Schlussbericht
BMBF-Programm „Forschung für die zivile Sicherheit“

Verbundvorhaben
Mobile Plasmatechnologie zur Abwehr biologischer Gefahren in Seuchengebieten
MoPlasDekon

Förderkennzeichen 13N14128

Teilvorhaben „Entwicklung eines mobilen Plasmamoduls zur Desinfektion von Oberflächen und Raumluft“

Plasmatreat GmbH

Laufzeit: 01.09.2016 – 31.08.2019

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 13N12427 gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzer Inhaltlicher Bericht

Berichtsblatt

Document Control Sheet

Schlussbericht

I. Kurze Darstellung
   1. Aufgabenstellung
   2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
   3. Planung und Ablauf des Vorhabens
   4. Wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde
   5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

II. Eingehende Darstellung
   1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse
   2. Wichtigste Posten des zahlenmäßigen Nachweises
   3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit
   4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse
   5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen
   6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

III. Erfolgskontrollbericht
   1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen
   2. Wissenschaftlich-technologische Ergebnisse
   3. Fortschreibung des Verwertungsplans
   4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben
   5. Präsentation der Ergebnisse
   6. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Anzeige von Erfindungen und Schutzrechtsangelegenheiten

Veröffentlichungen des F+E Ergebnisses

Versandbestätigungen

Kurzer Inhaltlicher Bericht - MoPlasDekon

Schlussbericht zum Vorhaben: Entwicklung eines mobilen Plasma-Systems zur Abwehr biologischer Gefahren

Förderkennzeichen: 13N14128 **Laufzeit des Vorhabens:** 01.09.2016 – 31.08.2019

Projektpartner: Plasmatreat GmbH, Fraunhofer IVV und m-u-t GmbH

Assoziierte Partner: Feuerwehr Essen, Bayerisches Rotes Kreuz, Robert Koch Institut, INHAG GmbH

Das Projekt ***MoPlasDekon*** wurder im Rahmen des Förderprogramms „KMU-Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit" gefördert. Das Projekt leistete einen Beitrag zur Erforschung von innovativen Technologien zur schnellen und sicheren Beseitigung hochinfektiöser pathogener Erreger, was von großer Bedeutung bei der Eindämmung wiederkehrender oder bisher noch unbekannter Seuchen ist, wie der gerade in China grassierenden durch Corona-Viren verursachten Lungenkrankheit.

Das ***Verbundprojekt MoPlasDekon*** hatte zum Ziel, ein mobiles Plasma-System zu entwickeln, mit dem Personen in Schutzanzügen in Dekontaminationszelten zuverlässigt von infektiösen Erregern dekontaminiert werden können.

Die ***konkreten Ziele*** des Projekts waren die Neuentwicklung eines kompakten Plasma-Generators und einer Plasma-Düse zur Desinfektion bzw. Sterilisation (Plasmatreat). Zur Prozessüberwachung sollte ein Gas-Sensor entwickelt (m-u-t) und ins mobile Plasma-Desinfektions-System integriert werden. Der Demonstrator des mobilen Plasma-Desinfektions-System sollte einer eingehenden mikrobiologischen Validierung unterzogen werden (IVV).

Ergebnisse des Projektes: Plasmatreat hat im Rahmen des Verbundprojektes vier Versionen eines mobilen Plasma-Desinfektions-Systems realisiert, erste mikrobiologische Tests durchgeführt und in kurzen iterativen Schleifen die Funktionalität perfektioniert. Dem Fraunhofer IVV wurden ein Basis-System (nicht mobil) und zwei Versionen des MoPlasDekon-Systems zur eingehenden Validierung zur Verfügung gestellt, wobei die letzte Version, MoPlasDekon CD40 4.0 bereits den von m-u-t entwickelten Gas-Sensor zur Prozessüberwachung integriert hatte. Das MoPlasDekon CD40 4.0 besitzt einen gut tragbaren Generator, der die Versorgung der Plasma-Quelle CD40 4.0 mit Hochspannung, Prozessgas (Luft) und Wasserdampf sicherstellt und mit Netzspannung (weltweit kompatibel) oder Akku betrieben werden kann. Demnach wurden die technischen Ziele erreicht.

Die funktionelle Validierung erfolgte teilweise bei Plasmatreat, aber für die eingehende mikrobiologische Prüfung sei auf den Schlussbericht vom Fraunhofer IVV verwiesen.

Von Plasmatreat wurden nur kurze Tests zur bakteriziden und sporoziden Wirkung der Testanlagen vorgenommen und es wurde festgestellt, dass eine enorme Effektivität, insbesondere der vierten Version (CD40 4.0) der Anlage gegeben ist . Bei direkter Beaufschlagung einer künstlich verkeimten Test-Oberfläche war eine Sterilisation, die Reduktion der Keimbelastung um 6 logarithmische Stufen, also um den Faktor 1.000.000, bereits nach wenigen Sekunden möglich. Auch die Sterilisation eines kleineren Test-Volumens wurde in wenigen Minuten erreicht. Getestet wurde mit künstlich aufgebrachten bakteriellen Endosporen, der resistentesten bekannten Lebensform.

Ferner wurde während der Laufzeit des Projekts als zusätzliches Ziel die Desinfektion von Einsatzfahrzeugen (Krankentransportwagen; KTW) formuliert und das MoPlasDekon System CD40 4.0 an einem realen KTW (Plasmatreat vom BRK zur Verfügung gestellt) erfolgreich getestet.

Das Verbundprojekt MoPlasDekon hat somit alle geplanten Ziele erreicht und es steht ein vielversprechender Demonstrator zur mobilen Dekontamination im biologischen Krisenfall zur Verfügung. Es steht nun erstmals eine Plasmatechnik zur Verfügung, die auch für die Desinfektion bzw. Sterilisation größerer Räume geeignet ist. Plasmatreat wird zusammen mit den aktuellen Projektpartnern, Faunhofer IVV und m-u-t GmbH die Technologie weiterentwickeln und zur Marktreife bringen. Insbesondere die Zulassung der Plasma-Sterilisation als Desinfektionsverfahren bzw. Sterilisationsverfahren wird noch eine beträchtliche Hürde auf dem Weg zur Marktreife werden. Es sind aber auch noch technische Probleme zu lösen wie up-scaling der Plasma-Technologie, um den Prozess zu beschleunigen. Die Abluft- und Ozon-Behandlung und die Verbesserung der Prozess-Überwachung werden ebenfalls noch zu lösen sein. Die Projektpartner sind sich einig, daß die Technologie sehr vielversprechend ist, aber auch noch ein weiter Weg zur Marktreife zurükzulegen ist. Die Projektparter wollen diesen Weg gemeinsam im Rahmen eines Folgeprojekts gehen.

Verwertung Aussichten für die Zukunft: Das entwickelte Plasma-Desinfektions-Systems sollte auch zur Erschließung neuer Absatzmärkte führen wird, wodurch der wirtschaftliche Erfolg der Firma Plasmatreat langfristig gestärkt wird. Die positive Umsetzung dieses Vorhabens verspricht zudem die mögliche Übertragung dieses Verfahrens auf andere Bereiche mit hohen Hygieneanforderungen wie medizinische Einrichtungen, die Pharmaindustrie oder den Lebensmittelsektor.

Plasmatreat hat eine Patentanmeldung mit dem Titel *„VERFAHREN ZUR OBERFLÄCHENDESINFEKTION UND ZUR DESINFEKTION VON KOMPONENTEN EINER ABFÜLLANLAGE“* (**DE102017123871A1, EP3470364A1)** eingereicht, die zum Teil auf Ergebnissen des Verbundprojekts beruht. Die Herstellung und Verwendung von Plasma-aktiviertem Wasser hat eine ergänzende Bedeutung für die Plasma-Desinfektion (siehe Schlussbericht IVV) und kann einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der MoPlasDekon Plasma-Desinfektionsanlagen, zu ihrer Funktionalität und wirtschaftlichen Erfolg werden.

Im Projekt-Antrag bereits wurde die wirtschaftliche Verwertung abgeschätzt und die tatsächliche Lage am Ende des Projekts entspricht der erwarteten sehr gut. Für das erste Jahr nach Beendigung des Projekts war die Weiterentwicklung des Demonstrators geplant, was tatsächlich bereits gestartet wurde. Auch ist abzusehen, dass einige Vorserien-Anlagen im Bereich der Industriellen Forschung und Entwicklung vermarktet werden können. Es wurden bereits mehrere Angebote erstellt und es wurde ein reges Interesse aus dem Kranken-Transport-Bereich und Katastophenschutz verzeichnet, sodass Umsätze ab einem Zeitraum von 3 – 4Jahren nach Ende des Projekts durchaus realisierbar erscheinen. Daher ist die Firma Plasmatreat optimistisch, dass die im Projekt erarbeitete Plasma-Desinfektions-Technologie zur Martreife gebracht werden kann und ein wirtschaftliches Wachstum in den nächsten Jahren zur Folge haben wird. Somit wird das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Firma Plasmatreat leisten.

Publikation der Ergebnisse: Die Ergebnisse des MoPlasDekon Verbundprojektes wurden im Rahmen einer Publikation dokumentiert und der wissenschaftlichen Öffentlichkeit verfügbar genmacht:

Kramer et al., (2019) ***J Appl. Microbiol.*** https://doi.org/10.1111/jam.14528

Auch wurden die Ergebnisse auf wissenschaftlichen Tagungen vorgetragen und durch Artikel in der Fachpresse einem breiteren Fachpublikum vorgestellt.

Durch einen Presseevent am 30.07.2019 und damit folgend der Veröffentlichung auf verschiedenen Internet-Seiten (BMBF, BRK, Plasmatreat) und in der regionalen und überregionalen Presse wurden die Ergebnisse des Projekts einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht

3. Titel

Mobile Plasmatechnologie zur Abwehr biologischer Gefahren in Seuchengebieten (MoPlasDekon)

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens 8.2019
Schmitt-John, Thomas Guist, Sebastian Hasse, Daniel	6. Veröffentlichungsdatum 11.2019
	7. Form der Publikation Artikel in Fachzeitschrift
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
Plasmatreat GmbH Queller Straße 76-80 33803 Steinhagen	10. Förderkennzeichen 13N14128
	11. Seitenzahl 29
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 8
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 23

16. Zusätzliche Angaben

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

18. Kurzfassung

Stand von Wissenschaft und Technik: Die Nutzung von Plasma zur Desinfektion, oder Sterilisation wird seit längerem diskutiert und untersucht.

Begründung /Zielsetzung der Untersuchung: Das Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines mobilen Plasma-Systems zur Dekontamination von Gegenständen, Räumen und Personen in Schutzanzügen im biologischen Katastrophenfall.

Methode: Die von uns angewendete Technik beruht auf einer Kombination von kaltem atmosphärischem Plasma mit Wasserdampf.

Ergebnis: Im Zuge des Vorhabens wurde ein Prototyp entwickelt, der in einem Raum in kurzer Zeit eine hohe antibakterielle und sporozide Wirkung entfaltet, die die eine sichere, schonende und schnelle Sterilisierung ermöglicht. Es konnte sogar gezeigt werden, dass es möglich ist den Innenraum eines Krankentransportwagens zu dekontaminieren. Für diese Sterilisations-Leistung braucht die Anlage nur Strom, Wasser und Luft und es entstehen keine schädlichen Abfälle.

Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten: Die entwickelte MoPlasDekon Technologie kann zur Dekontamination von Material, Räumen und Personen in Schutzanzügen im biologischen Krisenfall genutzt werden. Es sind aber noch weitere Anwendungen denkbar, wie z.B. die Routine-Dekontamination von Krankenwagen, Anwendungen in der klinischen Hygiene, Lebensmittehygiene oder der sterilen Abfüllung, bzw. Verpackung von Lebensmitteln oder Pharmaka.

19. Schlagwörter

Plasma – Sterilisation – Dekontamination - Desinfektion

20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report

3. title

Mobile plasma technology for the defense against biological threats in epidemics (MoPlasDekon)

4. author(s) (family name, first name(s))	5. end of project 8.2019
Schmitt-John, Thomas Guist, Sebastian Hasse, Daniel	6. publication date 11.2019
	7. form of publication Journal article
8. performing organization(s) (name, address) Plasmatreat GmbH Queller Straße 76-80 33803 Steinhagen	9. originator's report no.
	10. reference no. 13N14128
	11. no. of pages 29
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 8
	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 23

16. supplementary notes

17. presented at (title, place, date)

18. abstract

State of science and technology: The use of plasma for disinfection or sterilization has been discussed and investigated for long time.

Rationale / objective of the investigation: The aim of the project was the development of a mobile plasma system for the decontamination of objects, rooms and people in protective suits in the case of biological disaster.

Method: The technique we use is based on a combination of cold atmospheric plasma with water vapor.

Result: In the course of the project, a prototype was developed that quickly develops a high antibacterial and sporocidal effect in a room, which enables safe, careful and quick sterilization. It has even been possible to decontaminate the interior of an ambulance. For this sterilization performance, the system only needs electricity, water and air and does not produce harmful waste.

Conclusion / possible applications: The developed MoPlasDekon technology can be used to decontaminate material, rooms and people in protective suits in case of a biological desaster. However, other applications are also conceivable, such as routine decontamination of ambulances, applications in clinical hygiene, food hygiene or for sterile filling and packaging of food or pharmaceuticals.

19. keywords
Plasma – Sterilization – Decontamination - Disinfection

20. publisher	21. price

Anlage2

Schlussbericht
MoPlasDekon

I. Kurze Darstellung

Mobile Plasmatechnologie zur Abwehr biologischer Gefahren in Seuchengebieten
MoPlasDekon (Förderkennzeichen 13N14128)

1. Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung und Testung eines mobilen Plasma-Systems, bestehend aus einer neu entwickelten Plasmaquelle und einem kompakten Generator zur sicheren Dekontamination von Gegenständen, Räumen und Personen in Schutzanzügen im Rahmen einer biologischen Gefahrenlage. Der entwickelte MoPlasDekon Demonstrator dient der schnellen und sicheren Beseitigung hochinfektiöser pathogener Erreger und ist von großer Bedeutung, wenn es um die Eindämmung wiederkehrender oder bisher noch unbekannter Seuchen geht und trägt somit nachhaltig zum Schutz der Bevölkerung bei.

2. Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Firma Plasmatreat GmbH ist auf Erforschung, Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Atmosphärendruck-Plasmaanlagen auf Düsenbasis zur Vorbehandlung und Beschichtung von Kunststoffen und Metallen spezialisiert.
Die wesentliche Innovation des Projektes lag daher in der Weiterentwicklung einer raumfüllenden „dielektrischen Barriere-Entladung“ (DBD)-basierten Dekontamination auf Düsenbasis, kompakt verbaut in einer einfach zu bedienenden, prozessüberwachten und programmgesteuerten mobilen Anlage.
In der Zentrale in Steinhagen standen diverse Plasmaanlagen für die Aktivierung und auch zur Entkeimung von Oberflächen zur Verfügung. Ein eigenes mikrobiologisches Labor war verfügbar, um Dekontaminationsversuche vorzunehmen. In allen Phasen des Projektes waren so erste orientierende Desinfektionsversuche möglich, um in kurzen Iterationsschleifen die Entwicklung des MoPlasDekon Plasma-Systems zu ermöglichen. Somit standen alle notwendigen Voraussetzungen für den Erfolg des Projektes zur Verfügung

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Vorhabens erfolgte vor und im Zuge der Beantragung der Zuwendung und in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, Fraunhofer IVV und m-u-t GmbH, sowie den assoziierten Partnern, Bayerisches Rotes Kreuz, Taskforce der Feuerwehr Essen, dem Robert Koch Institut und der Firma Inhag. Auch die Durchführung des Projekts wurde in enger Kooperation mit den Projektpartnern und assoziierten Partnern erfolgreich abgeschlossen. Regelmäßige Treffen aller Partner wurden durchgeführt, genauso wie bilaterale Treffen. Der rege Austausch bzw. die Integration von Technologien war die Basis des Erfolges. Plasmatreat entwickelte das MoPlasDekon Plasma-Desinfektions-System, m-u-t die Gas-Sensoren zur Prozessüberwachung (integriert in die Plasma-Anlage) und das Hand-Gerät zur Raumüberwachung und das Fraunhofer IVV führte die umfangreiche mikrobiologische Testung und Evaluierung durch.

4. Wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde

Seit einigen Jahren schon beschäftigte sich Plasmatreat mit der Erforschung der Oberflächenentkeimung mittels AD-Plasmen. Dazu wurde bereits im Jahre 2006 ein erstes Forschungsprojekt zur Entkeimung von Packstoffen mit dem Fraunhofer IVV im Rahmen des Förderprogramms „PRO INNO II" (BMWi) durchgeführt. Titel: „Entkeimung von Packstoffen und Anlagen der Verpackungstechnik in der Lebensmitteltechnologie mittels Atmosphärendruckplasmen (FKZ: A0310101UL6)". Ein weiteres Projekt mit dem Titel „Entwicklung eines Verfahrens zur Sterilisation thermolabiler flexibler Endoskope mittels Atmosphärendruck-Plasma (FKZ: KF2263102MK0)" wurde mit dem Institute of Cleaning Technology (WFK) in Krefeld erfolgreich umgesetzt.

Im Vorhaben A0310101UL6 konnte erstmals gezeigt werden, dass bei den Testkeimen *Aspergillus niger* und *Bacillus atrophaeus* eine Reduktion der Ausgangkonzentration um etwa 5 Zehnerpotenzen realisiert werden kann. Eingesetzt wurde seinerzeit die bereits seit 1995 kommerziell verfügbare Plasmatechnik auf Düsenbasis, die bis heute bereits mehrere 1000-mal zur Vorbehandlung von Kunststoffen (Oberflächenmodifizierung) und zur Reinigung von Metallen industriell erfolgreich angewendet wurde (Handelsname Openair®-Plasma). Der Einsatz einer solcher Openair®-Düse ist daher im Wesentlichen auf Flachmaterialien oder einfache 3D-Geometrien beschränkt. Zudem ist der Temperatureinfluss der Düse auf das Substrat während der Vorbehandlung zu berücksichtigen. Das mit dieser Düse zu erzeugende Plasma hat nur eine sehr kurze Lebensdauer, ist nicht volumenfüllend und war somit zur Dekontamination von Zelten und Schutzanzügen nicht einsetzbar. Die Firma Plasmatreat GmbH hatte zusammen mit dem Fraunhofer IVV im Jahre 2006 bereits ein Patent mit dem Titel „Verfahren zur Desinfektion von Gegenständen" angemeldet, welches erteilt wurde. Zur Anwendung kommt hier ein nicht volumenfüllender atmosphärischer Plasmastrahl, mit dem die zu dekontaminierende Oberfläche beaufschlagt wird (EP 1 965 833 B1).

Neben den Erkenntnissen aus den vorangegangenen Projekten und der Openair® Technik stand bei Plasmatreat Know-how im Bereich der dielektrischen Barriere Entladung (DBD) Plasma zur Verfügung, welches genutzt werden konnte und auf dem das Vorhaben aufbauen konnte.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die enge Zusammenarbeit innerhalb des Konsortiums war notwendig und fruchtbar. Die Prototypen der m-u-t Gassensoren konnten bei Plasmatreat erfolgreich getestet und ins System integriert werden, wozu ein enger Austausch erforderlich war. Nach Fertigstellung der einzelnen Versionen des MoPlasDekon Systems wurden diese kurz mikrobiologisch bei Plasmatreat getestet und dann umgehend in Garching am Fraunhofer

IVV aufgestellt, mit der dort verfügbaren Glove-Box verbunden und eingehend getestet. Die assoziierten Partner konnten im Zuge der Projekttreffen wertvolle Beiträge zur Konzeptionierung, Umsetzung und Testung der Anlage liefern.

Eine Zusammenarbeit mit Stellen außerhalb des Projekt-Konsortiums war für den Erfolg des Vorhabens nicht notwendig.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Die Zuwendung wurde wie im Antrag beschrieben verwendet und die Ergebnisse werden im Folgenden nach Arbeitspaketen gegliedert beschrieben.

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und andere Ereignisse, die Einfluss auf das Vorhaben haben könnten

AP1 Anforderungsanalyse

Bereits beim Kick-off Meeting des Projekts in Steinhagen (29.09.2016) wurde mit den assoziierten Partnern eine Anforderungsanalyse für die zu entwickelnde Plasma-Dekontaminationsanlage begonnen, welche in weiteren Treffen bei einem Workshop des BRKs in Haßfurt (29.10.2016) und bei einem Besuch bei der Analytischen Taskforce der Feuerwehr Essen (24.11.2016) weiter präzisiert.

Der von allen Projekt-Beteiligten einvernehmlich festgelegte Anforderungskatalog umfasste die folgenden Spezifikationen:

Maße: Die mobile Plasma-Anlage sollte tragbar sein von einer Person und somit unter 25Kg wiegen. Die Größe wurde auf unter einem Kubikmeter festgelegt

Eigenschaften: Günstig in der Anschaffung, geringe laufende Kosten, einfache Bedienung, robust

Robustheit: Das Gerät sollte zwischen -20 und +50°C einsetzbar sein, möglichst einen Sturz aus bis zu einem Meter überstehen, ein Explosionsschutz war als nicht notwendig betrachtet worden

Betrieb: Netzbetrieb für möglichst alle Netze weltweit, Einsatzfahrzeuge haben normalerweise ein Notstromaggregat an Bord mit dem die Anlage betrieben werden können muss und ein Batteriebetrieb von 1-2 Stunden bei Netzausfall sollte möglich sein.

Die Benutzung sollte möglichst einfach sein, das Gerät mit Handschuhen bedienbar sein, der Akkuwechsel einfach und das Gehäuse gut desinfizierbar sein.

Prozessüberwachung: Um eine sichere Desinfektion zu gewährleisten soll der Prozess überwacht werden. Dazu ist ein Ozonsensor gedacht der im Bereich von 2 – 6 g/m3 Ozon misst und damit den korrekten Betrieb der Plasma-Quelle überwacht (in die Plasmaanlage zu integrieren). Ein zweiter Sensor soll nach der Sterilisation und belüften des Dekontaminations-Raumes die Luft freimessen und demnach im Bereich der Ozon-Grenzwerte für Arbeitsplätze zuverlässig messen (kann ein Handgerät sein). Überschreiten oder Unterschreiten der Sollwerte sollen möglichst durch eindeutige optische und akustische Signale angezeigt werden.

Weitere Anforderungen: Im Zuge des Projekts kamen weitere Anforderungen dazu, wie die Möglichkeit zur gleichzeitigen mechanischen Reinigung von komplexen Matrices (Blut, Schmutz, Erbrochenes) sollte möglich sein und es kam das Problem der Luftversorgung von Personen im Dekontaminationszelt auf. Da das Gerät im Betrieb eine Ozon-Menge von bis zu 4 g/m^3 im Raum erzeugt und diese Menge nach Rücksprache mit Experten der Firma Dräger nicht ausreichend von den gebräuchlichen Luftfiltersystemen entfernt wird ist eine externe Luftversorgung der Person im Dekontaminationszelt notwendig. Nach Aussage von INHAG gäbe es solche Versorgungs-Möglichkeiten für Dekontaminationszelte wo über ein Schnellkopplungsanschluss das Atemsystem ohne Kontaminationsrisiko an eine externe Atemluftversorgung angeschlossen werden kann.

AP2 Entwicklung/Bau kompakter Generator

Vor der Realisierung der MoPlasDekon Plasma-Anlage wurde ein erstes Konzept für die Plasma-Anlage entwickelt (AP2.1). Im Zuge der Umsetzung des AP2.2 „Bau eines kompakten Generators war eine Anpassung der Konzeption notwendig. In Abbildung 1 ist die zweite Version der Gesamtkonzeption dargestellt.

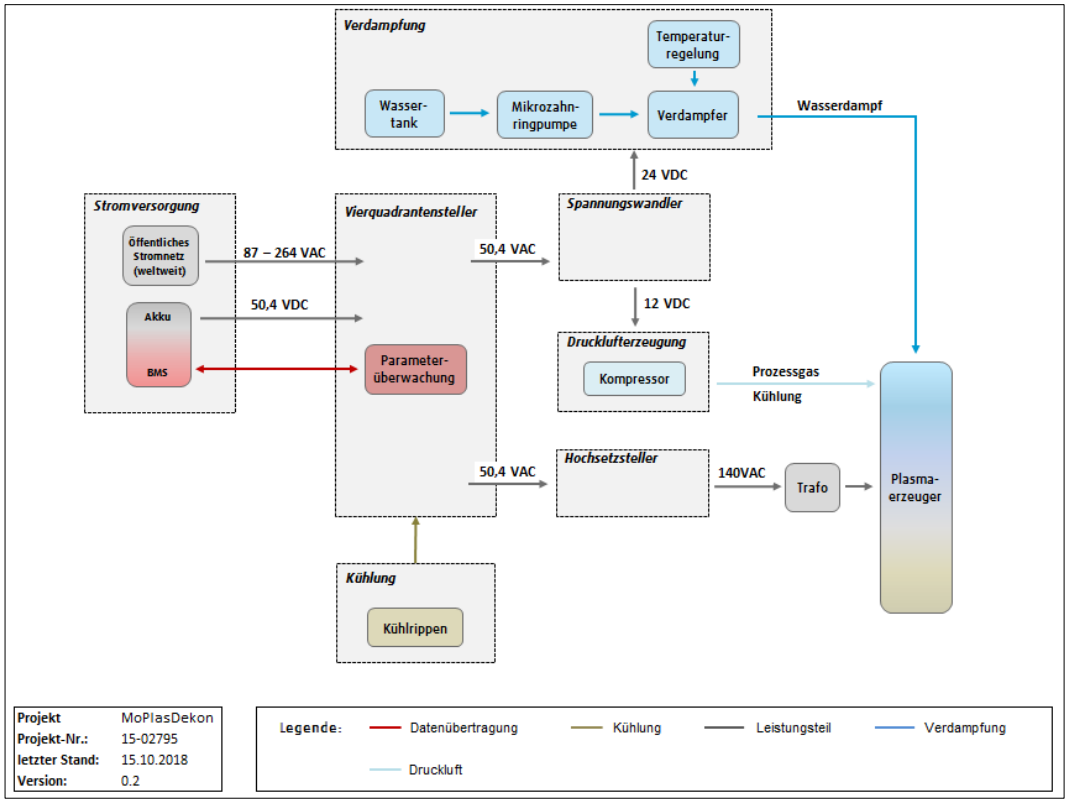


Abb. 1: MoPlasDekon Plasma-Anlage Gesamtkonzept 2. Version

Um eine kompaktere Bauweise des Generators zu erreichen, war eine weitere Änderung des Gesamtkonzeptes notwendig (Abb. 2). Es wurden die gewählten elektronischen Komponenten wie der sogenannte „Vierquadrantensteller“ und der „Hochsetzsteller“ auf einer Platine vereint. Der „Vierquadrantensteller“ ist ein elektronisches Bauteil, bestehend aus einer aus einer elektronischen H-Brückenschaltung und vier Halbleiterschaltern, die eine Gleichspannung in eine Wechselspannung variabler Frequenz und variabler Pulsbreite umwandeln kann. Der „Hochsetzsteller“, erhöht die Spannung auf 140V, die dann vom Transformator zur Erzeugung der Hochspannung für den Plasmaerzeuger genutzt wird.

Zusätzlich wurden die in der 2. Version eingefügten Bauteile, Spannungswandler und die Temperaturregelung des Verdampfers auf der neu designten Platine integriert.

Im Zuge der Integration des von m-u-t entwickelten Ozonsensors musste der Vierquadrantensteller um eine SPI – Schnittstelle erweitert werden. Sie dient zur Datenübertragung der Ozonwerte zwischen Sensor und der Auswerteelektronik auf dem Vierquadrantensteller. Die Kommunikation mittels SPI – Schnittstelle wurde vorab mit der Firma m-u-t vereinbart.

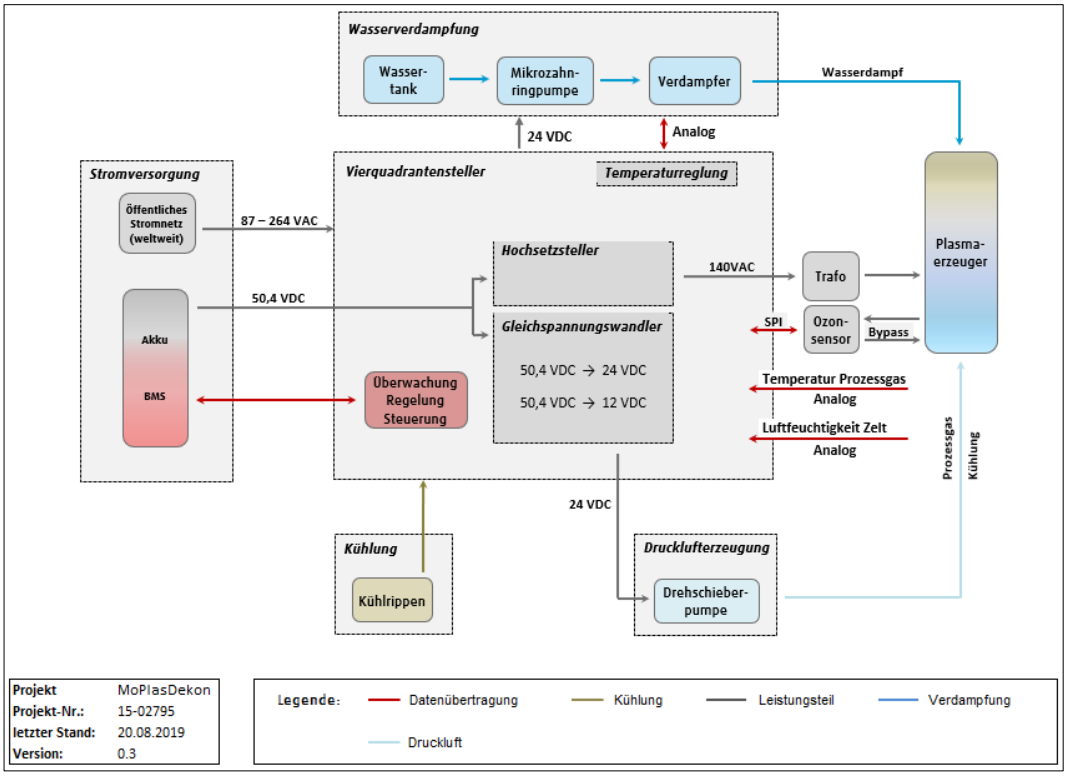


Abb. 2: MoPlasDekon Plasma-Anlage Gesamtkonzept 4. Version

Des Weiteren wurden zwei analoge Schnittstellen, zur Messung der Prozessgastemperatur und Erfassung der Luftfeuchtigkeit im Dekontaminationszelt, auf der Platine integriert.

Die Drucklufterzeugung wurde aus Energie- und Gewichts Gründen von einem Kompressor auf zwei Drehschieberpumpen umgestellt.

Die in Abb. 3 abgebildete Plasmaanlage entspricht dem 4. im MoPlasDekon Projekt realisierten Demonstrator.

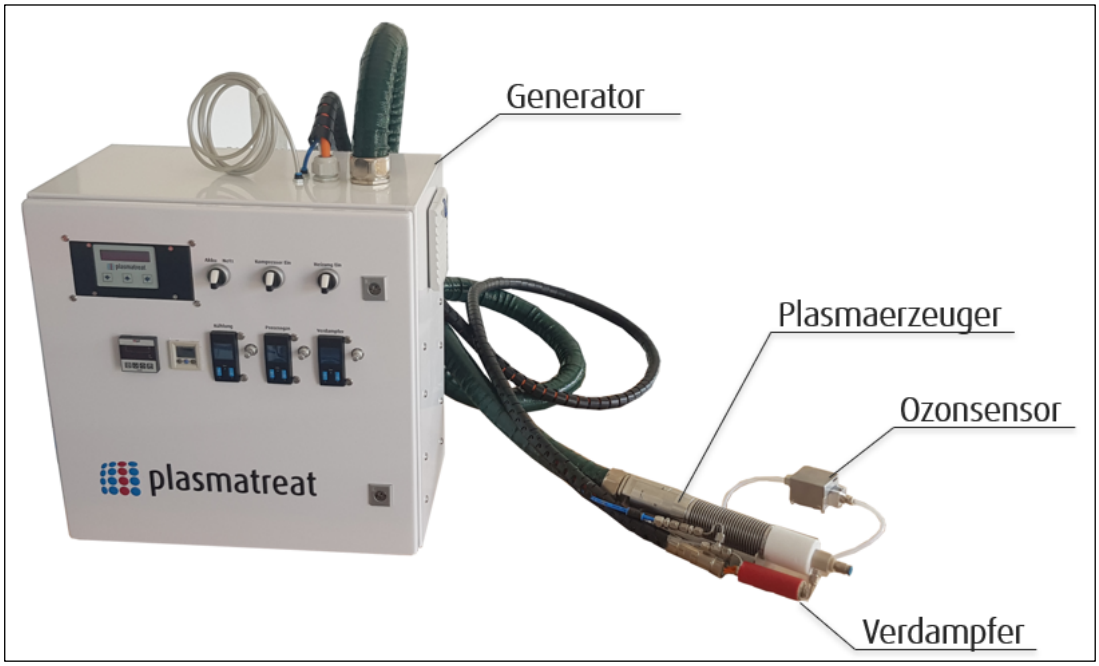


Abb. 3: MoPlasDekon Demonstrator 4. Version

Gewicht- und Leistungsübersicht der Einzelkomponenten

Eine Übersicht aller Komponenten ist in Tabelle 1 dargestellt. Neben dem Hersteller und der Produktbezeichnung sind in den letzten beiden Spalten das Gewicht und die benötigte Energie in Wattstunden aufgeführt. Ein Gesamtgewicht von 25 kg war eine der definierten Anforderungen um die Tragbarkeit zu gewährleisten. In der 3. Version lag das Gesamtgewicht der Anlage 0,375 kg bereits unter der geforderten Grenze von 25 kg.
Auch aus energietechnischer Sicht werden alle Ziele für die Anforderung eines 2 Stündigen Akku Betrieb eingehalten. 506,5 Wattstunden (Wh) Energie stehen zur Verfügung. Davon werden 443,4 Wh bei durchgehendem Akkubetrieb verbraucht. Somit stehen noch 63,1 Wh mehr zur Verfügung und sichern den Akkubetrieb der Anlage von mindestens 2 Stunden.

Anlagenteil	Bezeichnung	Gewicht kg	Energie Wh
Stromversorgung			
Akkumulator	extern	6,47	+506,5
Vierquadrantensteller Hochsetzsteller	Plasmatreat GmbH / Version 0.3	1,5	-90
Drucklufterzeugung			
Drehschieberpumpe	extern	2x 1,2	-144
Durchflussregler	extern	1,8	-5
Verdampfung			
Wassertank (befüllt)		0,7	0
Mikrozahnringpumpe	extern	0,145	-6,4
Verdampfer/Heizpatrone	extern	0,15	-25
Transformator	extern	1,5	
Plasmaerzeuger	Plasmatreat GmbH / CD40 Version 3.0	3	-110
Gehäuse	extern	5	0
Sonstige Komponenten	Verkabelung, Verschlauchung, Klemmen, Sicherungen, Schutzschalter	2	-15
Gesamt		24,665	+63,1

Tabelle 1: Generatorkomponenten mit Gewichten und Energiebedarf.

Vierquadrantensteller

Der Vierquadrantensteller besitzt weiterhin, wie in Abb. 4 dargestellt, ein Eingangsmodul, das für einen Spannungsbereich von 87 – 264 V bei 50/60 Hz Wechselspannung ausgelegt und somit an jedem Stromnetz weltweit einsetzbar ist. Ein Gleichrichter erzeugt aus der Wechselspannung im Anschluss eine Gleichspannung von 50,4 V. Im Akkubetrieb sind das Eingangsmodul und der Gleichrichter nicht aktiv, da der Akkumulator schon eine Ausgangsspannung von 50,4 V (Nennspannung Li-Ionen-Akkumulator) liefert und direkt die H-Brücke damit versorgt.

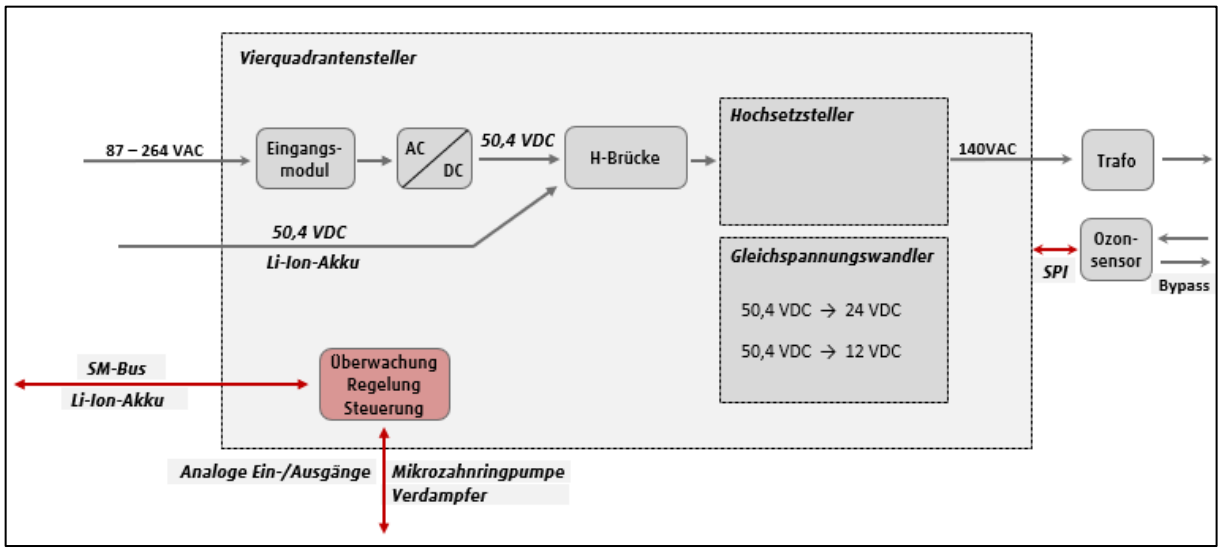


Abb. 4: Blockschaltdiagramm Vierquadrantensteller mit integriertem Hochsetzsteller

Der Hochsetzsteller war in Version 0.2 auf einer separaten Platine untergebracht. In der aktuellen Version 0.3 wurde er platztechnisch optimiert und auf der Vierquadrantensteller Platine untergebracht. Die Platine musste dadurch nur minimal vergrößert werden.

Der Hochsetzsteller transformiert die 50,4 V weiterhin auf 140 V Wechselspannung hoch und stellt sie dem Transformator zur Hochspannungserzeugung zur Verfügung.

Die in Version 0.2 eingesetzten Gleichspannungswandler, wurden, genau wie der Hochsetzsteller, auf der Platine des Vierquadrantenstellers integriert. Durch die individuell angepassten Gleichspannungswandler konnten neben der Gewichtsreduktion, Kosten eingespart werden.

Drehschieberpumpe

Für die Förderung von Prozess-luft, Prozessgas, Trägergas und Kühlgas wurden zwei Drehschieberpumpen eingesetzt, die den bisher verwendeten Kompressor ersetzen. Die Pumpen werden mit 24 Volt Gleichspannung versorgt und benötigen dabei jeweils einen Strom zwischen 2 und 4 A.

Abb. 5: Drehschieberpumpe

Elektrische Daten	
Nennspannung	24 V
Nennstrom	1,9 – 3,6 A
Nennleistung	45 - 86
Hersteller	Thomas by Gardner Denver
Modell	G 24/08
Mechanische Daten	
Gewicht	1,2 kg
Arbeitstemperatur	0°C - 40°C
Volumenstrom	36 l/min
Druck	1,4 bar

Tab. 1: Technische Daten Drehschieberpumpe

Der in dem MoPlasDekon Projekt entstandene Plasmaerzeuger benötigt zwischen 2 und 3 l/min Trägergas und 10 – 15 l/min Prozessgas. Pumpe 1 stellt die benötigten 18 l/min bei einer Nennleistung von 64 Watt zur Verfügung. Pumpe 2 erzeugt die Luft für die Kühlung der Innenelektrode. Bei maximal 30 l/min arbeitet die 2. Pumpe bei 80 Watt Nennleistung. Zusammen liegt der Verbrauch bei 144 Watt. Er ist damit um 96 Watt niedriger als die Leistung des Kompressor (240 Watt).

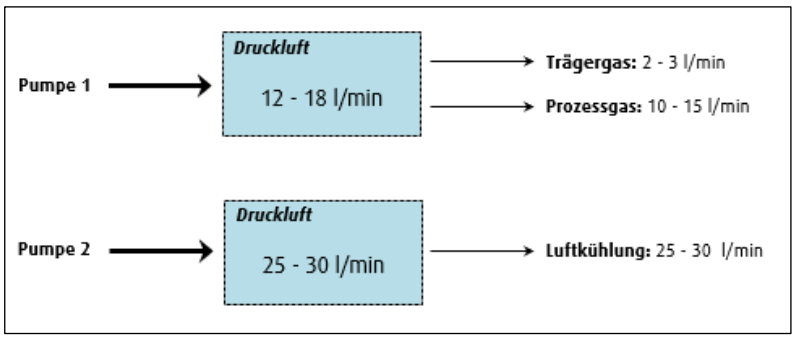


Abb. 6: Verteilung der Druckluft auf die einzelnen Verbraucher

AP2.3 Entwicklung /Bau kompaktes Plasmamodul

In Abb. 7 ist die vierte Entwicklungsstufe des Plasmaerzeugers zu sehen (Version 4.0). Der Plasmaerzeuger ist mit dem Verdampfer und dem Ozonsensor auf einer Montageplatte befestigt. Version 4.0 ist die erste Version, die zur Prozesskontrolle den von der Firma m-u-t entwickelten Ozonsensor beinhaltet. Das Ozon wird über einen Bypass aus der Düse durch den Ozonsensor wieder zurück in die Düse geleitet. Über die SPI-Schnittstelle werden im Sekundentakt die Ozonwerte aufgenommen und auf einer im Generator integrierten Siebensegmentanzeige dargestellt. Die Ozonmessung erfolgt vor der Wasserdampfeinleitung. Dadurch wird keine Heizung zur Trocknung der Luft benötigt.

Die Version 4.0 des Plasmaerzeugers benötigt eine Leistung von 110 Watt. Dabei erzeugt sie zwischen 6 und 7 g/h Ozon. Die Temperatur des Plasmaerzeugers konnte durch die integrierten Kühlrippen an der Außenelektrode auf maximal 58 °C bei einer Umgebungstemperatur von 23,5 °C beschränkt werden.

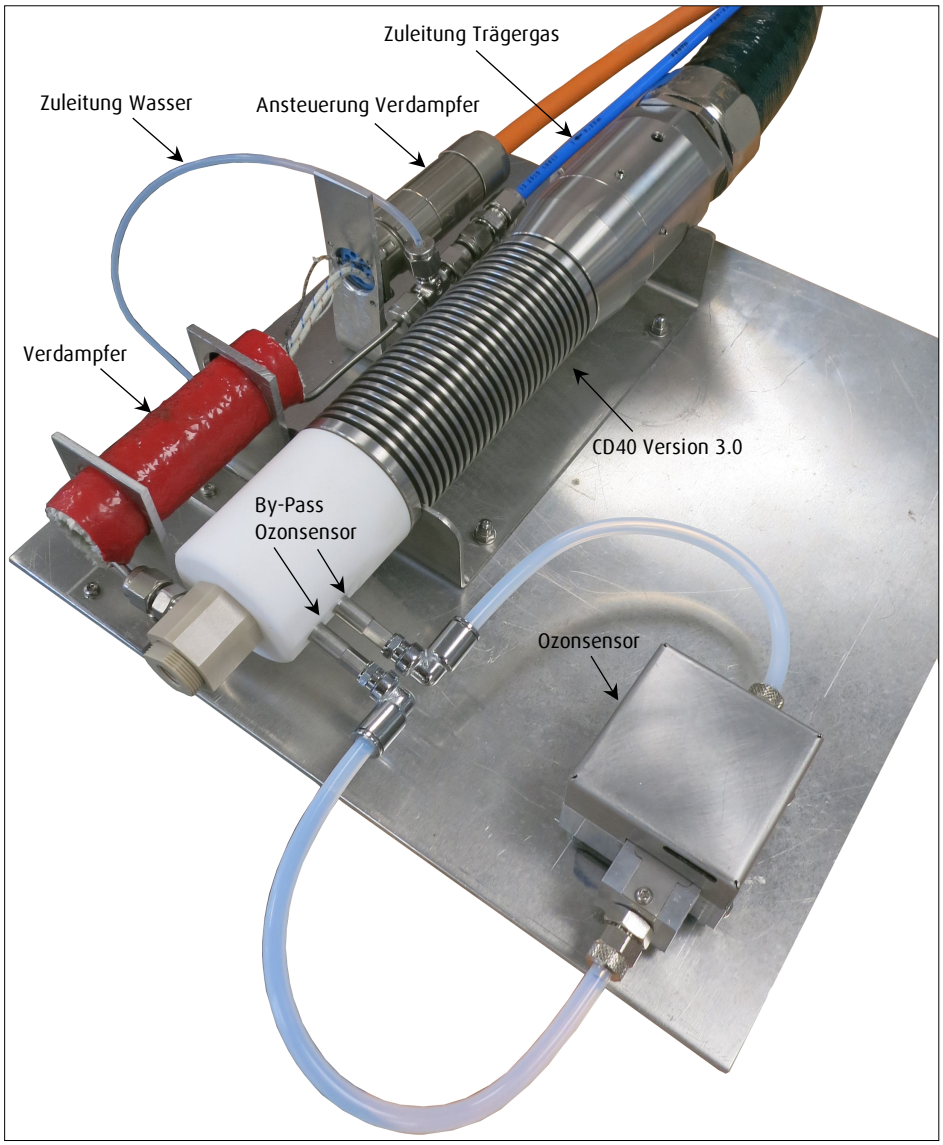


Abb. 7: Plasmaerzeuger CD40 Version 4.0 mit integriertem Ozonsensor

AP4 Mikrobiologische Validierung

Um die Entwicklung der Prototypen in möglichst kurzen Iterationsschleifen realisieren zu können, wurden die jeweiligen Versionen des Plasmasystems einer mikrobiologischen Validierung im mikrobiologischen Labor von Plasmatreat unterzogen (siehe unten). Dabei wurden vor allem kurze Tests zur Wirksamkeit bei direkter Beaufschlagung einer Testoberfläche mit Plasma-aktiviertem Wasserdampf und erste Vergleichstests zur Raum-Desinfektion. Die eingehende mikrobiologische Evaluierung der MoPlasDekon Prototypen, die verschiedene Keime, verschiedene Prozessparameter, einen größeren Testraum von 300 Litern und verschiedene Testoberflächen berücksichtigen, erfolgte durch das Faunhofer IVV (siehe Schlussbericht Fraunhofer IVV). Von Plasmatreat wurden zusätzlich Plasma-Sterilisationstests an einem vom BRK zur Verfügung gestellten Krankentranportwagen (KTW) durchgeführt (siehe unten) und Tests-Desinfektionen an den von Einsatzkräften verwendeten Probennahme-Beuteln (folgendes Kapitel).

Äußerliche Desinfektion von Standard-Probenbeuteln

Die Untersuchungen dienen nicht nur dazu, die grundsätzliche Eignung der Plasmatechnologie zur äußerlichen Dekontamination von CBRN Probenahmebeutel zu untersuchen, sie ermöglichten auch einen Vergleich der „alten" und „neuen" verkleinerten Plasmatechnik bez. ihrer keimtötenden Wirkung.

Im Rahmen der AP 2.2 und 2.3 wurde die Reduktion von Mikroorganismen auf Probenahmebeutel (CBRN-Probebeutel, Firma DÖNGES GmbH, Abb.8) unter Einwirkung des CD50-Plasmaerzeugers (ursprünglicher großer Plasmaerzeuger) ermittelt. Diese Probenahmebeutel werden von Einsatzkräften vor Ort genutzt, um Abstriche von potentiell kontaminierten Oberflächen in ein Analyselabor zu überführen.

Die Abstriche werden mit Swob Duo Tubes durchgeführt. Nach der Probenahme werden diese Tubes in die Beutel überführt. Während der Probenahme ist jedoch eine äußerliche Kontamination der Probebeutel nicht ausgeschlossen. Daher wurde untersucht, ob diese Probenbeutel durch Plasma-Behandlung äußerlich dekontaminiert werden können, ohne den Inhalt des Beutels (biologisch aktives Probenmaterial) zu beeinflussen, da sonst falsch-negative Ergebnisse zu erwarten sind.

Abb.8: Probenahmebeutel in der Plasma-Behandlungskammer

Geobacillus stearothermophilus 7953 Indikatoren (Mesalabs) wurden ausgelegt (Abb. 9). 5 Indikatoren befanden sich außerhalb des Probebeutels, 3 Indikatoren innerhalb. Der Beutel wurde anschließend eine Stunde mit Plasma-Gas behandelt. Das Ergebnis nach 7 Tagen Inkubation der Indikatoren bei 60 °C in Purple Releasat Culture Medium zeigt, dass der *Geobacillus* an der Oberfläche der Beutel abgetötet wurde, die Indikatoren aus dem inneren Bereich des Beutels zeigen Wachstum (Abb. 10).

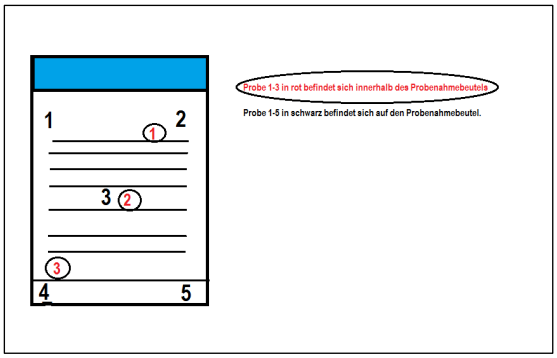


Abb. 9: Platzierung der *Geobacillus*-Indikatoren - 5 Indikatoren auf der Beutel-Außenseite, 3 Indikatoren im Beutel.

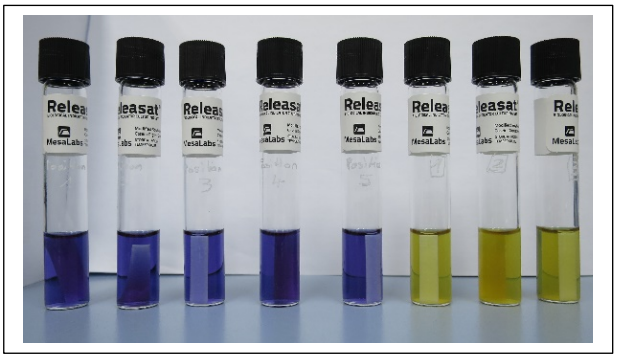


Abb. 10: Die ersten 5 Indikatoren wurden auf der Außenseite des Beutels platziert (kein Wachstum) während die drei Indikatoren im Beutel Wachstum zeigen.

In einem zweiten Test wurden *Geobacillus stearothermophilus* 5934, *Bacillus atrophaeus 2277* und *Bacillus pumilus 492* verwendet. In dieser Analysenreihe wurden die Beutel zusätzlich mit den Swab Duo Tubes bestückt. Diese Röhrchen enthalten das biologische Risikomaterial und wurden für die mikrobiologischen Testreihen künstlich kontaminiert. Die Resultate zeigen, dass mittels Plasma-Technologie die Außenseite der Beutel dekontaminiert werden kann, der Beutelinhalt davon jedoch unberührt bleibt, so dass Plasmatechnologie zur äußerlichen Behandlung der Probebeutel geeignet ist.

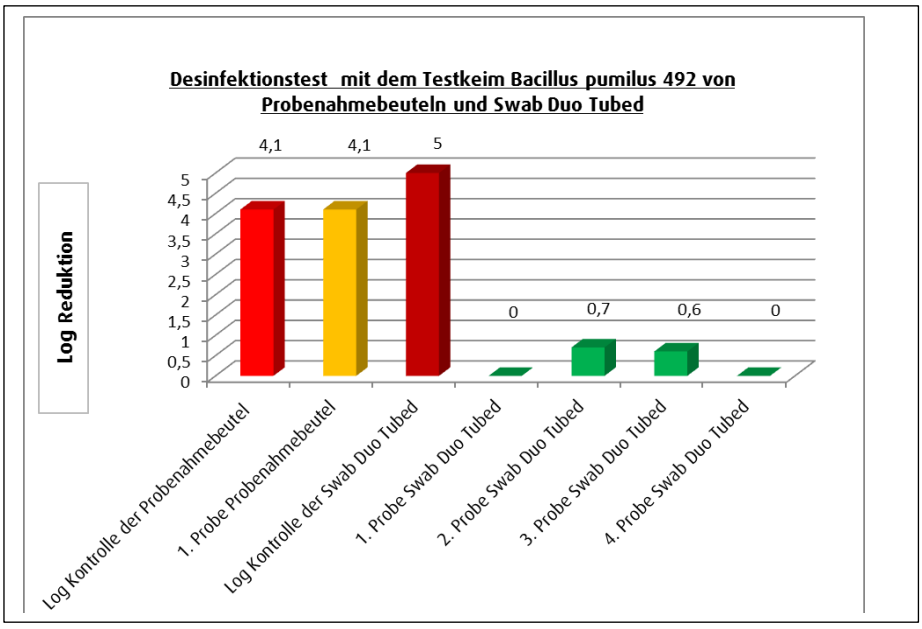


Abb. 11 zeigt beispielhaft das Resultat der Mikrobiologie für *Bacillus pumilus* 492. Äußerlich wurden die Beutel vollständig dekontaminiert (es ist exemplarisch ein Balken dargestellt, da eine vollständige Reduktion für alle Probenpositionen erreicht wurde). Die künstlich kontaminierten Swab Duo Tubes wurden durch das Plasma nicht beeinflusst.

Fazit: Die Plasmatechnologie ist zur äußerlichen Dekontamination von CBRN Probenahmebeutel geeignet, ohne das Probenmaterial und die Probenmatrix zu beeinflussen.

Vergleich zwischen CD40 Prototypen 2.0 und 3.0

Im Rahmen des Teil-AP-Nr. 2.3 wurde in 2017 ein kompakter luftgekühlter Plasmaerzeuger (CD40–Version 2.0) entwickelt. Dieser Plasmaerzeuger zeigte schon gute Resultate bei der Abtötung von *B.atrophaeus* 9372. Basierend auf diesem Prototyp wurde die CD40 im Rahmen des Projekts zu Version 3.0 weiterentwickelt und stand im September 2018 für weitere mikrobiologische Prüfungen zur Verfügung.

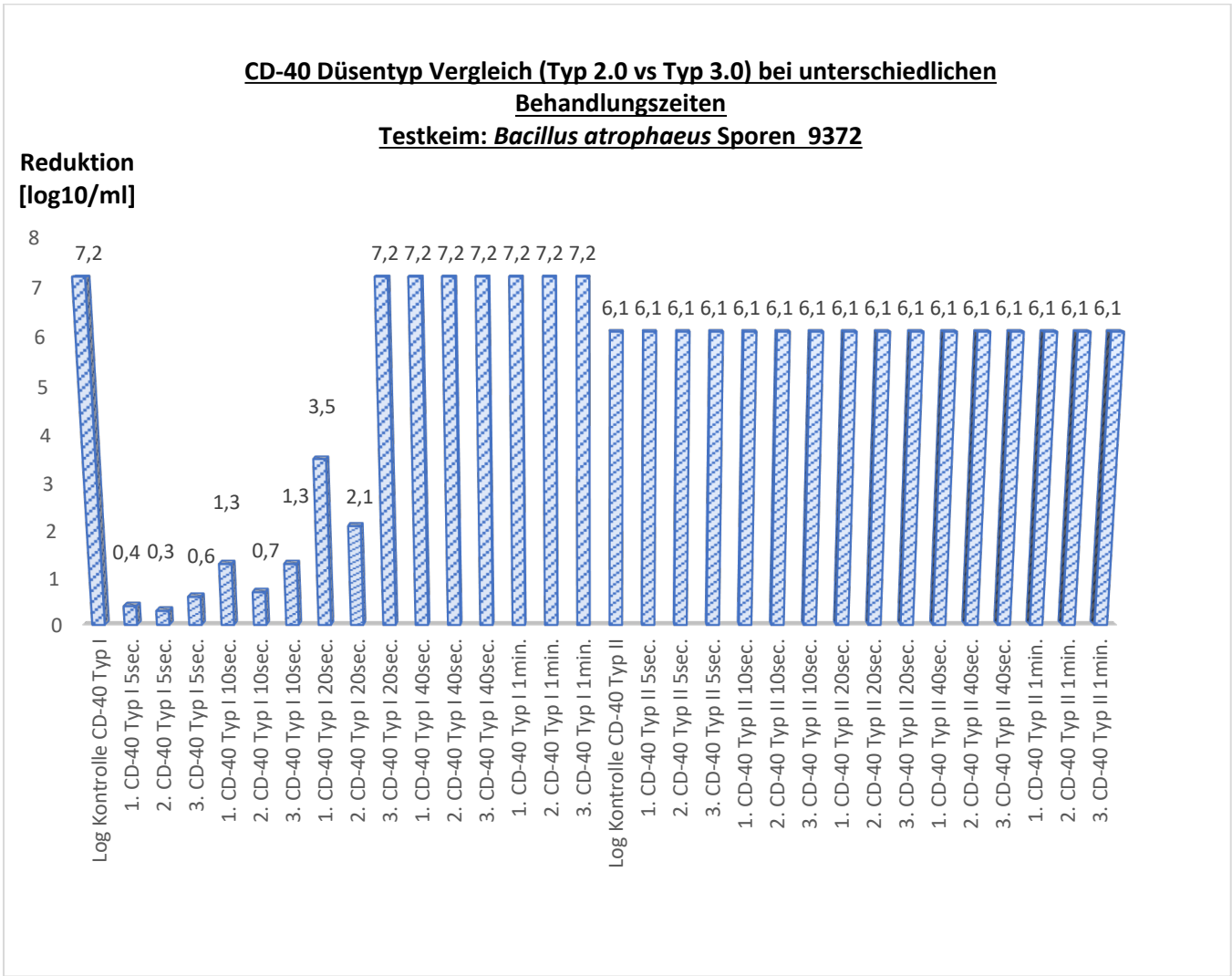


Abb. 12: Mikrobiologische Versuchsreihen zum Vergleich zwischen CD40 Prototyp 2.0 und 3.0 bei verschiedenen Behandlungszeiten. Artifiziell kontaminierte Keimträger mit *B.atrophaeus* 9372 wurden unter die jeweilige CD40 Prototypen-Version platziert und zwischen 5 sec und 1 Minute behandelt. Eine vollständige

Abtötung von *B.atrophaeus* 9372 findet beim Prototyp 2.0 erst nach 40 Sekunden Behandlungszeit statt. Unter Verwendung des Prototyp 3.0 ist eine vollständige Reduktion bereits nach 5 sec Behandlungszeit feststellbar.

Die mikrobiologischen Testreihen zeigten beim CD40 Prototyp 2.0 nach 40 Sekunden Behandlungszeit eine vollständige Reduktion von *B.atrophaeus* 9372. Für den CD40 Prototyp 3.0 hingegen konnte eine **vollständige Abtötung bereits nach 5 Sekunden Behandlungszeit** ermittelt werden.

Vergleich CD50 mit CD40 Version 3.0

Für die Dekontaminierung von Oberflächen wurde von der Firma Plasmatreat in der Vergangenheit der Plasmaerzeuger CD50 verwendet. Dieser ebenfalls auf der dielektrischen Barriereentladung basierende Plasmaerzeuger sollte in einem weiteren Vergleichstest als Referenz dienen. Verglichen wurden in diesem Test nun die beiden Plasmaerzeuger CD50 und CD40 Prototyp 3.0. Für den Vergleich der beiden Plasmaerzeuger werden Keimträger mit 20 µl *B.atrophaeus* 9372 Sporen (Firma Crosstex) beimpft und inkubiert. Die Keimträger werden schließlich für verschiedene Behandlungszeiten von 5 Sekunden bis 60 Sekunden unterhalb des Plasmaerzeugers platziert und dem Plasmagas ausgesetzt. Nach quantitativer Rückgewinnung des behandelten *B.atrophaeus* und Kultivierung werden für beide Plasmaerzeuger vollständige Reduktionen nach 40 Sekunden Behandlungszeit festgestellt.

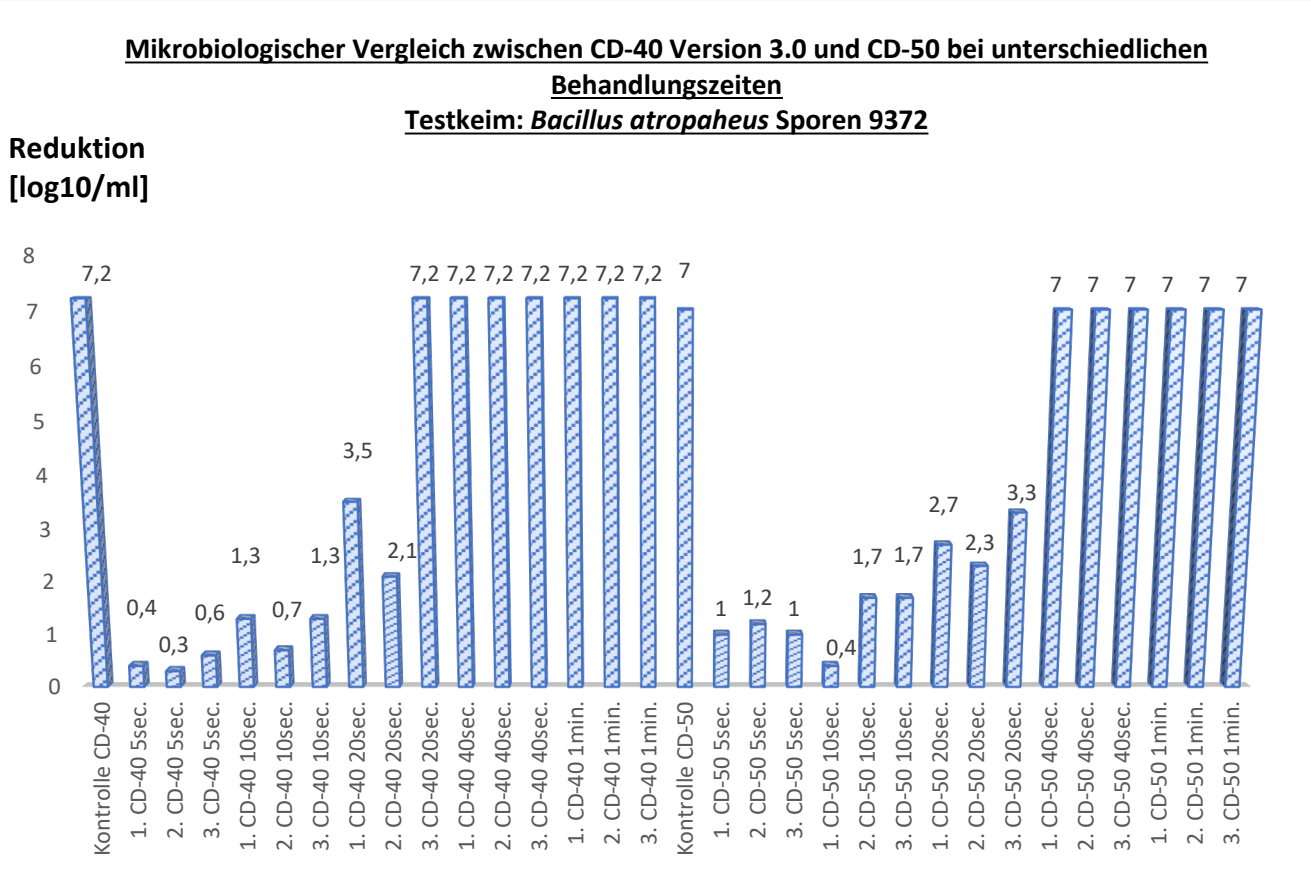


Abb. 13: Mikrobiologischer Vergleich zwischen CD40 Prototyp 3.0 und einem Standard CD50 Plasmaerzeuger bei verschiedenen Behandlungszeiten. Artifiziell kontaminierte Keimträger mit *B.atrophaeus* 9372 wurden mit dem jeweiligen Plasmaerzeuger zwischen 5 Sekunden und 1 Minute behandelt.

Raumdekontamination mit CD40 Version 3.0

Zur Feststellung einer räumlichen Abtötung von Mikroorganismen werden artifiziell hergestellte Keimträger in zwei unabhängigen Versuchen mit *Geobacillus stearothermophilus* 5934 und *B.atrophaeus* 9372 in den in Abb. 14 Dargestellten Raum an verschiedenen Positionen platziert.

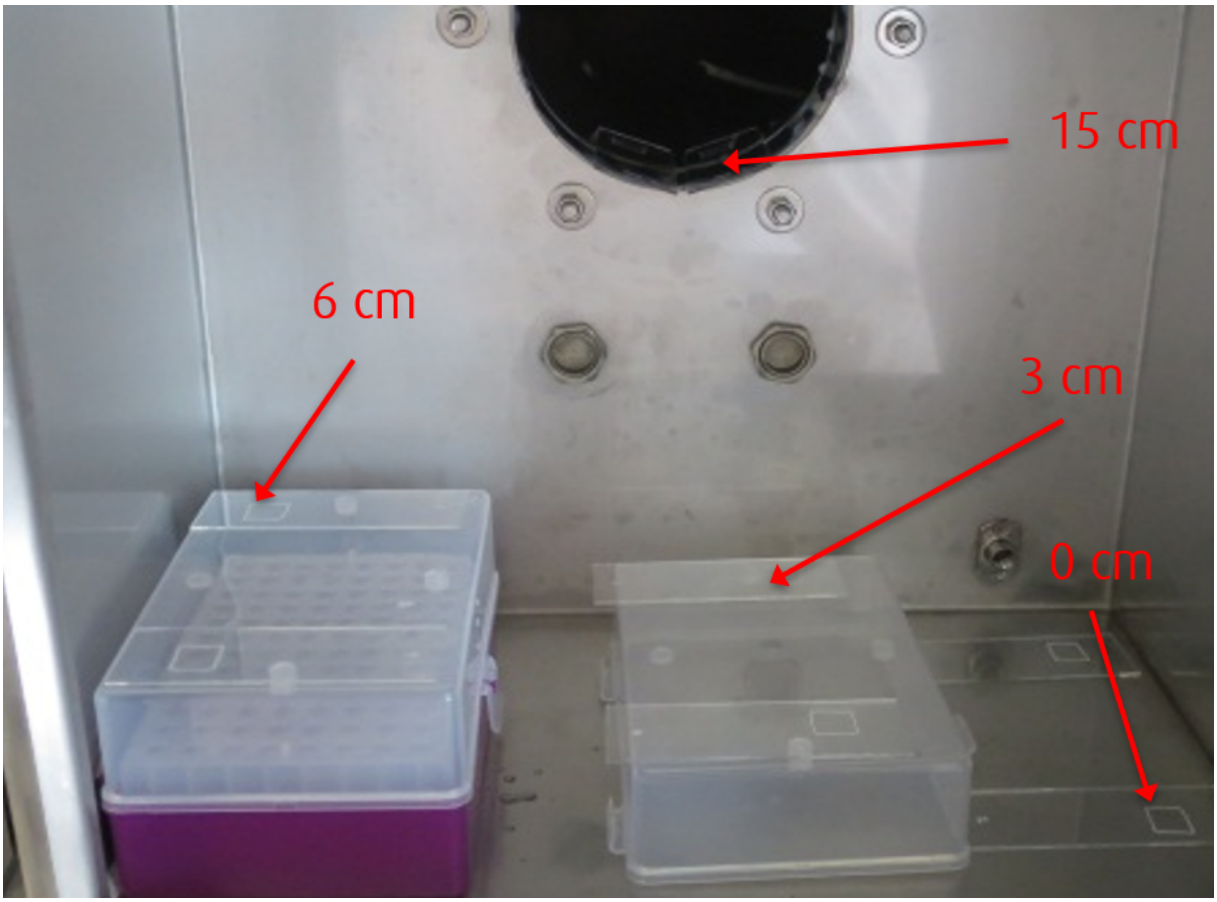


Abb. 14: Position und Probenverteilung der Keimträger in einem Edelstahl-Raum. Die Proben wurden mit verschiedenen Distanzen zum Boden des Raumes platziert: 0cm, 3cm , 6cm u. 15cm zum Boden.

Nach einer Behandlungszeit von 10 Minuten wurden die Keimträger mikrobiologisch ausgewertet. Die ergab für alle Positionen eine vollständige Abtötung von *G.stearothermophilus* 5934 (Abb. 15). Der Versuch wurde mit *B.atrophaeus* 9372 wiederholt (Abb. 16). Dies führte ebenfalls zu einer vollständigen Reduktion. Somit ist der CD40-Prototyp Version 3.0 prinzipiell für eine Raumdekontamination geeignet.

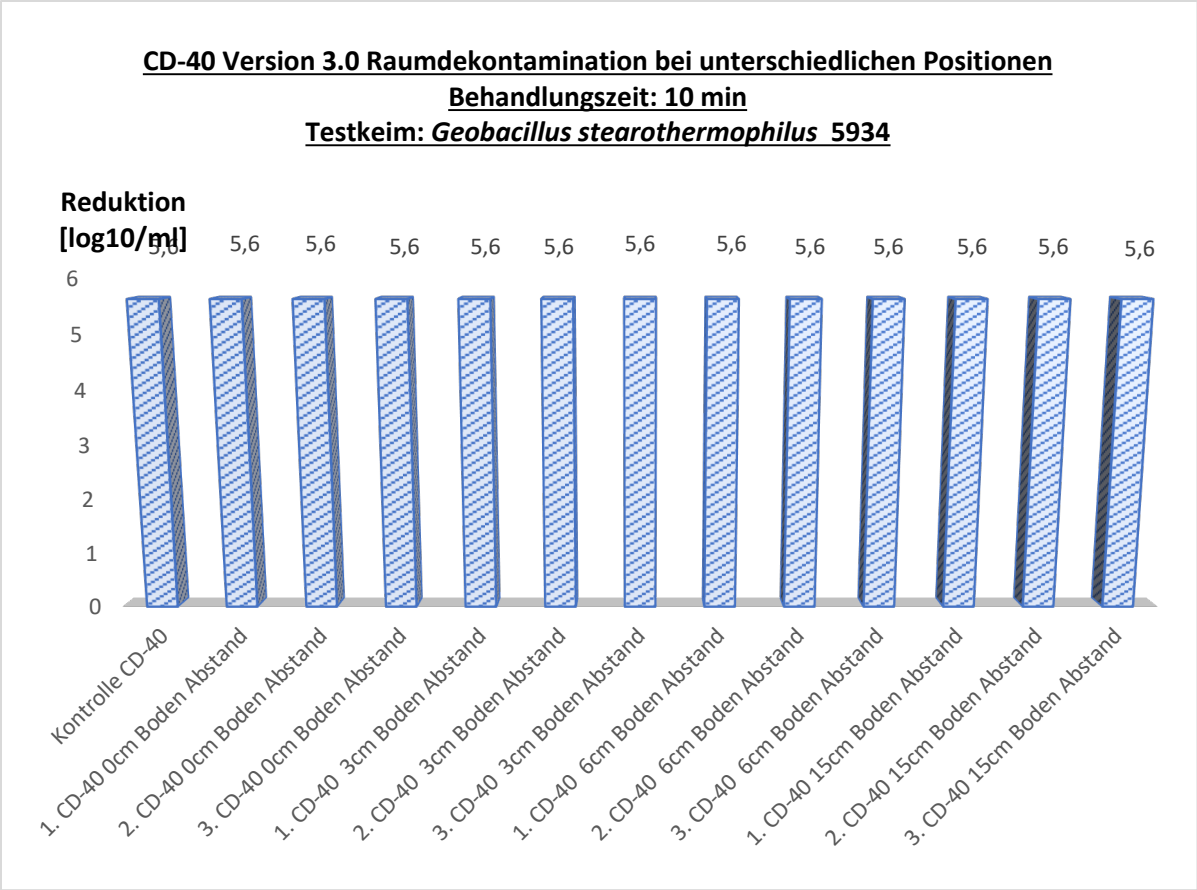


Abb. 15: Versuche zur Raumdekontamination mit *G. stearotheromphilus 5934*. Artifiziell kontaminierte Keimträger wurden an verschiedenen Positionen (verschiedenen Distanzen zum Raumboden) platziert. Aufgrund des Höhenprofils erhält man einen Eindruck über die Reichweite bzw. räumliche Wirkung des Plasmas. Das Diagramm zeigt eine vollständige Abtötung von *G. sterotheromphilus 5934* nach 10 Minuten Behandlungszeit im Raum.

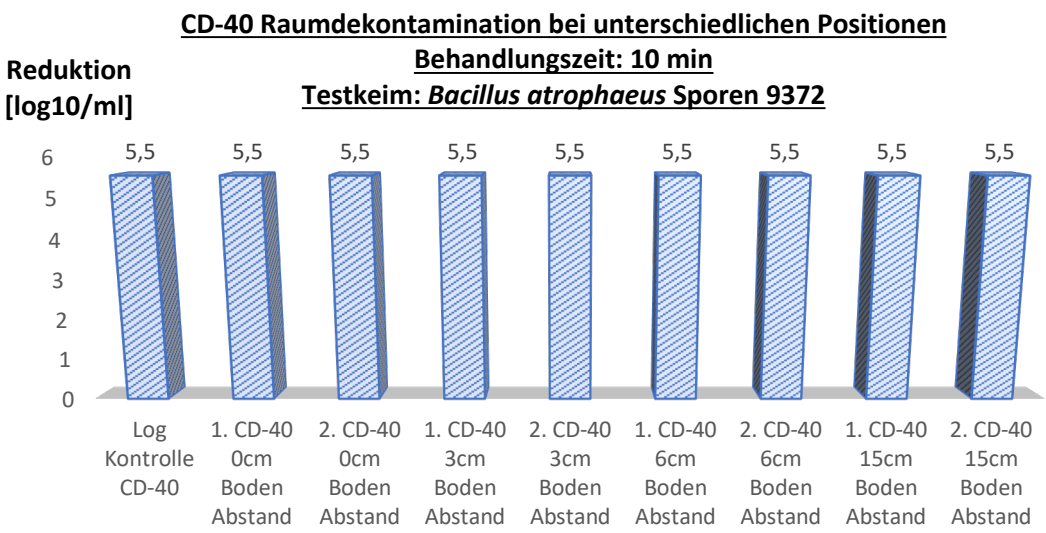


Abb. 16: Versuche zur Raumdekontamination mit *B.atrophaeus* 9372. Artifiziell kontaminierte Keimträger wurden an verschiedenen Positionen (verschiedenen Distanzen zum Raumboden) platziert. Aufgrund des Höhenprofils erhält man einen Eindruck über die Reichweite bzw. räumliche Wirkung des Plasmas. Das Diagramm zeigt eine vollständige Abtötung von *B.atrophaeus* 9372 nach 10 Minuten Behandlungszeit im Raum.

CD40 Prototyp 4.0 Basistest

Für den Systemtest mit der dritten Version des CD40 Plasmaerzeugers wurden PE-Träger mit *B.atrophaeus* Sporen (9372) kontaminiert. Die einzelnen Keimträger wurden für jeweils 5 und 10 Sekunden bei 12.5 kHz und 7.5 kHz mit der CD40 behandelt. Bei beiden Frequenzen konnte hier im Sekundenbereich teilweise vollständige Abtötung festgestellt werden.

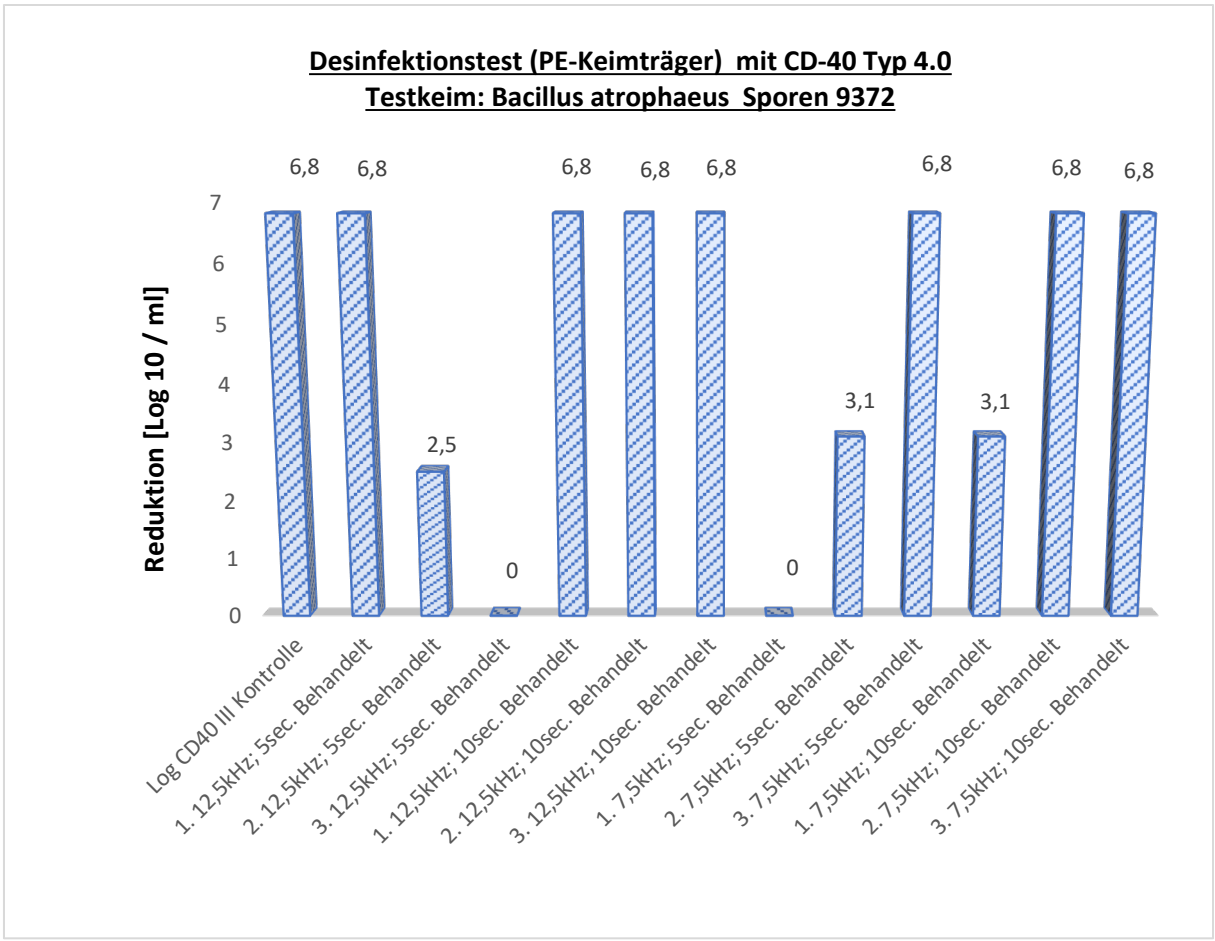


Abb. 17: Basis-Funktionstest der CD40 Prototyp 4.0. Keimträger wurden mit *B.atrophaeus* 9372 beimpft und nach Trocknung mit der CD40 behandelt. Anschließend wurden die Keimträger mit 0.9% NaCl abgewaschen und für jede Keimträger-Probe eine logarithmische Verdünnungsreihe angefertigt. Jede Verdünnungsstufe wurde auf Nährmedium aufgebracht und nach 7 tägiger Inkubation ausgezählt. Einige Proben zeigen eine vollständige Abtötung der *B.atrophaeus* Sporen.

AP 4.4 Praxisbezogener Systemtest

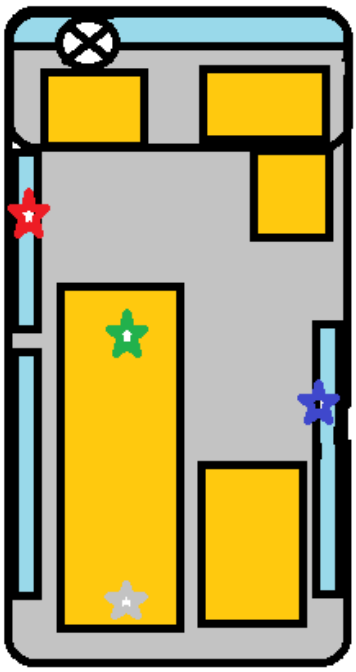
Im AP-Nr.4 (Teil-AP-Nr.4.4) sind im Rahmen der mikrobiologischen Validierung praxisbezogene Feldtests geplant. Die Feldtests dienen dazu, die Eignung der entwickelten Plasmaanlage festzustellen. Die praxisbezogenen Versuche wurden in einem KTW des Bayerischen Roten Kreuzes mit der CD40 Version 4.0 durchgeführt. Das Plasmagas wurde vom Fahrerraum in den Transport- und Behandlungsraum eingeleitet (vgl. Abb. 36). Zusätzlich wurde zur besseren Benetzung der Oberflächen Wasserdampf mittels Verdampfer eingetragen und eine Lüftereinheit installiert, um eine optimale Verteilung im Innenraum zu gewährleisten.

Abb. 18: Testfahrzeug für den praxisbezogenen Test: ein KTW wurde vom bayerischen roten Kreuz zur Verfügung gestellt.

Abb. 19: Der CD40-Prototyp 4.0 wurde im Fahrerraum installiert und das erzeugte Plasmagas von dort durch eine Bohrung in den Transportraum geleitet.

Für die mikrobiologische Validierung der Raumdekontamination in einem KTW wurden ABS-Streifen mit je 20 µl Sporensuspension (*B.atrophaeus* 9372) artifiziell kontaminiert und im eingetrockneten Zustand auf insgesamt 4 Positionen im KTW-Innenraum verteilt. Der Innenraum des KTW wurde für 3 Stunden mit Plasma behandelt. Anschließend wurden die Proben im mikrobiologischen Labor aufgearbeitet und bei 30 °C über 7 Tage inkubiert.

A



Position 1
Position 2
Position 3
Position 4
Ablagen u. Schränke
Sitz/Liegeflächen

er 3

B

Position 3

Position 4

Position 2

C

Position 2

Position 1

Die ersten Resultate zeigten, dass eine vollständige Reduktion an drei Positionen möglich ist. Demnach zeigt der CD40-Prototyp III einen abtötenden Effekt im KTW-Raum nach dreistündiger Behandlung (Abb. 38). Allerdings konnte Position 3 nicht durch das Plasmagas erreicht werden. Vermutlich ist die Strömung des Plasmagases im Raum nicht optimal.

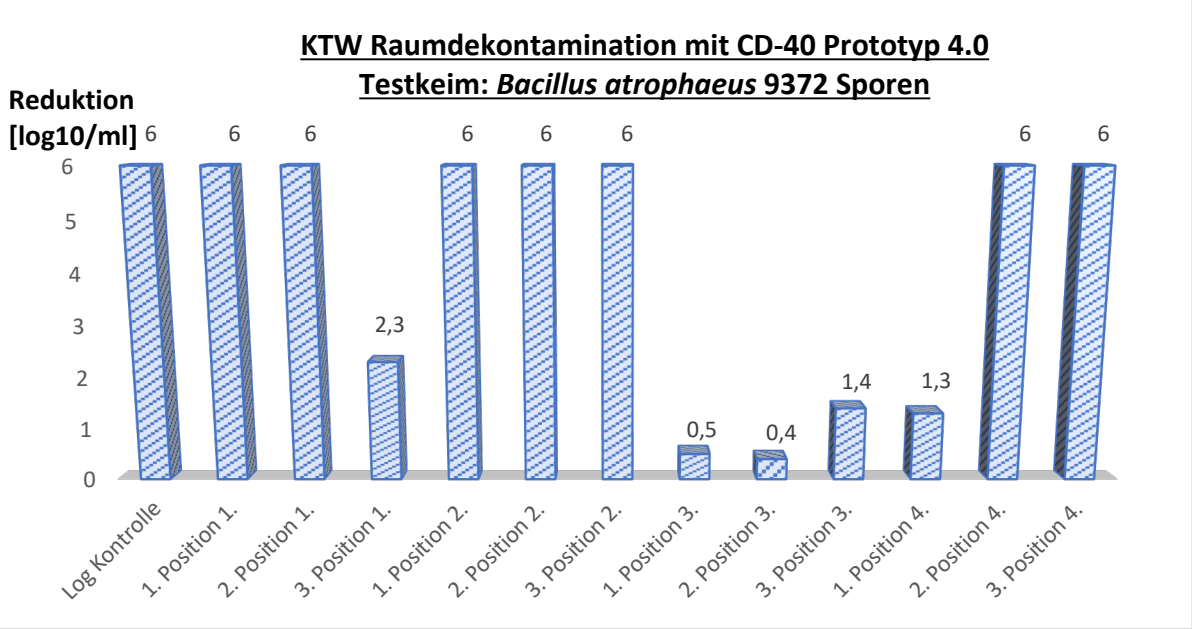


Abb. 21: Reduktion in [log10/ml] für *B.atrophaeus* 9372 an 4 verschiedenen Positionen im KTW nach dreistündiger Begasung mit dem CD40-Prototyp 4.0. Position 1, 2 und 4 zeigen zum Teil eine vollständige Abtötung. Auf Position 3 hatte das Plasmagas keinen Einfluss.

Im weiteren Verlauf wurden nun Optimierungsversuche durchgeführt. Insbesondere sollte Position 3 besser durch das Plasmagas angeströmt werden. Der Düsenausgang wurde dazu mehr in den Raum zentriert. Des Weiteren wurde die Luftfeuchte erhöht. Dies hatte einen positiven Effekt auf Position 3. Hier konnte eine vollständige Reduktion erzielt werden, jedoch war das Resultat der anderen Positionen deutlich schlechter (Abb. 22).

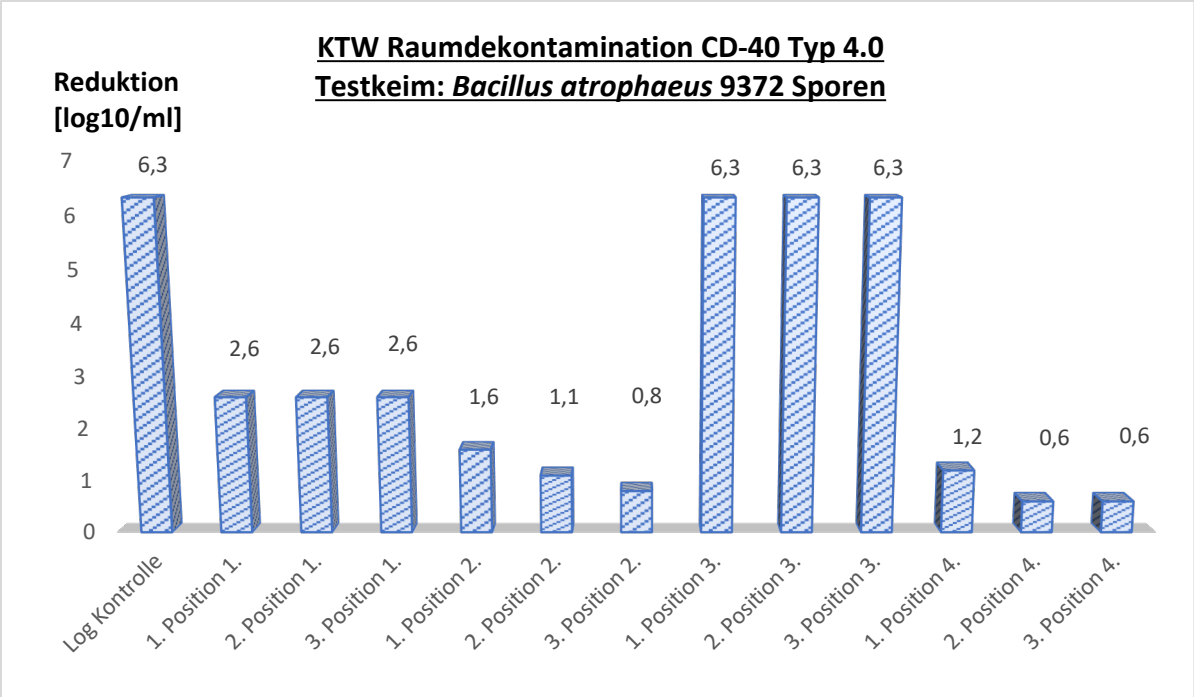


Abb. 22: Reduktion in [log10/ml] für *B.atrophaeus* 9372 an 4 verschiedenen Positionen im KTW nach dreistündiger Begasung mit dem CD40-Prototyp III. Optimiert wurde die Position des Düsenausganges. Die Luftfeuchte wurde erhöht. Position 3 zeigt nun eine vollständige Abtötung. Allerdings zeigen die anderen Positionen ein deutlich schlechteres Resultat.

Infolgedessen wurde nochmals die Luftfeuchte auf über 80 % erhöht und die Lüfterposition verändert. Damit sollten die Verteilung und Umwälzung des Plasmagases verbessert werden. Diese Optimierung hatte einen positiven Effekt auf Position 3 und 2. Die Reduktionen an Position 1 und 4 waren jedoch nicht eindeutig bzw. nicht feststellbar.

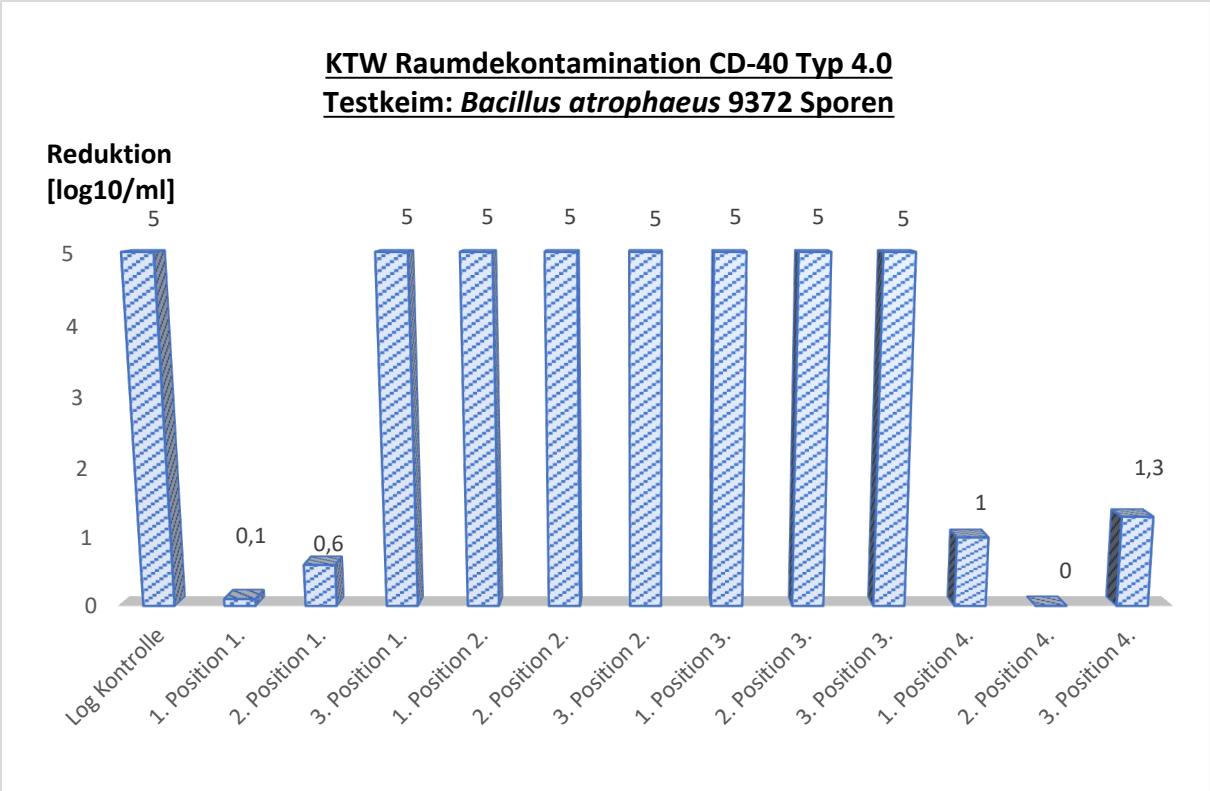


Abb. 23: Reduktion in [log10/ml] für *B.atrophaeus* 9372 an 4 verschiedenen Positionen im KTW nach dreistündiger Begasung mit dem CD40-Prototyp 4.0. Optimiert wurde die Position der Lüftereinheit und die Luftfeuchte wurde auf über 80 % erhöht. Position 3 und 2 zeigten eine vollständige Abtötung. Position 1 und 4 wurden jedoch nicht optimal erreicht.

Die Versuche zur Raumdekontamination zeigen, dass die Verteilung und Strömung des Plasmagases eine entscheidende Rolle spielen bei der Abtötung von Mikroorganismen. Hier müssen weiter Optimierungen durchgeführt werden. Um die Behandlungszeit zu verkürzen ist vermutlich auch die Entwicklung eines stärkeren Plasmaerzeugers notwendig. Dennoch konnte eine eindeutige Reduktion für *B.atrophaeus* und *G.stearotheromphilus* Sporen gezeigt werden und damit ein "Proof of Principle" erbracht werden. Die Weiterentwicklung des MoPlasDekon Prototyps zur Marktreife erscheint daher sinnvoll und wird von Plasmatreat angestrebt.

Fazit: Im Rahmen des MoPlasDekon Projekts wurde von Plasmatreat erfolgreich ein kompakter, mobiler Plasma-Generator entwickelt, der auch mit Akku betrieben werden kann (AP2.1, AP2.2). Ferner wurden vier Versionen eines neuen Plasmamoduls, CD40, erstellt (AP2.3) und mikrobiologisch bei Plasmatreat getestet, um die Iterationsschleifen möglichst kurz zu halten (AP4). Auch konnte Plasmatreat den in AP3 von m-u-t entwickelten Gassensor erfolgreich ins System integrieren. Die erfolgreichste Version des Plasmamoduls MoPlasDekon Plasma-System CD40 4.0 wurde am Fraunhofer IVV installiert zur detaillierten Validierung (AP4, siehe Schlussbericht Fraunhofer IVV) und zu einem praxisnahen Systemtest (AP4.4) am Krankentransportwagen eingesetzt. Plasmatreat hat somit AP2 erfolgreich abgeschlossen und einen Beitrag zum AP4 geleistet. Plasmatreat betrachtet das Ergebnis des Projekts als sehr erfolgreich und vielversprechend und ist daher bestrebt das System konsequent weiterzuentwickeln und zur Marktreife zu führen.

2. Wichtigste Posten des zahlenmäßigen Nachweises

Im zahlenmäßigen Nachweis gem. Nr. 19.3 NKBF 98 wurden die Posten Material, Personalkosten und Reisekosten aufgeführt. FE-Fremdleistungen, Abschreibungen auf vorhabenspezifische Anlagen, Abschreibungen auf sonstige genutzte Anlagen des FE-Bereichs und sonstige unmittelbare Vorhabenkosten fielen nicht an. Die Materialkosten wurden im Antrag auf 71.850,- EUR geschätzt, beliefen sich jedoch nur auf 48.108,67 EUR. Die Personalkosten wurden auf 328.460,- EUR im Antrag beziffert, während sich die tatsächlichen Personalkosten auf 365.810,58 EUR beliefen. Die Reisekosten waren auf 1.400,- EUR geschätzt und beliefen sich auf 1.310,20 EUR. Die Materialkosten umfassten im Wesentlichen die Beschaffung der Bauteile und Komponenten für die verschiedenen Prototypen des kompakten Generators und der CD40 Plasma-Quellen, aber auch die Materialien für die mikrobiologischen Test Serien die im mikrobiologischen Labor von Plasmatreat anfielen. Die Personalkosten umfassten die Arbeitsstunden von Entwicklungsingenieuren, Mikrobiologen sowie Arbeitsstunden zur Koordination des Projekts bzw. des Konsortiums. Die Entwicklung des Generators wurde vornehmlich durch A. Beckmann geleistet, die Prototypen der CD40 wurden hauptsächlich durch S. Guist erstellt, mit Unterstützung vom Plasmatreat Prototypenbau. Die Mikrobiologische Testung wurde durch D. Hasse und K. Plappert geleistet und die Koordination der Projektarbeiten wurden durch S. Guist, D. Hasse, S. Asad und T. Schmitt-John. Die Koordination des gesamten Konsortiums wurde durch A. Knospe geleistet. Im Ganzen wurden etwas weniger Materialkosten benötigt als erwartet, aber etwas höhere Personalkosten, weil ein intensiver interdisziplinärer Austausch notwendig war, um das Projekt erfolgreich abzuschließen.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zum Erreichen der hier berichteten Ergebnisse war die geleistete Arbeit unserer Meinung nach unbedingt notwendig und auch absolut angemessen.

4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Für Plasmatreat ergibt sich neben dem Gewinn wissenschaftlicher Erkenntnisse die Verwertung der Ergebnisse im Wesentlichen aus dem Verkauf von Anlagen. Es ist gelungen, die angestrebte Anlage zu entwickeln. Der entwickelte Prototyp muss nun bis zur Marktreife weiterentwickelt werden und muss für den entsprechenden Verwendungszweck eine Zulassung erhalten. Während des Projektes wurden die technischen Anforderungen ermittelt, konsequent in einem Prototyp realisiert und umfassend von Plasmatreat und dem Fraunhofer IVV getestet Die Akzeptanz der Technologie beim Endkunden ist im Zuge des Projekts deutlich gestiegen. Hier ist zu berücksichtigen, dass dieses neue System, nicht nur eine ähnlich gute Dekontaminationsleistung erbringt, wie die derzeit eingesetzten chemischen Verfahren (Peressigsäure), es ist auch kostengünstiger und wird dem Endanwender damit den Umstieg erleichtern. Somit steht eine vielversprechende Technologie zur Verfügung, die es lohnt zum zuverlässigen Produkt weiter zu entwickeln und auch die Hürde der Zulassung als Desinfektionsverfahren anzugehen.

Die Investitionskosten einer 1-Düsenanlage schätzen wir gegenwärtig auf etwa 20.000 €, die einer Zweidüsenanlage auf etwa 25.000 – 30.000 €. Anschließend fallen bei dieser Technik bei Verwendung von Luft als Prozessgas nur noch Stromkosten und Kosten für die Druckluft an. Bei einer Leistungsaufnahme von etwa 300 W pro Düse und einem kWh-Preis von ca. 0,15 € betragen die Energiekosten pro Stunde nur ca. 0,05 €/Düse. Dazu sind noch etwa 2 Cent pro Stunde und pro Düse für die Druckluft hinzuzurechnen. Ein Beimischen von Sauerstoff zum Prozessgas ist nicht erforderlich. Das primäre Ziel, die Technik mit Umgebungsluft als Prozessgas zu betreiben wurde erreicht und damit fallen extrem geringe Betriebskosten

an. Zwar wurde in diese Rechnung eine Wartung bzw. Reparatur noch nicht mit einbezogen, wir gehen jedoch davon aus, dass die Lebensdauer der Düse einige Tausend Stunden beträgt und die Wartungskosten daher ebenfalls sehr gering sein werden. Die entwickelte Technik ist somit auch wirtschaftlich interessant

5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Das kaltes atmosphärisches Plasma antibakterielle Wirkung hat ist schon länger bekannt. Selbst die Inaktivierung von bakteriellen Endosporen, den widerstandsfähigsten Lebensformen überhaupt wurde bereits beschrieben (Boudam et al., 2006). Dennoch wurden in diesem Bereich auch Fortschritte im Berichtszeitraum erzielt (Bourke et al., 2017; Hertwig et al., 2018). Die besten Erfolge wurden jedoch meist mit direkter Bestrahlung von Sporen auf Oberflächen erzielt (Moisan et al., 2014). Shieley et al. (2017) konnten eine Keimreduzierende Wirkung auf Matratzen zeigen und Müller et al. (2018) konnten in einem relativ kleinen Volumen (0,5 – 2,6 Liter) eine Reduktion von Bacillus atrophaeus Endosporen um 4,4 log Stufen in 10-30 Minuten zeigen. Auch Schnabel et al., (2019) berichteten von einer 2,74 log Stufen Reduktion in einer 5,5 l Kammer. Die von uns erreichten sporoziden Effekte von über 6 log Stufen in weniger als zwei Minuten in einer Plasma gefluteten 300 l Kammer (Kramer et al, 2019) sind jedoch deutlich besser als die bisher publizierten Erfolge.

Referenzen

Boudam MK, Moisan M, Saoudi B, Popovici C, Gherardi N, Massines F (2006) Bacterial spore inactivation by atmospheric-pressure plasmas in the presence or absence of UV photons as obtained with the same gas mixture. J Phys D: Appl Phys 39(16): 3494

Bourke P, Zuizina D, Han L, Cullen PJ, Gilmore BF (2017) Microbiological interactions with cold plasma. J Appl Microbiol 123(2): 308-324

Hertwig C, Meneses N, Mathys A (2018) Cold atmospheric pressure plasma and low energy electron beam as alternative nonthermal decontamination technologies for dry food surfaces: a review. Trends Food Sci Technol 77: 131-142

Kramer, B., Hasse, D., Guist, S., Schmitt-John, T., Muranyi, P. (2019) Inactivation of bacterial endospores by plasma processed air. ***J Microbiol. Biotechnol.*** https://doi.org/10.1111/jam.14528

Moisan M, Barbeau J, Moreau S, Pelletier J, Tabrizian M, Yahia LH (2001) Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. Int J Pharm 226(1-2): 1-21

Müller, M., Shimizu, T., Binder, S., Rettberg, P., Zimmermann, J. L., Morfill, G. E., & Thomas, H. (2018). Plasma afterglow circulation apparatus for decontamination of spacecraft equipment. AIP Advances, 8(10), 105013.

Shiely, F., Fallon, D., Casey, C., Kerins, D. M., & Eustace, J. A. (2017). Trial of a novel plasma gas disinfection system (Radica) to reduce mattress residual bacterial contamination in the acute hospital setting: a preliminary study. Irish Journal of Medical Science (1971-), 186(1), 17-21.

Schnabel U, Handorf O, Yarova K, Zessin B, Zechlin S, Sydow D, Zellmer E, Stachowiak J, Andrasch M, Below H, Ehlbeck J (2019) Plasma-Treated Air and Water—Assessment of Synergistic Antimicrobial Effects for Sanitation of Food Processing Surfaces and Environment. Foods 8(2): 55

6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

Patent-Anmeldungen

Am 13.10.2018 wurde eine Patentanmeldung mit dem Titel ***„VERFAHREN ZUR OBERFLÄCHENDESINFEKTION UND ZUR DESINFEKTION VON KOMPONENTEN EINER ABFÜLLANLAGE"*** eingereicht. In dieser Anmeldung mit der Anmeldenummer **10 2017 123 871.9** wird ein Verfahren zur Behandlung von Oberflächen mittels Plasma-aktiviertem Wasser beschrieben. Damit beschäftigt sich die Anmeldung thematisch nicht mit dem Projektthema/Verfahren „Desinfektion von Zelten und persönlicher Schutzausrüstung". Die im Projekt zu entwickelnde verkleinerte Plasmatechnik Desinfektion von Oberflächen und Räumen könnte jedoch auch im Bereich der Abfüllanlage Einzug halten. Die Behandlung von Oberflächen mit plasmaaktiviertem Wasser stellt im Projekt eine zur Behandlung der Oberflächen mittels Plasmagas alternative und ergänzende Lösung dar.

Wissenschaftliche Publikation

Kramer, B., Hasse, D., Guist, S., Schmitt-John, T., Muranyi, P. (2019) Inactivation of bacterial endospores by plasma processed air. ***J Microbiol. Biotechnol.*** https://doi.org/10.1111/jam.14528

Diese Publikation umfasst einen großen Teil der mikrobiologischen Evaluierung des MoPlasDekon Plasma-Systems (CD40) (Freiexemplar: Siehe Anlage).

Artikel in der Fachpresse

(Freiexemplare: Siehe Anlage)

Was Plasma durch eine neue Technik im Katastrophenfall leisten könnte **Medizin & Technik 04/2019**

What plasma could achieve for disaster relief using a new technology. ***Medicine & Technology*** **01.2019:** 44-45

Plasma im Biologischen Katastrophenfall. ***Werkstoffe*** **5/2019**

Plasma im Biologischen Katastrophenfall. ***WOMAG*** **7-8/2019**

Öffentlichkeitswirksame Veranstaltungen

Presseevent am 30.07.2019 am Firmensitz in Steinhagen: Präsentation des Verbundprojektes und der Forschungsergebnisse. In Folge der Veranstaltung wurde die entsprechende Pressemitteilung auf verschiedenen Internetseiten (Plasmatreat, BMBF, BRK) veröffentlicht und durch die regionale und überregionale Presse vermittelt.

Tagungsbeiträge

Schmitt-John, Th., Hasse, D., Asad, S.S. (2019) Plasma-activated water and plasma-activated water vapor for disinfection and sterilization. **49th International Detergency Conference**, Düsseldorf, Germany 9.-11.4.2019 (Vortrag: Vornehmlich Ergebnisse von MoPlasDekon).

Schmitt-John, Th. & Borcherding K. (2018) Plasma for Health. InnoHealth Australia Innovation Conference and **Research in Germany Initiative of BMBF, DAAD and Fraunhofer Foundation.** Melbourne 9.-12.4.2018 (Vortrag: Teilweise Ergebnisse von MoPlasDekon).

Schmitt-John, Th. (2018) Plasma Desinfektion eine Alternative ? Think Tank Zuverlässige Hygiene. Herausforderung in allen Medizinbereichen. **XPOMET**, Leipzig, Germany 20.-23.3.2018 (Vortrag: Vornehmlich Ergebnisse von MoPlasDekon).

Schmitt-John, Th., Hasse, D., Plappert, K., Asad, S.S., Buske, C., Knospe, A. (2017**)** Plasma Applications in Laundries**. 48th International Detergency Conference**, Düsseldorf, Germany 4.-6.2.2017 (Vortrag: Teilweise Ergebnisse von MoPlasDekon).

Zukünftige, bereits geplanter Tagungsbeiträge

Schmitt-John, Th., Hasse, D., Guist, S. (2020) Sterilisation mit Plasma-aktiviertem Wasser und Wasserdampf. **Future Clean**, Dresden, Germany 4.-5.3.2020 (Vortrag: Vornehmlich Ergebnisse von MoPlasDekon).

Liste der Veröffentlichungen

FGZ:___13N14128_____

Außerhalb des Abschlussberichts sind die Ergebnisse des o.g. F+E-Vorhabens in Folgenden Beiträgen pubilziert worden

1. Kramer, B., Hasse, D., Guist, S., Schmitt-John, T., Muranyi, P. (2019) Inactivation of bacterial endospores by plasma processed air. *J Microbiol. Biotechnol.* https://doi.org/10.1111/jam.14528
2. Was Plasma durch eine neue Technik im Katastrophenschutz leisten könnte *Medizin&Technik 04/2019*
3. What plasma could achieve for disaster relief using a new technology. *Medicine & Technology* 01.2019: 44-45.
4. Plasma im Biologischen Katastrophenfall. *Werkstoffe* 5/2019
5. Plasma im Biologischen Katastrophenfall. *WOMAG* 7-8/2019

Ein Freiexemplar der jeweiligen Veröffentlichung haben wir als Anlage beigefügt.

Steinhagen 24.2.2020

_____ _____

Ort und Datum Unterschrift