

5.2 Desinfektionsverfahren mit Gasen oder Aerosolen

Checkliste

Der Ablauf der Desinfektion unterteilt sich in:

- Identifikation schwer zu desinfizierender Bereiche
- Aufstellen der Gas-/Aerosolgeneratoren
- Ausbringung der Sensorik, von biologischen Indikatoren, ggf. von geeigneten chemischen Indikatoren
- Abdichten des Raumes
- Ausbringen des Wirkstoffes
- Einwirkzeit
- Lüftung; ggf. vorherige Neutralisationsreaktion
- Einsammeln der Indikatoren und Sensoren
- Auswertung und Beurteilung des Desinfektionserfolges

Zu den gasförmigen Desinfektionsmitteln im Sinne dieser Richtlinie zählen bei 21 °C gasförmige Substanzen, Dämpfe, Aerosole, Rauch, etc.

Gasförmige Desinfektionsmittel zeigen in der Anwendung spezifische Vor- und Nachteile. Zu den Vorteilen zählt die Anwendung in schwer zugänglichen Strukturen, sowie Oberflächen, die für eine nass-chemische Reinigung nicht in Frage kommen. Zu den Nachteilen gehören die geringe Durchdringungstiefe, weshalb Verfahren mit gasförmigen Substanzen nur nach gründlicher Reinigung Anwendung finden können, sowie die komplexere Handhabung und die hohe Toxizität gasförmiger Desinfektionsmittel.

Für die Verteilung der gasförmigen Substanz, also auch die Fähigkeit durch geringe Spaltmaße etc. zu dringen, ist die Umgebungstemperatur, die Dichte und die gerichtete Bewegung des ausgebrachten Desinfektionsmittels entscheidend. Temperaturunterschiede führen zu Konvektionsströmungen mit lokalen Erhöhungen oder Verringerungen der Desinfektionsmittelkonzentration. Bei einer wärmeren Außen- als Innenluft strömt die gasförmige Substanz an der Stallwand hinauf und in der Stallmitte hinunter, bei kälterer Außen- als Innenluft strömt sie an der Stallwand hinab und in der Stallmitte hinauf ¹.

5. Desinfektion

Anmerkung:

Für Luftfahrzeuge ist der Einsatz der hier beschriebenen Chemikalien i.d.R. nicht zugelassen bzw. befindet sich derzeit in der Erprobung.

Grundsätzliches

Bioindikatoren

Die Wirksamkeit der Anwendung von Desinfektionsmitteln in gasförmiger Form muss für jeden Raum mit seiner jeweiligen Innenausstattung und daraus resultierenden Mikroklima-Bereichen validiert werden. Da dies bei der Seuchenbekämpfung in der Regel nicht möglich ist, wird die Verwendung von Bioindikatoren empfohlen. Eine Arbeitsanweisung zur Herstellung und Auswertung der verschiedenen Edelstahl-Keimträger (1.4301, EN 10088-1), in Anlehnung an eine RKI-Leitlinie ² kann beim Friedrich-Loeffler-Institut erfragt werden (internetredaktion@fli.de). Anfertigung und Auswertung der Keimträger wird den Landesuntersuchungsämtern vorbehalten sein.

Hinweis:

Die bisher getesteten, kommerziell erhältlichen biologischen bzw. chemischen Indikatoren lieferten häufig falsch negative Ergebnisse bei der Validierung von Desinfektionsverfahren mit Gasen oder Aerosolen und suggerierten fälschlicherweise einen guten Desinfektionserfolg.

Sensortechnik

Mit Hilfe einer Wärmebildkamera sind Temperaturgradienten in den Bereichen bzw. an Bauteilen detektierbar. Luftfeuchte/Temperatur-Sensortechnik mit Funkdatenübertragung kann eine Gas-/Aerosolverteilung in Echtzeit abbilden und ermöglicht zudem die Protokollierung des Desinfektionsverlaufes. Die Funkdatenübertragung erlaubt ein Ablesen ohne Aufenthalt im gasförmigen Desinfektionsmittel. Es ist zwingend notwendig für die Beurteilung des Desinfektionserfolges im gesamten Raum die Sensoren in schwer desinfizierbaren Bereichen zu positionieren.

Schwer zu desinfizierende Bereiche

Toträume, weit vom Generator entfernte Bereiche, (Decken-)Ecken von Räumen, verschlossene Bereiche bzw. Spaltmaße, Raumdecken und insbesondere im Vergleich zur Umgebung *wärmere Oberflächen* sind für gasförmige Desinfektionsmittel schwierig erreichbare Bereiche eines Raumes. Ebenso werden vor der Ausbringung nasse Flächen nur sehr schlecht desinfiziert ^{3, 4}. Zielführend ist es daher, nur in trockenen Räumen eine gasförmige Desinfektion durchzuführen, größere Temperaturgradienten zu

5. Desinfektion

vermeiden und bei Bedarf den Desinfektionszyklus entsprechend den Gegebenheiten anzupassen.

Erfolgskontrolle und Freigabe

Die gasförmige Desinfektion verlief erfolgreich, wenn alle Bioindikatoren nach der für den Testkeim festgelegten Bebrütungsdauer (Sporen = 7 d), eine Reduktion der Keimlast von mindestens 10^4 KBE/g bzw. MPN/g oder mehr aufweisen. Die Entscheidung zur Wiederholung bzw. Freigabe obliegt der zuständigen Behörde.

Besonderheiten beim Arbeitsschutz

Desinfektionsmittel sind häufig akut toxisch. Insbesondere die Inhalation gasförmiger Desinfektionsmittel mit einer geringen Partikelgröße führt zu einem Eintrag auch in tiefere Atemwege, mit dem Potenzial der Schädigung von Epithelien des oberen und unteren Respirationstraktes und der Behinderung des Gasaustausches. Demzufolge muss bei nicht vermeidbaren Tätigkeiten im ausgebrachten Desinfektionsmittel Atemschutztechnik entsprechend den verwendeten Chemikalien(-gemischen) und Konzentrationen, Stiefel und Schutzkleidung, die alle Hautpartien bedecken, getragen werden.

Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)

Essigsäure 10 ppm (25 mg/m^3)^{5, 0}, Chlordioxid 0,1 ppm ($0,28 \text{ mg/m}^3$)^{5, 0}

Die folgenden Chemikalien sind krebserregend (KanzKat: 4) jedoch ist die Datenlage gut genug, um Grenzwerte vorgeben zu können, bei denen von keiner erhöhten Krebsgefahr ausgegangen werden kann:

Formaldehyd 0,3 ppm ($0,37 \text{ mg/m}^3$)^{5, 0}, Wasserstoffperoxid 0,5 ppm ($0,71 \text{ mg/m}^3$)^{0, 7}

Folgende Chemikalien stehen im Verdacht, Krebs zu erregen und besitzen auf Grund der weniger guten Datenlage keinen angegebenen Grenzwert (KanzKat: 3B). Die angegebenen Grenzwerte sind daher nicht geltendes Recht, sondern wissenschaftliche Schätzungen:

Peressigsäure 0,1 ppm ($0,32 \text{ mg/m}^3$)^{8, 9}, Ozon 0,1 ppm ($0,2 \text{ mg/m}^3$)¹⁰,

Explosionsgefahren

Gase, Aerosole und Stäube können je nach Konzentration in Gegenwart einer Zündquelle explodieren. Die untere Explosionsgrenze (UEG) darf bei den Arbeiten deshalb nicht überschritten werden. Die für das Erreichen eines Desinfektionserfolges erforderlichen Konzentrationen liegen deutlich unter der UEG. Jedoch sollten die Konzentrationen zum Temperatúrausgleich nicht beliebig erhöht werden.

5. Desinfektion

Sauerstoffabspalter können zudem in Anwesenheit von weiteren explosiven Stoffen brand- bzw. explosionsfördernd sein.

Anwendung von Desinfektionsmitteln als Gas

Begasungsverfahren können in Spezialfällen angewendet werden, z. B. Formaldehyd-Begasung bei Bruteiern und Brutapparaten oder Ozonbegasung von Fahrzeugkabinen. Auch Peressigsäure kann als gasförmiges Desinfektionsmittel Anwendung finden.

Voraussetzung für die Begasung zur Desinfektion ist ein ausreichend dichter und temperierter Raum und die entsprechende Technik, so dass die erforderliche Konzentration des Begasungsmittels über die notwendige Zeit im Raum aufrechterhalten werden kann.

Formaldehyd

Beim Formaldehyd ist darauf zu achten, dass kalte Flächen zur Kondensation führen und Formaldehyd dort zu nahezu wirkungslosem Paraformaldehyd polymerisiert. Deutlich wärmere Gegenstände werden ebenso wenig desinfiziert, da lokale Konvektionsströmungen zu einer verringerten Kontaktrate von Formaldehyd und Oberfläche führen^{11, 12}. Desinfektionsgut, das nach der Verdampfung langsam erwärmt wird, wird hingegen besser desinfiziert^{13, 14}. Nasse Flächen wirken Formaldehydzehrend¹⁵ und senken die Konzentration im restlichen Raum. Für die Formaldehydbegasung sind Sachkunde- und Ersthelfernachweis des Personals sowie Erlaubnis der zuständigen Behörde erforderlich (siehe **TRGS 522**). Die UEG liegt bei Formaldehyd-Luftgemischen bei 7 Vol% (70.000 ppm bzw. 88 g/m³) und damit deutlich über den üblicherweise eingesetzten Konzentrationen von 4.000 ppm¹⁶.

Chlordioxid

Chlordioxid ist in seiner breiten Wirkung stark temperatur- und pH-abhängig. Bei 11 °C kondensiert der Reinstoff zu einer explosiven Flüssigkeit¹⁷. Bei Zimmertemperatur wird das Verfahren mitunter einer Formaldehydbegasung vorgezogen, da die Einwirkzeiten geringer sind und vor Lüftung keine Neutralisationsreaktion erfolgen muss. Ferner ist Chlordioxid bereits in geringen Dosen hochwirksam.

Ozon

Ozon weist ebenfalls ein breites Wirkspektrum auf, dabei *erhöht sich die Wirksamkeit bei niedrigeren Temperaturen*¹⁸. Ferner hinterlässt es bei der Wasserdesinfektion keine toxischen Rückstände und wirkt dort schneller als Chlor. Generell ist jedoch eine hohe Konzentration z. B. 25 ppm¹⁹ Ozon nötig und eine Luftfeuchtigkeit von 60 - 80 %²⁰. Schläuche, Gummis und Dichtungen werden von Ozon stark angegriffen²¹.

Anwendung von Desinfektionsmitteln als Aerosol

Technische Voraussetzungen

Dampf- bzw. Gasgeneratoren

sind Generatoren, die mit Hilfe einer Zündquelle das Desinfektionsmittel (z. B. Wasserstoffperoxid) initial in seine Gasphase bringen und über die heiße Ausströmluft des Generators im Raum verteilen. Unmittelbar nach Eintritt in den zu desinfizierenden Raum fällt die Temperatur unter den Taupunkt und das gasförmige Desinfektionsmittel fällt in seine Flüssigphase zurück ²².

Aerosolgeneratoren

sind Generatoren, die mit Hilfe des Kollisions- bzw. Venturiverfahrens oder anderer Verfahren Flüssigkeiten fein verstäuben ³. Für Desinfektionszwecke sind sie einsetzbar sofern die produzierte Tröpfchengröße zwischen 5 - 25 µm liegt ³. Gute Desinfektionsergebnisse wurden mit der mittleren Teilchengröße von 7,5 µm erzielt. Generell ist bei Aerosolisierungen unter dem Gefrierpunkt und einhergehender Eiskristallbildung die biozide Effektivität stark reduziert ³.

Drucklufttechnik

Die Kompressoren sollten auf die jeweiligen Anforderungen des Aerosolgenerators in der jeweiligen Konfiguration angepasst werden und entsprechend der Maximalförderleistung des Aerosolgenerators angeschafft werden. Eine Druckluftbereitstellung mittels Druckluftflaschen erscheint denkbar. Allerdings ist dieser Prozess schlechter steuerbar und es kann in der kalten Jahreszeit zu Einfrieren der Druckluftleitungen bei Druckluftflaschen kommen.

Elektrische Kompressoren besitzen den Vorteil der einfachen An- und Abschaltung per handelsüblicher Funk- bzw. Schaltersteckdose außerhalb des mit Aerosol beaufschlagten Bereiches.

Desinfektionsmittel

Formaldehyd

Die Verwendung von Formaldehyd als Aerosol statt Gas verringert die Geschwindigkeit der Polymerisation bei ähnlicher biozider Wirkung ²³.

Wasserstoffperoxid

Verdampftes Wasserstoffperoxid ist ein wirksames Biozid bei schwacher fungizider Wirkung, dass nach einiger Zeit in atoxische Bestandteile zerfällt. Beim Vorliegen von

5. Desinfektion

nassen Flächen oder im Falle der Kondensatbildung an kalten Oberflächen, kommt es zu einer lokalen Anreicherung in der wässrigen Phase. Dies führt zu einer lokal erhöhten Biozidie und Korrosivität und zu einer erheblich gesenkten Biozidie im restlichen Raum, sofern nicht eine stete Nachproduktion erfolgt ¹⁵.

Peressigsäure (PES)

PES ist im Handel als wasserstoffperoxid- bzw. essigsäurestabilisiertes Gleichgewichtsgemisch erhältlich. In Untersuchungen zur Validierung des Verfahrens am Friedrich-Loeffler-Institut hat sich der Wasserstoffperoxidtyp (Ausgangskonzentrationen Wasserstoffperoxid 20 - 24 %, Peressigsäure 4 - 6 % und Essigsäure 8 - 10 %) als besonders gut aerolisierbar bewährt. Die Gebrauchslösung ist stets frisch herzustellen. Die Verwendung von Korrosionshemmern im Aerosol scheint durchaus möglich ²⁴, jedoch ist bei der Alkalisierung die verminderte Halbwertszeit der PES zu beachten.

Konzentrationen

Bei 21 °C sind für Ställe und Lüftungsanlagen eine PES-Konzentration von 1,2 % und eine Wasserstoffperoxidkonzentration von 5,8 % bei mindestens 30 min Einwirkzeit (bei Mykobakterien 60 min Einwirkzeit) anzuwenden. Bei niedrigeren Temperaturen wird *keine* Erhöhung der Wirkstoffkonzentration, jedoch eine Erhöhung der Einwirkzeit empfohlen, da die gasförmige Ausbreitung und Desinfektionswirkung ³ verringert sind.

Ablauf und angestrebte Parameter einer PES-Aerosolisierung

Ein Abdichten des Raumes ist zwingend erforderlich (Folien + Klebeband). Erst dann kann eine Aerosoldesinfektion überall wirksam erfolgen. Zu Beginn sollte die Ausgangsluftfeuchtigkeit 45 % nicht unterschreiten. Ist dies nicht der Fall, kann im Vorfeld durch Aerosolisierung von Wasser die Ausgangsluftfeuchtigkeit an besonders trockenen Tagen gesteigert werden. Eine Mindestausbringmenge $\geq 11 \text{ ml/m}^3$ als Aerosol in hermetisch abgedichteten Räumlichkeiten ist in aller Regel vollumfänglich mikrobizid. Ab einer gemessenen Luftfeuchtigkeit von 99,9 % an dem zuletzt umschlagenden Sensor ist die Ausbringungsphase abgeschlossen; eine Sicherheitsreserve von $t + 5$ bis 10 % ist durchaus ratsam.

In der anschließenden Einwirkzeit von mindestens 30 min (mindestens 60 min bei Mykobakterien) wird eine hohe Luftfeuchtigkeit ($>80 \text{ % rH}$) angestrebt. Die Prozedur kann jederzeit wiederholt und/oder die Einwirkzeit auch erheblich verlängert werden. Im Anschluss daran erfolgt die Lüftung der desinfizierten Bereiche. Nach Erreichen der Umgebungsluftfeuchte und dem Konzentrationsabfall des bioziden Wirkstoffgemisches unter alle zulässigen Grenzwerte (Hinweise zum Arbeitsschutz beachten!) erfolgt das Absammeln der Bioindikatoren und Sensoren.

5. Desinfektion

Trockennebel, Taupunkt, Kondensation

Aerosole mit der Größe von 7,5 µm zählen zu den Trockennebeln. Die Tröpfchen führen elastische Stöße mit Oberflächen aus und federn zurück, ohne diese zu benetzen. Diese physikalische Eigenschaft ermöglicht eine gasförmige Verteilung mit einer relativ guten Verteilbarkeit auch in schwer zugängliche Bereiche ²⁵.

Mit steigender Luftfeuchte wird der Taupunkt überschritten, was mit einer Kondensation auf Oberflächen einhergeht. Erfahrungsgemäß ist dies bei PES-Aerosolen wünschenswert, da das Kondensat eine besonders starke mikrobizide Wirkung entfaltet. Dies kann jedoch auch ein unerwünschter Effekt bei Feuchte-sensiblen Gerät sein.

Desinfektion von Elektrotechnik

Handelsübliche Elektronik (PC, Laptop) übersteht i.d.R. mehrere kondensierende PES-Aerosolbehandlungen ohne Funktionsverlust. Warme Bauteile von aktiven elektronischen Komponenten (z. B. CPU, RAM von Computern etc.) beeinflussen lokal die Desinfektionswirkung unter Umständen negativ, daher ist die Öffnung des Gehäuses und Freilegung aller mit Stallluft u. ä. in Kontakt gekommener Bauteile zweckdienlich. Generell ist von einem Betrieb von nicht notwendigen elektrischen Geräten während der Aerosolbehandlung abzuraten.

Es besteht die Möglichkeit bei sehr teurer bzw. sensibler Spezialelektronik eine Luftsättigung (80 - 90 %) unter dem Taupunkt des PES-Aerosols anzuwenden und parallel die Einwirkzeit zu erhöhen. Damit werden Kondensation und Feuchteschäden eher verhindert. Auch hier kann es sinnvoll sein, die Aerosolisierung in Intervallen durchzuführen. Die Intervalle können unter Optimalbedingungen und hermetischer Raumabdichtung auf bis zu 3 h ausgedehnt werden.

Besonderheiten der PES-Aerosol-desinfektion

Die klassische (nass-chemische) Tenazitätspyramide (siehe 5.3.1) ist mitunter, je nach verdampftem/aerosolisiertem Wirkstoff bzw. je nach angewendetem Protokoll, nicht zutreffend. Bei vernebelter PES zeigten sich zu Klumpenbildung neigende Mykobakterien (*M. senegalense*) zumindest in den ersten 30 Minuten resistenter als Bakteriensporen (*B. subtilis* und *G. stearothermophilus*). Bei der Bekämpfung von (Para-)Tuberkuloseerregern ist die Erhöhung der Inkubationszeit auf mindestens 60 Minuten vorzunehmen.

Blutverschmutzungen reduzieren die Wirkung der PES extrem stark ²⁶.

Besonderheiten beim Arbeitsschutz

Bei PES-Aerosolen sind ebenfalls die Anteile an Wasserstoffperoxid im Gleichgewicht zu beachten. Die handelsübliche Atemfiltertechnik hierfür (z. B. Filter des Typs ABEK HgNO/CO P3 R D) ist nur kurzzeitig und konzentrationsabhängig (Herstellerangaben beachten!) einsetzbar, ggf. ist Pressluftatemtechnik von Vorteil. Handelsübliche

5. Desinfektion

tragbare Sensortechnik erlaubt zumindest eine permanente Überwachung des Grenzwertes für Wasserstoffperoxid. Für die Überprüfung der AGWs der Essigsäure sind Indikator-Röhrchen käuflich erwerbbar. Generell sind jedoch Arbeiten im Aerosol bzw. in nicht ausreichend gelüfteten Bereichen zu vermeiden.

Die Geruchsschwelle für PES liegt mit 50 ppm um das Hundertfache über dem Störfall-Beurteilungs-Grenzwert (AEG-2: 0,5 ppm). Die Geruchsschwelle der in der Gleichgewichtslösung vorhandenen Essigsäure hingegen liegt bei 0,48 - 1 ppm und ermöglicht damit eine Warnung, jedoch ohne jegliche Sicherheitsreserve⁹.

Explosionsgefahren

Bei PES-Gemischen liegen lediglich die UEG und OEG-Daten für die Essigsäure vor. Generell gelten die Wasserstoffperoxid-stabilisierten Gemische als die stabileren im Vergleich zu den Essigsäure-stabilisierten⁹. Die untere Explosionsgrenze (UEG) von Essigsäure liegt bei 4 Vol% (40.000 ppm bzw. 100 g/m³) die obere Explosionsgrenze (OEG) bei 17 Vol% (170.000 ppm bzw. 430 g/m³) unter Normbedingungen, was eine Erhöhung der OEG in Gegenwart der Peroxide erwarten lässt. Bei einer Ausbringung der empfohlenen 11 ml 1,2 %igen Peressigsäure (inkl. 5,8 % H₂O₂) pro m³ liegt jedoch die Konzentration des Gesamtgemisches und anteilig die der Essigsäure weit unter der unteren Explosionsgrenze.

Literatur

1. Gregory P.H.: **The microbiology of the atmosphere**. London: Leonard Hill; 1961.
2. Rabenau H.F.e.a.: **Quantitative Prüfung der viruziden Wirksamkeit chemischer Desinfektionsmittel auf nicht-porösen Oberflächen**. *Hygiene & Medizin* 2012, 37(3):78-85.
3. Jarnych V.S., Laudien K.: **Aerosole : Theorie u. Praxis d. Aerosolanwendung in Veterinärmedizin u. Tierproduktion**. Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag, VEB; 1976.
4. Harry E.G.: **The Influence of Certain Chemico-Physical Characteristics of Formaldehyde on its Use as a Disinfectant**. *10 th World's Poultry Congress*. 1954: 217-221.
5. Gefahrstoffe A.f.: **Technische Regeln für Gefahrstoffe - Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 200)**. 2018

5. Desinfektion

6. Deutsche Forschungsgemeinschaft: **MAK- und BAT-Werte-Liste 2019: Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 55**: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2019.
7. MAK-Kommission der DFG, **MAK Value Documentation Wasserstoffperoxid**. 2006
8. Gagnaire F., Marignac B., Hecht G., Héry M.: **Sensory Irritation of Acetic Acid, Hydrogen Peroxide, Peroxyacetic acid and their Mixture in Mice**. *The Annals of Occupational Hygiene* 2002, **46**(1):97-102.
9. Bützer P.: **Peroxyessigsäure: Einfach, aber wirksam**. *Chemie Leben Biotechnik* 2012, **62**(03).
10. Anonym: **Ozon [10028-15-6], MAK-Werte**. Luzern: Suva Bereich Arbeitsmedizin; 2018.
11. Mayer E., Wolpert H.: **Über den Einfluß der Lufttemperatur auf die Desinfektionswirkung des Formaldehyds**. *Arch Hygiene* 1902, **43**:221-231.
12. Adam W., Brunner G., Herczeg T.: **Geräte Zur Desinfektion in geschlossenen Räumen**. In: *Handbuch der Desinfektion und Sterilisation. Volume 5*, edn. Edited by Horn H., Přivora M., Weuffen W. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit; 1984: 292-294.
13. Nordgren G.: **Investigations on the Sterilization Efficacy of Gaseous Formaldehyde**. *Acta Pathologica et Microbiologica Scandinavica* 1939(Suppl. No. 40).
14. Schaal H., Schulze-Röbbecke R., Thanheiser M., Glück W.: **Sterilisation von HEPA-Filtern in Sicherheitswerkbänken der Klasse 2 mittels Formaldehydbegasung**. *Hygiene Medizin* 2009, **34**:282-286.
15. Sander R.: **Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent**. *Atmospheric Chemistry & Physics* 2015, **15**(8).
16. **TRGS 522 Raumdesinfektion mit Formaldehyd**. Gemeinsame Ministerialblatt 2013
17. Bolek S., Bolková V., Schwotzer H.: **Halogene und Halogenverbindungen**. In: *Handbuch der Desinfektion und Sterilisation. Volume 1*, edn. Edited by Horn H., Přivora M., Weuffen W. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit; 1972.
18. Wallhäußer K.H.: **Praxis der Sterilisation Desinfektion - Konservierung**, 5 edn. Stuttgart: Thieme; 1995.

5. Desinfektion

19. Moat J., Cargill J., Shone J., Upton M.: **Application of a novel decontamination process using gaseous ozone.** *Canadian journal of microbiology* 2009, **55(8):928-933.**
20. Měrka V.: **Oxydantien.** In: *Handbuch der Desinfektion und Sterilisation. Volume 1*, edn. Edited by Horn H., Prívora M., Weuffen W. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit; 1972: 116-131.
21. Masaoka T., Kubota Y., Namiuchi S., Takubo T., Ueda T., Shibata H., Nakamura H., Yoshitake J., Yamayoshi T., Doi H.: **Ozone decontamination of bioclean rooms.** *Applied and Environmental Microbiology* 1982, **43(3):509-513.**
22. Agalloco J. P. A.J.E.: **Overcoming Limitations of Vaporized Hydrogen Peroxide.** *Pharmaceutical Technology* 2013, **37(9).**
23. von Wasielewski E., Rheinforth H.: **Die Anwendung des Formalin-Aerosols in der Raumdesinfektion.** *Desinfektion* 1950, **42(10/11).**
24. Mutz V.: **Mikrobiologische Untersuchungen zur methodischen Erarbeitung und Überprüfung der Effizienz eines Aerosol-Desinfektions-Verfahrens.** Universität Hohenheim Hohenheim 2012
25. Nüchel H.: **Die Aerosologie - Ihre Einordnung in die wissenschaftlichen Disziplinen.** *Zeitschrift für Aerosol-Forschung und -Terapie* 1952, **1(1).**
26. Spröbzig M.: **Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der Peressigsäure - 25 Jahre Erfahrung und Entwicklung.** *Hyg Med* 1989, **14:498-501.**

Autorenkollektiv

Dr. Hendrik Scheinemann, Dr. Jan Schinköthe

Friedrich-Loeffler-Institut, Abteilung für experimentelle Tierhaltung und Biosicherheit,
Greifswald - Insel Riems

Dr. Inga Michels, Prof. Dr. Christian Menge

Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für molekulare Pathogenese, Jena