



**Schlussbericht gemäß Nr. 3.2 der BNBEST-BMBF 98 zum Vorhaben
„Zwanzig20 – InfectControl 2020 – Verbundvorhaben: HyFly –
Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit
Ausbreitungswegen von Erregern im Flugverkehr“**

**Teilvorhaben 1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau
Flughafen und im Transportsystem Flugzeug**

Zuwendungsempfänger:

Friedrich-Schiller-Universität Jena,
Physikalisch-Astronomische Fakultät,
Otto-Schott-Institut für Materialforschung,
Lehrstuhl für Materialwissenschaft

Leiter des Projekts:

Verfasser des Berichts:

Förderzeitraum:

Berichtszeitraum:

Förderkennzeichen:

03ZZ0812A

Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Klaus D. Jandt

AOR PD Dr. Jörg Bossert

Dr. Thomas J. Dauben

Dr. Christian Helbing

01.09.2016-31.03.2020

01.09.2016-31.03.2020

Prof. Dr. Klaus D. Jandt FSU

Friedrich-Schiller-Universität Jena
Otto-Schott-Institut für Materialforschung (OSIM)
Löbdergraben 32, 07743 Jena

Jena, 25.08.2020





INHALTSVERZEICHNIS

I.	Kurzdarstellung	3
1.	Aufgabenstellung.....	3
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
3.	Voraussetzungen für das Vorhaben.....	5
4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	5
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
II.	Eingehende Darstellung	8
1.	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	8
a)	Verwendung der Zuwendung	8
b)	Erzielte Ergebnisse.....	8
2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	20
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	20
4.	Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse	21
5.	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	21
6.	Erfolge und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	23

I. KURZDARSTELLUNG

1. Aufgabenstellung

In diesem Teilvorhaben sollten Materialien und Materialoberflächen bezüglich ihres Beitrages zur Verbreitung von Infektionen im Luftverkehr untersucht werden. Die Zusammenhänge zwischen mikrobieller Kontamination (Adhäsion, Überlebensdauer) und den Materialeigenschaften (Struktur-Eigenschafts-Beziehung) müssen verstanden werden, um (Musterdetail-)Lösungen zur Unterbrechung einer Infektionsverbreitung durch Materialien abzuleiten und umzusetzen. Dazu sollen zunächst im Arbeitsschwerpunkt 1 Risikofaktoren der materialbasierten Infektionsverbreitung im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportmittel Flugzeug analysiert und bewertet sowie erste Antiinfektionsstrategien abgeleitet werden. Darauf aufbauend sollen in Arbeitsschwerpunkt 3 in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ASG, V&B sowie SFVT konkrete Musterdetailösungen konzipiert und entwickelt werden. Bereits verwendete Verfahren zur Unterbrechung der Infektionsverbreitung durch Materialien (Desinfektion und Reinigung) sollen hinsichtlich ihrer Effektivität und ihres schädigenden Einflusses auf Materialien geprüft werden. Basierend auf diesen Erkenntnissen können bestehende Verfahren optimiert und angepasst werden. Weiterhin soll hier die Effektivität von UV-LEDs für die Desinfektion von Oberflächen untersucht und Materialien auf potenzielle Schädigung durch UV-Strahlung geprüft werden. Daneben sollen Materialoberflächen konzipiert werden, die einen antimikrobiellen Effekt durch ihre Nanotexturierung aufweisen. Hierbei soll die Interaktion der Mikroorganismen mit den modifizierten Materialoberflächen untersucht werden, um die Mechanismen der antimikrobiellen Wirksamkeit zu verstehen.

Dazu sollten folgende Teilziele erreicht werden:

1. Identifizierung von materialbasierten Risikofaktoren der Infektionsübertragung im Luftverkehr
2. Aufklärung der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, die der Mikroorganismen-Material-Interaktion zugrunde liegen
3. Untersuchung des Einflusses von Reinigung und Desinfektion auf Materialoberflächen
4. Untersuchung der antimikrobiellen Wirksamkeit von modifizierten Glasuren für Keramiken
5. Untersuchung der Schädigung von Faserverbundmaterialien durch Desinfektionsmittel (Reinigungsmittel gemäß RKI-Liste und LED-Technologie-basierte UV-Strahlung)
6. Untersuchung der Wirkung von LED-Technologie-basierter UV-Strahlung auf definiert kontaminierte Faserverbundmaterialien
7. Anforderungsgemäße Charakterisierung eines Faserverbundmaterials für eine Patient-Transport-Unit (PTU)

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Gemäß Teilvorhabenbeschreibung war der Lehrstuhl für Materialwissenschaft (FSU Jena) für die Durchführung der Arbeitsschwerpunkte AS1 und AS3 des Verbundvorhabens HYFLY zuständig, welche sich in 6 Arbeitspakete mit insgesamt 24 Unterarbeitspaketen gliedert:

- AS1-AP3: Identifizierung und Bewertung kritischer Punkte zur Übertragung von Infektionen durch den Vektor Materialoberfläche im Gebäudesystem Flughafen und im Transportmittel Flugzeug
- AS3-AP1: Charakterisierung physikalischer und chemischer Oberflächeneigenschaften infektionskritischer Materialien im Infrastrukturbau Flughafen und Transportmittel Flugzeug mittels mikroskopischer und spektroskopischer Verfahren
- AS3-AP2: Übertragung von Mikroorganismen durch Oberflächen in Abhängigkeit von Passagierkontakt, Abnutzung und Alterung des Materials sowie Reinigung unter besonderer Berücksichtigung der lt. Liste des Robert-Koch-Instituts zugelassenen Reinigungsmittel
- AS3-AP3: Entwicklung von Ansätzen für langfristig beständige antimikrobielle Oberflächen im Infrastrukturbau und Transportmittel (Schwerpunkt Sanitärbereich) und Untersuchung der antimikrobiellen Wirksamkeit
- AS3-AP4.2: Baulich-konstruktive Detaillösungen zur Unterbrechung von Infektionsübertragungswegen in Risikobereichen von Infrastrukturbau und Transportmittel – Desinfektion von hoch keimbelasteten Materialoberflächen mittels UV-LED-Technologie
- AS3-AP4.3: Baulich-konstruktive Detaillösungen zur Unterbrechung von Infektionsübertragungswegen in Risikobereichen von Infrastrukturbau und Transportmittel – Proben für Leichtbauwand für PTU

Die Arbeitsergebnisse wurden den Projektpartnern in regelmäßigen Treffen vorgestellt und mit ihnen abgestimmt:

- 15.11.2016: Beiratssitzung InfectControl in Berlin
- 17.11.2016: Kick-off-Meeting in Jena
- 06.12.2016: Projektmeeting in Hamburg (bei assoz. Partner LH und Airbus)
- 01.03.2017: Projektmeeting in Düsseldorf (bei beratendem Partner DUS)
- 07.03.2017: Telefonkonferenz
- 29.03.2017: Projektmeeting in Jena
- 31.03.2017: Projektmeeting in Leipzig (bei beratendem Partner MFAG)
- 18.04.2017: Projektmeeting in Hamburg (bei assoz. Partner Airbus)
- 19.04.2017: Projektmeeting in Frankfurt am Main (bei ASG)
- 20.04.2017: Projektmeeting in Mettlach (bei V&B)
- 14.06.2017: InfectControl Strategiekonferenz in Jena
- 29.06.2017: Projektmeeting in Frankfurt am Main (bei FraPort)
- 08.09.2017: Expertenrunde Erregerpriorisierung in Berlin (bei RKI)
- 19.09.2017: Erfahrungsaustausch in Berlin (bei BMBF)



- 28.09.2017: Projektmeeting in Jena
- 21.03.2018: Projektmeeting in Jena
- 22.03.2018: Strategieworkshop in Jena
- 07.08.2018: Projektmeeting in Frankfurt am Main (bei ASG)
- 29.11.2018: Projektmeeting in Leipzig (bei IZI)
- 16.04.2019: Projektmeeting in Leipzig (bei IZI)
- 23.05.2019: Projektmeeting in Braunschweig (bei IIKE)
- 26.11.2019: Telefonkonferenz

Zwischen diesen Treffen gab es regelmäßigen telefonischen Austausch und E-Mail-Schriftwechsel.

3. Voraussetzungen für das Vorhaben

Das Projekt basierte auf einer Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Materialwissenschaften (CMS) an der FSU Jena, dem Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen (IIKE) der Technischen Universität Braunschweig (TUB) und der Unterstützung durch das Leibniz-Institut für Naturstoffforschung und Infektionsbiologie, Hans-Knöll-Institut (HKI) Jena mit dem Biotechnikum Jena.

Die Kernkompetenz des IIKE lag in den Gebieten Industriebau, Gesundheitsbau und baulicher Hygiene, aus welchen es Erfahrungen in die Projektarbeit einbringen konnte.

Der Lehrstuhl für Materialwissenschaften brachte seine Erfahrung und Kompetenz bezüglich der Charakterisierung und Herstellung antimikrobieller Oberflächen, sowie bei der Charakterisierung und Modifikation von Oberflächen, welche als kritisch für die Infektionsübertragung eingeschätzt wurden, in das Projekt ein.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Ergänzend zur Darstellung in der Verbundvorhabenbeschreibung, sollen hier der Stand des Wissens und der Technik bezogen auf den Forschungsinhalt des Teilvorhabens beschrieben werden.

Die Verbreitung von pathogenen Mikroorganismen (z.B. *Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter spp.*, *Escherichia coli* oder Noroviren) kann durch indirekte Übertragung über Materialoberflächen ermöglicht werden [Pfaender and Swatek, Applied Microbiology 20(2) 1970]. Das Vorkommen einiger dieser Erreger im Flugzeug konnte bereits nachgewiesen werden [McKernan *et al.* Ann Occup Hyg 52(2) 2008]. Eine systematische Zuordnung der auf Materialoberflächen vorkommenden Mikroorganismen zu bestimmten Materialklassen oder spezifischen physikochemischen Eigenschaften der Oberflächen wurde insbesondere für den Luftverkehr und die dort verwendeten Materialien noch nicht vorgenommen. Das Verständnis dieser Zusammenhänge ist die unabdingbare Voraussetzung für die Ableitung materialbasierter antiinfektions-strategischer Lösungsansätze.

Die Art der Mikroorganismen im Flugzeug beschränkt sich dabei nicht auf ausschließlich pathogene Bakterien. Das generelle Vorkommen (Anzahl und Art) von Mikroorganismen,

HyFly – Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Flugverkehr

welche auf Oberflächen im Flugzeug vorhanden sein können, wurde bereits empirisch ermittelt [McKernan *et al.* Ann Occup Hyg 52(2) 2008]. Ein Zusammenhang zu den Materialien wurde in dieser Studie allerdings nicht hergestellt. Eine systematische Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen von Mikroorganismen im Flugzeug und den Materialoberflächeneigenschaften, sowie der Schädigung der Materialoberflächen durch Reinigungsmittel konnte durch die Literaturrecherche nicht ermittelt werden.

Die Notwendigkeit einer Desinfektion von Materialoberflächen im Rahmen des Flugbetriebes ist von der World Health Organisation (WHO), der International Civil Aviation Organization (ICAO) und der International Air Transport Association (IATA) erkannt und dokumentiert worden [WHO, Guide to Hygiene and Sanitation in Aviation 2009; IATA, Medical Manual 2015; ICAO, Guidelines for states concerning the management of communicable disease posing a serious health risk 2015]. Angaben zur Reinigung und Desinfektion der Oberflächen enthalten jedoch nur allgemeine Hinweise auf eine mögliche schädigende Wirkung der Reinigungsmittel auf die Oberflächenstruktur bzw. die Festigkeit von Bauteilen. Welche Schädigungen sich konkret für verschiedene Materialklassen ergeben, wurde bisher noch nicht durch wissenschaftliche Studien untersucht.

In einer sehr frühen Studie wurde der Einfluss der Schädigung von Materialoberflächen durch Reinigungsmittel auf *Pseudomonas aeruginosa* und *Staphylococcus aureus* untersucht [Pfaender and Swetak, Applied Microbiology 20(2) 1970]. Es konnte keine oberflächenspezifische Auswirkung auf die Bakterienanzahl nachgewiesen werden. Die Ergebnisse aktueller Arbeiten z. B. die von Wickens *et al.* und Wang *et al.* [Wang, Chen and Terentjev, Journal of Biomaterials Applications 29(10) 2015; Wickens *et al.* Journal of Microbiological Methods 104 2014] zeigen jedoch eine deutliche Abhängigkeit der Anzahl von Mikroorganismen auf Oberflächen von der Oberflächentopographie. Der Zusammenhang beschränkt sich dabei nicht nur auf die Topographie, sondern schließt die chemischen Eigenschaften der Oberfläche ein [Wickens *et al.* Journal of Microbiological Methods 104 2014]. Es kann also geschlussfolgert werden, dass eine Optimierung von Materialoberflächen bezüglich ihrer physikochemischen Eigenschaften zu einer signifikanten Reduzierung der Verbreitung von Infektion durch Materialoberflächen haben kann.

Im Allgemeinen wurde der Einfluss der Materialoberflächentopographie schon für verschiedenste Materialoberflächen/Mikroorganismen-Kombinationen untersucht. Die Arbeiten beschränken sich jedoch häufig auf im Labormaßstab leicht zu strukturierende Materialien wie Polydimethylsiloxan (PDMS) oder Block-Copolymere, welche durch ihre intrinsischen Eigenschaften Nanostrukturen ausbilden können [Hasan and Chatterjee, Nanoscale 7(38) 2015]. Ein systematischer Vergleich dieser Materialoberflächen mit kommerziell erhältlichen und alltäglich vorzufindenden Materialoberflächen ist nicht bekannt. Ebenso wenig existieren Arbeiten zur Korrelation der mechanischen Eigenschaften bzw. der Oberflächenstruktur eines Bauteils mit der oberflächlichen Behandlung durch Reinigungsmittel.

Die Desinfektionswirkung von UV-Strahlung wurde durch zahlreiche Studien belegt [Akiyama *et al.* Journal of Dermatological Science 16(3) 1998; Fu, Vary and Lin, The Journal of Physical Chemistry 109(18) 2005; Goodwin *et al.* Environmental Science & Technology 49(9) 2015; Gurunathan *et al.* Int J Nanomedicine 7 2012; Kühn *et al.* Chemosphere 53(1) 2003; Wang *et al.* Water Res 39(13) 2005]. Ebenso wurde die materialschädigende Wirkung von UV-Strahlung z.B. für polymerbasierte Bauteile gezeigt [Fischbach *et al.* Surface Science 491(3)

2001; Li *et al.* Journal of Materials Science & Technology 31(4) 2015; Shokrieh and Bayat, Journal of Composite Materials 41(20) 2007]. Die Entwicklung UV-stabiler Bauteile ist eine wesentliche Voraussetzung für den erfolgreichen kommerziellen Einsatz von UV-Strahlung zur Desinfektion von Oberflächen zum Beispiel im Flugzeug oder Flughafen aber auch für den Medizinproduktebereich (Einhausungen, Liegen etc.). Die Verwendung von LED-Technik für die UV-Desinfektion von Oberflächen ist ein vielversprechendes Zukunftsfeld. So kann die Verwendung von LEDs zur Desinfektion im Hinblick auf die derzeitige Entwicklung im Halbleitermarkt zu neuen und kompakteren Desinfektionsapparaten führen.

Schutzrechte oder Schutzrechtsanmeldungen Dritter stehen einer eigenen Ergebnisverwertung nicht entgegen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

„HYFLY-TV1 – Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“ erfolgte als Teilvorhaben des Verbundvorhabens „Zwanzig20 – InfectControl 2020 – Verbundvorhaben Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Luftverkehr (HYFLY)“. Innerhalb des Verbundvorhabens erfolgte die Zusammenarbeit mit dem Institut für Industriebau und konstruktives Entwerfen (IIKE) der Technischen Universität (TU) Braunschweig, dem Robert-Koch-Institut Berlin (RKI), dem Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie Leipzig (IZI), dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Schmuhl Faserverbundtechnik (SFVT), der Airport Service Gesellschaft mbH (ASG) sowie Villeroy & Boch (V&B). Die engste Zusammenarbeit innerhalb dieses Teilvorhabens erfolgte mit dem Projektpartner IZI aus der Forschung, sowie SFVT, ASG und V&B als Industriepartner. Des Weiteren wurde das OSIM von Seiten des Leibniz-Instituts für Naturstoffforschung und Infektionsbiologie Hans-Knöll-Institut (HKI) bei mikrobiologischen Experimenten unterstützt. Innerhalb des Teilvorhabens wurden keine Unteraufträge erteilt.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Der Lehrstuhl für Materialwissenschaft (FSU Jena) war für die Koordination des Vorhabens sowie für das Teilvorhaben 1 zuständig. In Teilvorhaben 1 sollten dabei die Arbeitsschwerpunkte 1 und 3 mit den Arbeitspaketen AS1-AP3, AS3-AP1 bis AS3-AP3 sowie AS3-AP4.2 und AS3-AP4.3 bearbeitet werden. Innerhalb jedes Arbeitspakets wurden Unterarbeitspakete gebildet, die im Folgenden nicht separat aufgeführt werden. Entsprechende Zuordnungen können den Zwischenberichten entnommen werden.

a) Verwendung der Zuwendung

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises werden gesondert übermittelt. Die Arbeiten wurden entsprechend dem Projektantrag bzw. der genehmigten Änderungen durchgeführt um die Projektziele und die Meilensteine zu erreichen.

b) Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket TV1-AS1-AP3: Identifizierung und Bewertung kritischer Punkte zur Übertragung von Infektionen durch den Vektor Materialoberfläche im Gebäudesystem Flughafen und im Transportmittel Flugzeug

Im Rahmen der sektorübergreifenden Analyse von infektionskritischen Faktoren im Luftverkehr und der Priorisierung von Handlungsfeldern wurden potenziell infektionskritische Materialien bzw. Bereiche im Flugzeug und am Flughafen identifiziert. Dazu wurde neben Vor-Ort-Begehungen, Expertengesprächen sowie Expo-Besuchen auch eine Literaturrecherche durchgeführt, die sich auf Publikationen fokussierte, welche eine Verbindung von Materialoberflächen und Flugzeug mit der Anheftung und der Übertragbarkeit von Infektionserregern untersuchten. Die Publikation wurde beim Fachjournal *Travel Medicine and Infectious Disease* unter dem Titel „Microorganisms @ materials surfaces in aircraft: Potential risks for public health? – A systematic review“ veröffentlicht. Folgende Objekte und Materialien wurden mit den genannten Methoden für das Transportmittel Flugzeug identifiziert:

Klapptische, Sitzflächen, Armlehnen, Teppich, Gepäckklappen, Regler der Belüftung, Kopfstützen, Sicherheitsgurte, Toilettenspülknöpfe, Türriegel der Toilettenanlagen sowie Ablageflächen in Bordküche und im Sanitärbereich. Modellproben dieser Bereiche/Oberflächen konnten dabei von Partnern oder Industrievertretern bereitgestellt oder kommerziell erworben werden. Die physikalischen und chemischen Oberflächeneigenschaften der Materialien wurden mittels Rasterkraftmikroskopie (AFM), Weißlichtinterferometer (WLI), Rasterelektronenmikroskopie (REM), sowie mittels Kontaktwinkelmessung und Röntgenphotoelektronenspektroskopie (XPS) untersucht. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die identifizierten Materialien im Flugzeug.

Tabelle 1: Identifizierung und Einordnung nach Charakteristika von Modellmaterialien bzw. -oberflächen im Bereich Flugzeug

Realprobe	Material-system	Verarbeitung	Oberflächen-topographie		Benetzbarkeit
			Nano-rauheit	Mikro-rauheit	
Klapptisch (Bereitsteller: Lufthansa)	Polymer	un-beschichtet	X	X	hydrophil
Ledersitzbezug T-B176 light (Testori Aero Supply)	Polymer	beschichtet	X	X	hydrophob
Ledersitzbezug T-C350 Dark (Testori Aero Supply)	Polymer	beschichtet	X	X	hydrophob
Ledersitzbezug Caramel yellow (Schauenburg GmbH)	Polymer	beschichtet	X	X	hydrophob
Armlehne A252-82251-000-00 Blue-grey color (Vauth Aviation Components GmbH & Co. KG)	Polymer	beschichtet	X	X	hydrophob
Armlehne A252-82251-002-00 Chocolate color (Vauth Aviation Components GmbH & Co. KG)	Polymer	beschichtet	X	X	hydrophob
Sicherheitsgurt Nylon (AmSafe)	Polymer	un-beschichtet	X	X	super hydrophil
Sicherheitsgurt Polyester (AmSafe)	Polymer	un-beschichtet	X	X	super hydrophil
Edelstahl 1.4301 kaltgewalzt (Gemmel Metalle)	Metall	un-beschichtet	X	-	hydrophil
Edelstahl 1.4301 milchig- spiegelnd (Gemmel Metalle)	Metall	un-beschichtet	X	-	hydrophil
Edelstahl 1.4301 foliert (Gemmel Metalle)	Metall	un-beschichtet	X	-	hydrophob
Aluminium Al 2024 unplattiert (WMH GmbH)	Metall	un-beschichtet	X	-	hydrophob
Aluminium Al 2024 plattiert (WMH GmbH)	Metall	un-beschichtet	X	-	hydrophob
Aluminium Al 7075 (WMH GmbH)	Metall	un-beschichtet	X	-	hydrophil

hydrophil: Kontaktwinkel < 90°; hydrophob: Kontaktwinkel > 90°; super hydrophil: < 20°; x = vorhanden; - = nicht vorhanden

Keine dieser Oberflächen kann im Flugbetrieb als hygienisch sauber betrachtet werden. Alle Oberflächen werden von mindestens einer Person berührt und stellen somit einen potenziellen indirekten Übertragungsweg von Pathogenen im Flugzeug dar. Besonders die genannten Polymeroberflächen, aber auch die Toilettentürriegel sind in der Regel einem direkten Kontakt mit der menschlichen Haut ausgesetzt. Durch Gespräche mit der ASG, Projektpartner und



Reinigungsdienstleister direkt vor Ort, konnte die Materialauswahl weiter eingeschränkt werden. Bei der Flugzeugreinigung werden im Passagierbereich hauptsächlich alle Polymeroberflächen gereinigt, der Teppich wird in der Regel abgesaugt. Bei starken Verschmutzungen werden sowohl der Teppich als auch Bezüge der Sitzflächen sowie der Kopfstützen komplett gewechselt. Deshalb wurden diese Oberflächen in den späteren Arbeitspaketen nicht näher betrachtet und bei der Priorisierung nicht mit einbezogen.

Zur Entwicklung von prozessbasierten Antiinfektionsstrategien wurde der ASG ein, von der FSU beschaffter, ATP-Tester zur Verfügung gestellt. Mit dem ATP-Tester kann die organische Belastung von Oberflächen über freies ATP gemessen werden. In einer Reaktion wird dabei proportional zur vorhandenen Menge freien ATPs Licht freigesetzt und dieses detektiert. Damit kann quantitativ die organische Belastung einer Oberfläche bestimmt werden. Eine Differenzierung zwischen Bakterien und anderen organischen Verbindungen, wie z.B. Essensresten, ist jedoch nicht möglich. Die ASG konnte den ATP-Tester vor Ort in ihre Reinigungsabläufe einbinden. Es wurden Normverschmutzungen aufgebracht, diese wurden nach Leistungsverzeichnis gereinigt und die organische Belastung nach der Reinigung quantifiziert. Mit den so gewonnenen Erkenntnissen konnten die Reinigungsabläufe und die Qualität der Reinigung verbessert werden, was prozessbasiert zu einem verminderten Infektionsrisiko führt.

Im Gegensatz zum Flugzeug wurde durch Vor-Ort-Begehungen und Expertengespräche am Flughafen ein höherer Einsatz an Metalloberflächen festgestellt. Ein Teil der ausgewählten Metallsorten kann dabei sowohl im Flugzeug als auch am Flughafen eingesetzt werden. Hierzu wurden ebenfalls Modellmaterialien beschafft und wie bei den Materialien im Flugzeug untersucht. Die Materialien bzw. Oberflächen sind in Tabelle 2 dargestellt. Zusätzlich wurde das im Vorgängerprojekt Transsektorale Forschungsplattform (TFP) identifizierte Material HPL (Hochdrucklaminat) in die Untersuchungen mit aufgenommen, da HPL ebenfalls am Flughafen als Tischplatten, Ablageflächen oder im Sanitärbereich eingesetzt wird.

Zur besseren Priorisierung der Materialoberflächen wurde eine Flughafenbeprobung mittels ATP-Tester durchgeführt. Dabei wurden an verschiedenen Tagen sowohl im Sicherheitsbereich nach Zollkontrolle als auch im öffentlich zugänglichen Bereich verschiedene Materialien bzw. deren Oberflächen auf ihre organische Belastung untersucht. Dabei konnten für den Sicherheitsbereich Internetplätze sowie Feedbacksysteme als potenziell infektionskritisch identifiziert werden. Die Feedbacksysteme sind zwar nicht zwingend an jedem Flughafen vorhanden, jedoch bestehen diese aus Aluminium, was sich mit der Materialwahl im Bereich Flugzeug überschneidet. Im öffentlichen Bereich konnten Fahrstühle und Handläufe, sowie Internetplätze und Ablageflächen als potenziell infektionskritisch identifiziert werden. Fahrstühle und Handläufe bestehen dabei hauptsächlich aus Edelstahl, während die Ablageflächen und Internetplätze in beiden Bereichen aus verschiedenen Polymeren bestehen.

Tabelle 2: Identifizierung und Einordnung nach Charakteristika von Modellmaterialien bzw. -oberflächen im Bereich Flughafen

Realprobe/ Material	Material- system	Verarbeitung	Oberflächen- topographie		Benetzbarkeit
			Nano- rauheit	Mikro- rauheit	
Edelstahl 1.4301 kaltgewalzt (Gemmel Metalle)	Metall	unbeschichtet	X	-	hydrophil
Edelstahl 1.4301 milchig-spiegelnd (Gemmel Metalle)	Metall	unbeschichtet	X	-	hydrophil
Edelstahl 1.4301 foliert (Gemmel Metalle)	Metall	unbeschichtet	X	-	hydrophob
Aluminium AlMgSi 0.5 6060, wirmausgehärtet (Gemmel Metalle)	Metall	unbeschichtet	X	-	hydrophil
Aluminium AlMgSi1Mn 6082 (Gemmel Metalle)	Metall	unbeschichtet	X	-	hydrophil
Stahl DC04 kaltgewalzt (Gemmel Metalle)	Metall	unbeschichtet	X	X	hydrophil
Hochdruck-Laminat (HPL)	Verbund- werkstoff	unbeschichtet	X	X	hydrophob
Gepäckschale IATA High Density Polyethylene (HDPE) (Bereitsteller: FB-AVAK)	Polymer	unbeschichtet	X	X	hydrophil
Gepäckschale Acrylnitril-Butadien-Styrol- Copolymer (ABS) (Bereitsteller: FB-AVAK)	Polymer	unbeschichtet	X	X	hydrophil

hydrophil: Kontaktwinkel < 90°; hydrophob: Kontaktwinkel > 90°; x = vorhanden; - = nicht vorhanden

Die Ergebnisse der Flughafenbeprobung wurden dem Verantwortlichen vor Ort zur Verfügung gestellt, um das Monitoring der Reinigungsabläufe und somit auch die Qualität der Reinigung und der Reinigungsabläufe zu verbessern.

Des Weiteren wurde eine Strategie zur Unterbrechung von Infektionsübertragungswegen über Materialoberflächen für Metall- und für Polymeroberflächen entwickelt. In beiden Fällen wurde dabei ein Ansatz zur Nanostrukturierung ausgewählter Oberflächen verfolgt. Für Metalloberflächen wurde ein etabliertes Modellsystem genutzt und erweitert, in dem kugelförmige Goldnanopartikel auf Goldoberflächen definiert abgeschieden werden. Damit kann die Kontaktpunktdichte der Oberfläche verringert werden, was zu einer Verringerung der mikrobiellen Adhäsion führt. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde dieser Ansatz weiterverfolgt, um den Einfluss des Nanopartikeldurchmessers sowie der Anzahl der abgeschiedenen Nanopartikel zu untersuchen. Dabei konnte neben der bereits etablierten kovalenten Anbindung ein Protokoll zur elektrostatischen Anbindung etabliert werden, was die Immobilisierung von Goldnanopartikeln unterschiedlicher Größen auf den genannten Oberflächen ermöglicht. Daneben konnte in Experimenten eine verringerte Adhäsionskraft der

Mikroorganismen auf den beschriebenen nanostrukturierten Oberflächen nachgewiesen werden. Ein Manuskript zu diesem Thema wurde beim Fachjournal Colloids and Surfaces B Biointerfaces im Juni 2020 veröffentlicht.

Die zweite Strategie beruht auf Oberflächenmodifikation von Polymeren mittels Sauerstoffplasmabehandlung. Hierzu wurde das aus TFP übernommene Material HPL verwendet, welches in vielen öffentlichen Einrichtungen und Gebäuden genutzt wird. Durch die Plasmabehandlung entstanden kegelförmige Nanostrukturen, die in ihrer Ausprägung und Höhe von Dauer und Leistung der Plasmabehandlung abhingen. Ähnlichen Strukturen konnte in der Literatur bereits ein antimikrobieller Effekt zugeschrieben werden. Deshalb wurden mit den erzeugten Strukturen ebenfalls mikrobielle Tests durchgeführt. Als Ergebnis konnte hier gezeigt werden, dass die Anheftung von *Escherichia coli* vermindert werden konnte. Eine Aussage über eine potenzielle bakterizide Wirkung lässt sich an diesem Punkt noch nicht treffen. Im Rahmen einer weiteren Bachelorarbeit wurde diese Methode der Oberflächenmodifikation weiterführend untersucht. Dabei wurde sich auf den Einfluss der Plasmabehandlung auf die Materialeigenschaften fokussiert. Zusätzlich wurde, auf Grundlage der in der Realität stattfindenden Reinigungsprozesse, die mechanische Stabilität der Strukturen untersucht. Hierbei zeigte sich beim Polieren ein starker Strukturabtrag, während die Strukturen im Rahmen der simulierten Reinigung (angelehnt an Realbedingungen) als moderat abrasionsbeständig eingestuft werden konnten.

Zusammenfassend konnten potenziell infektionskritische Materialien, Materialoberflächen sowie Bereiche im Flugzeug und im Flughafen identifiziert und sowohl Metall- als auch Polymeroberflächen priorisiert werden. Zur Entwicklung von Antiinfektionsstrategien wurden dabei Verfahren zur Nanostrukturierung der Materialien genutzt, welche bereits unter Laborbedingungen eine Verminderung der mikrobiellen Anheftung zeigen. Weiterhin wurden sowohl vom Projektpartner ASG als auch von der zuständigen Person am beprobten Flughafen die Methodik des ATP-Testers sowie die gewonnenen Erkenntnisse angenommen und integriert, um eine Verbesserung der Reinigungsqualität und der Reinigungsabläufe zu gewährleisten. Damit kann eine prozessbasierte Antiinfektionsstrategie sowohl am Flughafen als auch im Flugzeug als direkt umgesetzt betrachtet werden.

Arbeitspaket TV1-AS3-AP1: Charakterisierung physikalischer und chemischer Oberflächeneigenschaften infektionskritischer Materialien in Infrastrukturbau Flughafen und Transportmittel Flugzeug mittels mikroskopischer und spektroskopischer Verfahren

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war die Charakterisierung der physikalischen und chemischen Oberflächeneigenschaften der zuvor identifizierten Materialien. Rauheiten im Mikrometerbereich wurden mittels WLI vermessen, während die Nanorauheit der Oberflächen mittels AFM vermessen wurde. Zur Kontaktwinkelmessung wurde das DSA 10 MK 2 der Firma Krüss genutzt. Kontaktwinkel wurden mit der Methode des liegenden Tropfens ermittelt. Zur Bestimmung der Materialsysteme wurden Herstellerangaben, XPS und EDX genutzt. Die Materialsysteme sowie die zugehörigen Kontaktwinkel und Rauheitswerte der Materialien bzw. Oberflächen sind in Tabelle 3 dargestellt. Es zeigt sich sowohl bei den Polymer- als auch bei den Metalloberflächen, dass in beiden Gruppen sowohl Materialien mit hydrophober als auch hydrophiler Oberfläche vorkommen. Nur die, in Tabelle 3 nicht aufgeführten, Sicherheitsgurte zeigten vollständige Benetzung. Im Vergleich der Rauheitswerte zeigten die

Metalloberflächen, mit Ausnahme des kaltgewalzten Edelstahls, die geringsten Nanorauhigkeiten (Sz) sowie Mikrorauhigkeiten (Sa). Die meisten Polymeroberflächen wiesen eine stärkere Strukturierung auf, sowohl im Nanometer- als auch im Mikrometerbereich.

Tabelle 3: Kontaktwinkel und Rauheiten der zuvor identifizierten Materialien im Bereich Flugzeug und Flughafen

Material/Oberfläche	Kontaktwinkel [°]	Rauigkeit		Nanorauheit	
		Sa [µm]	Sz [µm]	Sa [nm]	Sz [nm]
Edelstahl kaltgewalzt	67,5 ± 5,9	0,19 ± 0,01	4,43 ± 1,47	67,7 ± 34,5	651,2 ± 379,6
Edelstahl milchig-spiegelnd	84,8 ± 3,7	0,016 ± 0,001	3,20 ± 2,01	3,9 ± 1,3	54,1 ± 24,5
Aluminium unplattiert	104,2 ± 12,1	0,15 ± 0,01	6,46 ± 1,33	14,3 ± 8,2	89,5 ± 75,0
Aluminium plattiert	115,2 ± 7,6	0,13 ± 0,01	2,38 ± 0,21	17,6 ± 10,3	81,8 ± 48,9
Aluminium 7075	77,8 ± 6,4			11,9 ± 7,3	136,1 ± 71,4
Klapptisch	74,8 ± 1,9	0,76 ± 0,05	7,96 ± 0,91	69,0 ± 13,0	778,0 ± 145,9
Gepäckschale ABS	80,2 ± 6,9	-	-	19,76 ± 5,57	220,3 ± 145,2
Gepäckschale HDPE	77,7 ± 2,9	-	-	21,01 ± 6,85	238,0 ± 89,2

Die ermittelten Werte innerhalb dieses Arbeitspakets dienen als Referenz für das folgende Arbeitspaket, bei dem der Einfluss des Passagierkontaktes, Abnutzung und Alterung auf die verschiedenen Materialoberflächen untersucht werden sollte.

Arbeitspaket TV1-AS3-AP2: Übertragung von Mikroorganismen durch Oberflächen in Abhängigkeit von Passagierkontakt, Abnutzung und Alterung des Materials sowie Reinigung unter besonderer Berücksichtigung der lt. Liste des Robert-Koch-Instituts zugelassenen Reinigungsmittel

In diesem Arbeitspaket wurde der Zusammenhang zwischen der Abnutzung der identifizierten Materialien, dem Passagierkontakt sowie der Anheftung von Mikroorganismen untersucht. Da eine direkte Evaluation des Passagierkontaktes nicht realisiert werden konnte, wurde eine halbautomatische Reinigungsmaschine entwickelt um die Reinigungsabläufe sowie die Materialabnutzung unter Laborbedingungen zu simulieren. Oberflächen im Flugzeug werden im Schnitt einmal täglich für 3 Sekunden, 350-mal im Jahr gereinigt. Ausgenommen sind hier längere Standzeiten der Maschinen bei Reparaturen und Wartungsarbeiten. Zusätzlich wurde der Druck der Reinigungsmaschine auf die Probenoberfläche so eingestellt, dass diese etwa einem normalen Handauflagedruck entspricht. Nach Information von Airbus wird die komplette Passagierkabine im Flugzeug alle 7 Jahre ausgetauscht. Dieser Zeitraum wurde dementsprechend als maximale Abnutzungsdauer festgelegt. Zusätzlich wurden als weitere Reinigungsparameter 1, 3 und 5 Jahre definierter Reinigung ausgewählt, um den Verlauf der Abnutzung besser untersuchen zu können. Als Reinigungsmittel wurde Aeroclean IC240 verwendet, ein standardmäßig verwendetes und zugelassenes Reinigungsmittel für Flugzeuge. Die verwendeten Putzlappen wurden ebenfalls standardmäßig von der ASG genutzt. Die entwickelte Reinigungsmaschine ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Darstellung der halbautomatischen Reinigungsmaschine als Konstruktionsabbildung (links) und in der realen Umsetzung (rechts).

Folgende Materialien wurden definiert gereinigt und anschließend erneut charakterisiert: Edelstahl 1.4301 kaltgewalzt, Edelstahl 1.4301 milchig-spiegelnd, Aluminium 3.1354-1 unplattiert 2024, Aluminium 3.1364 plattiert 2024, Aluminium 3.4364-1 7075, sowie Klappische und Gepäckschalen. Gemessene Kontaktwinkel nach definierter Abnutzung sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Kontaktwinkel der Materialien nach definierter Reinigung

Material/Oberfläche	Dauer der definierten Reinigung / Kontaktwinkel nach definierter Reinigung [°]				
	unbehandelt	1 Jahr	3 Jahre	5 Jahre	7 Jahre
Edelstahl kaltgewalzt	67,5 ± 5,9	61,1 ± 21,2	59,2 ± 11,4	63,7 ± 11,7	60,4 ± 3,9
Edelstahl milchig-spiegelnd	84,8 ± 3,7	68,9 ± 7,4	64,7 ± 4,7	59,7 ± 4,9	68,4 ± 7,2
Aluminium unplattiert	104,2 ± 12,1	79,4 ± 6,9	83,2 ± 8,8	59,7 ± 6,3	68,8 ± 7,9
Aluminium plattiert	115,2 ± 7,6	61,6 ± 3,7	70,3 ± 10,5	64,7 ± 4,9	55,5 ± 3,5
Aluminium 7075	77,8 ± 6,4	61,3 ± 5,5	46,5 ± 5,0	53,3 ± 5,0	45,4 ± 3,5
Klappisch	74,8 ± 1,9	74,9 ± 5,0	74,7 ± 5,3	63,4 ± 9,5	89,9 ± 6,5
Gepäckschale ABS	80,2 ± 6,9	59,5 ± 3,2	75,8 ± 4,1	71,0 ± 6,6	69,4 ± 4,4
Gepäckschale HDPE	77,7 ± 2,9	72,3 ± 7,2	85,4 ± 2,3	75,5 ± 5,4	80,9 ± 3,8

Bei allen definiert gereinigten Oberflächen konnte ein ähnlicher oder abnehmender Kontaktwinkel im Vergleich zum Ausgangszustand beobachtet werden. Im Bezug zur Reinigung bedeutet dies, dass das Benetzen der Oberfläche mit dem eingesetzten Reinigungsmittel, auch nach mehreren Jahren Abnutzung, nicht eingeschränkt oder vermindert wird. Rauheitsänderungen der getesteten Oberflächen sind am Beispiel von Kaltgewalztem Edelstahl und Klappisch in Abbildung 2 dargestellt. Für die Metalloberflächen ließ sich dabei eine geringe Abnahme der Rauigkeit feststellen. Das bedeutet, dass sich die Oberflächen nur wenig abnutzen. Bei den Klappischen hingegen wurde ein starker Rückgang der Rauigkeit beobachtet. Die Oberflächen werden demnach „glatter“ oder „ebener“.

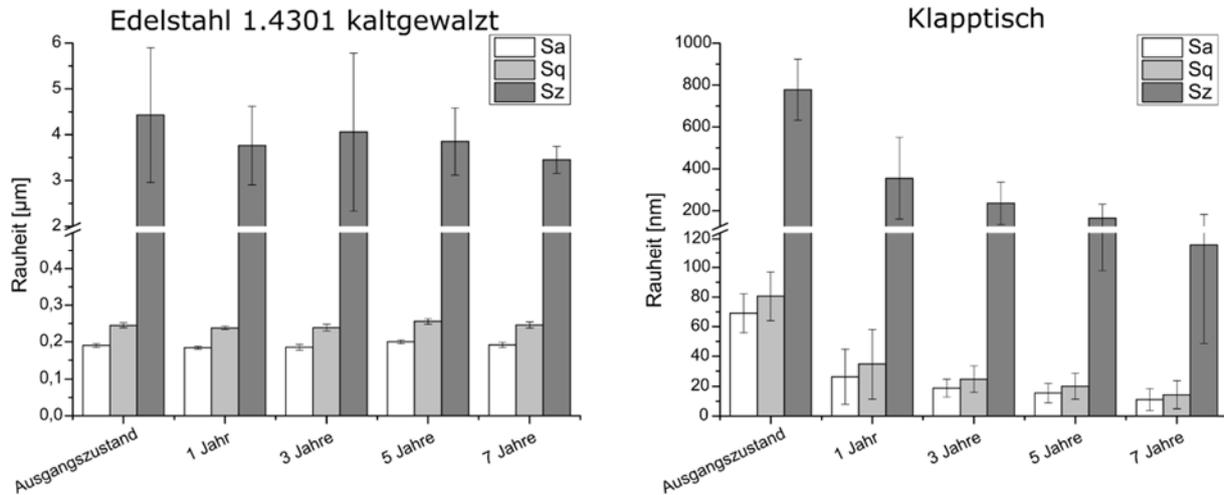


Abbildung 2: Änderung der Rauheit in Abhängigkeit der Putzdauer, links Mikrorauheit von kaltgewalztem Edelstahl, rechts: Nanorauheit der Klappstische

Von den getesteten Oberflächen wurden Edelstahl kaltgewalzt sowie milchig-spiegelnd, Aluminium unplattiert und plattiert sowie Aluminium 7075 zum Projektpartner IZI zur Durchführung der ISO geschickt. Damit wurde der Einfluss der definierten Reinigung und Abnutzung auf das Anheftungsverhalten von *E. coli* untersucht. Bei den Oberflächen Edelstahl kaltgewalzt (Abbildung 3), milchig-spiegelnd sowie Aluminium plattiert konnten keine Unterschiede im Anheftungsvermögen von *E. coli* beobachtet werden. Bei unplattiertem Aluminium konnte, bis auf den Zeitpunkt 5 Jahre, ein leichter Rückgang der mikrobiellen Anheftung festgestellt werden. Dies lässt sich zu diesem Zeitpunkt aber weder direkt mit dem Kontaktwinkel noch mit der Oberflächenrauigkeit in Verbindung setzen. Die genannten Metallsorten zeigten insgesamt nur eine geringe Abnutzung und Änderung im Benetzungsverhalten, was die Anheftung von Mikroorganismen jedoch nicht beeinflusst.

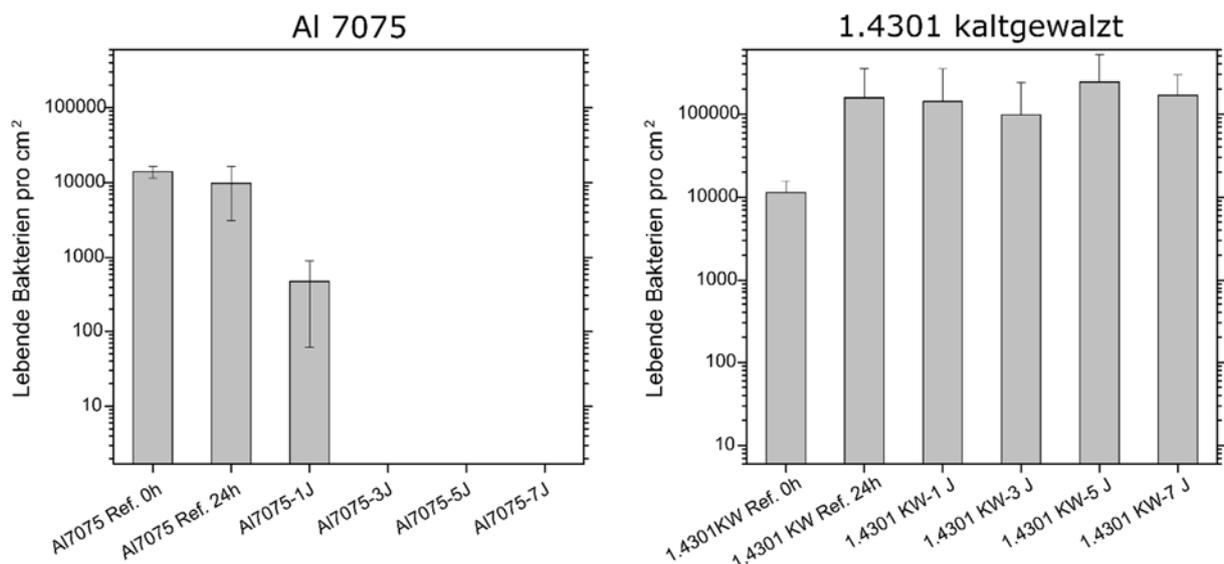


Abbildung 3: Einfluss der definierten Reinigung und Abnutzung auf das Anheftungsverhalten von *E. coli*. auf Al 7075 und 1.4301 KW

Interessanterweise konnte bei Aluminium 7075 ein starker Rückgang der mikrobiellen Anheftung beobachtet werden (Abbildung 3). Dieser Effekt könnte mit der Zusammensetzung des Materials zusammenhängen. Im Vergleich zu den anderen Metallsorten beinhaltet Aluminium 7075 5-6 at.% Zink. Zink kann dabei, wie auch in der Medizin, antimikrobielle Wirkung haben. Möglicherweise wird durch das Reinigen vermehrt Zink an der Oberfläche freigelegt, welches das Anhaften bzw. das Überleben der Mikroorganismen beeinträchtigen kann.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde ebenfalls die antimikrobielle Wirkung des verwendeten Reinigungsmittels vom IZI getestet. Dazu wurde das Reinigungsmittel auf die definiert gereinigten Oberflächen aufgesprüht und die ISO im Nachgang durchgeführt. Dabei zeigte sich bei allen getesteten Oberflächen ein stark verringertes bakterielles Überleben. Somit kann die längerfristige Wirkung des eingesetzten Reinigungsmittels auch auf definiert gereinigten/abgenutzten Oberflächen bestätigt werden.

Arbeitspaket TV1-AS3-AP3: Entwicklung von Ansätzen für langfristig beständige antimikrobielle Oberflächen in Infrastrukturbau und Transportmittel (Schwerpunkt Sanitärbereich) und Untersuchung der antimikrobiellen Wirksamkeit

Das Ziel dieses Arbeitspaket war die Unterstützung des Projektpartners V&B in der materialwissenschaftlichen Testung und Analyse von Keramikglasuren, die mit verschiedenen antimikrobiellen Additiven ausgestattet werden sollten. Hierzu wurden zu Beginn die chemischen Eigenschaften keramischer Proben mit Silberpartikeln untersucht. Dazu wurden REM, EDX und z.T. auch XPS sowie XRD als Methoden eingesetzt. In den untersuchten Proben konnten bei den bereitgestellten Materialien mit der Bezeichnung AB01-16, AB02-16, HF01-16 sowie HF02-16 Silberpartikel detektiert werden (siehe Abbildung 4).

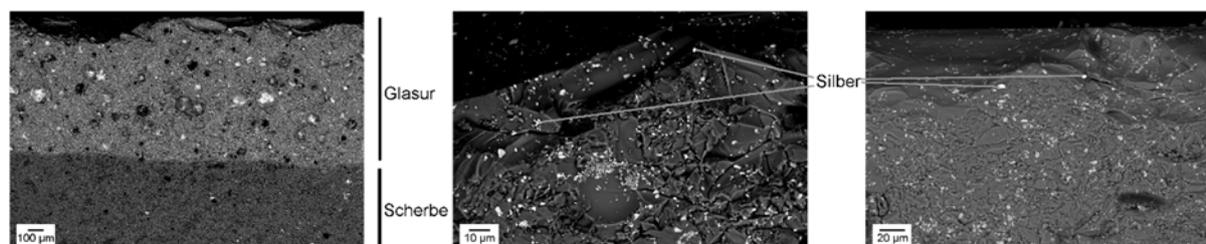


Abbildung 4: Darstellung des Aufbaus (links, 50-fache Vergrößerung) und elektronenmikroskopische Aufnahmen von einer AB02-16 (Mitte, 700-fache Vergrößerung) und HF01-16 Probe (rechts, 400-fache Vergrößerung).

Durch den sehr geringen Anteil an Silberpartikeln konnte keine Aussage über deren Verteilung mittels REM-EDX getroffen werden. Der Nachteil an EDX ist dabei, dass der Elektronenstrahl einige μm in die Probenoberfläche eindringt, somit also nicht nur oberflächennahe Elemente detektiert werden. Deshalb wurde weiterführend XPS genutzt, da diese Methode eine oberflächensensitive ist und zusätzlich eine niedrige Nachweisgrenze hat. Jedoch, mittels XPS konnte kein Silber detektiert werden, da die Konzentration wahrscheinlich unter der Nachweisgrenze lag. Eine Erklärung dafür ist der bereits geringe Anteil an Silber im Ausgangspulver vor dem Brennen der Glasur. Daraufhin wurde das Pulver untersucht und dabei konnte ausreichend Silber festgestellt werden. Die beobachteten Silberpartikel waren im Pulver jedoch deutlich größer als in der keramischen Probe, was darauf hindeutet, dass sich die Silberpartikel durch das Brennen anfangen aufzulösen (siehe Abbildung 5).

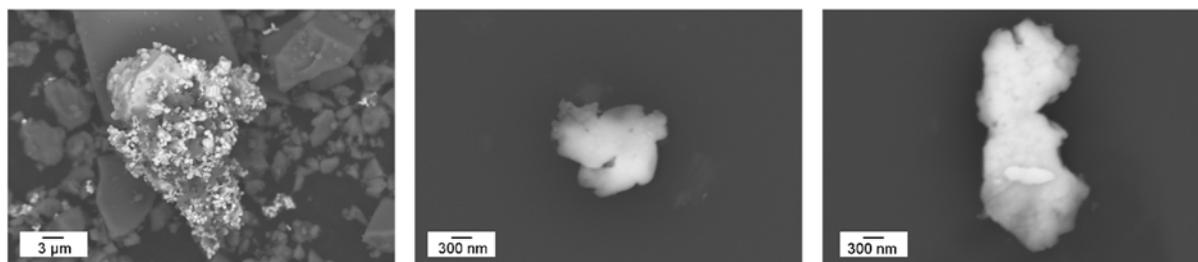


Abbildung 5: Vergleich der Silberpartikelgrößen vor (links) und nach (Mitte, rechts) dem Brennen der Glasur.

Auch in weiteren Probefliesen konnte mittels EDX und XPS kein Silber nachgewiesen werden. Eine Übersicht über die physikalischen Eigenschaften (Rauheit) der Proben sowie gemessene Kontaktwinkel sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Übersicht über die physikalischen Eigenschaften silberdotierter Glasuren.

Probenbezeichnung	Rauheit			Kontaktwinkel [°]
	R _q [nm]	R _a [nm]	R _{max} [nm]	
Referenz	1,67 ± 0,87	2,84 ± 1,46	60,78 ± 47,29	48,2 ± 3,2
AB01-16	3,80 ± 2,86	2,43 ± 1,52	50,40 ± 37,25	41,56 ± 4,07
AB02-16	4,28 ± 1,04	2,95 ± 1,35	55,75 ± 16,45	45,22 ± 4,22
HF01-16	5,59 ± 7,43	2,60 ± 3,37	59,26 ± 67,92	37,04 ± 3,38
HF02-16	155,65 ± 40,02	121,95 ± 31,86	1225,75 ± 306,60	-
Ab 13-18	3,96 ± 3,32	6,05 ± 4,44	82,28 ± 30,93	50,7 ± 4,4
AB 16-18	3,26 ± 1,96	5,83 ± 3,78	93,47 ± 52,80	48,2 ± 5,9
AB 17-18	5,08 ± 3,01	7,50 ± 4,01	88,14 ± 43,16	47,2 ± 4,1

R_q = quadratische Rauheit, R_a = arithmetische Rauheit, R_{max} = maximale Rautiefe

Anhand der Rauheitsmessungen der verschiedenen Proben ist ersichtlich, dass sich die Proben hinsichtlich der Oberflächentopographie fast nicht unterscheiden. Lediglich HF02-16 unterscheidet sich erheblich in der Oberflächentopographie und –morphologie zu den vorher genannten. Grund dafür ist, dass die Probe bei einer geringeren Temperatur gebrannt wurde. Der Kontaktwinkel für die Proben AB01-16, AB02-16, HF01-16 ist ähnlich. Durch die deutlich porösere Oberfläche im Vergleich zu den anderen Proben konnte bei HF02-16 kein Kontaktwinkel bestimmt werden.

Zusätzlich wurde der Einfluss der Bakterienversuche auf die Oberflächentopographie untersucht. Hierzu wurden die Fliesen nach den Bakterienversuchen des IZIs erneut charakterisiert. Es zeigte sich keine signifikante Änderung der Rauheit, sowie der Kontaktwinkel.

Ein zusätzlicher Aspekt war die Untersuchungen von Verfärbungen der Fliesen. Hierbei stellte sich die Frage, ob die Verfärbungen prozessbedingt entstehen oder ob es zur Ablagerung von Fremdelementen in der Glasur kommt. Diese Frage ist wichtig, da Verfärbungen einen Qualitätsmakel der Keramiken darstellen. Dazu wurden XPS-Untersuchungen in Bereichen ohne Verfärbung und mit Verfärbung durchgeführt und die Spektren verglichen. Exemplarisch sind zwei Spektren in Abbildung 6 dargestellt.

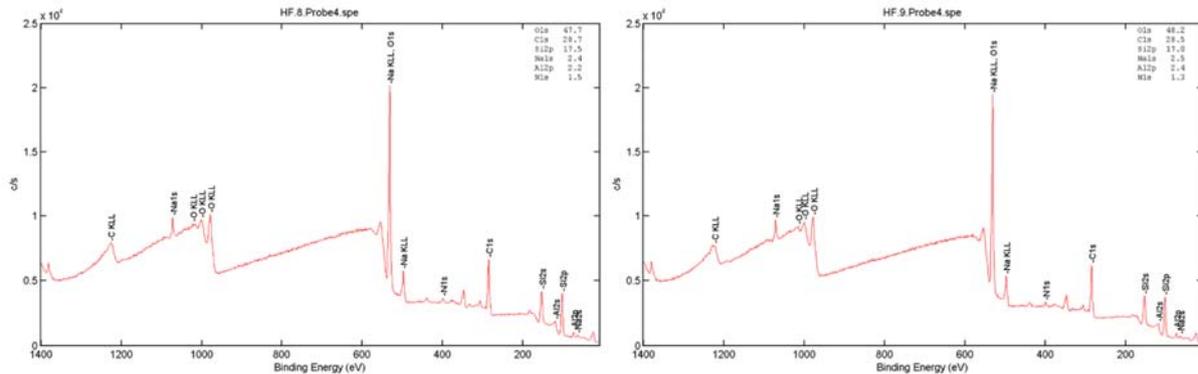


Abbildung 6: XPS-Spektrum eines normalen Bereiches (links) und eines verfärbten Bereiches (rechts).

Anhand der XPS-Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass es keine Unterschiede in der elementaren Zusammensetzung der Verfärbungen im Vergleich zu unauffälligen Bereichen gibt. Auch die Elementverhältnisse zueinander zeigen keine Unterschiede. Hieraus lässt sich schließen, dass die Verfärbungen der Keramiken nicht mit einer Kontamination mit Fremdelementen zusammenhängen. Es könnte sich bei den Verfärbungen z.B. um beim Brennprozess entstehende Reaktionsprodukte verschiedener Elemente handeln. Verschiedene Bindungstypen bzw. mögliche Reaktionsprodukte können jedoch mit XPS nicht nachgewiesen werden.

Der dritte Aspekt war die Untersuchung der Mikroben-Material-Interaktion mittels REM. Dabei wurde die Morphologie von *E. coli* auf den silberhaltigen Proben AB02-16 und HF02-16 untersucht (Abbildung 7).

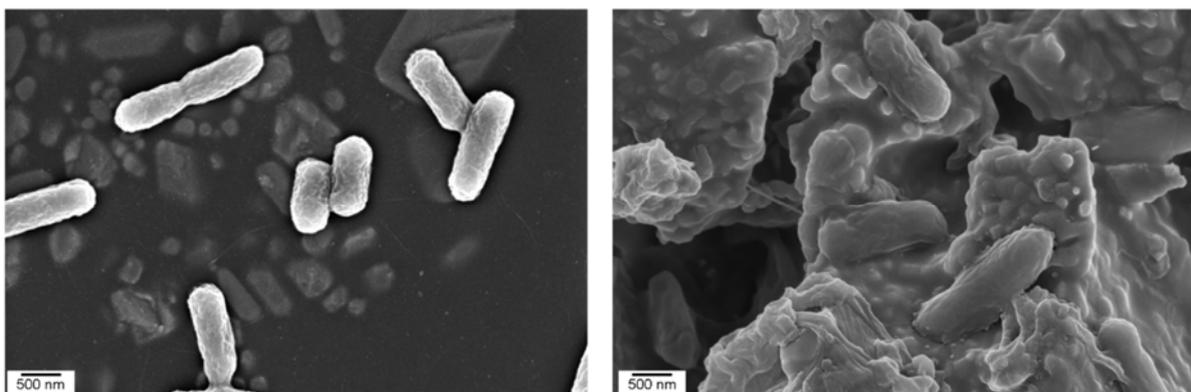


Abbildung 7: Elektronenmikroskopische Aufnahmen von adhärennten *E. coli* Zellen auf den silberhaltigen Glasuren AB02-16 (links) und HF02-16 (rechts) bei 15.000x-Vergrößerung.

Es ist zu erkennen, dass auf den keramischen, silberhaltigen Proben *E. coli* Zellen adhärennten. Dabei hat die Brenntemperatur keinen Einfluss auf die Adhäsion. Bei Betrachtung der Zellmorphologie fällt auf, dass die Zellen auf der AB02-16 Probe intakter aussehen als auf der HF02-16 Probe, auf welcher die Zellen eingedrückt wirken. Ein Grund dafür könnte sein,

dass durch die rauere Oberflächenstruktur ein größeres Oberflächenverhältnis geschaffen wird und möglicherweise mehr Silber freigesetzt werden kann.

Arbeitspaket TV1-AS3-AP4.2: Baulich-konstruktive Detaillösungen zur Unterbrechung von Infektionsübertragungswegen in Risikobereichen von Infrastrukturbau und Transportmittel - Desinfektion von hoch keimbelasteten Materialoberflächen mittels LED-UV-Technologie

In diesem Arbeitspaket wurde die Desinfektionsleistung von UVA- sowie UVC-LEDs in einem Modellsystem als Alternative zur chemischen Reinigung getestet. Dafür wurde von SFVT eine Strahlungsquelle konstruiert, welche mit einer UVA- oder einer UVC-LED Quelle ausgestattet werden kann. Als Modelloberfläche wurde ein handelsübliches Epoxidharz als Grundlage genutzt, welches mit einer Polyestergelcoatschicht überzogen wurde. In diese Schicht sollten weiterhin UV-aktive bzw. UV-resistente Additive zum Materialschutz und zur Steigerung der Desinfektionsleistung eingebracht werden. Nach Recherche von SFVT wurde sich bei den Additiven für Titandioxid entschieden. Dieses wurde in Vorversuchen in unterschiedlichen Konzentrationen in den Gelcoat eingebracht und die Dispersion überprüft. Dabei war die Dispersion bis 15 wt% Titandioxid ausreichend gut, um eine gleichmäßige Verteilung im Gelcoat ohne Absinken und Agglomeration zu gewährleisten. Die Gelcoatoberflächen wurden nachträglich für unterschiedliche Zeiten mit Aceton behandelt, um das Titandioxid an der Oberfläche freizulegen. Im Anschluss wurden Experimente mit UVA-LED-Bestrahlung an *Staphylococcus aureus* durchgeführt, um die Desinfektionsleistung zu bestimmen. Bei diesen Experimenten konnte erst nach 30-minütiger UVA-LED-Bestrahlung eine starke Reduktion der Bakterien nachgewiesen werden. Damit ist UVA-LED-Bestrahlung nach der aktuellen Ergebnislage zur Desinfektion im Flugzeug ungeeignet, da bei der Reinigung nur ein geringes Zeitfenster zur Verfügung steht. Jedoch könnte mit dieser Methode eine potenzielle Materialschädigung durch chemische Substanzen oder UVC-Bestrahlung vermieden werden. Des Weiteren kann diese Reinigungsmethode in anderen Bereich verwendet werden, wie zum Beispiel dem Flughafen, wo die Reinigungsdauern kein ausschlaggebender Faktor ist.

Die Experimente zur UVC-LED-Desinfektionsleistung wurden ohne Nutzung der Gelcoat-Oberfläche durchgeführt. Hier wurde eine definierte Bakterienzahl auf Agarplatten aufgetragen, diese mit unterschiedlichem Abstand zur Strahlungsquelle und für unterschiedliche Zeiträume bestrahlt. Danach erfolgte die Bestimmung der koloniebildenden Einheiten. Die Versuche wurden dabei mit *E. coli* und mit *S. aureus* mit ca. 3×10^3 Bakterien/ml durchgeführt. Bei beiden Bakterienspezies zeigte sich bereits bei wenigen Sekunden Bestrahlung eine starke Reduktion der koloniebildenden Einheiten. Laut Antrag wurde die Reduktion auf 70 % als Musterdetailösung festgelegt. Diese Reduktion konnte bei *E. coli* mit 6 cm Abstand ab 15 s, mit 9 cm ab 25 s und mit 12 cm Abstand nach 35 s erreicht werden. Bei *S. aureus* wurde die gewünschte Reduktion bei 6 cm ab 5 s, bei 9 sowie 12 cm ab 15 s Bestrahlungsdauer erreicht. Damit kann bereits jetzt eine gute Desinfektionsleistung der getesteten UVC-LED in kurzen Zeiträumen bestätigt werden. Im Hinblick auf die technologische Weiterentwicklung bieten UV-LEDs, aufgrund ihres geringen Energieeintrages ins Material, damit das Potenzial einer materialschonenden Alternative zur chemischen Reinigung.

Arbeitspaket TV1-AS3-AP4.3: Baulich-konstruktive Detaillösungen zur Unterbrechung von Infektionsübertragungswegen in Risikobereichen von Infrastrukturbau und Transportmittel - Proben für Leichtbauwand für PTU

Ziel dieses Arbeitspaketes war die mechanische Prüfung der bereits beschriebenen Gelcoatproben zur späteren Nutzung als Leichtbaumaterial für eine PTU. Damit sollte unter Beachtung der Richtlinien im Flugzeug die Möglichkeit geschaffen werden, potenziell infektiöse Passagiere gezielt isolieren zu können sowie das Material möglichst beständig und desinfektions-/reinigungsstabil zu halten. Da keine Richtlinien bzw. Informationen beschafft werden konnten wurde das Anwendungsgebiet auf den medizinischen Bereich, z.B. als Liegematerial geändert. Dabei wurden im Hinblick auf die Reinigung die Zugfestigkeit sowie das E-Modul der Proben bestimmt. Dabei erfolgte die Bestimmung mit und ohne Gelcoat, mit und ohne Titandioxid sowie mit und ohne UV-Bestrahlung, um den Einfluss der Bestrahlung auf die Materialeigenschaften zu bestimmen. Zusätzlich wurde neben der UVA- und UVC-LED auch eine herkömmliche Quecksilberlampe (UVA-C-Bereich) als Referenz genutzt. Es zeigte sich nach Bestrahlung mit der Quecksilberlampe eine Abnahme im Elastizitätsmodul sowie der Zugfestigkeit. Dies lässt auf eine Materialschädigung der getesteten polymeren Oberfläche schließen. Im Vergleich dazu konnten nur geringe Änderungen der Materialeigenschaften nach UVA- sowie UVC-LED-Bestrahlung nachgewiesen werden. Interessant war hier der geringe Einfluss der UVC-LED-Bestrahlung auf die Materialeigenschaften. Die Übertragbarkeit dieser Erkenntnisse soll weiterführend an anderen Polymeren getestet und im Anschluss in einem wissenschaftlichen Fachjournal veröffentlicht werden.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Projektmittel wurden zum größten Teil für Personalmittel verwendet. Der Hauptteil der Reisekosten entfiel auf Projekttreffen, Interviews und Vor-Ort-Begehungen. Verbrauchsmittel entfielen auf allgemeine Laborverbrauchsmaterialien, Materialien zur Materialpräparation sowie zur Charakterisierung. Für Einzelheiten siehe gesonderten Verwendungsnachweis.

Die Projektmittel für Reisekosten wurden genutzt, um an Konferenzen und Projektmeetings teilzunehmen, um die Projektpartner über die eigenen Fortschritte zu informieren, sich über projektbezogene Fragestellungen auszutauschen und um die weitere Vorgehensweise abzustimmen. Weiterhin dienten die Reisekosten dazu, die Vor-Ort-Begehungen, Messebesuche sowie die Flughafenbeprobung durchzuführen, die zur Bestimmung infektiöser Materialklassen und Oberflächen im Rahmen der Arbeitsschwerpunkte 1 und 3 notwendig waren.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zur Identifizierung projektrelevanter Materialoberflächen wurden Interviews geführt, und im Ergebnis der Auswertung konnten zwei relevante Materialoberflächen ausgewählt werden. Diese wurden mit verschiedenen Verfahren topographisch und chemisch modifiziert und



charakterisiert. Geeignete Verfahren wurden weiter hinsichtlich ihrer antimikrobiellen Wirksamkeit und Abrasionsbeständigkeit untersucht.

Hierfür wurden verschiedene am Lehrstuhl vorhandenen Verfahren eingesetzt. Hierzu wurden die gemäß Verwendungsnachweis beschafften Verbrauchsmittel eingesetzt, Investitionen wurden nicht getätigt.

4. Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Projektarbeiten führten zu mehreren Veröffentlichungen, wovon zwei bereits publiziert und eine in Vorbereitung ist. Die Zusammenarbeit und Interdisziplinarität mit den Projektpartnern IIKE, RKI, IZI, PIK, SFVT, ASG sowie V&B wurden nachhaltig gestärkt. Es entstanden zwei Bachelorarbeiten mit den Titeln „O₂-Plasma-induzierte Nanostrukturierung von Polymeren zur Herstellung antimikrobieller Oberflächen“ und „Herstellung und Charakterisierung von Goldnanopartikel-funktionalisierten Goldoberflächen“. Weiterhin wurden die Arbeiten auf nationalen und internationalen Fachtagungen mit Resonanz vorgestellt (siehe Kapitel 6). Die Thematik des Projektes HyFly war ebenfalls Thema eines im Januar 2019 geführten Interviews des RBB, welches in deren Mediathek öffentlich abrufbar war.

Ein Teil der Ergebnisse wurde während des Projektes in Zusammenarbeit mit der ASG genutzt, um prozessbasierte Antiinfektionsstrategien vor Ort umzusetzen. Damit konnte die Qualitätskontrolle und Schulung der Mitarbeiter verbessert sowie die Effektivität der vorhandenen Reinigungsabläufe erhöht werden. Weiterhin wurden die Ergebnisse der Flughafenbeprobung dem zuständigen Mitarbeiter vor Ort zur Verfügung gestellt. Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann dort eine verbesserte Qualitätskontrolle sowie Überwachung der Effektivität der Reinigungsabläufe etabliert und sichergestellt werden.

Durch die Projektarbeiten wurde die Kompetenz des Lehrstuhls für Materialwissenschaft auf dem Gebiet der infektiionskritischen Charakterisierung und Bewertung von Oberflächen gestärkt. Zusätzlich wurde die interdisziplinäre Vernetzung durch die Zusammenarbeit der Projektpartner gestärkt, was den Lehrstuhl für Materialwissenschaft auf dem Gebiet der anwendungsnahen Antiinfektionsstrategien stärkt.

5. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Eine Literaturrecherche wurde gegen Ende des Projektes durchgeführt, die Ergebnisse und Suchbegriffe sind in Abbildung 8 gegeben.

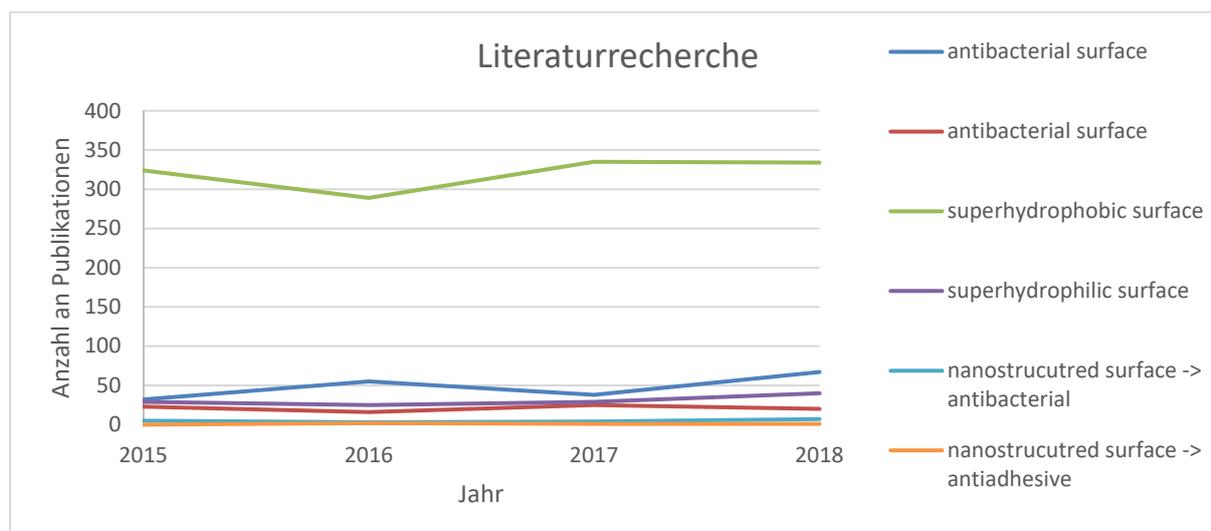


Abbildung 8: Anzahl der Publikationen zu den angegebenen Suchbegriffen im Zeitraum von 2015 bis 2018, die Pfeile stehen für eine Verfeinerung der Suche; zur Recherche wurde „SciFinder“ genutzt

Auffällig ist, dass sich die meisten Studien auf die Oberflächenbehandlung von Biomaterialien wie Implantaten fokussieren, sowie auf das Erzeugen von superhydrophoben Oberflächen um einen Selbstreinigungseffekt auf diesen zu realisieren.

Besonders zwei Studien standen in einem engeren projektrelevanten Zusammenhang

Yue Yuen et al.: “Surface characteristics influencing bacterial adhesion to polymeric substrates”; RSC Adv., 2017, 7, 14254

In dieser Arbeit wurde (unter anderem) Polystyrol mittels einer Plasmabehandlung hydrophilisiert. Es konnte gezeigt werden, dass es einen Benetzbarkeitsbereich gibt, in welchem mehr Bakterien an den Oberflächen adhären und dass sowohl besonders hydrophobe als auch stark hydrophile Oberflächen antiadhäsive Eigenschaften gegenüber Bakterien aufweisen können.

Xinlei Li ang Tongsheng Chen: „Enhancement and suppression effects of a nanopatterned surface on bacterial adhesion“; PHYSICAL REVIEW E 93, 052419 (2016)

Die Autoren stellten ein theoretisches Model auf, bei welchem das Gleichgewicht zwischen Adhäsionsenergie und Deformationsenergie der Bakterienmembran betrachtet wurden. Anhand dieses Modells konnte gezeigt werden, dass Nanostrukturierungen (in der Arbeit als „Nanopillars“ bezeichnet) unterhalb eines kritischen Spitzenradius anfangen, aus thermodynamischen Gründen antiadhäsiv zu wirken. Als weitere topografische Faktoren werden Abstand und Aspektverhältnis der Nanopillars genannt.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Tabelle 6: Poster auf Meetings und internationalen Konferenzen

Typ	Datum	Titel	Autoren
Poster InfectControl Beiratssitzung Berlin	15.11.2016	HYFLY – Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit Ausbreitungs-wegen von Erregern im Flugverkehr	-Max Hennig -Claudia Lüdecke -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt
Poster InfectControl Strategiekonferenz Jena	14.06.2017	Materials Surfaces as Sources for Infection within the Aircraft – A Review Study	-Bin Zhao -Carolin Dewald -Max Hennig -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt
Poster Materials Science and Engineering (MSE) Darmstadt	26.- 28.09.2018	Effective strategies for the controlling and dealing with transmission pathways of pathogens in air traffic	-Christian Helbing -Thomas J. Dauben -Carolin Dewald -Bin Zhao -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt
Poster 17. Thüringer Werkstofftag Ilmenau	07.03.2019	A Novel UV-LED-based Approach for Surface Disinfection – A Pilot Study	-Thomas J. Dauben -Christian Helbing -Michael Ziller -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt
Poster 17. Thüringer Werkstofftag Ilmenau	07.03.2019	Nanostructured high-pressure laminate surfaces to interrupt transmission pathways of pathogens in public transportation	-Christian Helbing -Thomas J. Dauben -Karl Scheuer -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt
Poster 5 th EuroBioMAT Weimar	08.- 09.05.2019	Effective strategies for the controlling and dealing with transmission pathways of pathogens in air traffic	-Christian Helbing -Thomas J. Dauben -Carolin Dewald -Bin Zhao -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt
Poster 5 th EuroBioMAT Weimar	08.- 09.05.2019	Nanostructured high-pressure laminate surfaces to reduce transmission pathways of pathogens in public transportation	-Christian Helbing -Thomas J. Dauben -Karl Scheuer -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt
Poster 18. Thüringer Werkstofftag Jena	04.03.2020	Nanostructured high-pressure laminate surfaces to reduce transmission of pathogens in public transportation	-Thomas J. Dauben -Christian Helbing -Johann Möbius -Karl Scheuer -Jörg Bossert -Klaus D. Jandt

Tabelle 7: Vorträge auf Projektmeetings

Anlass	Thema
Kick-Off-Treffen (17.11.2016)	„HYFLY TV1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“
Zwischentreffen (06.12.2016)	“Effektive Strategien zur Kontrolle und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Luftverkehr“
Jahrestreffen (29.03.2017)	“TV1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“
Zwischentreffen (18.04.2017)	“HYFLY-TV1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“
Zwischentreffen (20.04.2017)	„TV1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“
Strategiekonferenz (14.06.2017)	“HyFly – Effective strategies for controlling and dealing with transmission pathways of pathogens in air traffic”
Expertenrunde (08.09.2017)	“HyFly – Effective strategies for controlling and dealing with transmission pathways of pathogens in air traffic”
Zwischentreffen (27.09.2017)	“TV1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“
Zwischentreffen (28.09.2017)	„HYFLY-TV1 Infection relevant materials surfaces in airports and aircrafts“
Jahrestreffen (21.03.2018)	„TV1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“
Zwischentreffen (07.08.2018)	„TV7: Strategien zur hygienebasierten und strukturellen Kontrolle von Infektionsübertragungswegen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“
Zwischentreffen (29.11.2018)	„Effektive Strategien zur Kontrolle und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Flugverkehr“
Jahrestreffen (16.04.2019)	„TV1: Infektionsrelevante Materialoberflächen im Infrastrukturbau Flughafen und im Transportsystem Flugzeug“

Tabelle 8: Veröffentlichungen, Projektanträge und Berichte

Typ	Datum	Titel
Antrag	18.12.2015	Teilvorhabenbeschreibung Teilvorhaben HYFLY-TV1
Bericht 2016	28.04.2017	Zwischenbericht gemäß Nr 3.1 der BNBest-BMBF 98 zum Verbundvorhaben: HyFly – Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Luftverkehr Teilvorhaben HYFLY-TV1
Bericht 2017		Zwischenbericht gemäß Nr 3.1 der BNBest-BMBF 98 zum Verbundvorhaben: HyFly – Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Luftverkehr Teilvorhaben HYFLY-TV1
Veröffentlichung 2018	27.07.2018	“Microorganisms @ materials surfaces in aircraft: Potential risks for public health? – A systematic review” in <i>Travel Medicine and Infectious Disease</i> (IF 4.450)
Bericht 2018	26.03.2019	Zwischenbericht gemäß Nr 3.1 der BNBest-BMBF 98 zum Verbundvorhaben: HyFly – Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Luftverkehr Teilvorhaben HYFLY-TV1
Antrag	06/2019	Antrag auf kostenneutrale Verlängerung des Projekts HYFLY-TV 1
Veröffentlichung	04.06.2020	„Quantifying the relationship between surfaces’ nano-contact point density and adhesion force of <i>Candida albicans</i> ” in <i>Colloids and Surfaces B: Biointerfaces</i> (IF 3.973)
Bericht 2019	25.03.2020	Zwischenbericht gemäß Nr 3.1 der BNBest-BMBF 98 zum Verbundvorhaben: HyFly – Effektive Strategien zur Kontrolle von und im Umgang mit Ausbreitungswegen von Erregern im Luftverkehr Teilvorhaben HYFLY-TV1
Veröffentlichung	In Vorbereitung	Untersuchung des Einflusses von UV-LED-Bestrahlung auf Materialeigenschaften von Polymeren