



**Decontamination measures to restore facilities and the environment after
a natural or deliberate release of pathogenic microorganisms.
(Acronym: DEFERM)**

**Teilvorhaben: Wissenschaftliche Analyse verschiedener Desinfektionsstrategien zur
Anwendung im Fall von biologischen Kontaminationen von
Räumlichkeiten.**

Abschlussbericht Teil I

November 2024

Autoren:

Dr. Elisabeth Pfrommer
Steffen Schiller
Dr. Oliver Kaspari

Desinfektionsvorgänge im Rahmen von biologischen Gefahrenlagen, sollen effektiv, schnell, sicher und Anwenderkompatibel sein. Im Rahmen von DEFERM wurden am Robert Koch Institut, drei verschiedene sogenannte no-touch-Desinfektionsverfahren auf Szenario basierten Keimträgern parametrisiert. No-touch-Desinfektionsverfahren sind halbautomatische Verfahren und reduzieren so die Expositionsgefahr für Anwender, da diese keinen direkten Kontakt zum kontaminierten Bereich bzw. zum Desinfektionsmittel haben. Die Ausbringung der Desinfektionsmittel erfolgt bei diesen Verfahren als Schaum, als Aerosol oder als Gas. Die Verfahren, getestet in DEFERM, basieren auf Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Peressigsäure (PES) und Natriumhypochlorid ($NaClO$) und unterscheiden sich im Wirkungsspektrum, in der Effizienz, den Kosten und damit auch in den Einsatzmöglichkeiten. Während PES gegen alle mikrobiologischen Klassen äußerst effizient wirkt, weist H_2O_2 eine reduzierte Effizienz gegenüber Bakteriosporen, Mykobakterien, bestimmten Viren und Gram negativen Bakterien auf und $NaClO$ gegenüber Mykobakterien, Hefen und Pilzen. Der Erfolg und damit die Effizienz eines Desinfektionsverfahren kann mit der erfolgreichen Reduktion bakterieller Sporen um $5 \log_{10}$ Stufen belegt werden. Im Weiteren wurden daher die Desinfektionsverfahren mit *Bacillus thuringiensis* getestet, welcher ein Surrogat für *Bacillus anthracis* ist und eine vergleichbare Tenazität gegenüber Umwelteinflüssen und Desinfektionsmitteln hat.

Innerhalb von DEFERM wurden Keimträger aus Materialien untersucht, die typischerweise in Gefahrenlagen auftreten. Dabei bezieht sich DEFERM, auf Innenräume, Krankenwägen und Einsatzzelte des THWs. Für das Labor wurden insgesamt 13 Materialien identifiziert, die bedingt durch ihre unterschiedlichen Beschaffenheiten, wie z.B. die Porosität, die Untersuchungsgegenstände repräsentieren und sich daher zur Parametrisierung der Verfahren eignen.

Um eine gleichmäßige Verteilung der Sporen auf den Keimträgern sicher zustellen wurden 10^7 Sporen auf die Keimträger mittels eines Ultraschallverneblers aufgebracht und anschließend entsprechend mit den Desinfektionsmitteln behandelt. Dabei wurden sowohl die verwendete Desinfektionsmittelkonzentration als auch die Einwirkdauer variiert. Innerhalb von DEFERM konnten wir zeigen, dass No-touch-Desinfektionsverfahren eine Alternative bzw. Ergänzung zur Optimierung von Dekontaminationsprozessen in Lagen mit biologischen Gefahrenstoffen sind. Für die drei Verfahren bieten sich unterschiedliche Anwendungsbereiche an und es konnte jeweils eine SOP entwickelt, sowie Anwendungsbereiche für die no-touch Desinfektionsverfahren bei den Anwendern identifiziert werden. Diese SOPs berücksichtigen die Einflüsse der Materialien, geometrische Gegebenheiten und Umweltfaktoren auf die Effizienz der Desinfektion.

Bedingt durch die geringen Korrosionseigenschaften und der Eindringungstiefe von H_2O_2 bietet sich die Verwendung im Krankenwagen und im Raum an. Bei einer Begasung mit H_2O_2 kann der Krankenwagen voll bestückt sein und auch elektronische Geräte mitbegast werden. Allerdings braucht es für eine Begasung einen geschlossenen Raum, weshalb sich dieses Verfahren nicht für Zelte und Fahrzeuge von außen geeignet ist. Die Ergebnisse aus dem Labor konnten auf den Anwendungsmaßstab übertragen werden und es wurde eine Prozessevaluierung in einem Krankenwagen für die H_2O_2 Begasung vorgenommen. Ergebnisse sollen der wissenschaftlichen Publikation „Validation of a hydrogen peroxide fumigation protocol for disinfecting an ambulance vehicle.“ veröffentlicht werden.

Peressigsäure zeichnet sich durch eine hohe Effizienz aus. Zudem muss das Verfahren nicht im einzelnen validiert werden. Da PES aber hoch korrosiv ist und diese Korrosion auch durch Zusätze nicht ausreichend reduziert werden konnte, bietet sich die PES nur für Anwendungen an, bei denen keine sensiblen Oberflächen oder Elektronik, vorhanden sind.

Confoam™ eignet sich gut für Anwendungen im Feld, da für die Aufbringung des Schaumes ebenfalls keine geschlossenen Räume notwendig sind. Auch hat der Schaum eine sehr schnelle Wirksamkeit und zeigt bereits nach 5 Minuten auf vielen Keimträgern eine effektive Reduzierung der Sporen, weshalb Einflüsse aus der Umwelt zu vernachlässigen sind. Nur auf stofflichen Materialien (wie z.B. Teppich) war erst nach 30 Minuten eine ausreichende Desinfektion zu beobachten. Allerdings Confoam™ kann nicht auf Elektronik verwendet werden.

Zusammenfassend lässt sich also aussagen, dass alle drei der in diesem Teilvorhaben getesteten Methoden ihre Anwendbarkeit aber auch diverse Limitationen aufweisen. Ausgehend von den Laborergebnissen und den Erkenntnissen aus den Feldtests würden wir empfehlen, für die

Desinfektion von Räumen und den Innenräumen von Fahrzeugen die Wasserstoffperoxid-Begasung zu verwenden, während eine Anwendung von Peressigsäurenebel bei der Desinfektion von Einsatzzelten zur Anwendung kommen könnte. Das Einsprühen mit Confoam™ eignet sich nach unseren Beobachtungen ebenfalls für Einsatzzelte, sowie die Außenseite von Fahrzeugen.



**Decontamination measures to restore facilities and the environment after
a natural or deliberate release of pathogenic microorganisms.
(Acronym: DEFERM)**

**Teilvorhaben: Wissenschaftliche Analyse verschiedener Desinfektionsstrategien zur
Anwendung im Fall von biologischen Kontaminationen von
Räumlichkeiten.**

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II

Dezember 2024

Autoren:

Dr. Elisabeth Pfrommer
Steffen Schiller
Dr. Oliver Kaspari

In dem vom RKI geleiteten Teilvorhaben „Wissenschaftliche Analyse verschiedener Desinfektionsstrategien zur Anwendung im Fall von biologischen Kontaminationen von Räumlichkeiten.“ wurden die folgenden Ziele bearbeitet. Dabei wird dieser Bericht auf die einzelnen Zielsetzungen eingehen, verwendeten Methoden, Ergebnisse und eine kurze Zusammenfassung geben. Darüber hinaus wird die Beteiligung des RKIs an anderen Teilvorhaben erläutert.

Arbeitspaket 1: Identifizierung und Evaluierung geeigneter Keimträger für die Desinfektionsversuche mit Sporen bildenden Bakterien.

Sporenbildner besitzen unter den im Fokus des Projekts stehenden Pathogenen die größte Resilienz gegenüber Desinfektionsverfahren. Aus diesem Grund wurden die Desinfektionsregime unter Verwendung des Sporenbildners *Bacillus thuringiensis* etabliert, welcher als Surrogat für *Bacillus anthracis* dient, nah mit diesem verwandt ist und hinsichtlich Tenazität gegenüber Umwelteinflüssen und Desinfektionsmitteln vergleichbar ist. Mit diesem Erreger wurde die oberste benötigte Konzentration der Desinfektionsmittel und Einwirkungszeit experimentell ermittelt.

Innerhalb des Projektes wurden bereits vorhandene Sporenlösungen verwendet, welche entsprechend der DIN EN 14347:200520 Mangansulfat Agar hergestellt wurden (Lemmer et al., 2017, 2019; Papp et al., 2020).

Der Schwerpunkt von DEFERM liegt auf der Szenario-basierten Entwicklung von Desinfektionsprozessen. Dafür wurden aus den verschiedenen Szenarien verschiedene sogenannte Keimträger identifiziert, die auf Grund Ihrer Materialbeschaffenheit die in den Szenarien zu desinfizierenden Oberflächen gut repräsentierten. Für das Szenario „Raum“ wurden Keimträger aus Glas (a), Teppich (b), Linoleum (c), Plastik (d) und MDF Platte (e) angefertigt. Für das Szenario „Zelt“ wurden die Zeltstangen (f), die Zeltwand mit Beschichtung (g) und die Zeltwand ohne Beschichtung (h) gewählt und für das Szenario „Einsatzfahrzeug“ wurden Keimträger aus der Gummidichtung (i), Innenverkleidung (j), Lenkrad (k), Fußmatte (l) und aus dem Sicherheitsgurt (m) produziert (Abbildung 1A).

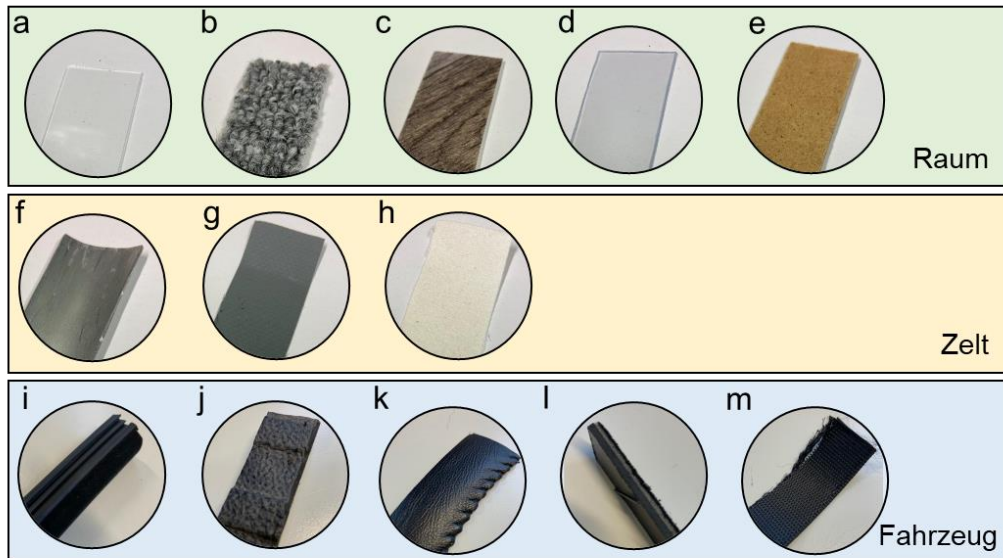
Die Sterilität der Keimträger wurde durch beidseitige UV-Bestrahlung mit je 4 J/cm² sichergestellt.

Um eine Kontamination der verschiedenen Szenarien in biologischen Gefahrenlagen zu simulieren wurden Sporen des Bakteriums *B. thuringiensis* verwendet und die verschiedenen Keimträger mit insgesamt 10⁶ Sporen beaufschlagt. Anschließend wurde die Wiederfindungsquote der Sporen von den Keimträgern ermittelt (Abbildung 1B). Die Keimträger wurden in 45 ml Triton-X Wasser überführt, mittels Ultraschalles und Vortexen abgelöst und die koloniebildenden Einheiten (KBE) bestimmt. Dafür wurde eine Verdünnungsreihe angelegt und aus den jeweiligen Verdünnungen 100 µl in zweifacher Ausführung auf den Agarplatten ausgestrichen. Nach einer Inkubation von 24 Stunden wurden die einzelnen Kolonien ausgelesen und somit die KBE pro ml ermittelt (Abbildung 1B).

Von stoffartigen Oberflächen wie Zeltwand ohne Beschichtung und Sicherheitsgurt konnten tendenziell weniger Sporen wiedergefunden werden als von glatten Oberflächen, wie Glas und Linoleum (Abbildung 1B). Interessanterweise konnte von dem Keimträger aus Teppich mehr als 99,9% der aufgetropften Sporen wiedergefunden werden, obwohl Teppich auch eher zu den stoffartigen Keimträgern gehört. Allerdings konnten bei allen Testoberflächen ohne Probleme mehr als 10⁵ Sporen wiedergefunden werden, weshalb sich alle vorgeschlagenen Materialien für die Desinfektionsversuche als geeignet zeigten.

Fazit: Das Arbeitspaket 1 wurde zu vollster Zufriedenheit abgeschlossen. Mit 13 als geeignet identifizierten Keimträgermaterialien, konnten die gewählten Szenarien gut repräsentiert werden und eine weitere Analyse der Desinfektion war möglich.

A



B

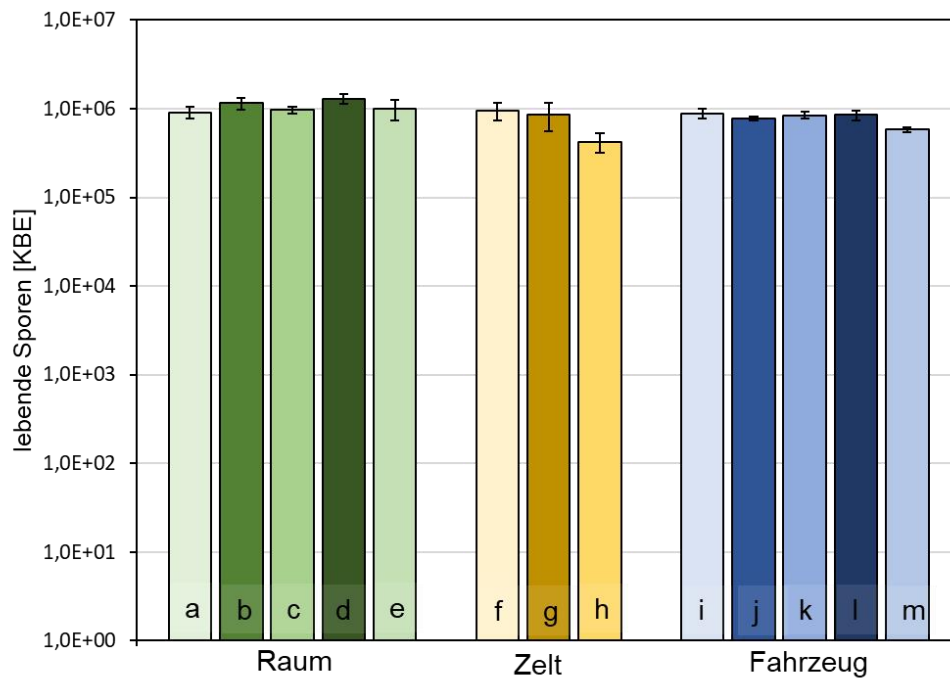


Abbildung 1: (A) Keimträger aus verschiedenen für die Einsatzszenarien repräsentativen Materialien. Für das Szenario „Raum“ wurden (a) Glas, (b) Teppich, (c) Linoleum, (d) Plastik und (e) MDF Platte gewählt. Für das Szenario „Zelt“ wurden (f) die Zeltstangen, (g) die Zeltwand mit Beschichtung und (h) die Zeltwand ohne Beschichtung gewählt und für das Szenario „Einsatzfahrzeug“ wurden Keimträger aus (i) der Gummidichtung, (j) Innenverkleidung, (k) Lenkrad, (l) Fußmatte und aus (m) dem Sicherheitsgurt hergestellt. **(B)** Auf die verschiedenen Keimträger wurden rechnerisch 10^6 *B.thuringiensis* Sporen aufgebracht, anschließend wieder abgelöst und die KBE bestimmt. Auf allen Keimträgern wurden mindestens $5 \cdot 10^5$ Sporen wiedergefunden.

Arbeitspaket 2 bis 4: Parametrisierung der verschiedenen no touch Desinfektionsverfahren auf den Szenario-basierten Keimträgern mit Wasserstoffperoxid, Peressigsäure und Confoam™.

No-touch Desinfektionsmethoden sind Desinfektionsverfahren, bei welchen ein desinfizierendes Agens z.B. gasförmig, als Schaum oder als Aerosol in den kontaminierten Raum gebracht wird. Dabei werden in der Regel Substanzen eingesetzt, die eine schnelle Wirksamkeit, mit einem breitem Wirkspektrum auf Pathogene haben um möglichst viele denkbare Anwendungsszenarien abdecken zu können.

Eine Herausforderung ist die starke Varianz der Effektivität der Verfahren, da zahlreiche Parameter wie Material, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit diese beeinflussen können. Zielsetzung von DEFERM ist es daher, die Einflussgrößen auf den Erfolg der Desinfektion zu parametrisieren und Standard Operating Procedures für derartige Verfahren zu entwickeln.

Die Bestimmung der sporiziden Wirksamkeit des jeweiligen Desinfektionsmittels, d.h. die Reduktion lebensfähiger Erreger erfolgt abschließend über die Berechnung des Reduktionsfaktors (RF). Dieser ergibt sich aus der Differenz der KBE/gesamt der Negativkontrolle (N0) und der KBE/gesamt der mit dem jeweiligen Desinfektionsmittel versetzten Suspension (N). Die ermittelte KBE/gesamt bezieht sich dabei auf $\geq 1 \cdot 10^6$ Sporen auf den Keimträgern, welche im Versuch in 10ml Neutralisationsmedium überführt werden. Der Reduktionsfaktor wird mit der nach folgender Formel berechnet:

$$RF = \log_{10}N_0 - \log_{10}N$$

Ziel ist eine möglichst hohe Reduktion keimungsfähiger Sporen zu erhalten. In diesem Projekt wird ein Desinfektionsmittel als wirksam eingestuft, wenn eine Reduktion keimungsfähiger Sporen von $\geq 5 \log_{10}$ -Stufen erreicht wird. Dafür wurde eine Sporenlösung mit 10^7 Sporen in den Ultraschallvernebler vorgelegt und mit einer Förderrate von 900 $\mu\text{l}/\text{min}$. Dadurch ergibt sich ein theoretischer Wert von $1,37 \times 10^6$ *B.thuringiensis* Sporen pro Keimträger. Anschließend wurden die Desinfektionsverfahren bei verschiedenen Wirkstoffkonzentrationen oder Zeitfenstern angewandt. Zur Bestimmung der KBE, wurden die Keimträger in 45 ml Neutralisationsmedium gegeben und die Sporen mittel Ultraschallbad (20 min) und vortexen herausgelöst. Diese Ausgangslösung wurde bei 45.000 rpm für 10 min zentrifugiert und 35 ml aus dem Überstand entnommen. Die zurückbleibenden 10 ml wurden für 1 min gevortext und anschließend wurde eine dezimale Verdünnungsreihe hergestellt und jeweils 100 μl auf TSA Agarplatten ausplattiert. Nach einer Inkubationszeit von 24 Stunden bei 30 °C wurden sichtbaren Kolonien ausgezählt. Das restliche Medium, wurde mit dem Keimträger für bis zu 7 Tage weiter inkubiert, um auszuschließen, dass noch lebende Sporen vorhanden waren. Wird Wachstum im Nährmedium nachgewiesen, nicht aber auf den TSA- Platten, wird davon ausgegangen, dass weniger als 100 lebende Sporen sich im Nährmedium befunden haben und durch die Ausplattierung von 100 μl verpasst wurden.

Desinfektion mit Wasserstoffperoxid

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist ein Oxidationsmittel (Hawkins et al., 2003) und da es nicht selektiv ist, ist es für mikrobiologische Organismen schwierig, eine Resistenz zu entwickeln. H_2O_2 Dampf wird üblicherweise zur Desinfektion kleiner Räume wie Laboratorien verwendet (Krishnan et al., 2012; Rutala & Weber, 2013) und die Verwendung einer 35%igen Ausgangslösung erwies sich als wirksam gegen hochresistente Bakteriensporen (Kaspari et al., 2014; Murdoch et al., 2016). Es handelt sich weiterhin um eine Methode, die technische Geräte, einschließlich Elektronik, nicht beschädigt (Heckert et al., 1997; Krause et al., 2001) und Oberflächen sowie Materialien nicht korrodiert oder anderweitig beeinträchtigt (Grare et al., 2008; McDonnell & Russel, 1999; Rogers et al., 2008). Im Rahmen von DEFERM wurden die beschichteten Keimträger aus unterschiedlichen Materialien mit Wasserstoffperoxid begast. Der verwendete H_2O_2 Dampf-Generator [Geschko Typ MLT11, PEA, Germany] erlaubt die Verwendung von 35 % H_2O_2 [Art-Nr- 983.5, Roth, Germany] in einer frei wählbaren Menge und über verschiedene Zeiträume.

Das H₂O₂ wurde in verschiedenen Konzentrationen verdampft und die Keimträger für verschiedene Zeitspannen dem H₂O₂ ausgesetzt. Die Effizienz der H₂O₂ Desinfektion ist direkt abhängig von der erreichten Konzentration, angegeben in parts per million (ppm) und der Einwirkzeit. Für die Anwender wurden zwei SOPs im Labor entwickelt. Die eine SOP verwendet hohe H₂O₂ Konzentrationen und kann daher für kurze Einwirkzeiten verwendet werden, während die andere SOP für Situationen gedacht ist, bei denen nur niedrige H₂O₂ Konzentration erreicht werden kann und daher längere Einwirkzeiten verwendet werden müssen.

Ergebnisse - Wasserstoffperoxid

Die Keimträger *Glas*, *Holz*, *Linoleum*, *Plastik* und *Teppich* repräsentieren das Szenario „Raum“ und wurden innerhalb von 120 min und mit 500 ppm H₂O₂ erfolgreich (also mit Reduktionsfaktoren von mindestens 5) desinfiziert (Abbildung 2A, blaue Datenreihe). Interessanterweise ist der Keimträger *Glas* mit H₂O₂ relativ schwer zu desinfizieren. Es wurden weder mit 500ppm für 60 min (Abbildung 2A, gelb), noch bei den niedrigen H₂O₂ Konzentrationen eine ausreichende Reduktion von Sporen erreicht (Abbildung 2B). Dieses Ergebnis ist relativ überraschend, da Glas auf Grund seiner glatten Eigenschaften als nicht schwer zu desinfizierendem Material behandelt wurde. Überraschenderweise ist die Desinfektionseffizienz ebenfalls bei Plastik bei den niedrigen H₂O₂ Konzentrationen schlechter und konnte weder bei 150 ppm noch bei 200 ppm erfolgreich desinfiziert werden (Abbildung 2B).

Des Weiteren zeigte sich beim Teppich eine reduzierte Effizienz der Desinfektion, und eine zuverlässige Desinfektion konnte weder bei 60 min mit 500 ppm, noch bei 480 min mit 150 ppm erreicht werden. Insgesamt zeigte sich, dass eine niedrige H₂O₂ Konzentration von 150 ppm nicht ausreicht, um eine erfolgreiche Desinfektion innerhalb von 8 Stunden zu erreichen. Daher wurde für die weiteren Szenarien „Zelt“ und „Fahrzeuge“ keine Experimente mit 150 ppm durchgeführt.

Während für einige Keimträger aus dem Szenario „Raum“ bereits eine erfolgreiche Desinfektion bei einer Inkubationszeit von 60 min mit 500 ppm erreicht werden konnte (Abbildung 2A, gelb), konnte diese Effizienz bei keinem Keimträger aus dem Szenario „Zelt“ (Abbildung 3A, gelb) oder „Fahrzeug“ (Abbildung 3B, gelb) erreicht werden. Selbst bei 120 min/ 500 ppm konnten im Keimträger *Fußmatte* und *Türdichtung* keine ausreichende Desinfektion sichergestellt werden. Tatsächlich konnten für die Keimträger *Fußmatte* und *Türdichtung* kein Desinfektionsprotokoll entwickelt werden, bei dem ein Reduktionsfaktor von größer gleich 5 erreicht wurde. Für die weiteren Keimträger aus den Szenarien „Zelt“ und „Fahrzeug“ konnte eine erfolgreiche Desinfektion mit H₂O₂ nach 120 min festgestellt werden (Abbildung 3A und B, grün), und sogar bei 90 min, konnten die Sporen erfolgreich reduziert werden (Abbildung 3A und B, blau). Ausnahme bildet hier der Keimträger *Aluminiumgestänge* aus dem Szenario „Zelt“ (Abbildung 3A, blau).

Das lange Protokoll, welches eine Inkubation von 480 min mit 200 ppm vorsieht und bei den Keimträgern aus dem Szenario „Raum“ sehr erfolgreich war, führte zu keiner beständig erfolgreichen Desinfektion bei den Keimträgern aus dem Szenario „Zelt“ und „Fahrzeug“ (Abbildung 3A und 3B, orange).

Da eine H₂O₂ Begasung mit Elektronik kombinierbar ist und es von Seiten der Anwender das Interesse vorhanden war, eine H₂O₂ Begasung für Rettungswagen zu etablieren, haben wir eine zuverlässige Desinfektion von Krankwägen mittels H₂O₂ validiert. Ziel dieser Studie war die vollständige Desinfektion des Innenraums eines Krankwagens durch H₂O₂ Begasung. Testträger mit 10⁶ Sporen von *Geobacillus stearothermophilus* sowie chemischen Indikatoren wurden an 19 verschiedenen Stellen im Inneren eines Krankwagens platziert. Das H₂O₂ wurde über das Fenster zwischen Fahrerkabine und Patientenraum in den Patientenraum eingeleitet und der Erfolg der Desinfektion über kommerzielle Sporenträger und chemische Indikatoren validiert (Abbildung 4). Nach dem Testen verschiedener H₂O₂ Begasungsprotokolle mithilfe eines von außen an das Fahrzeug angeschlossenen Generators konnten wir ein Protokoll mit einer Gesamtlaufzeit von 4 Stunden und H₂O₂ Konzentrationen von 300 – 380 ppm validieren. Dieses Protokoll führte zu einer zuverlässigen und vollständigen Inaktivierung aller Sporenträger.

Diskussion Wasserstoffperoxid:

Die Keimträger der verschiedenen Szenarien haben einen klar messbaren Einfluss auf die Effizienz der Begasung mit H_2O_2 . Überraschend war der starke Einfluss von Glas auf die Effizienz der H_2O_2 Begasung. Dies ist vermutlich auf die katalysierende Eigenschaft von Glas für H_2O_2 zurückzuführen (Keating & Roszner, 1965). Der gleiche Effekt erklärt auch die reduzierte Effizienz von H_2O_2 bei Aluminium, welches das H_2O_2 schnell zersetzt (Suwathy et al., 2016). Vermutlich kann ein ähnlicher Effekt die reduzierte Effizienz der H_2O_2 Begasung bei den gummiartigen Keimträger *Fußmatte* und *Türdichtung*, erklären, allerdings gibt es hierzu keine Literatur. Beim Keimträger *Teppich* kann eine reduzierte Effizienz bei den kurzen Inkubationszeiten beobachtet werden, was vermutlich daran liegt, dass das Material vorerst sich mit H_2O_2 sättigen muss, und erst nach einer längeren Standzeit wirken kann. Dann aber werden die Sporen von allen Seiten oxidiert und wir können eine äußerst effiziente Desinfektion beobachten.

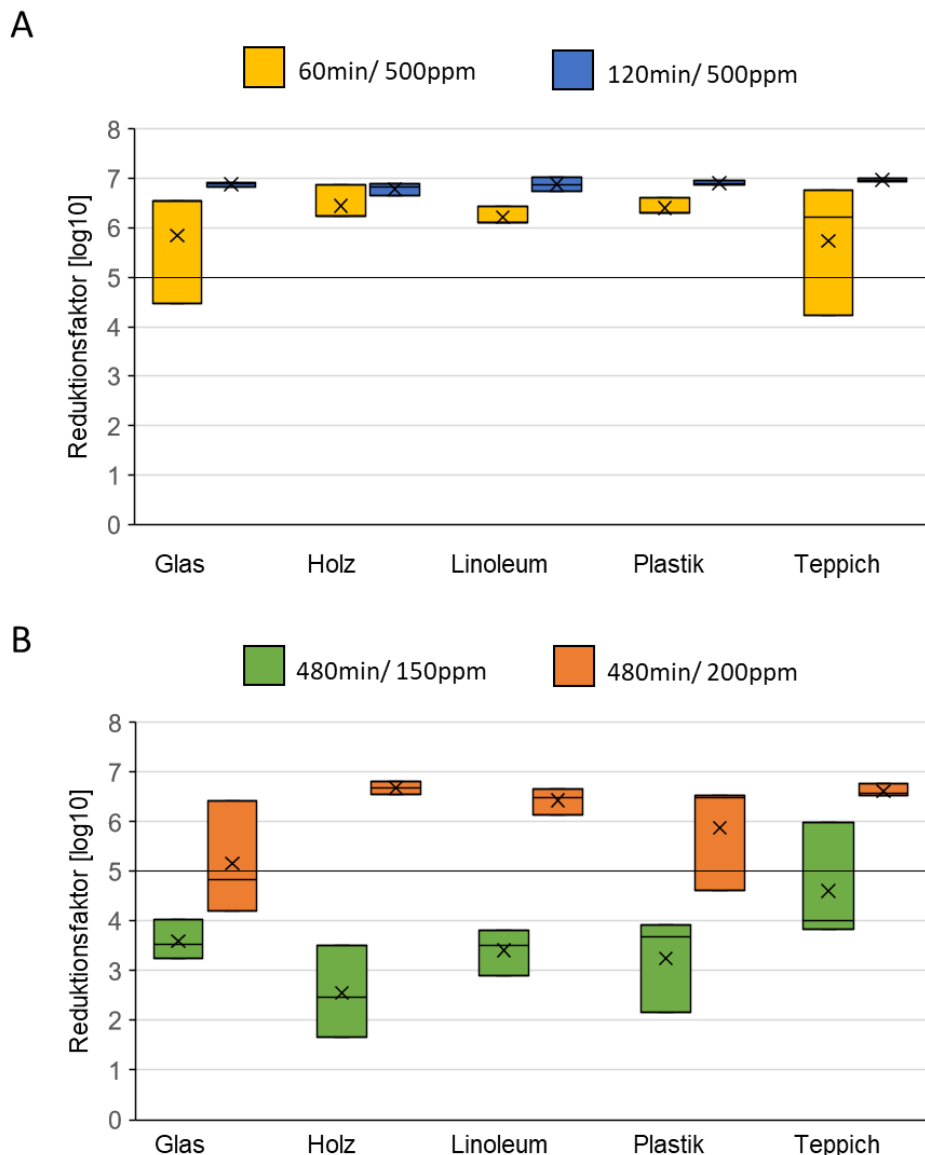
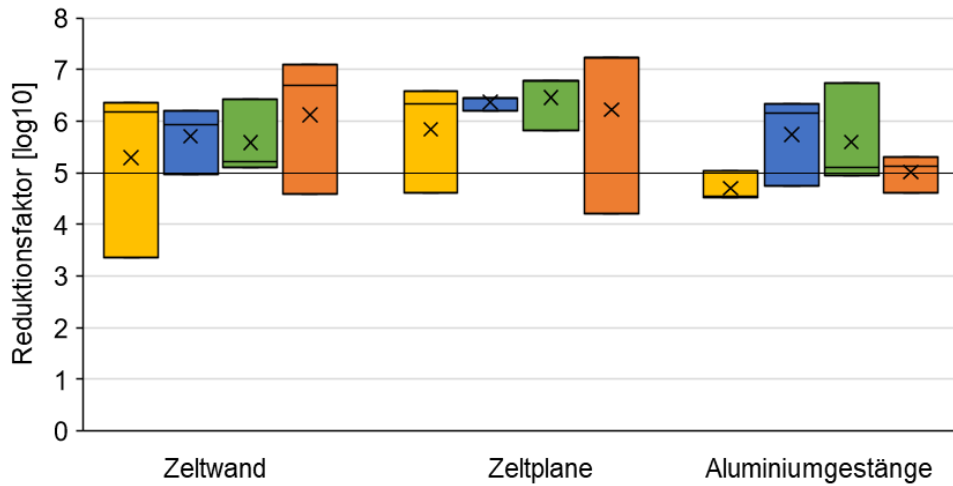


Abbildung 2: H_2O_2 – Desinfektion des Szenarios „Raum“. Reduktionsfaktoren, die sich aus der Desinfektion mit H_2O_2 ergeben haben. Eine erfolgreiche Desinfektion besteht ab einem Reduktionsfaktor von 5 (eingezeichnet als schwarze Linie). Pro Material wurde sowohl der maximale und minimale Reduktionsfaktor ermittelt und als oberes und unteres Ende der Box dargestellt. X markiert den Mittelwert, während der Strich im Boxplot den Median darstellt. (A) Desinfektion Protokolle mit 500 ppm erreichter H_2O_2 Konzentration in der Raumluft, welches entweder für 60 min (gelb) oder 120 min (blau) inkubiert wurden. (B) Desinfektionsprotokolle bei einer Inkubationszeit mit 480 min mit entweder 150 ppm (grün) oder 200 ppm (orange) erreichter H_2O_2 Konzentration.

A

60 min/500ppm 90 min/ 500ppm 120 min/500ppm 480 min/200ppm



B

60 min/500ppm 90 min/ 500ppm 120 min/500ppm 480 min/200ppm

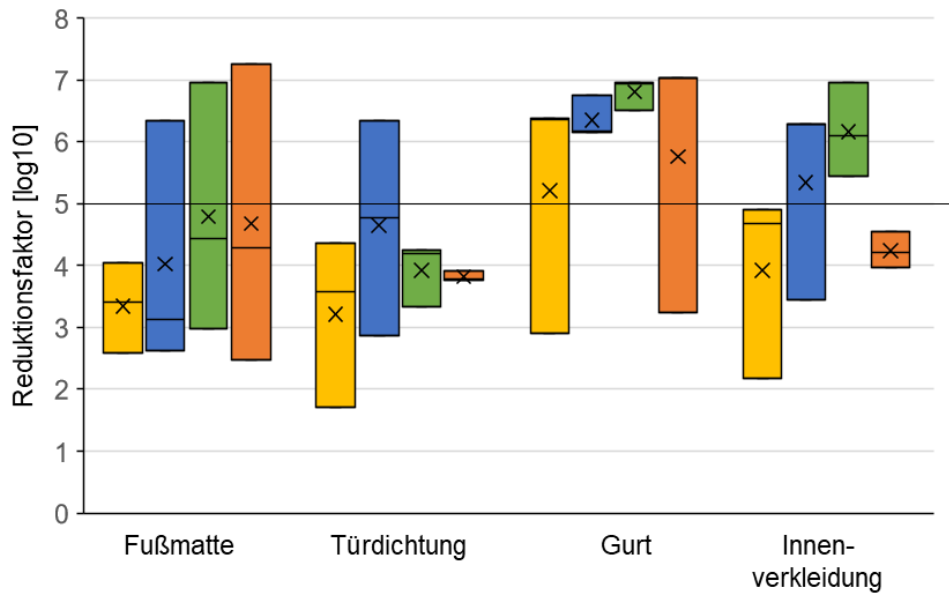


Abbildung 3: H₂O₂ – Desinfektion des Szenarios „Zelt“ und „Fahrzeug“. Gezeigt werden die Reduktionsfaktoren, die sich aus der Desinfektion mit H₂O₂ ergeben haben. Eine erfolgreiche Desinfektion besteht ab einem Reduktionsfaktor von 5 (eingezeichnet als schwarze Linie). Pro Material wurde sowohl der maximale und minimale Reduktionsfaktor ermittelt und als oberes und unteres Ende der Box dargestellt. X markiert den Mittelwert, während der Strich im Boxplot den Median darstellt. (A) Ergebnisse aus dem Szenario „Zelt“ Desinfektion Protokolle mit 500 ppm erreichter H₂O₂ Konzentration in der Raumluft, welches entweder für 60 min (gelb), 90 min (blau) oder 120 min (grün) inkubiert wurden. In orange sind die Reduktionsfaktoren die sich aus einer Inkubationszeit von 480 min und mit einer H₂O₂ Konzentration von 200 ppm ergeben haben. (B) Ergebnisse aus dem Szenario „Fahrzeug“.

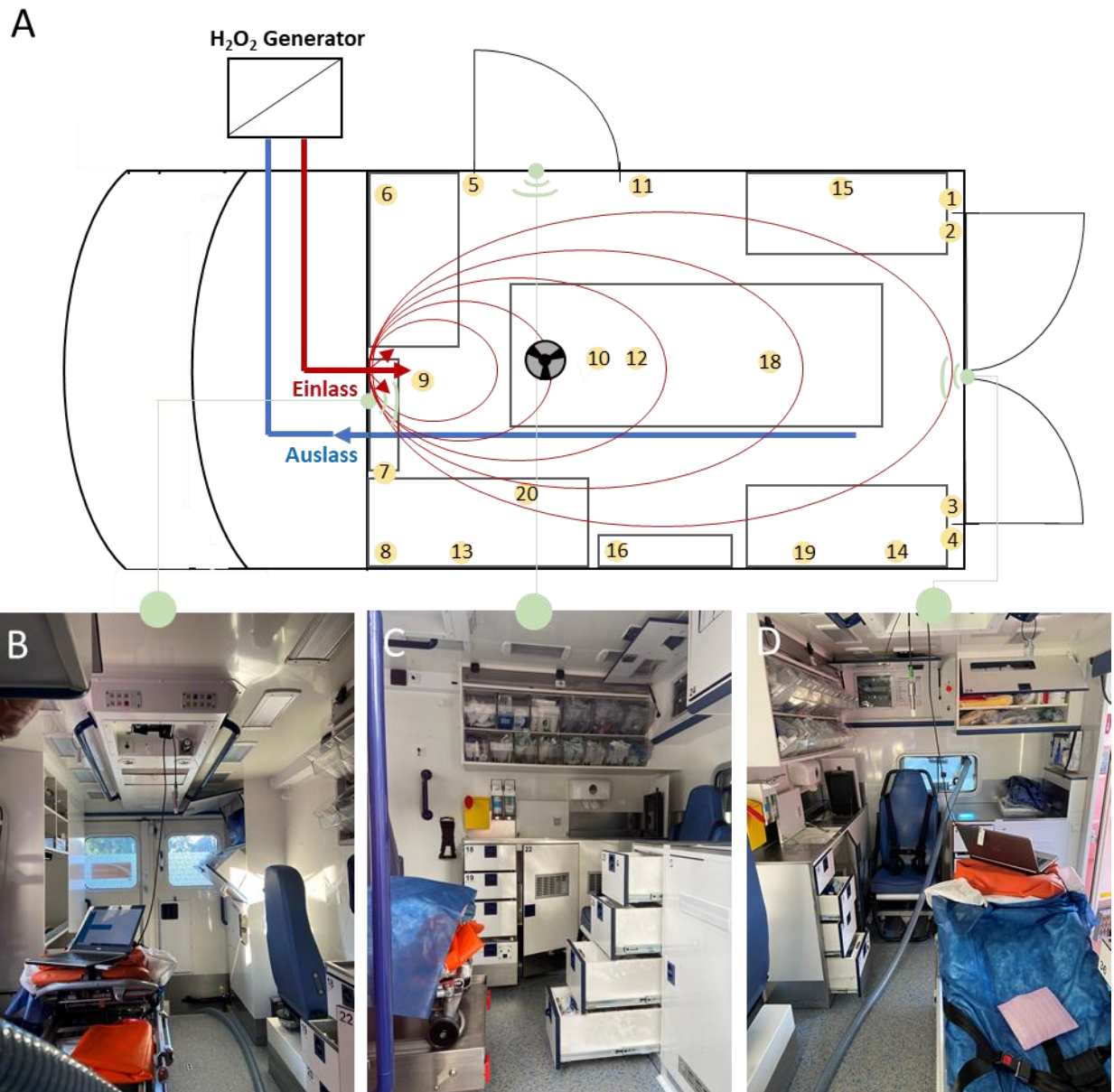


Abbildung 4: (A) Versuchsaufbau im Krankenwagen [Mercedes Sprinter MB 516 CDI]: Der H₂O₂-Generator wurde außerhalb der Fahrerkabine platziert und das Wasserstoffperoxid wurde durch das Fenster zwischen Fahrerkabine und Patientenabteil über eine handgefertigte Abschirmung aus Acrylglas mit entsprechenden Anschlüssen eingeleitet. Ein kleiner Ventilator wurde auf der Trage angebracht, um eine bessere Verteilung des H₂O₂-Gases zu ermöglichen (grauer Kreis). Um Zugang für das H₂O₂-Gas zu gewährleisten, wurden Kabinen und Schubladen, wie auf den Bildern zu sehen ist, geöffnet. Die Positionen für die Indikatoren sind gekennzeichnet (gelbe Punkte) und sowohl chemische als auch biologische Indikatoren wurden an den jeweiligen Positionen platziert. (B) Frontansicht vom Fahrerabteil (C) Seitenansicht durch Seitentür (D) Rückansicht von der Heckklappe.

Desinfektion mit Peressigsäure

Peressigsäure (PES) ist ein hochgradig biozides Oxidationsmittel, das seine Wirksamkeit auch in Gegenwart von organischen Verschmutzungen beibehält, so dass es unabhängig von potenziellen biologischen Verunreinigungen eingesetzt werden kann (Costa et al., 2014). PES hat ein breites Wirkungsspektrum gegenüber Krankheitserregern und zerfällt in umweltunschädliche Abbauprodukte, weshalb es gerne in medizinischen Einrichtungen und in der Lebensmittelindustrie eingesetzt wird und sich auch für die Desinfektion öffentlicher Verkehrsmittel eignet (Burfoot et al., 1999; Chojecka, 2019; Donskey, 2013; Kruszewska et al., 2022; Papp et al., 2020). Aktuell wird von den Feuerwehren in Deutschland Wofasteril® der Firma Kesla Hygiene AG in einer Gebrauchslösung mit 2 % Peressigsäure für die Desinfektion von PSA verwendet. Obgleich dieses Desinfektionsmittel sehr gute Wirksamkeit gegenüber bakteriellen Sporen, Viren und Toxinen aufweist (Lemmer et al., 2017), so ist seine Verwendung auch mit Nachteilen wie Materialkorrosion, anspruchsvollen Lagerbedingungen und Atemwegsreizungen verbunden. Es gibt verschiedene Techniken zur Verwendung von PES für die Desinfektion, einschließlich der Trockenvernebelung. Das Trockennebelsystem erzeugt submikroskopische Desinfektionströpfchen, die alle Oberflächen in geschlossenen Räumen gleichmäßig bedecken, ohne sie zu befeuchten. Dadurch wird die Korrosivität der PES runtergesetzt und trotzdem kann eine effiziente Desinfektion gewährleistet werden.

Bei der Zersetzung der PES entstehen freie Radikale Hydroperoxyl ($\text{HO}_2\cdot$) und Hydroxyl ($\text{OH}\cdot$). Diese haben ein hohes Oxidationsvermögen und spielen eine aktive Rolle in der Desinfektion. Über den Wirkungsmechanismus von PES liegen nur begrenzte Informationen vor. Man geht jedoch davon aus, dass sie wie andere Oxidationsmittel wirkt, d. h. sie denaturiert Proteine, stört die Durchlässigkeit der Zellwände und oxidiert Sulfhydryl- und Schwefelbindungen in Proteinen, Enzymen und anderen Metaboliten. Die Wirksamkeit der Desinfektion hängt von der Empfindlichkeit der Zielorganismen, der Einwirkzeit und der PES-Konzentration ab. Als PES-basiertes Desinfektionsmittel wurde das Wofasteril SC super [Kesla Pharma Wolfen GmbH] verwendet. Dieses enthält laut Hersteller zwischen 11 und 15% PES. In der Gebrauchslösung wurden 1,25 % PES (genaue Zusammensetzung siehe Tabelle 1) angewendet und entweder 50 ml oder 100 ml der Gebrauchslösung mit dem Trockennebelgerät [fontan starlet, Swingtec GmbH, Deutschland] in die Aerosolkammer vernebelt. Dadurch wurde die Aerosolkammer unterschiedlich dicht mit PES gesättigt. Anschließend, nach einer Einwirkzeit von 2 Stunden, wurden die Keimträger in Neutralisationsmedium (3-fach Enthemmer) überführt und so die verbleibende Desinfektion gestoppt. Durch die Verwendung des Neutralisationsmedium kann die Einwirkzeit der PES gegenüber den Sporen genau eingehalten und die Wirkung kontrolliert gestoppt werden. Der 3-fach Enthemmer besteht aus 3% TSB, 9% Tween80, 0,9% Lecithin, und 3% Histidin ((Nattermann et al., 2005).

Konzentration	Lösung	Firma
10 Vol%	Peressigsäure	Wofasteril SC super, Kesla Pharma Wolfen GmbH
28 Vol%	Natronlauge (1,5 mol/l)	
5 Vol%	Tensidlösung 5 m/V% Triton CG 5 Vol% Ethanol 1 Vol% Limonen	Sigma
5 Vol%	Ethanol	Roth
3 Vol%	Propandiol	Sigma Aldrich

Tabelle 1: Zusammensetzung der PES, wie sie innerhalb von DEFERM verwendet wurde.

Ergebnisse aus der Desinfektion mit Peressigsäure

In der Desinfektion mit Trockennebel bestehend aus PES-Aerosolen zeigte sich eine große Varianz in Abhängigkeit von den entsprechenden Keimträgern. Während *Teppich* und *Plastik* sowohl mit 50 ml also auch mit 100 ml Reduktionsfaktoren von größer als 5 anzeigten, wurden auf den Keimträgern *Linoleum* und *Glas* mit 50 ml eine erfolgreiche Desinfektion durchgeführt. Entgegen der Erwartung wurde bei 100 ml eine stärkere Abweichung in der Effizienz beobachtet und in manchen Durchläufen ein Reduktionsfaktor von weniger als 5 erreicht (Abbildung 5A). Der Keimträger *Holz* wiederum verhielt sich so wie erwartet und zeigte eine bessere Reduktion der Sporen bei 100 ml, allerdings konnte weder bei 50 ml noch bei 100ml eine stabile Reduktion der Sporen auf einen Reduktionsfaktor > 5 gewährleistet werden (Abbildung 5A).

Im Szenario „Zelt“ erwies sich die PES als äußerst wirksam und konnte bei 100 ml alle drei Keimträger sicher desinfizieren. Insbesondere die *Zeltwand* ließ sich sehr effektiv mit PES desinfizieren und zeigte bereits bei 50 ml eine hohe Inaktivierungsrate der Sporen (Abbildung 5B).

PES war effektiv für Desinfektionen von Keimträgern *Gurt* und *Türdichtung* aus dem Szenario „Fahrzeug“ (Abbildung 5C). Geringere Reduktionsraten wiesen die Keimträger *Fußmatte*, *Lenkrad* und *Innenverkleidung* auf und die Keimträger *Lenkrad* und *Innenverkleidung* konnten in unserem experimentellen Aufbau nicht erfolgreich mit PES desinfiziert werden (Abbildung 5C).

Unterschiedliche Materialien der Keimträger zeigten einen Einfluss auf die Wirksamkeit der PES, allerdings war PES auf 10 von 13 Keimträgern sehr effektiv. Nur auf den Keimträgern *Lenkrad*, *Innenverkleidung* und *Holz* konnten nicht 5 log₁₀ Stufen *B.thuringiensis* Sporen reduziert werden.

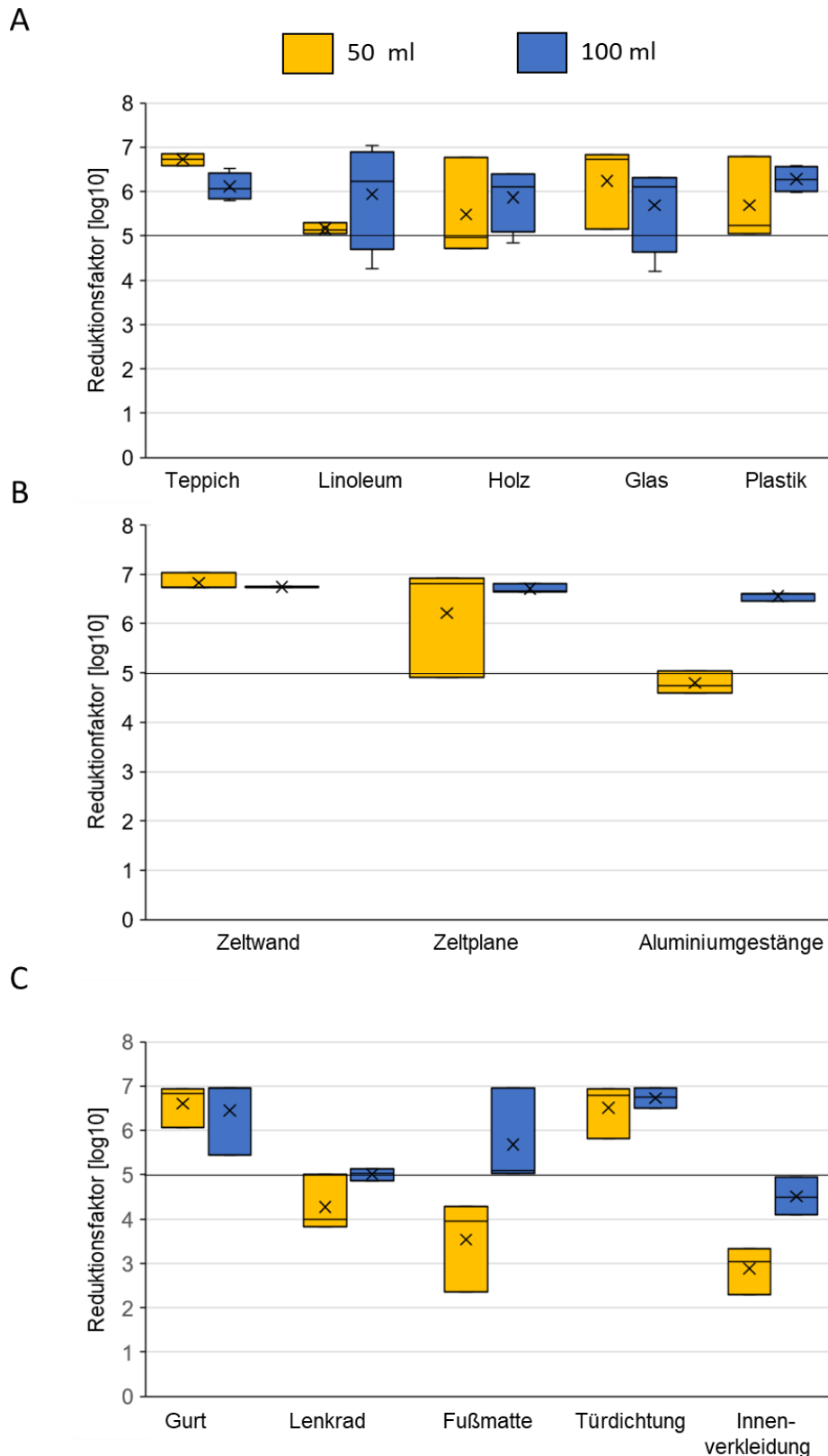


Abbildung 5: Reduktionsfaktoren aus der Desinfektion mit Peressigsäurenebel. In Gelb sind die Werte die sich nach einer Verneblung von 50 ml ergeben und in Blau nach einer Verneblung von 100ml Peressigsäure dargestellt. Eine erfolgreiche Desinfektion besteht ab einem Reduktionsfaktor von 5 (eingezeichnet als schwarze Linie). Pro Material wurde sowohl der maximale und minimale Reduktionsfaktor ermittelt und als oberes und unteres Ende der Box dargestellt. X markiert den Mittelwert, während der Strich im Boxplot den Median darstellt. **(A)** Szenario „Raum“ **(B)** Szenario „Zelt“ **(C)** Szenario „Fahrzeug“.

Desinfektion mit Confoam™

Der am CEA entwickelte Desinfektionsschaum Confoam™ basiert auf Natriumhypochlorit. Natriumhypochlorit, allgemein bekannt als Bleichmittel, wird häufig als Desinfektionsmittel verwendet. Es handelt sich um ein Breitbanddesinfektionsmittel, das gegenüber Viren, Bakterien, Pilzen und Mykobakterien wirksam ist. Die Wirksamkeit gegen Sporen ist noch nicht ausreichend untersucht.

Confoam™ besteht aus kommerziell erwerblichen 13% Natriumhypochlorit [PanReac AppliChem ITW Reagents] und einem schäumenden Zusatz, welcher vom CEA entwickelt wurde, und dessen Zusammensetzung nicht öffentlich bekannt ist. Das Natriumchlorit und der schäumende Zusatz wurden im Verhältnis 1:1 eingesetzt, was eine Gebrauchslösung von 7,5 % Natriumhypochlorit ergibt. Für die Experimente im Labor hatte der Kooperationspartner CEA einen Versuchsaufbau zur Verfügung gestellt, der unter den Laborabzug passte und in kleinen Mengen nutzbaren Schaum produzieren konnte. Wichtig bei dem Schaum ist, dass er nicht zu feucht ist und genug Luft in den Schaum eingeschlossen wurde. Dies wurde optisch kontrolliert, indem die Konsistenz des Schaumes beurteilt wurde. Der frisch produzierte Schaum wurde auf die mit Sporen bedeckten Keimträger aufgebracht und konnte für verschiedenen Zeiträume einwirken. Anschließend wurde die Desinfektion mittels 3fach Enthammer gestoppt und die Überlebensrate der Sporen mittels KBE-Bestimmung ermittelt.

Auf den Keimträgern *Linoleum*, *Glas*, *Plastik*, *Zeltwand*, *Zeltplane*, *Aluminiumgestänge* und *Gurt* konnte eine sehr effektive Reduzierung der lebenden Sporen bereits nach 5 Minuten mit Confoam™ erreicht werden (Abbildung 6, gelb). Für die Materialien *Teppich* und *Holz*, war eine Einwirkzeit von 30 min notwendig um mehr als 5 log₁₀ Stufen der *B.thuringiensis* Sporen zu reduzieren. Da der Schaum sich mit der Zeit zersetzt und flüssiger wird, dringt der Schaum vermutlich nach einer gewissen Standzeit in die porösen Materialien ein und die reduzierte Effektivität lässt sich auf mechanische Gegebenheiten zurückführen. Auf den Keimträgern *Lenkrad* und *Fußmatte* konnte auch nach 30 min keine ausreichende Desinfektion gewährleistet werden. Dies lässt wiederum vermuten, dass das Material selbst mit dem Natriumhypochlorit reagiert und die verfügbare Menge an Desinfektionsmittel heruntersetzt.

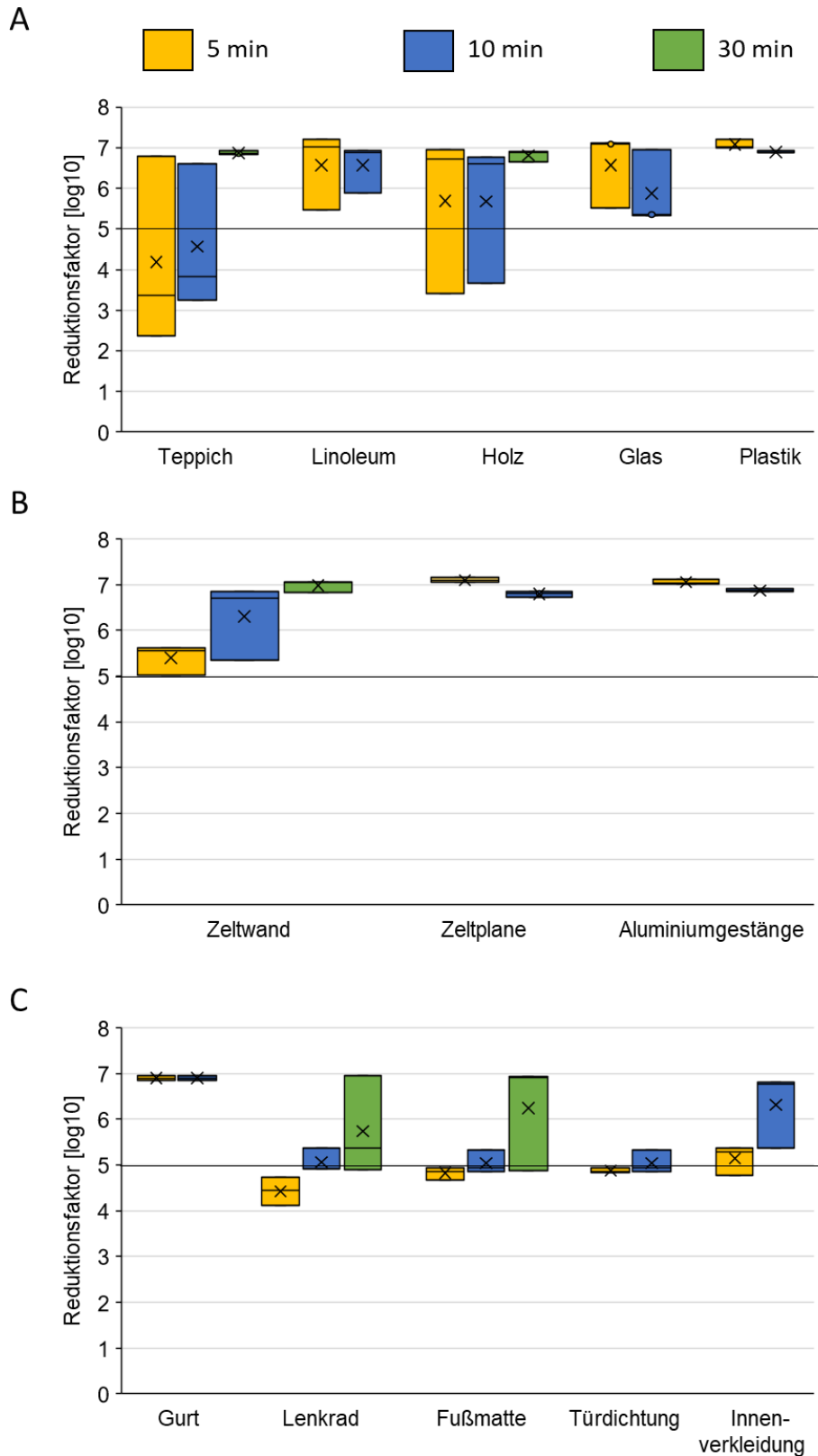


Abbildung 6: Reduktionsfaktoren aus der Desinfektion mit Confoam®. In Gelb sind die Werte die sich nach einer Verneblung von 5 min Einwirkzeit ergeben haben, in Blau nach einer Einwirkzeit von 10 min und in Grün nach einer Einwirkzeit von 30 min. Eine erfolgreiche Desinfektion besteht ab einem Reduktionsfaktor von 5 (eingezeichnet als schwarze Linie). Pro Material wurde sowohl der maximale und minimale Reduktionsfaktor ermittelt und als oberes und unteres Ende der Box dargestellt. X markiert den Mittelwert, während der Strich im Boxplot den Median darstellt. **(A)** Szenario „Raum“ **(B)** Szenario „Zelt“ **(C)** Szenario „Fahrzeug“.

Diskussion über mögliche Einsatzorte für no touch Desinfektionsverfahren.

Im Rahmen des Projekts DEFERM wurden alle drei in den Szenarien festgelegten Desinfektionsmethoden ausführlich unter Labor- und in begrenztem Rahmen auch unter Feldbedingungen getestet. Hierbei ergaben sich teilweise unterschiedliche Wirksamkeiten und dadurch bedingte potentielle Anwendungsfelder.

Im Fall der Begasung mit Wasserstoffperoxid zeigte sich, dass dieses Verfahren besonders für Innenräume geeignet ist. Diese sind relativ leicht abzudichten (was eine Voraussetzung für die H₂O₂-Begasung darstellt) und bei Testläufen mit 500 ppm und einer Einwirkzeit von 2 Stunden konnte auf allen getesteten Materialien eine ausreichend sporizide Wirkung festgestellt werden. Bei niedrigeren ppm-Werten war hierbei jedoch eine verlängerte Einwirkzeit notwendig und es konnten bei den im Labormaßstab verwendeten Parametern Keimträger aus Holz oder Glas teilweise nicht zufriedenstellend desinfiziert werden. Dies bedeutet aber lediglich, dass im Einsatzfall die Einwirkzeit länger gewählt werden müsste. Da jedoch dieses Verfahren im Ernstfall sowieso entweder validiert, bzw. der Erfolg der Maßnahme durch biologische Indikatoren nachvollzogen werden muss, ist eine unbewusste unvollständige Desinfektion quasi ausgeschlossen. Bei der Desinfektion von Zeltmaterialien mit Wasserstoffperoxid zeigte sich ebenfalls eine gute Wirksamkeit. Nur Keimträger aus dem Aluminium der Zeltstangen zeigten keine ausreichende Abtötung, was jedoch damit zu erklären ist, dass Aluminium katalytisch auf Wasserstoffperoxid wirkt und die Wirksamkeit dadurch herabsetzt. Im Feldeinsatz wäre eine Begasung von Zelten jedoch schwierig umzusetzen, da diese kaum abgedichtet werden können und somit in einer Halle oder einer ähnlichen Räumlichkeit aufgestellt werden müssten, um eine Begasung zu ermöglichen. Im Fall von Einsatzfahrzeugen zeigte H₂O₂-Desinfektion ebenfalls eine gute bis sehr gute Wirksamkeit. Lediglich Keimträger aus Fußmatten und Türdichtungen zeigten eine verminderte Abtötungsrate. Aufgrund der Porösität und der meist starken Verschmutzung von Fußmatten würden wir empfehlen, diese im Ernstfall vor der Begasung zu entsorgen, was auch auf andere billige und leicht zu ersetzende Materialien wie z.B. offene Handschuhboxen zutrifft. Die Zuschnitte aus Türdichtungen wiesen Spalten auf, die im verbauten Zustand nicht für Pathogene erreichbar wären und wahrscheinlich deswegen für die verminderte Effizienz der Desinfektion verantwortlich waren. Die H₂O₂-Begasung ist vor allem deswegen hervorragend für die Innenräume von Einsatzfahrzeugen geeignet, da das Verfahren elektronische Geräte nicht beeinträchtigt. Es wird sogar empfohlen, Geräte bei der Begasung einzuschalten, damit das Gas durch eventuell vorhandene Lüfter ins Innere der Geräte eingebracht wird. Wir konnten während der Feldtests und auch am Beispiel eines dankenswerterweise von der Feuerwehr Berlin zur Verfügung gestellten RTW eine H₂O₂-Begasung des Patiententransportraums erfolgreich validieren. Hierfür wurde ein speziell angefertigter Adapter zur Einleitung des Gases verwendet, da ein RTW natürlich nicht die nötigen Anschlüsse oder Durchführungen aufweist. Sollte sich diese Methode etablieren, wäre es äußerst hilfreich, wenn Hersteller die benötigten Anschlüsse für Gasgeneratoren werkseitig serienmäßig verbauen würden. Eine Alternative bestünde darin, das Fahrzeug in eine Desinfektionshalle zu fahren und den kompletten Raum zu begasen. Dieses Verfahren ist zwar aufwendiger, hätte aber den Vorteil, dass zusätzlich anderweitige Einsatzmaterialien mitbegast werden können. Auch diese Verfahren wurde während des ersten Feldtests in Dortmund erfolgreich durchgeführt. Eine Begasung des Innenraums alleine benötigt ca. 6 Stunden, ist jedoch unserer Meinung nach, die einzige verlässliche Methode, das Fahrzeug komplett und einfach zu desinfizieren. Der große Nachteil der H₂O₂-Begasung besteht neben der notwendigen Fachkunde darin, dass Verfahren entweder vorher validiert oder bei der Durchführung mit biologischen und chemischen Indikatoren verifiziert werden müssen. Da solche Indikatoren für 7 Tage inkubiert und ausgewertet müssen, um den Erfolg der Maßnahme zweifelsfrei sicherzustellen, ist eine vorherige Validierung dringend anzuraten.

Bei der im Labormaßstab durchgeführten Desinfektion mit aerosolierter Peressigsäure wurden ebenfalls sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit gegenüber Keimträgern für Innenräume beobachtet, wobei auch bei diesem Verfahren Bakteriensporen auf Holz und Glas nicht immer

zuverlässig abgetötet werden konnten. Träger aus Einsatzzelten konnten ausnahmslos zur vollsten Zufriedenheit desinfiziert werden, während bei solchen aus Fahrzeugen anscheinend ebenfalls bei Fußmatten, Lenkradüberzügen und Innenverkleidungen die Wirksamkeit reduziert war. Allerdings fiel uns bei den durchgeführten Experimenten die starke korrosive Wirkung der Peressigsäure auf. Die entstehenden Ablagerungen führten innerhalb der für die Versuche verwendeten Aerosolkammer zu Oxidationen und Rostbildung an metallischen Oberflächen, sowie zu Schäden an elektronischen Bauteilen. Somit kann eine Desinfektion mit Peressigsäure keinesfalls für Szenarien empfohlen werden, in denen elektronische Geräte desinfiziert werden müssen (Innenräume von Einsatzfahrzeugen) oder metallische Oberflächen (Innenräume) vorhanden sind. Durchaus vorstellbar wäre es, das Verfahren zur Desinfektion von Zelten anzuwenden, da hier zwar ebenso eine zu starke Durchlüftung vermieden werden muss, jedoch keine völlige Abdichtung wie bei einer H₂O₂-Begasung notwendig ist. Dies konnte im Feldversuch auch erfolgreich simuliert werden, wurde jedoch nicht mit biologischen Indikatoren nachgewiesen. Bei der abschließenden Übung in Marseille wurde versucht den von den französischen Einsatzkräften zum Transport von infektiösen Personen verwendeten Sarkophag mit Peressigsäurenebel zu desinfizieren und dies auch durch biologische Indikatoren nachzuweisen. Allerdings konnte hier aufgrund des entstehenden Überdrucks nicht genug Aerosol eingeleitet werden, um eine ausreichende Desinfektion zu erreichen. Da das Verfahren einfacher und schneller durchzuführen ist als eine Begasung, ist theoretisch auch eine Anwendung in Innenräumen denkbar, allerdings nur, wenn diese keine der beschriebenen Limitationen (Elektronik, empfindliche Oberflächen) aufweisen. Schließlich ist noch hervorzuheben, dass sich Peressigsäure autokatalytisch in Essigsäure und Wasser zersetzt und damit wie auch bei Wasserstoffperoxid, welches in Sauerstoff und Wasser zerfällt, keine umweltschädlichen Abbauprodukte entstehen.

Schließlich wurde der vom französischen Partner entwickelte Desinfektionsschaum Confoam™ ebenfalls innerhalb der gleichen Parameter unter Laborbedingungen getestet. Hierbei wurde eine sehr gute Wirksamkeit gegenüber Keimträgern aus Räumen und Zelten beobachtet. Alle verwendeten Materialien konnten ausreichend desinfiziert werden, allerdings waren hierfür Einwirkzeiten von bis zu 30 Minuten erforderlich. Bei Keimträgern aus Fahrzeugen erwiesen sich ebenfalls, Lenkradbezüge, Fußmatten und Türdichtungen als problematisch. Das Hauptproblem bei der Anwendung des Desinfektionsschaums besteht darin, dass dieser nach dem Einwirken abgesaugt oder abgespült werden muss. Weiterhin besitzt der Schaum eine stark bleichende Wirkung und kann deswegen nicht oder nur begrenzt innerhalb von Räumlichkeiten eingesetzt werden. Auch eine Anwendung auf elektronischen Geräten ist durch die entstehende Feuchtigkeit ausgeschlossen, weswegen eine Anwendung in Fahrzeugen nicht in Frage kommt. In den beiden Feldtests zeigte sich jedoch eine hervorragende Anwendbarkeit des Schaums auf der Außenseite von Einsatzfahrzeugen und auf Einsatzzelte. Durch die haftende Wirkung bleibt der Schaum auch auf senkrechten Flächen ausreichend am Einsatzort. Die bakteriziden Eigenschaften wurden in den Feldtests mittels biologischer Indikatoren bestätigt und lediglich ein einzelner Keimträger auf einer vertikalen Zeltfläche wurde nicht komplett abgetötet. Für die komplette Desinfektion eines Fahrzeugs von außen zeigte sich allerdings, dass die demonstrierte Ausbringung mit einem personengetragenen Rucksack nicht ausreichend ist und hier auf eine andere Ausbringungsform zurückgegriffen werden sollte. Da der Schaum auf Natriumhypochlorit basiert, ist zu bedenken, dass umweltschädliche Chlor-Verbindungen nach der Desinfektion zurückbleiben und das anfallende Spülwasser nicht in die Umwelt gelangen sollte.

Zusammenfassend lässt sich also aussagen, dass alle drei der in diesem Teilvorhaben getesteten Methoden ihre Anwendbarkeit aber auch diverse Limitationen aufweisen. Ausgehend von den Laborergebnissen und den Erkenntnissen aus den Feldtests würden wir empfehlen, für die Desinfektion von Räumen und den Innenräumen von Fahrzeugen die Wasserstoffperoxid-Begasung zu verwenden, während eine Anwendung von Peressigsäurenebel bei der Desinfektion von Einsatzzelten zur Anwendung kommen könnte. Das Einsprühen mit Confoam™ eignet sich nach unseren Beobachtungen ebenfalls für Einsatzzelte, sowie die Außenseite von Fahrzeugen.

Voraussichtlicher Nutzen

Durch die erfolgreiche Parametrisierung der verschiedenen Materialien, welche auf Anwender definierte Szenarien basierten, konnten für die verschiedenen No-touch Desinfektionsverfahren SOPs entwickelt werden. Diese berücksichtigen den Einfluss der Materialien auf die Effizienz der Desinfektionsverfahren und definieren die Anwendungsbereiche dieser.

Die Ergebnisse aus der Prozessvalidierung einer Begasung vom Rettungswagen, könnten bei zukünftigen Fahrzeugen, insbesondere im Bereich der infektiösen RTWs, berücksichtigt werden, indem Zugänge für den H₂O₂ Vergaser mitgeplant werden.

Publikationen und Wissensaustausch

Wissensaustausch:

Konzeption und Betreuung eines Standes bei der INTERSCHUTZ 2022

Vortrag beim Fachkongress „Forschung für Bevölkerungsschutz“ vom BBK:
„No-touch Desinfektionsmethoden für den Einsatz in Lagen mit biologischen Gefahrenstoffen“

Vortrag bei den Disaster Research Days Austria:
„Parallel PCR-detection, no-touch disinfection and transborder cooperation“

Vortrag und Demonstration von H₂O₂ Begasung für anwendungsbasierte Szenarien auf dem Feldtest in Dortmund.

Publikationen:

Kaspari, O., Pfrommer, E., Wieden, K. & Manuguerra, J.-C., 2023. *Vom Labor in die Praxis - Erfolgreicher Feldtest zu biologischen Gefahren*. Crisis Prevention, Issue 2, pp. 56-58.2

Kaspari, O., Pfrommer, E., Wieden, K. & Manuguerra, J.-C., 2023. *Vom Labor in die Praxis - Erfolgreicher Feldtest zur Bewältigung biologischer Gefahrenlagen*. Informationsbrief zur zivilen Sicherheitsforschung, Issue 5, pp. 5-7.

Helena Horn, Elisabeth Pfrommer, Oliver Kaspari, Fabienne Gas, Célia Lepeytre, Matthieu Cocagne, 2023, *No-touch-Desinfektionsverfahren für den Einsatz in Lagen mit biologischen Gefahrenstoffen*. Forschung für den Bevölkerungsschutz, Kongressband I, pp 124

Katrin Wieden et. al, *DEFERM – Deutsch-französisches Forschungsprojekt zum Management biologischer Gefahren: Die Einsatzperspektive*. Forschung für den Bevölkerungsschutz, Kongressband I, pp 283

Geplant:

Elisabeth Pfrommer, Steffen Schiller, Oliver Kaspari, *Validation of a hydrogen peroxide fumigation protocol for disinfecting an ambulance vehicle*

Elisabeth Pfrommer, Steffen Schiller, Helena Horn, Céline Lepeytre, Mathieu Cocagne, Oliver Kaspari, *Parameterisation of no touch disinfection methods for use in biohazard situations*

Referenzen:

- Burfoot, D., Hall, K., Brown, K., & Xu, Y. (1999). Fogging for the disinfection of food processing factories and equipment. *Trends in Food Science and Technology*, 10(6–7), 205–210. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(99\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(99)00045-X)
- Chojecka, A. (2019). The sporicidal activity of a disinfectant with peracetic acid against the spores of *Bacillus subtilis* and *Bacillus cereus* according to the european standard PN-EN 17126. *Przeegl Epidemiol.*, 75(4), 524–536. <https://doi.org/10.32394/pe.75.49>.
- Costa, A., Colosio, C., Gusmara, C., Sala, V., & Guarino, M. (2014). Effects of disinfectant fogging procedure on dust, Ammonia concentration, Aerobic bacteria and fungal spores in a farrowing-weaning room. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21(3), 494–499. <https://doi.org/10.5604/12321966.1120589>
- Donskey, C. J. (2013). Does improving surface cleaning and disinfection reduce health care-associated infections? *American Journal of Infection Control*, 41(5 SUPPL.), S12–S19. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.12.010>
- Keating, K. B., & Roszner, A. G. (1965). Decomposition of Hydrogenperoxide on Glas. *ACS Publications*, 69(10), 3225–3672.
- Kruszewska, E., Czupryna, P., Pancewicz, S., Martonik, D., Bukłaha, A., & Moniuszko-Malinowska, A. (2022). Is Peracetic Acid Fumigation Effective in Public Transportation? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph19052526>
- Lemmer, K., Howaldt, S., Heinrich, R., Roder, A., Pauli, G., Dorner, B. G., Pauly, D., Mielke, M., Schwebke, I., & Grunow, R. (2017). Test methods for estimating the efficacy of the fast-acting disinfectant.pdf. *Journal of Applied Microbiology*, 123, 1168--1183.
- Lemmer, K., Pauli, G., Howaldt, S., Schwebke, I., Mielke, M., & Grunow, R. (2019). Decontamination of personal protective equipment. *Health Security*, 17(3), 200–212. <https://doi.org/10.1089/hs.2019.0005>
- Nattermann, H., Becker, S., Jacob, D., Klee, S. R., Schwebke, I., & Appel, B. (2005). Effiziente Abtötung von Milzbrandsporen durch wässrige und alkoholische Peressigsäure-Lösungen. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 48(8), 939–950. <https://doi.org/10.1007/s00103-005-1108-4>
- Papp, S., Kimmerl, K., Gatz, J., Laue, M., Grunow, R., & Kaspari, O. (2020). Evaluation of Sporicidal Disinfectants for the Disinfection of Personal Protective Equipment During Biological Hazards. *Health Security*, 18(1), 36–48. <https://doi.org/10.1089/hs.2019.0128>
- Suwathy, R., Reddy, K. M., Pramoth Kumar, M., & Venkatesan, M. (2016). Droplet impinging behavior on surfaces Part i - Hydrogen Peroxide on Aluminium Surface. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012219>