

Gesamtbewertung der experimentellen Versuchsreihe und des DGHM-Posters

Wissenschaftlicher Hintergrund und Dokumentationsbasis

Diese Gesamtbewertung führt zwei zusammengehörige wissenschaftliche Dokumentationen zusammen: die 100-seitige experimentelle Versuchsreihe „KALTPLASMA (KP) – Versuche zu Kaltplasmadesinfektion mit relevanten Pathogenen“ aus 2024 sowie das wissenschaftliche Poster „A study on the efficacy of cold plasma disinfection on various relevant human pathogenic bacterial species“.

Die experimentelle Dokumentation nennt Elke Müller, Sascha Braun und Ralf Ehricht als Autoren. Das Poster nennt Elke Müller, Sascha D. Braun, Stefan Monecke, Uwe Perbandt und Ralf Ehricht.

Als Institutionen werden das Leibniz-Institut für Photonische Technologien (Leibniz-IPHT), Jena, der InfectoGnostics Research Campus, die Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Physikalische Chemie, sowie die Viromed Medical AG aufgeführt.

Wissenschaftliche Leitung und Expertise

Univ.-Prof. Dr. Ralf Ehricht ist Professor für Optisch-molekulare Diagnostik und Systemtechnologie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und Leiter der entsprechenden Forschungsabteilung am Leibniz-IPHT.

Die wissenschaftliche Ausrichtung dieses Umfelds – klinische Mikrobiologie, Infektionsdiagnostik, Charakterisierung pathogener Bakterien, Antibiotikaresistenzen und Translation – passt unmittelbar zur Fragestellung der Kaltplasma-Untersuchungen.

1. Zielsetzung

Ziel der Untersuchung war die Bewertung der bakteriziden Wirksamkeit von kaltem atmosphärischem Plasma (CAP) gegenüber einem breiten Panel klinisch relevanter Gram-positiver und Gram-negativer bakterieller Pathogene.

Das Poster hebt in seiner Diskussion insbesondere chronische Wunden, Haut- und Weichteilinfektionen sowie multiresistente Bakterien als medizinisch relevante Anwendungsfelder hervor.

2. Versuchsaufbau

Die bakterizide CAP-Wirkung wurde mit unterschiedlichen Plasma-Applikatoren an verschiedenen bakteriellen Isolaten untersucht. Laut Poster kam ein modifiziertes ViroMed-Medizinsystem mit Raumluft zum Einsatz.

Untersucht wurden Suspensionen von insgesamt 21 humanpathogenen bakteriellen Spezies: 10 Gram-positive und 11 Gram-negative Stämme.

Die CAP-Exposition erfolgte über definierte Zeiträume von 60 bis 180 Sekunden und bei unterschiedlichen Arbeitsabständen. Die Versuche wurden bei Raumtemperatur durchgeführt, um thermisch bedingte Effekte auszuschließen. Nach 24 Stunden Inkubation bei 37 °C wurden die Koloniezahlen bestimmt.

Die ausführliche Versuchsreihe dokumentiert zusätzlich direkte Bestrahlung sowie konische und flache

3. Zentrales Ergebnis: statistisch signifikanter bakterizider Effekt

Das DGHM-Poster stärkt die ursprüngliche Versuchsdokumentation entscheidend: Es berichtet ausdrücklich einen statistisch signifikanten bakteriziden Effekt über alle getesteten Gram-positiven und Gram-negativen

Spezies.

Die quantitative Analyse zeigte eine deutliche Reduktion der koloniebildenden Einheiten (CFU) in allen behandelten Proben. Damit liegt über die fotografische Dokumentation der Agarplatten hinaus eine quantitative Auswertung vor.

Bei einzelnen klinischen Isolaten – ausdrücklich genannt werden *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* und *Citrobacter freundii* – wurde nach der längsten Expositionsdauer eine vollständige Wachstumshemmung beobachtet.

Die Kontrollplatten ohne Kaltplasmaexposition zeigten konsistentes bakterielles Wachstum. Die Ergebnisse unterstützen damit zugleich eine zeitabhängige antimikrobielle Wirkung.

4. Breites Erregerspektrum

Das untersuchte Panel umfasst 21 humanpathogene Spezies und deckt ein außergewöhnlich breites Spektrum Gram-positiver und Gram-negativer Bakterien ab.

Gram-positive Spezies

Exposition

Einordnung

Staphylococcus aureus USA300 / MRSA

60–180 s

stark; vollständige

Wachstumshemmung bei

längster Exposition berichtet

Staphylococcus epidermidis

60–180 s

deutlich bis sehr stark

Enterococcus faecium / *faecalis*

bis 180 s

deutlich bis sehr stark

Staphylococcus xylosus / *haemolyticus* /

lugdunensis

bis 180 s

stark bis sehr stark

Bacillus atrophaeus

bis 180 s

sehr starke Reduktion

Streptococcus dysgalactiae / *agalactiae*

bis 180 s

sehr starke Reduktion

Gram-negative Spezies

Exposition

Einordnung

Escherichia coli

60–180 s

stark; vollständige

Wachstumshemmung bei

längster Exposition berichtet

Enterobacter hormaechei

bis 180 s

deutliche Reduktion

Klebsiella pneumoniae

60–180 s

deutlich bis stark

Acinetobacter baumannii

bis 180 s

sehr starke Reduktion

Citrobacter freundii

bis 180 s

sehr stark; vollständige

Wachstumshemmung berichtet

Pseudomonas aeruginosa

bis 180 s

sehr starke Reduktion

Salmonella enterica Heidelberg

bis 180 s

sehr starke Reduktion

Serratia marcescens

bis 180 s

starke Reduktion

Proteus mirabilis

bis 180 s

sehr starke Reduktion

Shigella sonnei

bis 180 s

sehr starke Reduktion

Legionella pneumophila

bis 180 s

sehr starke Reduktion

5. MRSA USA300

Mit *Staphylococcus aureus* USA300 enthält das Versuchsprogramm ausdrücklich einen MRSA-Stamm. In der ausführlichen Versuchsserie zeigt sich nach drei Minuten auf höchster Stufe eine massive Reduktion des sichtbaren koloniebildenden Wachstums.

Das Poster bestätigt für *Staphylococcus aureus* die quantitative Wirksamkeit und berichtet für die längste Expositionsdauer eine vollständige Wachstumshemmung bei einzelnen klinischen Isolaten.

6. *Pseudomonas aeruginosa* und *Acinetobacter baumannii*

Bei *Pseudomonas aeruginosa* zeigt die Versuchsdokumentation gegenüber der stark bewachsenen Kontrolle nach Kolonien.

Auch *Acinetobacter baumannii* zeigt nach drei Minuten eine ausgeprägte Reduktion. Beide Ergebnisse unterstreichen die breite Wirksamkeit gegenüber Gram-negativen Pathogenen.

7. *Escherichia coli* und *Citrobacter freundii*

Bei *Escherichia coli* dokumentiert die Versuchsreihe bereits nach einer Minute eine deutliche Reduktion; nach drei Minuten fällt die Wirkung wesentlich stärker aus.

Das Poster nennt sowohl *E. coli* als auch *Citrobacter freundii* ausdrücklich unter den Isolaten, bei denen nach der längsten Expositionsdauer eine vollständige Wachstumshemmung beobachtet wurde.

8. *Klebsiella pneumoniae* und Mischkultur

Klebsiella pneumoniae wurde sowohl bei kurzer als auch längerer Exposition untersucht. In der ausführlichen Dokumentation findet sich zudem eine Untersuchung in gespikter Mischkultur.

Die Ergebnisse zeigen eine deutliche bis starke Reduktion und unterstützen zusammen mit den übrigen Spezies das breite Wirksamkeitsmuster.

9. *Proteus mirabilis* – anschauliche quantitative Beobachtung

Bei *Proteus mirabilis* enthält die Versuchsdokumentation konkrete Kolonienzahlen: Nach drei Minuten werden beim starke Schwärmen von *Proteus* auf Blutplatten hingewiesen.

10. Ein-Minuten-Experimente und Zeit-Wirkungs-Beziehung

Die ausführliche Versuchsreihe enthält einen eigenen Abschnitt „KALTPLASMA: EINE MINUTE – UNGEFILTERT – VERSCHIEDENE ADAPTER“. Untersucht wurden *E. coli*, *K. pneumoniae*, *S. aureus* USA300 und *S. epidermidis*.

Bereits nach 60 Sekunden zeigen einzelne Spezies, insbesondere *E. coli* und *S. epidermidis*, eine deutliche bis ausgeprägte Reduktion. Bei *S. aureus* USA300 ist nach einer Minute noch deutliches Wachstum vorhanden.

Das DGHM-Poster bestätigt diese Interpretation ausdrücklich als zeitabhängige antimikrobielle Antwort: Bei längerer Exposition nimmt die Wirkung zu, bis hin zur vollständigen Wachstumshemmung bei einzelnen Isolaten.

11. Bedeutung für chronische Wunden und Wundinfektionen

Die Diskussion des Posters stellt den medizinischen Bezug ausdrücklich her. Die Ergebnisse werden als Hinweis auf das Potenzial von CAP als neuartiges antimikrobielles Werkzeug insbesondere für das Management

chronischer Wunden, Haut- und Weichteilinfektionen sowie die Behandlung multiresistenter Bakterien eingeordnet.

Für die Wundversorgung ergibt sich damit eine besonders relevante Kombination: breites Erregerspektrum, statistisch signifikanter bakterizider Effekt, quantitative CFU-Reduktion, kurze Expositionszeiten und die Möglichkeit einer flächigen Plasmaapplikation.

12. Antimikrobielles Wirkprinzip und Resistenzthematik

Das Poster beschreibt CAP als nicht-thermisches ionisiertes Gas und ordnet die Technologie als alternativen Mechanismus zur bakteriellen Eradikation ein.

In der Diskussion wird als Vorteil ein multifaktorieller antimikrobieller Mechanismus genannt, der die Wahrscheinlichkeit einer klassischen Resistenzentwicklung reduzieren kann.

Diese Einordnung ist gerade vor dem Hintergrund zunehmender Antibiotikaresistenzen ein wesentlicher wissenschaftlicher Kontext der Untersuchung.

13. Wissenschaftliche Stärke der Gesamtdaten

Die Kombination aus der ausführlichen 100-seitigen Versuchsdokumentation und dem wissenschaftlichen Poster erhöht die Aussagekraft der Daten erheblich.

Die ursprüngliche Dokumentation zeigt detailliert die einzelnen Agarplatten, Kontrollbedingungen,

Das Poster ergänzt diese Dokumentation um die entscheidenden übergreifenden Aussagen: 21 humanpathogene Spezies, quantitative CFU-Analyse, statistisch signifikanter bakterizider Effekt bei allen getesteten Gram-positiven und Gram-negativen Spezies und vollständige Wachstumshemmung einzelner klinischer Isolate bei längster Exposition.

Damit liegt nicht lediglich ein qualitatives Bildsignal vor, sondern eine wissenschaftlich zusammengefasste quantitative Wirksamkeitsbewertung.

14. Wissenschaftliche Gesamtbewertung

Die zusammengeführten Daten liefern ein breites, konsistentes und quantitativ bestätigtes antimikrobielles Wirksamkeitssignal des untersuchten ViroMed-Kaltplasma-Systems.

Die besondere Stärke liegt in der Breite des Panels und der Konsistenz über grundsätzlich unterschiedliche bakterielle Gruppen. Alle 21 getesteten Spezies zeigten laut Poster einen statistisch signifikanten bakteriziden Effekt.

Besonders hervorzuheben sind MRSA USA300, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, Enterokokken und *Proteus mirabilis*.

Die Ergebnisse der Adapterversuche zeigen zusätzlich, dass eine starke antimikrobielle Aktivität auch bei veränderter Plasmaführung erhalten werden kann. Dies ist für eine flächige Anwendung in der Wundversorgung technologisch besonders relevant.

Die 60- bis 180-Sekunden-Daten weisen zudem auf eine klare Zeit-Wirkungs-Beziehung hin. Bereits kurze Expositionen können bei einzelnen Spezies deutliche Effekte erzeugen; längere Expositionen führen zu einer stärkeren Wirkung und bei einzelnen Isolaten zur vollständigen Wachstumshemmung.

15. Schlussfolgerung

Die experimentelle Versuchsreihe aus 2024 und die wissenschaftliche Poster-Auswertung ergeben gemeinsam ein deutlich stärkeres Gesamtbild als die reine Fotodokumentation der Kulturplatten.

Unter den dokumentierten In-vitro-Bedingungen zeigt das untersuchte Kaltplasma-System eine statistisch signifikante bakterizide Wirkung über alle 21 getesteten Gram-positiven und Gram-negativen Spezies. Die quantitative CFU-Analyse bestätigt eine konsistente Reduktion in sämtlichen behandelten Proben.

Bei *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* und *Citrobacter freundii* wurde bei längster Expositionsdauer eine vollständige Wachstumshemmung beobachtet. Gleichzeitig zeigen die Adapterversuche, dass die antimikrobielle Wirkung bei unterschiedlichen Applikationsgeometrien erhalten werden kann.

Für die Wundversorgung ist besonders bedeutsam, dass die Autoren des Posters selbst chronische Wunden, Haut- und Weichteilinfektionen sowie multiresistente Bakterien als zentrale potenzielle Anwendungsfelder hervorheben.

Abschließende wissenschaftliche Kernaussage

Die zusammengeführten Untersuchungen dokumentieren eine breite, statistisch signifikante und quantitativ bestätigte bakterizide Aktivität des untersuchten Kaltplasma-Systems gegenüber 21 klinisch relevanten Gram-positiven und Gram-negativen bakteriellen Spezies. Die Kombination aus deutlicher CFU-Reduktion in allen behandelten Proben, vollständiger Wachstumshemmung einzelner Isolate bei längerer Exposition, Wirksamkeit bereits bei kurzen Behandlungszeiten und Erhalt der Aktivität bei der weiteren Entwicklung des ViroCAP als physikalisch-antimikrobielles Verfahren in der lokalen Wundversorgung.

A study on the efficacy of cold plasma disinfection on various relevant human pathogenic bacterial species

Elke Müller^{1,2}, Sascha D. Braun^{1,2}, Stefan Monecke^{1,2}, Uwe Perbandt⁴ and Ralf Ehrich^{1,2,3}

¹Leibniz-Institute of Photonic Technology (Leibniz-IPHT), Jena, Germany, member of the Leibniz Center for Photonics in Infection Research (LPI), Jena, Germany; ²InfectoGnostics Research Campus, Centre for Applied Research, Jena, Germany; ³Friedrich Schiller University Jena, Institute of Physical Chemistry, Jena, Germany; ⁴ViroMed Medical AG, Pinneberg, Germany

Introduction

The global rise in antibiotic-resistant bacteria presents a growing challenge to public health, as many bacterial infections are becoming increasingly difficult to treat with conventional antibiotics. Consequently, there is an urgent need to explore alternative mechanisms of bacterial eradication. One promising approach is the use of cold plasma, a non-thermal ionized gas that has been shown to effectively inactivate microorganisms. The aim of this study was to evaluate the bactericidal efficacy of cold atmospheric plasma (CAP) on a broad panel of clinically relevant Gram-positive and Gram-negative bacterial pathogens, with a focus on potential applications in infection control.

Materials and Methods

The bactericidal efficacy of CAP was tested using different plasma applicators on a variety of bacterial isolates. The plasma devices used are a modified ViroMed medical system operating with Indoor air. Suspensions of twenty-one human-pathogenic bacterial species, including 10 Gram-positive and 11 Gram-negative strains, were plated in different dilutions on blood agar, followed by exposure to CAP for defined durations (60–180 seconds) at different working distances. Experiments were done at room temperature to exclude thermally induced effects. After a 24-hour incubation at 37°C, colony counts were assessed to determine the impact of CAP on bacterial survival.

Results

The study demonstrated a statistically significant bactericidal effect across all tested Gram-positive and Gram-negative species. Quantitative analysis revealed a marked reduction in colony-forming units (CFUs) in all treated samples, indicating a consistent antimicrobial efficacy. Some clinical isolates, including *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Citrobacter freundii*, exhibited complete growth inhibition following the longest exposure duration. This suggests a time-dependent antimicrobial response. Control plates, which were not exposed to cold plasma, showed consistent bacterial growth.

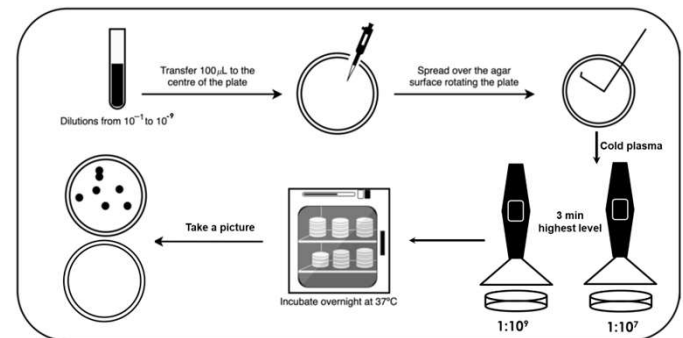


Figure 1: Test principle for the use of cold plasma

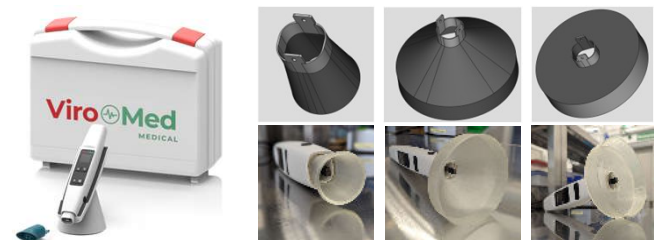


Figure 2: Cold atmospheric plasma devices equipped with various adapters for application on agar plates

Gram-negative Spezies			Gram-positive Spezies		
01	240608	<i>Escherichia coli</i>	01	95430	<i>Staphylococcus aureus</i>
02	98213	<i>Enterobacter hormaechei</i>	02	95428	<i>Staphylococcus epidermidis</i>
03	98229	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	03	95735	<i>Enterococcus faecium</i>
04	240611	<i>Acinetobacter baumannii</i>	04	95247	<i>Staphylococcus xylosus</i>
05	279615	<i>Citrobacter freundii</i>	05	112975	<i>Staphylococcus haemolyticus</i>
06	279584	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	06	98171	<i>Staphylococcus lugdunensis</i>
07	132911	<i>Salmonella enterica</i> Heidelberg	07	97424	<i>Bacillus atrophaeus</i>
08	97946	<i>Serratia marcescens</i>	08	95737	<i>Enterococcus faecalis</i>
09	97950	<i>Proteus mirabilis</i>	09	98553	<i>Streptococcus dysgalactiae</i>
10	227455	<i>Shigella sonnei</i>	10	98653	<i>Streptococcus agalactiae</i>
11	97675	<i>Legionella pneumophila</i>			

Table 1: Strain test panel

Discussion

These findings highlight the potential of CAP as a novel antimicrobial tool in medicine, particularly in the management of chronic wounds, skin and soft tissue infections and for treating multi-drug-resistant bacteria. While early experimental concepts suggest applicability to respiratory infections, such as ventilator-associated pneumonia, clinical implementation in this area is actually exploratory. CAP offers several advantages, including a multifactorial antimicrobial mechanism that reduces the likelihood of classical resistance development and toxicological studies indicate good tolerance under controlled conditions, and no adverse effects on human tissue. The results of this study contribute to the growing body of evidence supporting cold plasma as a viable alternative to traditional antibiotic treatments, with significant implications for the treatment of bacterial infections that are increasingly resistant to conventional therapies.

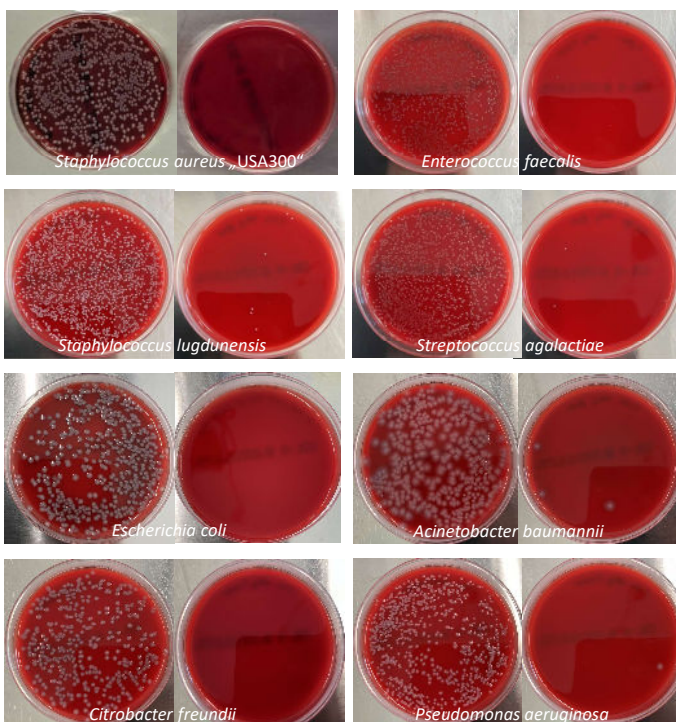


Figure 3: Agar plates without and with exposure to CAP after incubation at 37°C over night