacillus subtilis* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken), Sedimentationsverfahren

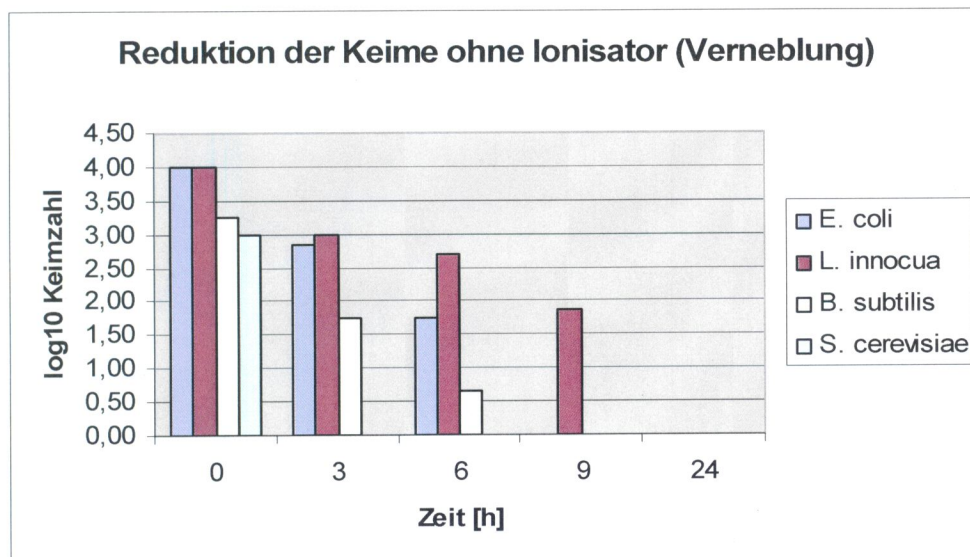


Abb.9: Keimreduktion in der Referenzkammer (ohne Ionisator), Sedimentationsverfahren

#### 4.2. Versuchsaufbau 2

Im Versuchsaufbau 2 wurden beimpfte Nährbodenschalen für 1, 2, 3 und 6 Stunden der Wirkung des Ionisators ausgesetzt. Auf diese Weise blieb die Keimzahl in der Referenzkammer über die Versuchsdauer nahezu gleich, während mit dem Ionisator eine kontinuierliche Abnahme der Keimzahlen erreicht wurde.

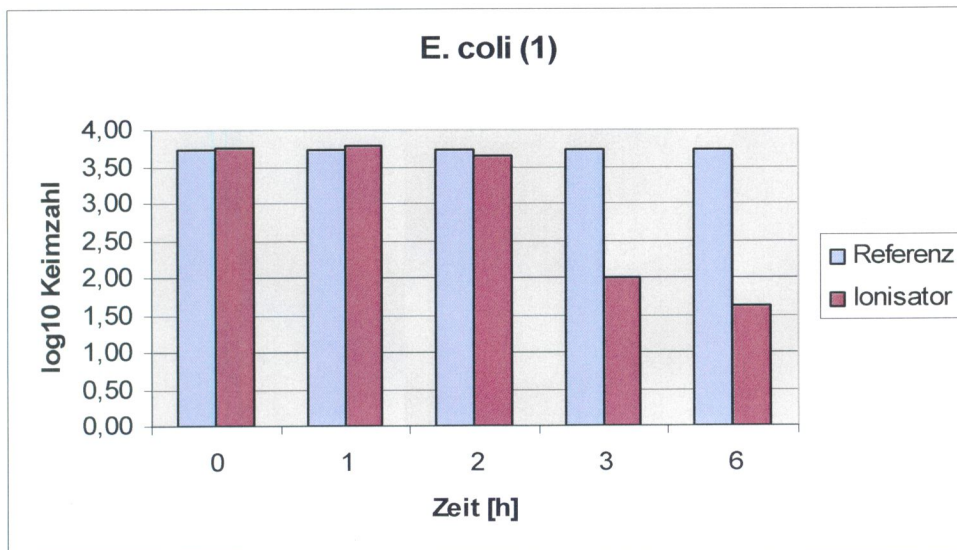


Abb.10: Keimreduktion von *E. coli* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

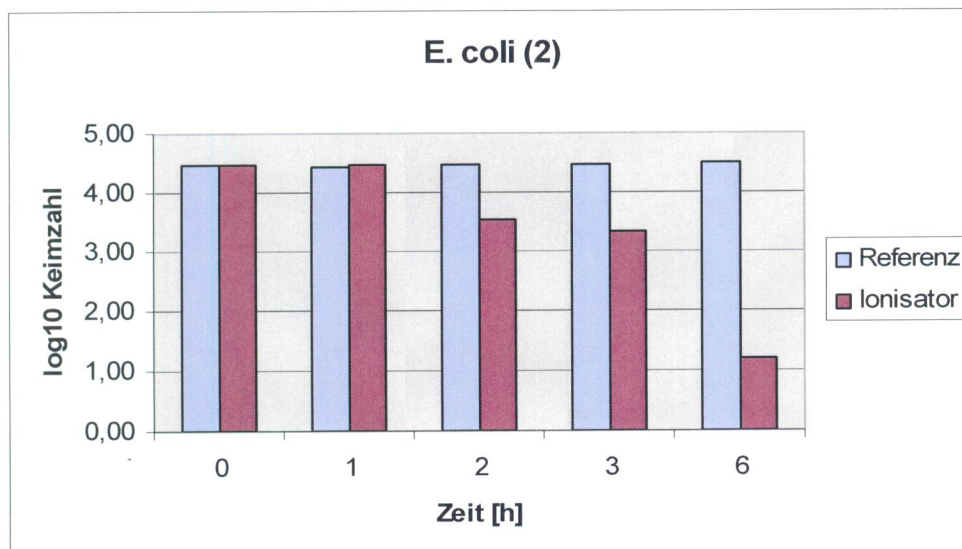


Abb.11: Keimreduktion von *E. coli* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

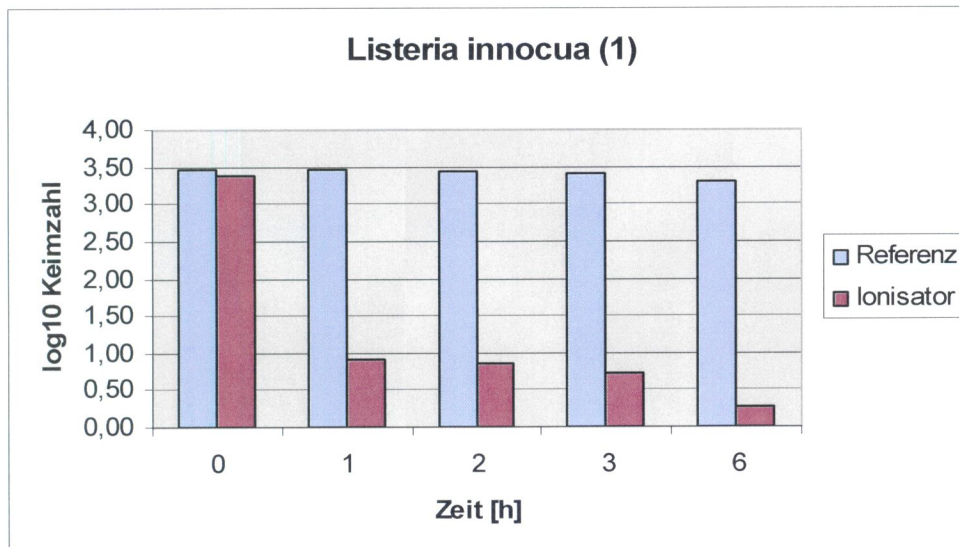


Abb.12: Keimreduktion von *Listeria innocua* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

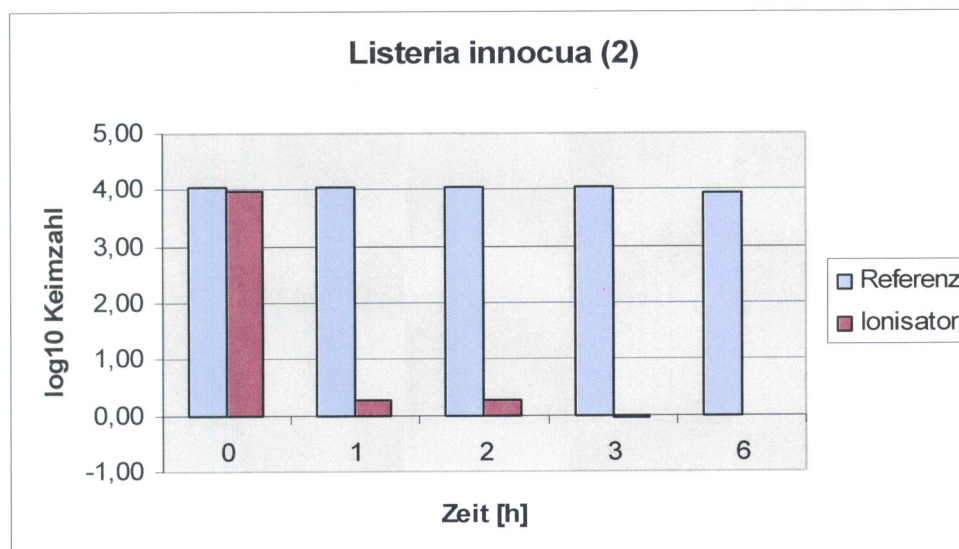


Abb.13: Keimreduktion von *Listeria innocua* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

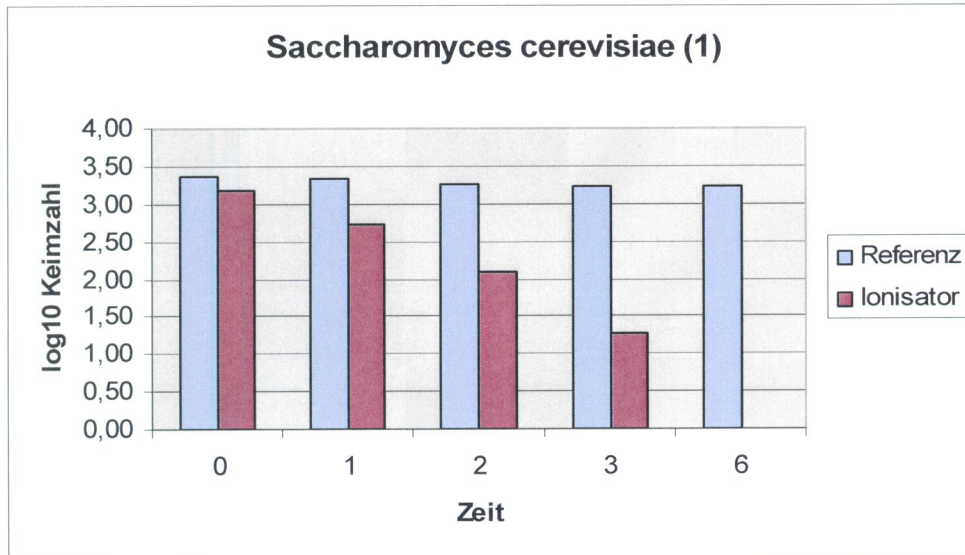


Abb.14: Keimreduktion von *S. cerevisiae* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

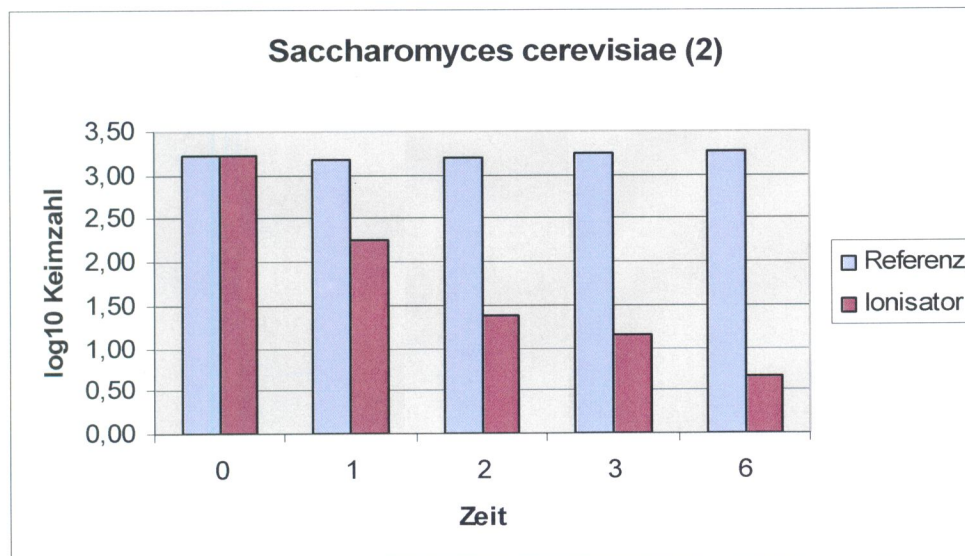


Abb.15: Keimreduktion von *S. cerevisiae* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)



CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

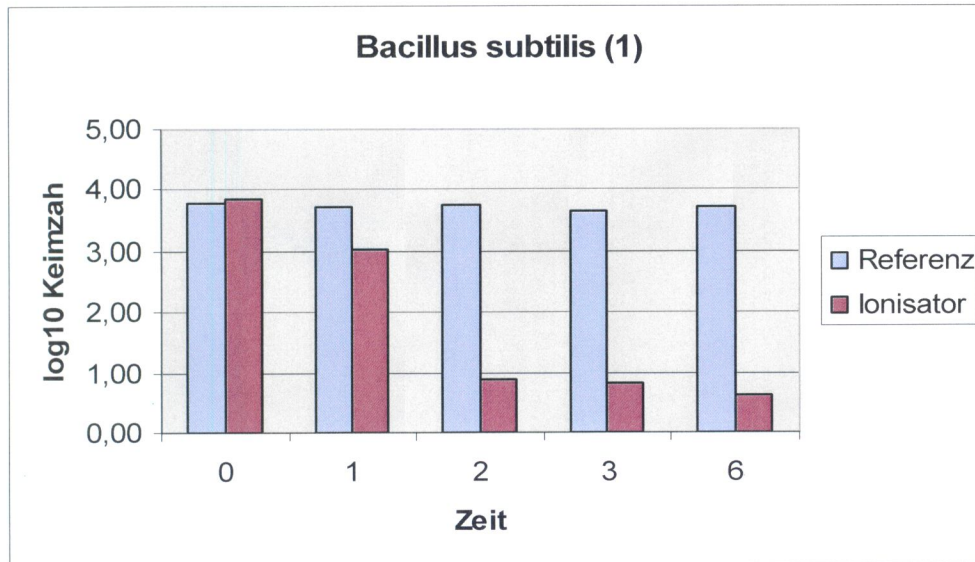


Abb.16: Keimreduktion von *B. subtilis* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

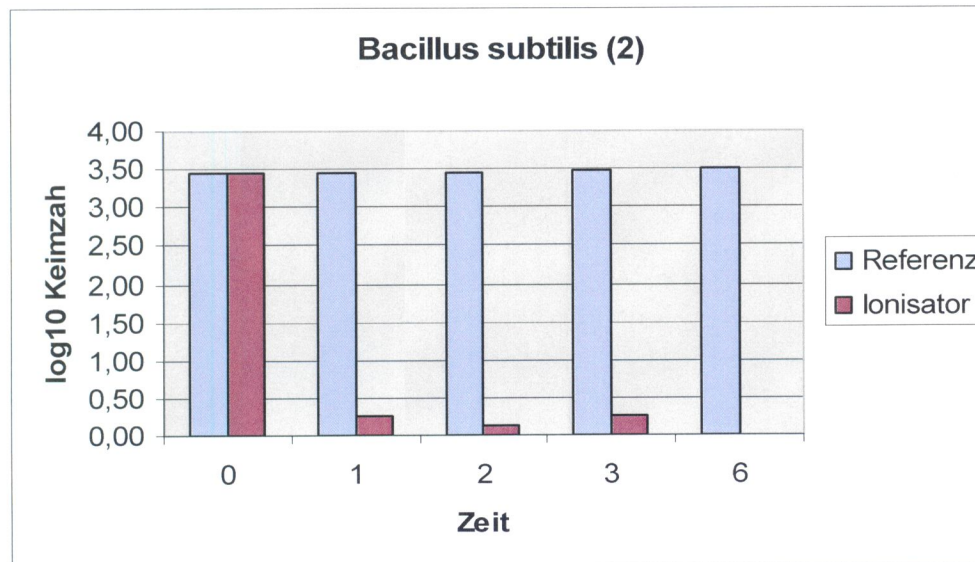


Abb.17: Keimreduktion von *B. subtilis* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

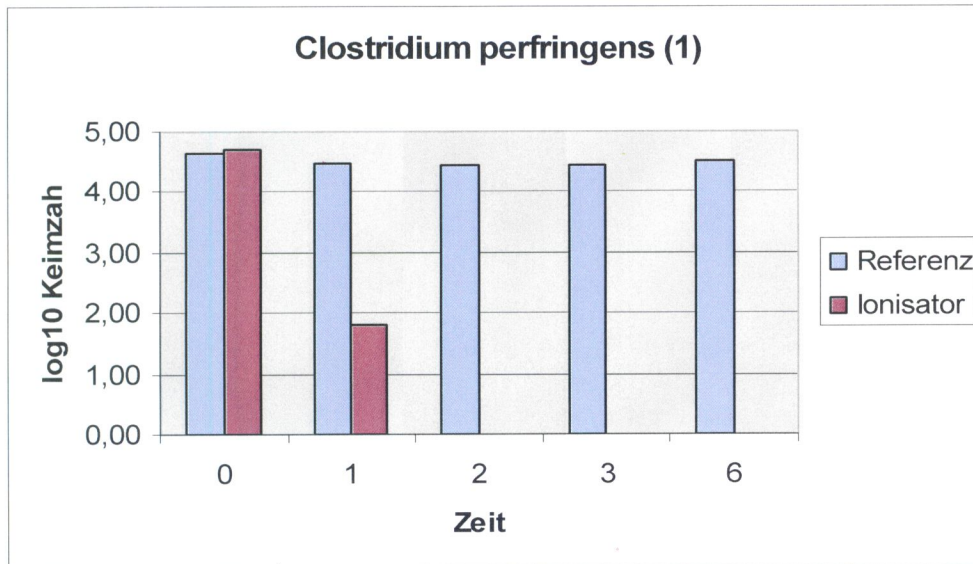


Abb.18: Keimreduktion von *C. perfringens* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

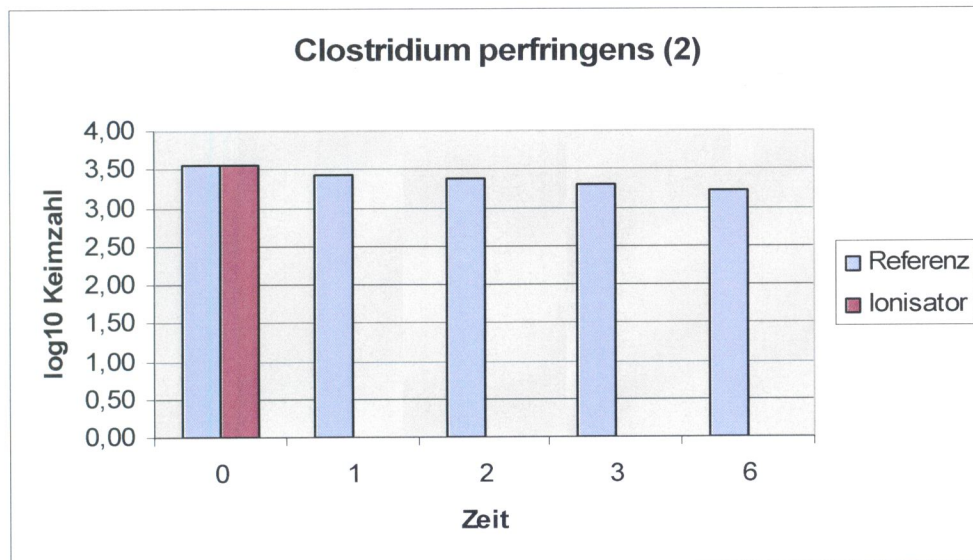


Abb.19: Keimreduktion von *C. perfringens* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

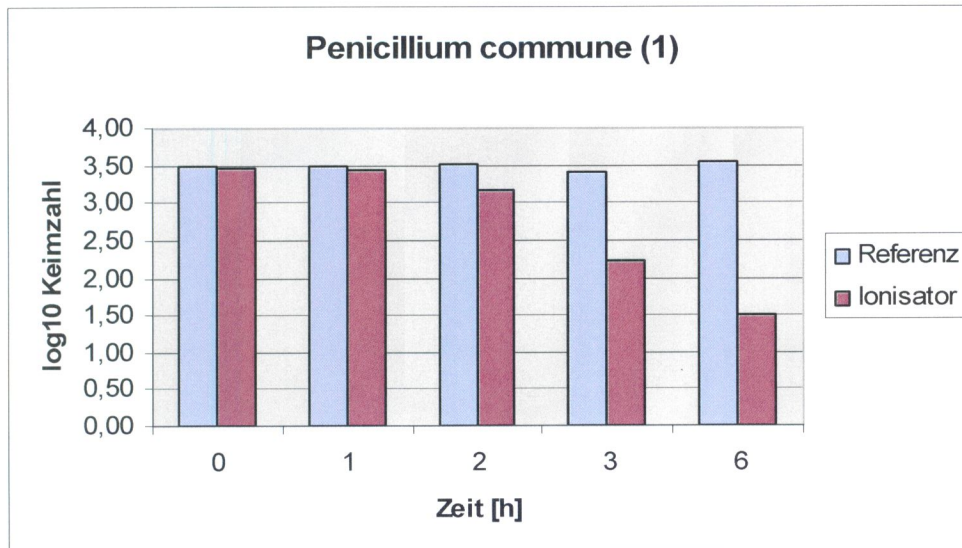


Abb.20: Keimreduktion von *P. commune* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

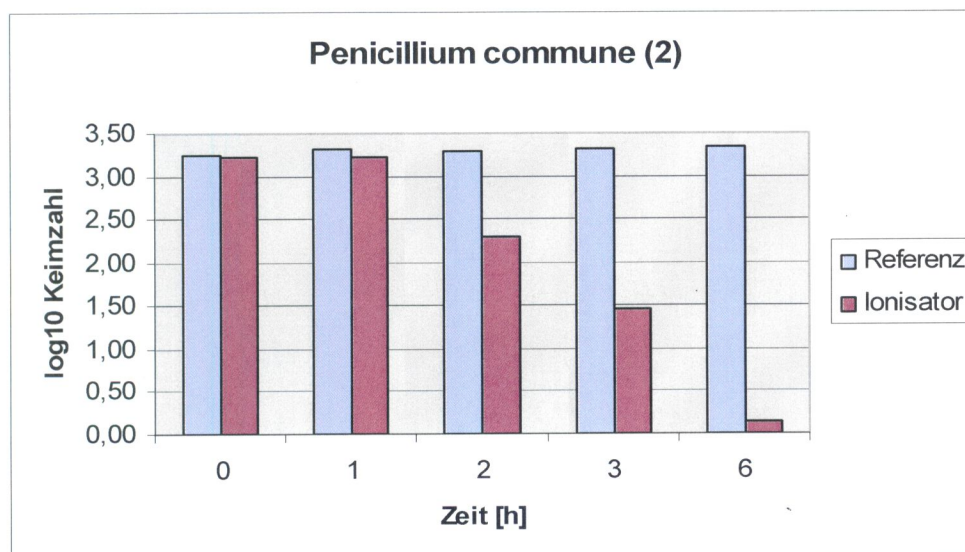


Abb.21: Keimreduktion von *P. commune* mit (violetter Balken) und ohne Ionisator (blauer Balken)

Die Keimreduktion durch den Ionisator kann für jeden Keim getrennt durch die Ermittlung des Reduktionsfaktors, d.h. durch die Reduktion der logarithmierten Keimzahl nach 1, 2, 3 und 6 Stunden im Verhältnis zum Logarithmus der Anfangskeimzahl ausgedrückt werden. Die Ergebnisse der Keimreduktion für die verschiedenen Keime lassen sich somit wie folgt zusammenfassen:

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

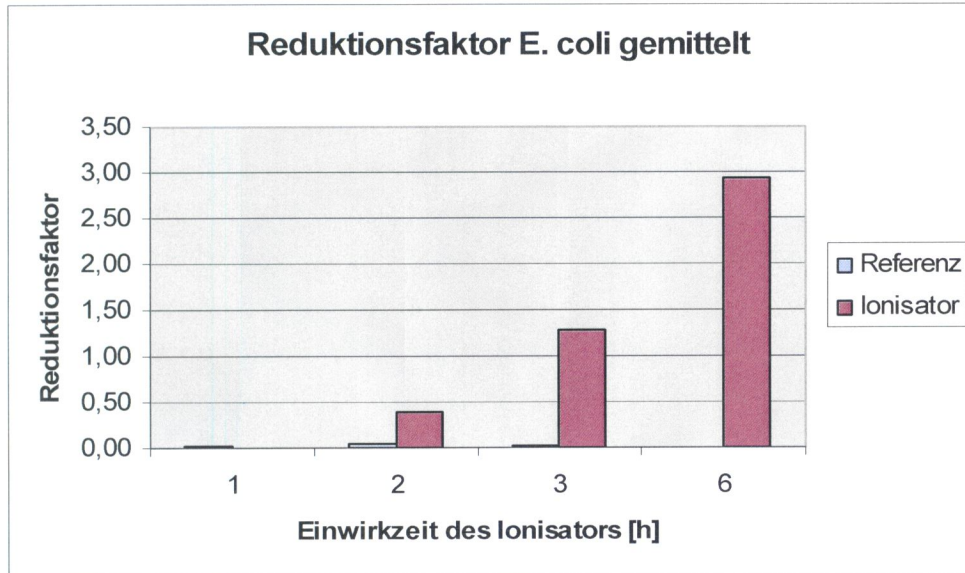


Abb. 22: Reduktionsfaktor für *E. coli* innerhalb von 6 Stunden

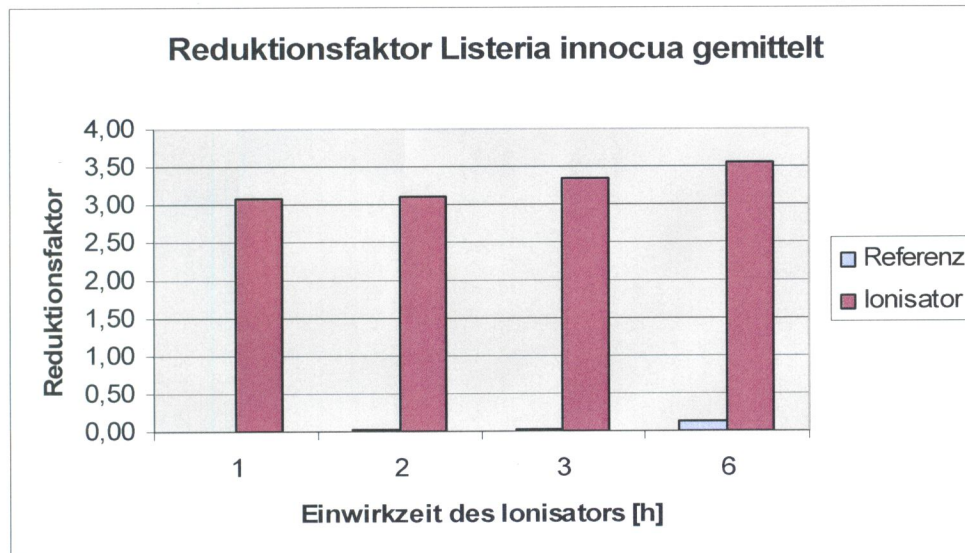


Abb. 23: Reduktionsfaktor für *L. innocua* innerhalb von 6 Stunden

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

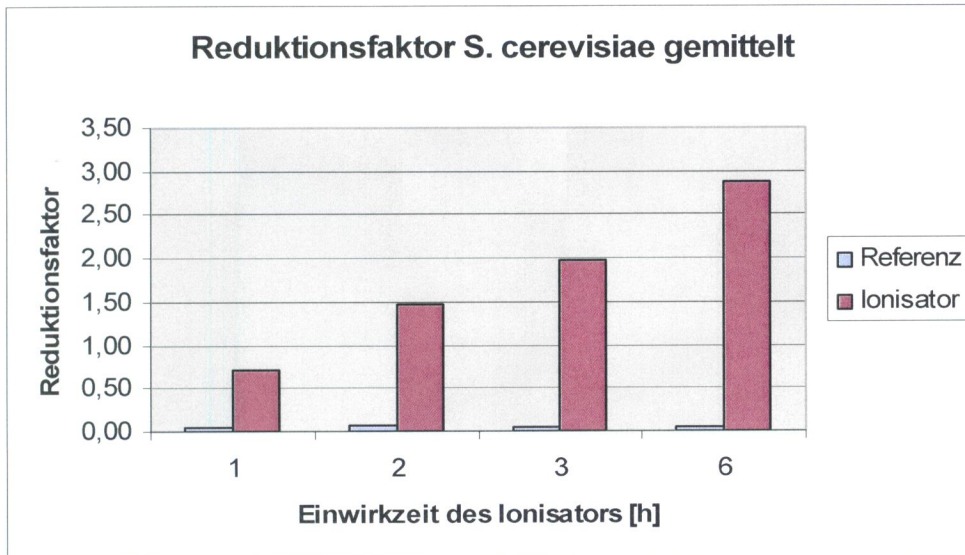


Abb. 24: Reduktionsfaktor für *S. cerevisiae* innerhalb von 6 Stunden

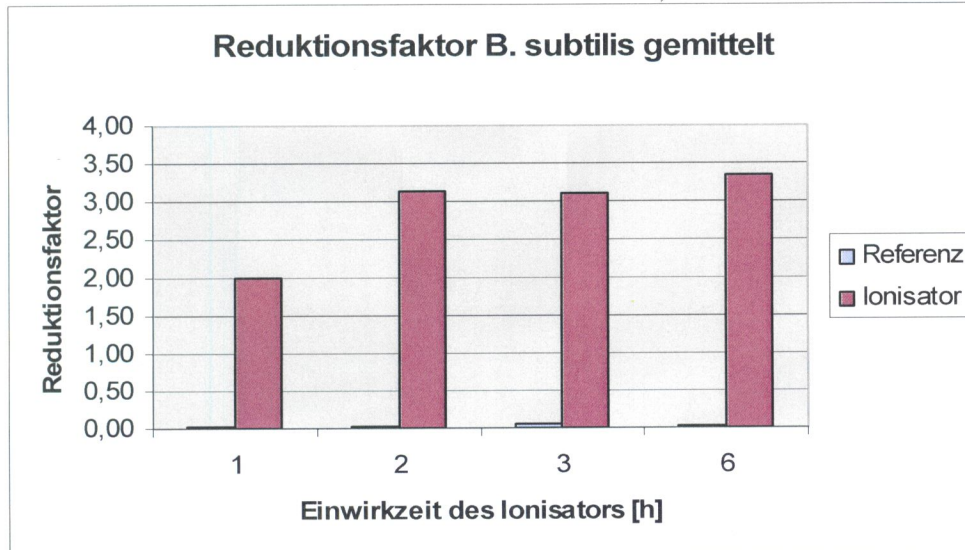


Abb. 25: Reduktionsfaktor für *B. subtilis* innerhalb von 6 Stunden

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

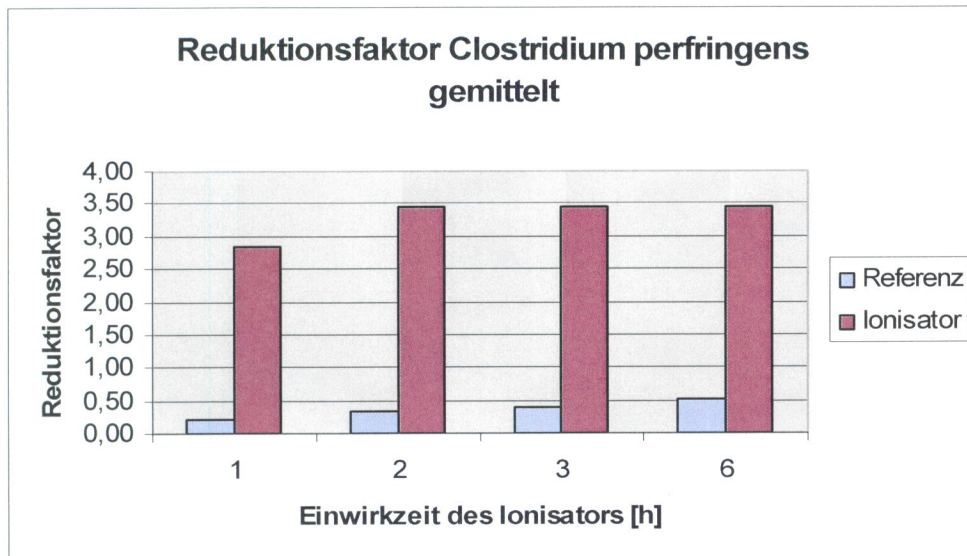


Abb. 26: Reduktionsfaktor für *C. perfringens* innerhalb von 6 Stunden

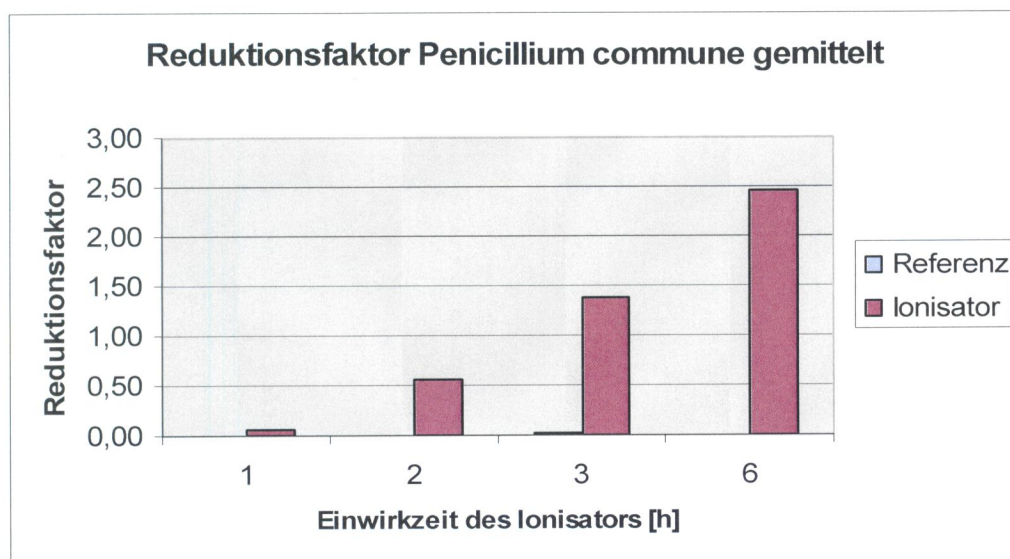


Abb. 27: Reduktionsfaktor für *Penicillium commune* innerhalb von 6 Stunden

CENAS AG · Fritz-Hornschuch-Str. 9 · 95326 Kulmbach

### 4.3. Kontrollmessungen

#### 4.3.1. Keimreduktion in beiden Kammern ohne Ionisator

Um sicherzustellen, daß sich die beiden Kammern auch ohne den Einsatz des Ionisators nicht unterscheiden, wurde eine Kontrollmessung nach Versuchsaufbau 2 mit *E. coli* in beiden Kammern durchgeführt.

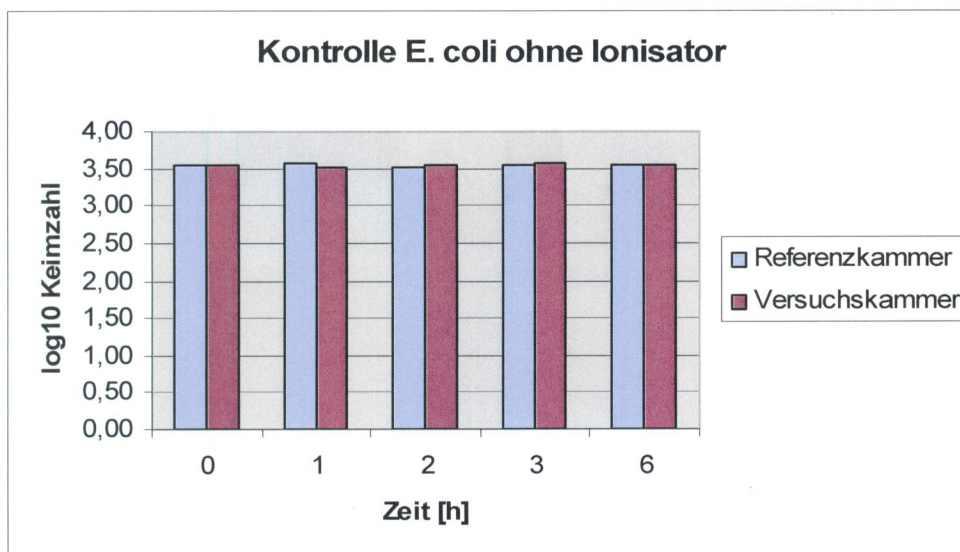


Abb.28: Kontrollmessung von *E. coli* in der Versuchskammer ohne Ionisator (violetter Balken) und in der Referenzkammer (blauer Balken)

#### 4.3.2. Ozonmessung

Bei der bipolaren Luftionisation entsteht als Nebenprodukt Ozon ( $O_3$ ). Da das Luftvolumen in den Kammern begrenzt ist, könnte sich Ozon dort anreichern. Deshalb wurde der Ozongehalt in der Versuchskammer mit dem Dräger Gasetektionsgerät nach verschiedenen Zeitpunkten nach Einschalten des Ionisators gemessen.

Zeit [min]	0	10	30	60	120
Ozonwert[(ppm)]	< 0,05	0,2	0,7	1,0	> 1,4

Tab. 1: Ozonmessung in der Versuchskammer

## 5. Diskussion

Bei den Versuchen nach Versuchsaufbau 1 zeigte sich sehr schnell, daß eine gleichmäßige Verteilung und Persistenz der Keime im durchgeführten Vernebelungsverfahren nicht möglich war. Die Keime waren innerhalb weniger Stunden durch das Sedimentationsverfahren in beiden Kammern nicht mehr nachweisbar, was wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, daß sich die Keime auf den inneren Oberflächen der Kammern niederschlugen und so in der Luft nicht mehr nachweisbar waren (Abb. 9). Eine weitere Erkenntnis aus diesen Versuchen war, daß die Wirkung des Ionisators schon innerhalb der ersten Stunden eintritt, deshalb wurde der Untersuchungszeitraum in den Folgeversuchen von 24 Stunden auf 6 Stunden verkürzt.

Die Versuche nach Versuchsaufbau 2 zeigten eine deutliche Keimreduktion aller untersuchter Bakterien und Schimmelpilze durch den Einsatz des Ionisators. Durch eine Kontrollmessung (Abb. 28) konnte nachgewiesen werden, daß sich die beiden Kammern ohne den Einsatz des Ionisators nicht unterschieden und der Effekt der Keimreduktion somit eindeutig auf den Ionisator zurückzuführen war. In dieser Versuchsanordnung blieben die Keimzahlen in der Referenzkammer ohne Ionisator weitgehend konstant.

Betrachtet man die Reduktionsfaktoren für die einzelnen Keime (Abb. 22 – 27), so läßt sich eine Rangordnung der Mikroorganismen nach ihrer Empfindlichkeit gegenüber der Ionisation aufstellen: Als empfindlichste Keime erwiesen sich *Clostridium perfringens* und *Listeria innocua*, hier wurde jeweils eine gemittelte Reduktion um 3 Log-Stufen innerhalb einer Stunde ermittelt. Die Reduktion um 3 Log-Stufen erfolgte bei *Bacillus subtilis* erst nach 2 Stunden, während die Keimzahl von *Saccharomyces cerevisiae* nach 3 Stunden um nur 2 Log-Stufen zurückging. Als relativ resistent gegenüber der Ionisation erwiesen sich *E. coli* und *Penicillium commune*, bei denen eine Reduktion um 3 Log-Stufen erst nach 6 Stunden erfolgte.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Keimzahlen aller in diese Versuchsreihe getesteten Mikroorganismen innerhalb einer 6-stündigen Einwirkzeit des Ionisators um ca. 3 Log-Stufen reduziert wurden, wobei die Gram-positiven Bakterien am empfindlichsten reagierten. Allerdings zeigte sich, daß das als Nebenprodukt der bipolaren Ionisation gebildete Ozon sehr schnell relativ hohe Werte in der Versuchskammer erreicht. Da das Volumen der Kammer begrenzt ist, reichert sich das Ozon an, erreicht schon nach 10 Minuten eine Konzentration von 0,2 ppm und liegt nach 2 Stunden schon außerhalb des Meßbereichs des Teströhrchens (Tab. 1). Das gebildete Ozon war auch sensorisch deutlich wahrnehmbar. Da es sich hierbei um ein äußerst reaktives Gas handelt, ist nicht auszuschließen, daß zumindest ein Teil der Keimreduktion auf die Wirkung des Ozons zurückzuführen ist.

Um den Einfluß dieses Nebenprodukts auszuschließen, wäre es erforderlich, die Versuchsreihe in der hier ermittelten Testanordnung (Versuchsaufbau 2) in einem belüfteten Raum zu wiederholen. Die Durchführung nach Versuchsaufbau 1 (Vernebelungsverfahren) wäre in einem belüfteten Raum nicht durchführbar gewesen, mit Versuchsaufbau 2 ist dies jedoch durchaus möglich.

Mit freundlichen Grüßen,



A. Kaetzke  
Laborleitung Mikrobiologie  
Kulmbach, den 08.11.2010



16 von 16

Alle Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Proben. Der Prüfzeitraum bezieht sich auf den Zeitraum zwischen Probeneingang und Prüfberichtserstellung. Dieser Prüfbericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung der CENAS AG, auch nicht auszugsweise, vervielfältigt oder veröffentlicht werden.