

BBSR-
Online-Publikation
26/2026

Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung von Oberflächen von Bauelementen

von

Norbert Sack
Dr. Ansgar Rose
Dr. Christian Scherer
Sabine Johann
Dr. Nicole Krueger

Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung von Oberflächen von Bauelementen

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-21.49

Projektlaufzeit: 04.2021 bis 10.2023

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Guido Hagel
guido.hagel@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

ift Rosenheim
Norbert Sack
sack@ift-rosenheim.de

Dr. Ansgar Rose
rose@ift-rosenheim.de

Fraunhofer IBP, Holzkirchen
Dr. Christian Scherer
christian.scherer@ibp.fraunhofer.de

Sabine Johann
sabine.johann@ibp.fraunhofer.de

Dr. Nicole Krueger
nicole.krueger@ibp.fraunhofer.de

Redaktion

ift Rosenheim
Fraunhofer IBP, Holzkirchen

Stand

Februar 2024

Gestaltung

ift Rosenheim
Fraunhofer IBP, Holzkirchen

Bildnachweis

Titelbild: Fraunhofer IBP, Holzkirchen
Alle Abbildungen mit Ausnahm von Logos stammen von den Autoren.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Sack, N.; Rose, A.; Scherer, C.; Johann, S.; Krueger, N., 2026: Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung von Oberflächen von Bauelementen. BBSR-Online-Publikation 26/2026. Bonn. <https://doi.org/10.58007/88s6-h688>

DOI 10.58007/88s6-h688

ISSN 1868-0097

Bonn 2026

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
Abstract	3
1. Einleitung und Projektziel	5
2. Vorgehensweise	6
3. Probekörper	9
3.1 Wirkmechanismen antimikrobieller Oberflächen	9
3.2 Antimikrobiell ausgestattete Produkte	10
3.3 Probekörper für Alterung und Untersuchungen nach ISO 22196	15
4. Alterung	17
4.1 Künstliche Alterung vs. natürliche Alterung	17
4.2 Künstliche Alterung	19
4.2.1 Modulares Konzept der künstlichen Alterung	19
4.2.2 Bewitterung	21
4.2.3 Korrosion	23
4.2.4 Schweiß, Reinigung, Desinfektion	26
4.2.5 Abrieb	29
4.3 Künstliche Alterung antimikrobieller Oberflächen in der Literatur	32
4.4 Ausgewählte Alterungsprozeduren	32
5. Bestimmung der antimikrobiellen Aktivität	35
5.1 Nachweis entsprechend ISO 22196	35
5.2 Gewählte Vorgehensweise	37
5.3 Abweichungen von der Norm	39
5.4 Schwachstellen der Methode	39
5.5 Probenbezeichnung	41
6. Ergebnisse und Interpretation	42
6.1 Ergebnisse	42
6.1.1 Validität der Ergebnisse	42
6.1.2 Neuzustand	43
6.1.3 Nach Alterung	48
6.2 Interpretation	66
7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	68

7.1	Bestimmung der antimikrobiellen Aktivität	68
7.1.1	Generelle Beobachtungen	68
7.1.2	Empfehlungen für die Überarbeitung des Prüfverfahrens	69
7.1.3	Begleitende Materialcharakterisierungen	71
7.2	Künstliche Alterung	72
7.2.1	Generelle Empfehlungen	72
7.2.2	Vorschlag eines Alterungsprogrammes	73
8.	Literaturverzeichnis	76
9.	Danksagung	81

Kurzfassung

Bei der Kontaktinfektion (auch als Schmierinfektion bezeichnet) werden Erreger über eine Kette von Berührungen weitergereicht. Werden beispielsweise Türgriffe oder Armaturen gemeinsam genutzt, können hier die Keime über die Hände weitergegeben und anschließend unbemerkt zum Mund oder den Augen geführt werden. Durch den Einsatz von mit antimikrobiellen Oberflächen ausgestatteten Produkten soll die Übertragung von Infektionskrankheiten durch Berührung reduziert werden. Im Bereich des Bauens betrifft dies Oberflächen von Griffen, Türblättern, Rahmenprofilen, Schaltern etc.

Die antimikrobielle Wirkung wird im Bauwesen üblicherweise durch Metalle bzw. Metallionen erreicht. Entweder die Oberfläche ist metallisch (z. B. Kupferlegierung) oder Metallpartikel (Mikrosilber, Nanosilber) werden in das Grundmaterial oder eine Beschichtung (z.B. Nassbeschichtung, Pulverlack, etc.) eingelagert (z.B. durch PVD, Sol-Gel-Prozess, etc.).

Für den Nachweis der antimikrobiellen Wirkung einer Oberfläche gibt es spezielle mikrobiologische Verfahren. Am häufigsten wird das Verfahren zur Bestimmung der antibakteriellen Aktivität von porenfreien Oberflächen auf Basis der Norm ISO 22196 eingesetzt. Geprüft wird üblicherweise im Neuzustand. Eine Bewertung bzw. Prüfung der Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung erfolgt häufig nicht. Falls doch, so werden keine standardisierten Szenarien zur „Alterung“ bzw. keine realen Belastungen der Oberflächen verwendet.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, eine zeitraffende Vorgehensweise zu erarbeiten, die die in der Realität auftretenden Belastungen eines Bauelementes (mechanisch, chemisch, thermisch, etc.) simuliert, um die Leistungseigenschaft Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung in standardisierter Form nachweisen zu können.

Im Verlaufe des Forschungsvorhabens kamen durch die Literaturstudie und eigenen experimentelle Beobachtungen Zweifel an der Eignung des in ISO 22196 beschriebenen Verfahrens zur Bestimmung der antibakteriellen Aktivität eines Materials auf. Besonders zu erwähnen sind hier die ungenügende Definition eines Referenzmaterials sowie die vorgegebenen Inkubationsbedingungen. Die Wahl des Referenzmaterials hat einen wesentlichen Einfluss auf den Wert der antibakteriellen Aktivität. Die Inkubationsbedingungen (warm und feucht) spiegeln nicht die realen Bedingungen wider unter denen Bauelemente wie Griffe, Türblätter, Profile etc. i. d. R. eingesetzt werden. Kinetische Aspekte der Wirksamkeit eines Materials (wie schnell tritt die antimikrobielle Wirkung ein) werden in der Norm gar nicht berücksichtigt. Um diese Unzulänglichkeiten des Verfahrens zu überwinden, wurden Empfehlungen zur Modifizierung der Norm erarbeitet.

Des Weiteren wurde ein systematischer Ansatz zur Definition von (künstlichen) Alterungsprozeduren entwickelt, der spezifische Materialeigenschaften von Bauelementen sowie deren konkrete Anwendungsbedingungen berücksichtigt. Eine „one-size-fits-all“-Alterungsprozedur gibt es grundsätzlich nicht. Der Ansatz ist modular und unterscheidet zwischen

verschiedenen Belastungsarten und der jeweiligen Intensität der Belastungen. Als Belastungsarten wurden Bewitterung, Korrosion, Einwirkung von Schweiß sowie Reinigungs- und Desinfektionsmitteln, und mechanischer Abrieb festgelegt. So weit wie möglich wurde auf einschlägige Prüfverfahren und Normen Bezug genommen (Bauindustrie, Materialprüfung, Beschichtungen).

Es wird eine Klassifizierung der Belastung (bzw. der Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung eines Materials) vorgeschlagen, die die Grundlage für eine zukünftige Prüfrichtlinie bilden könnte. Trotz geäußerter Bedenken hinsichtlich der generellen Anwendbarkeit von Alterungsszenarien wird eine Prozedur für Bauelemente in der Innenanwendung und mit moderater Belastung durch Schweiß, Korrosion und Abrieb vorgeschlagen. Diese Prozedur dient als Grundlage und kann bzw. muss gegebenenfalls angepasst werden.

Abstract

In the case of contact infections (also known as smear infections), pathogens are passed on via a chain of touching. If, for example, door handles or taps are shared, germs can be passed on via the hands and then go unnoticed to the mouth or eyes. The use of products equipped with antimicrobial surfaces is intended to reduce the transmission of infectious diseases through contact. In the construction sector, this applies to the surfaces of handles, door leaves, frame profiles, switches, etc.

The antimicrobial effect in the construction industry is usually achieved using metals or metal ions. Either the surface is metallic (e.g. copper alloy) or metal particles (microsilver, nanosilver) are embedded in the base material or a coating (e.g. wet coating, powder coating, etc.) (e.g. by PVD, sol-gel process, etc.).

There are special microbiological methods for detecting the antimicrobial effect of a surface. The most commonly used method is the method for determining the antibacterial activity of non-porous surfaces based on the ISO 22196 standard. Testing is usually carried out in new condition. The durability of the antimicrobial effect is often not evaluated or tested. If they are, no standardized scenarios for "ageing" or no real loads on the surfaces are used.

The aim of the research project was therefore to develop a time-saving procedure that simulates the loads that occur in reality on a component (mechanical, chemical, thermal, etc.) in order to be able to prove the performance property of durability of the antimicrobial effect in a standardized form.

In the course of the research project, the literature study and our own experimental observations raised doubts about the suitability of the method described in ISO 22196 for determining the antibacterial activity of a material. In particular, the inadequate definition of a reference material and the specified incubation conditions should be mentioned here. The choice of reference material has a significant influence on the value of antibacterial activity. The incubation conditions (warm and humid) do not reflect the real conditions under which building elements such as handles, door leaves, profiles etc. are generally used. Kinetic aspects of the effectiveness of a material (how quickly does the antimicrobial effect occur) are not even taken into account in the standard. In order to overcome these shortcomings of the procedure, recommendations for modifying the standard were developed.

Furthermore, a systematic approach to the definition of (artificial) ageing procedures was developed, which takes into account the specific material properties of components and their specific application conditions. A "one-size-fits-all" ageing procedure does not exist in principle. The approach is modular and distinguishes between different types of stress and the respective intensity of the stress. Weathering, corrosion, exposure to sweat, cleaning agents and disinfectants, and mechanical abrasion were defined as types of stress. As far as possible, reference was made to relevant test methods and standards (construction industry, material testing, coatings).

A classification of exposure (or the durability of a material's antimicrobial effect) is proposed, which could form the basis for a future test guideline. Despite concerns expressed about the general applicability of ageing scenarios, a procedure is proposed for construction elements in indoor use and with moderate exposure to sweat, corrosion and abrasion. This procedure serves as a basis and can or must be adapted if necessary.

1. Einleitung und Projektziel

Dem Markt für antimikrobielle Beschichtungen wird von der Marktforschungsagentur EXACTITUDE CONSULTANCY eine jährliche Wachstumsrate von 11 % zugeschrieben [1]. Es wird ein globales Wachstum von 3,7 Milliarden USD im Jahr 2020 auf 9,5 Milliarden USD im Jahr 2029 erwartet. Dabei wurden im Wesentlichen die Sektoren Medizin, Gesundheitswesen, Lebensmittel, Getränke, Pharmazeutika, Klimatechnik, Bauwesen, Schimmelsanierung und Textilien betrachtet. In den Bereichen Gesundheits- und Bauwesen wird der Unterbindung von Kontaktinfektionen besondere Bedeutung zugemessen.

Bei der Kontaktinfektion (auch als Schmierinfektion bezeichnet) werden Erreger über eine Kette von Berührungen weitergereicht. Werden beispielsweise Türgriffe oder Armaturen gemeinsam genutzt, können hier die Keime über die Hände weitergegeben und anschließend unbemerkt zum Mund oder den Augen geführt werden. Durch den Einsatz von mit antimikrobiellen Oberflächen ausgestatteten Produkten soll die Übertragung von Infektionskrankheiten durch Berührung reduziert werden.

Im Bereich des Bauens betrifft dies z. B. Oberflächen von Griffen, Türblättern, Rahmenprofilen etc. Antimikrobielle Oberflächen werden in der Regel durch „metallische bzw. metallisierte Oberflächen“ erreicht. Hierzu besteht die Oberfläche selbst aus Metall (z. B. Edelstahl, Kupfer) oder es werden in den Werkstoff wie z. B. PVC oder Lacke entsprechende Metalle bzw. Metallionen (z. B. Silber) eingebettet. Solche Produktlösungen sind auf dem Markt erhältlich und werden primär für den Einsatz in Gebäuden mit hohem Publikumsverkehr (z. B. Hotels, Behörden), mit hohen hygienischen Anforderungen (z. B. Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen) oder für besonders schutzbedürftige Personen (z. B. Kindergärten, Seniorenheime) empfohlen. Der Nachweis z. B. der antibakteriellen Wirkung der Oberflächen erfolgt auf Basis der ISO 22196 [2]. Die ISO 22196 beschreibt ein Verfahren zur Messung der antibakteriellen Aktivität von porenfreien Oberflächen wie z. B. Kunststoff. Die Prüfung der antibakteriellen Oberflächen/Produkte erfolgt im Allgemeinen im Neuzustand. Eine Bewertung bzw. Prüfung der Dauerhaftigkeit der antibakteriellen Wirkung erfolgt in der Regel nicht. Falls doch, so werden keine standardisierten Szenarien zur „Alterung“ bzw. keine realen Belastungen der Oberflächen verwendet.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, eine zeitraffende Vorgehensweise zu erarbeiten, die die in der Realität auftretenden Belastungen eines Bauelementes (mechanisch, chemisch, thermisch, etc.) simuliert, um die Leistungseigenschaft Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung in standardisierter Form nachweisen zu können.

2. Vorgehensweise

Fast alle Hersteller von Produkten mit antimikrobiell ausgestatteten Oberflächen verweisen auf die Prüfung nach der ISO 22196 [2] zum Nachweis der antibakteriellen Eigenschaften. Zusätzlich wird ggf. auch auf andere Prüfungen zum Nachweis antiviraler (ISO 21702 [3]) oder fungizider Eigenschaften verwiesen. Diese Prüfungen sind aber experimentell wesentlich aufwendiger als die Prüfung nach ISO 22196. Deshalb wurde die Prüfung auf antibakterielle Eigenschaften nach ISO 22196, gewissermaßen exemplarisch, im Rahmen dieses Forschungsvorhabens als Prüfverfahren herangezogen, um die Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung von Bauelementen zu untersuchen.

Unter Einbeziehung der weitläufigen Kontakte des ift Rosenheim mit Herstellern von Bauelementen sowie nach zusätzlicher Internetrecherche wurden von mehreren Herstellern/Lieferanten von antimikrobiell ausgestatteten Produkten (Beschläge, Lichtschalter, Sanitäraccessoires) Probekörper eingeworben.

Es wurden ausschließlich dauerhaft ausgestattete Produkte, deren antimikrobielle Eigenschaften über die Lebensdauer des Produktes erhalten bleiben sollen, berücksichtigt. Daneben gibt es auch Sprays für die antimikrobielle Nachbehandlung von Standardprodukten. Solche Beschichtungen müssen i.d.R. nach 6 bis 12 Monaten erneuert werden. Diese Produkte wurden in den Untersuchungen nicht berücksichtigt.

Der am weitesten verbreitete Wirkstoff für antimikrobielle Beschichtungen bei Bauprodukten ist Silber, gefolgt von Kupfer ([4], [5]). Dabei sind es die Ionen dieser Metalle, die in einem feuchten Milieu Mikroorganismen angreifen. Diese Wirkstoffe können in verschiedenen Formen in die Produkte bzw. deren Oberflächen eingebracht werden. Kupfer tritt üblicherweise in Reinform oder als Legierungselement auf. Silber dagegen wird als Partikel (Mikrosilber, $\approx 10 \mu\text{m}$, oder Nanosilber, $< 100 \text{ nm}$) eingesetzt. Mikrosilber kann direkt in einen Kunststoff compoundingiert werden oder als Bestandteil eines Pulverlacks auf Bauteile aufgebracht werden. Nanosilber dagegen wird eher in dünnen Beschichtungen, die über PVD- oder Sol-Gel-Prozesse aufgebracht werden, verwendet.

Bei der Auswahl der Probenmaterialien für diese Studie wurde das eben beschriebene Spektrum der Arten, Formen und Verarbeitung berücksichtigt. Fünf verschiedene Materialarten wurden ausgewählt:

- Vollmaterial Kunststoff mit compoundingierten Mikrosilberpartikeln
- Vollmaterial Kupfer-Legierung
- Pulverlackbeschichtung mit integrierten Mikrosilberpartikeln
- Anorganische PVD-Beschichtung mit Nanosilber
- Anorganische Sol-Gel-Beschichtung mit Nanosilber

Auf die genaue Bezeichnung der Produkte bzw. eine detaillierte Spezifikation der Materialien wird bewusst verzichtet, um die Vertraulichkeit der Untersuchungen gegenüber den Herstellern / Lieferanten zu gewährleisten. Es ging in dieser Studie letztendlich nicht darum, Produkte zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Die eingesetzten Probekörper sollten aber hinsichtlich ihrer antimikrobiellen Eigenschaften weitestgehend den realen Produkten entsprechen.

Reale Bauteile, wie Griffe, Stangen, Schalter wurden in dieser Studie nicht verwendet, da sie durch ihre Größe und Form sowie ihre Verschiedenheit, wenn sie aus unterschiedlichen Produktreihen stammen, wenig bzw. gar nicht geeignet sind für eine standardisierte, künstliche Alterung bzw. den mikrobiologischen Standardtest nach ISO 22196 [2] (s. Kap. 5). Letztendlich waren die Probekörperanforderungen der ISO 22196 Prüfung ausschlaggebend für die Festlegung der Abmessungen und Form der Probekörper.

Die Prüfung gemäß ISO 22196 verwendet flache Plättchen von etwa 50 mm x 50 mm als Probekörper. Die Probekörper bestanden aus den gleichen Werkstoffen wie die realen Produkte, und sie waren den gleichen Verarbeitungsverfahren (Compoundieren, Spritzguss, Metallverarbeitung, Beschichtung etc.) unterzogen worden.

Nach einer anfänglichen Überprüfung der antimikrobiellen Wirksamkeit der eingeworbenen Probematerialien, wurden Probekörper verschiedenen beschleunigten Alterungsprozeduren ausgesetzt und anschließend wieder auf ihre antimikrobielle Wirksamkeit hin getestet.

Bauelemente sind einer Vielzahl von Belastungen (mechanisch, chemisch, thermisch, solare Strahlung, etc.) sowie Kombinationen und Abfolgen von Belastungen ausgesetzt. Diese in einem beschleunigten Verfahren zu simulieren ist nur näherungsweise möglich. Häufig gibt es aber Prüfverfahren zu einzelnen Belastungen, z. B. der künstlichen Bewitterung von Kunststoffen ([6], [7]), der Lagerung bei erhöhter Temperatur [8] oder der Korrosion durch Salzsprühnebel [9]. So weit möglich, wurde versucht, diese Prüfverfahren in eine Alterungsprozedur einzubinden. Viele Parameter, wie die Dauer der Bestrahlung, das Reinigungs- bzw. Desinfektionsmittel und deren Konzentration oder die Anzahl von Abriebzyklen, mussten abweichend von oder ergänzend zu der jeweiligen Norm festgelegt werden.

Im Verlauf der experimentellen Untersuchungen, zeigten die Prüfungen nach ISO 22196 an gealterten Probekörpern unerwartete, zum Teil widersprüchliche und stark streuende Ergebnisse, so dass einige Messungen, einschließlich der künstlichen Alterung von Probekörpern, wiederholt werden mussten. Zusätzlich wurde ein externes Labor eingebunden, zu Vergleichszwecken und um einen höheren Durchsatz von ISO 22196 Prüfungen zu ermöglichen.

In der Literatur [4] werden ebenfalls inkonsistente Ergebnisse von ISO 22196 Prüfungen berichtet und einige Vorgaben und Annahmen der Norm in Frage gestellt. In den Kapiteln 5 und 7 werden hierzu einige Punkte thematisiert. Aus diesen Darstellungen in der Literatur und den eigenen Messreihen konnten Empfehlungen hinsichtlich der Ermittlung der antibakteriellen Aktivität von Bauelementen abgeleitet werden. Außerdem ergaben sich, wie geplant, Empfehlungen hinsichtlich

der Prüfung der Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung von entsprechend ausgestatteten Bauelementen (Kapitel 7).

3. Probekörper

3.1 Wirkmechanismen antimikrobieller Oberflächen

Ein „Statusreport“ des VDI [4] sowie ein „Briefing Paper“ des Imperial College London [5] geben einen Einblick in die Problematik der Verbreitung von Krankheitserregern über Berührungsoberflächen und die Rolle von antimikrobiell ausgestatteten Oberflächen in der Infektionsprävention. Die Arten und Wirkmechanismen antimikrobiell wirksamer Oberflächen werden erläutert. Der VDI-Statusreport listet und erläutert zusätzlich Prüfverfahren zur Ermittlung der antimikrobiellen Wirkung von Oberflächen. Außerdem werden rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen gestreift.

Die antimikrobielle Ausstattung von Oberflächen wird grundsätzlich als ergänzende Maßnahme zu den sonst üblichen Reinigungs- und Desinfektionsprozeduren gesehen. Der Grund dafür liegt darin, dass Biomasse, die durch wiederholtes Berühren der Oberfläche aufgebracht wird (Schweiß, Fett, Proteine, Salze und auch Mikroorganismen), die antimikrobielle Wirkung der Oberfläche behindern könnte, oder, dass die Biomasse sogar als Nährstoff für das Wachstum von Mikroorganismen dienen könnte ([4], [5]). Die Biomasse muss daher regelmäßig entfernt werden. Zwischen den Reinigungen soll durch die antimikrobielle Ausrüstung das Keimwachstum verzögert bzw. u. U. auch unterbunden werden.

Es wird zwischen passiven und aktiven Oberflächen unterschieden. Bei einer passiven Oberfläche wird durch eine Nanostrukturierung, die elektrische Ladungsverteilung oder eine geringe Oberflächenenergie die Ansiedelung von Mikroorganismen erschwert bzw. deren Entfernen/Abwaschen erleichtert. Aktive Oberflächen enthalten kontaktaktive, biozide Substanzen oder setzen biozide Substanzen frei, die dann auf der Oberfläche wirken (z. B. in einem Flüssigkeitströpfchen mit Bakterien). In Abbildung 1 sind diese Wirkmechanismen grafisch dargestellt.

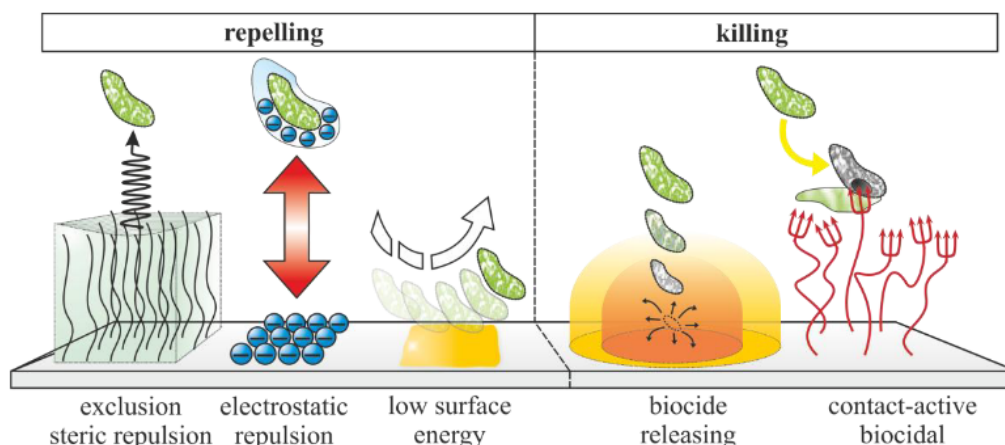


Abbildung 1 Antimikrobielle Wirkmechanismen [10]

Die Wirkung von bioziden Substanzen auf Mikroorganismen kann vielfältig sein. Angriffspunkte sind die Zellmembran, Eiweißstrukturen, Syntheseprozesse in der Zelle, das Erbgut und die Kommunikation zwischen Zellen ([4], [5]).

Aktive Materialien können Ionen-freisetzende Metalle, Metalloxide, Si-Polymere, organische Substanzen wie Chitosan oder quartäre Ammoniumverbindungen sein ([4], [5]). Birkett et al. [12] diskutieren die Vorteile einer Kombination aus Metallionenfreisetzung (Cu, Ag, Zn) und Nanostrukturierung der Oberflächen von Handgriffen, Türblättern und Armaturen für Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen und im öffentlichen Verkehr.

3.2 Antimikrobiell ausgestattete Produkte

Durch eine Internetrecherche und Kontakte des ift Rosenheim zu Herstellern sowie Anbietern von Bauprodukten wie Fenster, Türen, Beschläge etc. wurden die beiden folgenden Tabellen (Tabelle 1 und Tabelle 2) erstellt. Sie geben einen Überblick über Bauelemente mit antimikrobieller Ausstattung sowie über antimikrobielle Wirkstoffe für den Zeitraum von etwa zehn Jahren vor dem Beginn dieses Forschungsvorhabens (2011) bis zum Ende dieses Forschungsvorhabens (2023). Die Recherche bezog sich überwiegend auf den deutschsprachigen Raum. Die Listen und Tabellen haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

In der Spalte Beschreibung sind Informationen zusammengefasst, wie sie zur Zeit der Recherche verfügbar waren. Einige der Produkte sind zum Zeitpunkt der Fertigstellung bzw. Veröffentlichung dieses Berichtes nicht mehr auf dem Markt erhältlich, oder die Beschreibung der Produkte auf den einschlägigen Webseiten wurde zum Teil geändert oder sogar gelöscht. Deshalb wird hier auch auf Quellenangaben in Form von Weblinks verzichtet. Bei weiterem Interesse an den aufgeführten Produkten sollte besser eine erneute Internetsuche durchgeführt werden.

Tabelle 1 Beispiele antimikrobiell ausgestatteter Bauelemente

Firma / Produkt (Beschläge, Bauelemente)	Beschreibung
Jeld-Wen: asepticDoor Türsystem für hygienesensible Bereiche wie Krankenhäuser, Seniorenwohnheime, Schulen, Kindertagesstätten oder in der Lebensmittelindustrie	Türkomponenten: Anti-bakteriell beschichteten Zarge von BOS Antimikrobielle Alasept-Beschichtung auf -Drücker von Häfele Resopal Oberfläche mit antimikrobiellem Wirkstoff von Hipercare in Melaminharz gelöst 99,98 % aller Keime werden innerhalb 1 h abgetötet
ECO-Schulte: ECO Protect Türdrücker	Antibakterielle/antivirale Schutzschicht Protect Hygienic Coat kein Anhaften von Viren und Bakterien; Biozide im Coating greifen verbleibende Viren/Bakterien an; in der Praxis 99 % von Viren/Bakterien in 2 h abgetötet; Schutzwirkung der Beschichtung bis zu drei Jahren; Verlängerung der Schutzwirkung durch Refresh-Set

Firma / Produkt (Beschlüge, Bauelemente)	Beschreibung
FSB: Tür- und Fensterbeschläge - mit Anti-Infection-Coating AIC - aus Bronze für Patientenzimmer, Bad, u.a.	Anti-Infection-Coating AIC auf Edelstahl und Aluminium; Keimreduktion 99,99 % gem. ISO 22196; kratzfest; abriebbeständig für mindestens 100.000 Zyklen; beständig gegen alle handelsüblichen Reinigungs- und Desinfektionsmittel; Wirkstoff agpure Nanosilber der RAS AG (s. Tabelle 2); Beschläge aus Bronze mit Keimreduktion von 99,9 % nach 2 h
GU Gretsch Unitas: BKS Hygiene-Türdrücker	Antimikrobielle Beschichtung SANPURE (s. Tabelle 2) Wirkstoff Nanosilber tötet Bakterien, Viren, Pilze; bei Kontakt mit Feuchtigkeit werden Silberionen durch Oxidation von elementarem Silber freigesetzt; Wirkdauer >20 Jahre; Virusreduktion >99,99 % bereits nach 8 h; transparent, kratzfest und chemisch beständig gegen herkömmliche Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen
HEWL: active+ Türdrücker u. Sanitär-Accessoires; insbesondere für Senioreneinrichtungen und Krankenhäuser	Mikrosilber als Additiv in Polyamid; 99,9 % Keimreduktion in 24 h; unempfindlich gegenüber UV-Licht und Reinigung; poröse Oberfläche des Mikrosilbers bewirkt Depoteffekt und damit dauerhafte bakterizide und fungizide Wirkung
Hoppe: SecuSan Tür- und Fenstergriffe, Haltestangen, Krankenhausmöbel aus Aluminium und Stahl insbesondere für Kliniken, Schulen	Beschichtung SecuSan enthält Silberionen eingebettet in Pulverlack; wirksam gegen Bakterien, Algen und Pilze; behält Wirksamkeit auch bei regelmäßiger Reinigung; Keimreduktion von 99,9 % nach 24 h gem. ISO 22196; E. coli 60 % nach 5 min; Staph. aureus 50 % nach 30 min; Praxistest am Klinikum Marburg;
Normbau: Antibac Tür- und Fensterbeschläge, Duschstangen, Haltegriffe, Sitze	Wirkstoff Antibac mit Silberionen als Additive in Pulverlack; Wachstum von Bakterien und Schimmel wird verhindert; langanhaltende Schutzwirkung; keine Nanotechnologie; sehr hohe Reinigungs-, Nutzungs- und Lichtstabilität, keine Verfärbung oder Vergilbung
Ogro: Beschläge mit antibakterieller Beschichtung C+ für Krankenhäuser, Pflegeheime, hochfrequentierte Gebäude	Antibakterielle Beschichtung C+ als Lackierung auf Aluminium und Edelstahl; Wirkung über Silberionen; 99,99 % Keimreduktion nach 30 min gem. ISO 22196 beständig gegen Abrieb (Taber Test) und Korrosion (EN 1906)
Roto: Fenstergriffe mit Roto AVT Beschichtung insbesondere für Krankenhäuser, Altenheime, öffentliche Gebäude	AVT Antiviral Technology: transparente Beschichtung; Oberfläche mit Lotus-Effekt führt zu geringer Haftung von Verunreinigungen und Mikroorganismen; zusätzlich antibakterielle, fungizide und viruzide Wirkung; Wirksamkeit für bis zu 3 Jahren bestätigt

Firma / Produkt (Beschlüge, Bauelemente)	Beschreibung
Schüco: SmartActive Fenstergriffe, Türdrücker, Profile insbesondere für Krankenhäuser, Pflegeheime, Kindergärten, öffentliche Gebäude	Pulverbeschichtung; antimikrobielle Wirksamkeit durch in die Oberfläche eingebundene hochreine Mikrosilberpartikel; frei von Nanosilber
Südmittel (Almar Südmittel Group): ABACO - Antibakterielle und antivirale Beschläge	Antimikrobielle PVD-Beschichtung; wirksam durch Silberionen (Nanotechnologie), über eine Dauer von 20 Jahren; antibakterielle Wirkung nach 5 min; nach 45 min sind Bakterien abgetötet; nach 2 h 99,99 %-ige antivirale Wirkung; geprüft nach ISO 22196 und ISO 21702 gewöhnlicher, täglicher Gebrauch intensiviert Wirksamkeit
Wilhelm May Velbert: Hygienebeschläge MayCu insbesondere für Kliniken, Pflegeheime, Arztpraxen, Hotels, Schulen, Lebensmittelindustrie	Beschläge aus Kupferlegierungen; antimikrobielle Wirkung beruht auf Kupferionen; Keimreduktion von bis zu 99,9 % innerhalb kürzester Zeit; aufgetragenen Keime nach 30 min abgetötet; Wirkung bleibt auch bei Reinigung mit herkömmlichen Reinigungs- und Desinfektionsmitteln über Jahrzehnte erhalten
Haager: basico und robusto Elektrische Schalter und Steckdosen insbesondere für Krankenhäuser	„Antibakteriell durch Duroplast“ (keine weiteren Aussagen zum Wirkmechanismus)
Honeywell PEHA: Healthy Power Elektroinstallations-Produkte (Schalter PEHA STANDARD)	Schalter aus UREA-Duroplast, dadurch antibakteriell und antiviral; Keimreduktion >99,99 % gem. ISO 22196
Jung: SILVERPLUS Lichtschalter, Steckdosen (Serien LS990 und AS500)	Wirksamkeit beruht auf Silberionen; keine Nanopartikel; keine Lackierung/Beschichtung (Wirkstoff vermutlich in Grundmaterial compoundiert); dauerhaft - mindestens 15 Jahre; antibakteriell, antimykotisch, antiviral; Bakterienreduktion 99,9 % in 24 h gem. ISO 22196 (mod.)
Arcoelectric: Kippschalter mit BioCote insbesondere für Gesundheitswesen, Gastronomie, Bildungswesen, Freizeit, öffentliche Gebäude	Antimikrobielle Schalter auf Polymerbasis mit BioCote- Beschichtung (s. Tabelle 2) Keimreduktion min. 99,99 %

In den Herstellerbeschreibungen antimikrobiell ausgestatteter Bauelemente finden sich einige der in der folgenden Tabelle 2 aufgeführten antimikrobiellen Wirkstoffe, die entweder als Additiv oder in einer Beschichtung verwendet werden.

Tabelle 2 Beispiele antimikrobieller Wirkstoffe

Additive / Wirkstoffe / Beschichtungen	Beschreibung
HeiQ RAS AG: 1. AgPURE Nanosilber 2. HEIQ SANPURE 3. HEIQ HYPROTECHT 4. Life Natural	1. Additiv für alle Materialtypen (Lacke, Beschichtungen, Polymere etc.) als Paste, Pulver, Formulierung für Klarlacksystem 2. gebrauchsfertige silberbasierte antimikrobielle Beschichtung 3. silberbasiertes Additiv für Beschichtungen und Kunststoffe 4. Additiv auf Pfefferminzbasis für Beschichtungen und Kunststoffe
GB Neuhaus: SANPURE für Türklinken, Fenstergriffe, Haltestangen, Tastaturen, Schalter, Hebel, Taster	Antibakterielle, antivirale Beschichtung; Wirkstoff Silber; Wirkdauer mehr als 20 Jahre; auftragbar durch Tauchen und Sprühen; geeignet für Substrate wie Kunststoffe, z. B. PC, PA, PMMA, ABS Glas, z. B. Borosilikatglas, Kalk-Natron-Glas, Quarzglas Metalle, z. B. Stahl, Aluminium
Bio Gate AG: 1. MicroSilver BG 2. HyProtect	1. hochreines mikroporöses Silber; antimikrobiell, antiviral lässt sich in unterschiedliche Materialien und Rezepturen einarbeiten; 2. ultradünne Plasmabeschichtung; antimikrobiell Kombinationsschicht aus reinem Silber und Polysiloxan.
BioCote	Antimikrobielle Additive auf Basis von Silber, Zink, Kupfer, organischen Verbindungen (phenolische Biozide, quatäre Ammoniumverbindungen) geeignet für Kunststoffe, Farben, Lacke, Pulverbeschichtungen, Textilien
Microban International 1. AEGIS Microbe Shield 2. LapisShield 3. ZPTech	kundenspezifische, antimikrobielle Additive, die als Masterbatch, Pulver oder flüssige Suspension formuliert werden können; kann in Polymere, Beschichtungen (auch Textilien, Papier), Keramik eingebunden werden; Fertigungsprozesse bleiben unverändert; 1. flüssiger Breitbandwirkstoff für vernetzte Urethanverbindungen 2. Wirkstoff für wasserbasierte Beschichtungsformulierungen 3. zinkbasierter, antimikrobieller Breitbandwirkstoff
Sanitized AG: Silvertec	auf Silberbasis mit Glaskeramik als Trägersystem; für Artikel aus thermoplastischen, extrudierten oder spritzgegossenen Polymeren, Weich- und Hartkunststoff; und zur Beschichtung zahlreicher Oberflächen
Prexellent für Arbeitsplatzoberflächen, Arbeitskleidung, Instrumente aus Polymeren	Schmelzcompoundiertechnik, um einen antimikrobiellen Wirkstoffe auf Kieferharzbasis in thermoplastische Kunststoffe einzubringen; im Einsatz migriert der Wirkstoff an die Oberfläche antibakteriell, Keimreduktion 99 % gem. ISO 22196 (mod.); antiviral, Keimreduktion 99,7 % in 5 min; antimykotisch

Aus den Tabellen sowie informellen Gesprächen mit den Herstellern von Bauelementen und Wirkstoffen ergab sich, dass insgesamt und insbesondere bei den dauerhaft antimikrobiell ausgestatteten Produkten (die ihre antimikrobiellen Eigenschaften über die Lebensdauer des Produktes behalten sollen) Silber und Kupfer die am häufigsten verwendeten Wirkstoffe sind. Das

deckt sich mit den Angaben in der Literatur ([4], [5]). Dabei sind es die Ionen dieser Metalle, die in einem feuchten Milieu Mikroorganismen angreifen. Detailinformationen zur Anwendung und Wirkungsweise finden sich in der einschlägigen Literatur zu Silber ([13] bis [16]) und Kupfer ([17] bis [20]) als antimikrobielle Wirkstoffe.

Diese Metalle (aber auch andere Wirkstoffe) können in verschiedenen Formen in die Produkte bzw. deren Oberflächen eingebracht werden. Kupfer tritt üblicherweise in Reinform oder als Legierungselement auf, z. B. als Kupfer-Zink Legierung (Messing) oder als Kupfer-Nickel Legierung (Neusilber). Silber dagegen wird meist als Partikel eingesetzt, entweder als sogenanntes Mikrosilber mit Teilchengrößen von etwa 10 µm oder als sogenanntes Nanosilber mit Teilchengrößen kleiner 100 nm.

Gegenüber einem Vollmaterial hat die Anwendung des Wirkstoffes in „Mikro“- bzw. „Nano“-Form den Vorteil der Material- und damit u. U. auch Kostenersparnis. Die spezifische Oberfläche von Mikro- und insbesondere Nanomaterial ist im Vergleich zu einem Vollmaterial wesentlich größer. Damit wird in einem feuchten Milieu eine vergleichsweise hohe Ionenkonzentration pro eingesetzter Wirkstoffmenge erzielt. Das setzt allerdings voraus, dass Feuchtigkeit an die Oberfläche der Partikel gelangen kann. Deshalb werden die Mikropartikel nach Auskunft von Wirkstoffherstellern und Beschichtern nicht direkt eingesetzt, sondern zunächst mit einer Hülle aus einer hygroskopischen, glasartigen Matrix umgeben, bevor sie in eine Kunststoffmatrix oder einen Pulverlack compoundingiert werden. Letzteres ist die übliche Verarbeitung von Mikrosilber. Nanosilber dagegen wird eher in dünnen Beschichtungen wie PVD- und Sol-Gel-Beschichtungen verwendet.

In den beiden Tabellen (Tabelle 1, Tabelle 2) fällt häufiger der Verweis auf die Prüfung der antibakteriellen Eigenschaften nach der Norm ISO 22196, gelegentlich auch in einer irgendwie modifizierten Form, (mod.), auf. Es werden Keimreduktionen von 90 % bis 99,99 % innerhalb von 5 min bis 24 h angegeben. Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung sind die Angaben uneinheitlich und häufig unspezifisch: „kratzfest“, „abriebbeständig für mindestens 100.000 Zyklen“, „korrosionsbeständig nach EN 1906, 1000 h“, „beständig gegenüber herkömmlichen Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen“. Die Dauer der Wirksamkeit wird von drei Jahren bis zu Jahrzehnten beziffert. Es gibt keinen Verweis auf ein einheitliches, normiertes Verfahren zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit.

Bei der Erstellung der Tabellen war die Zuordnung von Produkt (z. B. Beschlag, Schalter, Beschichtung) und eigentlichem antimikrobiellem Wirkstoff nicht immer eindeutig möglich. Das liegt daran, dass i. d. R. mehrere Unternehmenstypen involviert sind, die eigene Namen für ihr jeweiliges Produkt vergeben: der Hersteller des eigentlichen Wirkstoffes, der Formulierer der Beschichtung bzw. des Additivs, der Beschichter sowie der Hersteller des Endproduktes Türgriff, Haltestange, Lichtschalter etc. Dadurch ist möglich, dass derselbe Wirkstoff unter verschiedenen Bezeichnungen in Endprodukten verwendet wird.

3.3 Probekörper für Alterung und Untersuchungen nach ISO 22196

Für die experimentellen Arbeiten dieser Studie wurden ausschließlich dauerhaft antimikrobiell ausgestattete Produkte ausgewählt. Daneben gibt es auch Sprays, die ein Standardprodukt mit einer antimikrobiell wirksamen Beschichtung versehen. Diese Beschichtungen sind jedoch i.d.R. nicht sehr dauerhaft und müssen etwa alle 6 bis 12 Monate erneuert werden. Sie wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Da sich Silber und Kupfer in der Literatur- und Produktrecherche, als die am häufigsten eingesetzten Wirkstoffe erwiesen hatten, wurden sie in verschiedenen Formen und Verarbeitungsweisen (Vollmaterial und Beschichtung, Mikro- und Nanopartikel) für die experimentellen Arbeiten als antimikrobielle Wirkstoffe ausgewählt:

Fünf verschiedene Probenmaterialtypen konnten von Bauelemente- und Beschlagherstellern eingeworben werden:

- Vollmaterial Kunststoff mit compoundierten Mikrosilberpartikeln
- Vollmaterial Kupfer-Legierung
- Pulverlackbeschichtung mit integrierten Mikrosilberpartikeln
- Anorganische PVD-Beschichtung mit Nanosilber
- Anorganische Sol-Gel-Beschichtung mit Nanosilber

Form und Größe der tatsächlichen Probekörper werden von den Anforderungen der mikrobiologischen Prüfung nach ISO 22196 vorgegeben. Die Norm fordert flache Plättchen von etwa 50 mm x 50 mm. Gewisse Abweichungen von diesen Maßen sind unproblematisch, solange eine ausreichende Probenfläche vorhanden ist (s.a. Kap. 5). Abbildung 2 zeigt die verschiedenen verwendeten Probekörper. Sie bestanden aus den gleichen Werkstoffen wie die realen Produkte, und sie waren den gleichen Verarbeitungsverfahren (Compoundieren, Spritzguss, Metallbearbeitung, Beschichtung etc.) unterzogen worden.

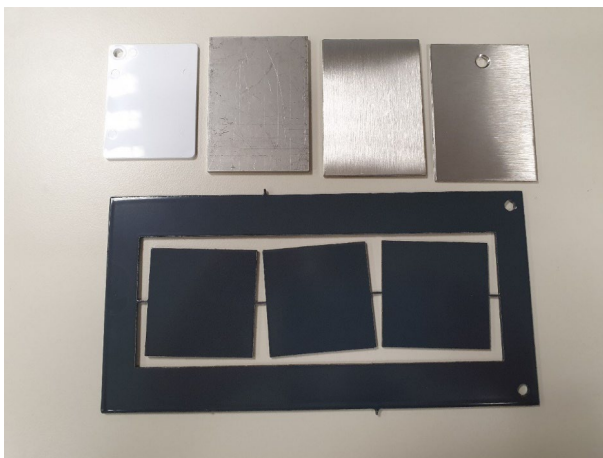


Abbildung 2 Probekörper für Alterung und Untersuchung nach ISO 22196

Diese Probekörper waren auch geeignet, sie standardisierten Alterungsprozeduren zu unterziehen (s. Kap. 4). Reale Bauteile, wie Griffe, Stangen, Schalter wären auf Grund ihrer Größe und der Vielfalt und Verschiedenheit ihrer Formen weder für die Prüfungen nach ISO 22196 noch für die Alterungsprozeduren geeignet gewesen. Sie wurden daher in dieser Studie nicht verwendet.

4. Alterung

4.1 Künstliche Alterung vs. natürliche Alterung

Die reale Belastung eines Bauelementes ist in der Regel komplex. Zu der mechanischen Belastung durch normale Nutzung können je nach Art des Bauelementes und der Einsatzumgebung Umwelteinflüsse wie erhöhte Temperatur, häufige Temperaturwechsel, Korrosion, solare Strahlung sowie ggf. die häufige Einwirkung von Reinigung und Desinfektion kommen.

Einige Beispiele sollen die Vielfalt von möglichen Wechselwirkungen zwischen Werkstoff und Umwelt illustrieren: Bei einigen Kunststoffen kann die Lagerung bei erhöhter Temperatur (oberhalb der Glasübergangstemperatur) physikalische Alterungsvorgänge auslösen, die zu einer erheblichen Degradation mechanischer Eigenschaften führen. Des Weiteren werden chemische Reaktionen beschleunigt, z. B. der durch Solarstrahlung ausgelöste photooxidative Abbau von Polymerketten. Die Wirkung von (solarer) Strahlung hängt nicht nur von dem Wellenlängenspektrum, der Intensität und der Bestrahlungsdauer ab, sondern auch davon, ob die Bestrahlung ununterbrochen erfolgt oder ob es regelmäßige Bestrahlungspausen gibt, ob bei der Bestrahlung auch Feuchtigkeit einwirkt oder nicht, ob die Feuchtigkeit aus reinem Wasser besteht oder ob Salze in diesem Wasser gelöst sind.

Metalle sind weniger empfindlich gegenüber solarer Strahlung und erhöhter Temperatur als Kunststoffe. Aber sie sind häufig anfälliger für eine Schädigung durch korrosive Medien. Letzteres sind nicht nur Industrieabgase, Meeresatmosphäre oder saurer Regen, sondern, gerade bei Griffen, Haltestangen und Schaltern, auch Handschweiß sowie Reinigungs- und Desinfektionsmittel. Schweiß kann von Person zu Person sehr unterschiedlich in der Zusammensetzung sein, u.a. der pH-Wert. Reinigungsmittel sind für unterschiedliche Einsatzzwecke pH-neutral, sauer, alkalisch, abrasiv oder alkoholhaltig. Und Flächendesinfektionsmittel enthalten sehr verschiedene Wirkstoffe, z. B. quartäre Ammoniumverbindungen, Amine, Aldehyde, Alkohole, organische Säuren, sauerstoff- oder chlorabspaltende Verbindungen.

Schweiß, Reinigungs- und Desinfektionsmittel können allein auf eine Oberfläche wirken oder im Zusammenspiel mit Abrieb durch Hände bzw. Reinigungstücher/-schwämme. Dabei hängen die Häufigkeit und Intensität der Belastung von der Nutzung des Bauelementes ab. Ein Türbeschlag in einer Schule oder in einem Gebäude mit starkem Publikumsverkehr wird häufiger betätigt als ein Beschlag in einem Wohnhaus. In Gebäuden mit vulnerablen Personen (Krankenhaus, Seniorenresidenz) wird üblicherweise häufiger und intensiver gereinigt und desinfiziert als in Privathaushalten.

Beschichtungen können organisch (z. B. Pulverlack), metallisch oder nichtmetallisch anorganisch (z. B. Sol-Gel) in ihrer Natur sein. Dementsprechend weisen sie unterschiedliche Schwächen und Stärken hinsichtlich solarer Strahlung und Korrosion auf. Sehr dünne Beschichtungen können u. U. abrasiv geschädigt werden. Dickere Beschichtung könnten abhängig von den thermischen

Ausdehnungskoeffizienten von Beschichtungsmaterial und Substrat bei starken Temperaturwechseln reißen oder abplatzen.

Verschiedene Autoren ([21] bis [23]) erörtern die Alterung von Baumaterialien und Bauelementen durch Umgebungseinflüsse, und sie präsentieren gängige Methoden und Geräte, durch die versucht wird diese natürliche Alterung in einem Labor in beschleunigter Form nachzustellen, um letztendlich möglichst zeitnah Aussagen über die Dauerhaftigkeit von Bauelementen treffen zu können. Dabei wird darauf hingewiesen [21], dass die künstliche Alterung keine Komponenten enthalten darf, die nicht auch während der natürlichen Alterung auftreten. UV-Strahlung mit einer kürzeren Wellenlänge als im Sonnenspektrum, zum Beispiel, kann Degradationsprozesse auslösen, die bei natürlicher Bewitterung niemals auftreten würden. Beschleunigte Alterungen im Labor haben den Vorteil gegenüber einer natürlichen Alterung, dass Methoden und Bedingungen wohl definiert und streng kontrolliert sind. Dadurch sind beschleunigte Laborverfahren besonders für Vergleichsmessungen geeignet, etwa dem Vergleich von Produkten, oder um den Einfluss einer Änderung von Werkstoff oder (Herstell-)Verfahren zu untersuchen [23]. Ein funktionaler Zusammenhang zwischen realer Belastung und Laborsimulation ist nur selten bekannt und lässt sich meist nur über aufwendige und langwierige in-situ Untersuchungen ermitteln ([21], [23]). Die Fa. Q-Lab, der Hersteller des Schnellbewitterungsgeräts QUV, das auch in diesem Forschungsvorhaben verwandt wurde, geht in mehreren Veröffentlichungen auf die Vergleichbarkeit von natürlicher und künstlicher Bewitterung ein ([24] bis [27]). Es wird ebenfalls betont, dass idealerweise jede künstliche Bewitterung durch eine natürliche Bewitterung verifiziert werden sollte [27]. Die Normen zum künstlichen Bestrahlen und Bewittern in Geräten für Kunststoffe und Beschichtungsstoffe weisen ausdrücklich darauf hin, dass „ein Vergleich der Ergebnisse der zeitraffenden künstlichen Bewitterung mit denen bei Praxisbedingungen schwierig ist“ ([6], [7]). Von der Bestimmung und Verwendung von Zeitraffungs- oder Beschleunigungsfaktoren wird abgeraten.

Aus diesem kurzen Überblick über Belastungsarten und -umstände von Bauelementen wird deutlich, dass eine künstliche Alterung im Stil von „one size fits all“ wahrscheinlich nicht zielführend ist. Die Belastungssituation muss analysiert, die spezifischen Materialeigenschaften müssen berücksichtigt werden, und es müssen auch gewisse vereinfachende Annahmen gemacht werden, um ein geeignetes Programm für eine künstliche Alterung zu erstellen. Parallel zu der künstlichen Alterung sollten auch immer in-situ Untersuchungen in Erwägung gezogen werden, um die künstliche Alterung so weit wie möglich zu validieren.

4.2 Künstliche Alterung

4.2.1 Modulares Konzept der künstlichen Alterung

Um die Komplexität einer realen Bauteilbelastung in einem beschleunigten Verfahren abzubilden, bietet sich ein modulares Konzept an. Die Module repräsentieren die Belastungsarten wie solare Bestrahlung, Temperatur, Korrosion, Einwirkung von Schweiß, Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sowie Abrieb. Die Module können je nach realer Belastung und Material des Bauelementes ausgewählt, angepasst und zu einem individuellen Alterungsprogramm kombiniert werden.

Zum Beispiel, für ein polymeres Bauelement im Außeneinsatz sollte die Belastung durch solare Strahlung in einer UV-Bestrahlungskammer (Schnellbewitterungsgerät) simuliert werden. Metallische Bauelemente dagegen sind wenig empfindlich gegenüber solarer Strahlung; die Belastung in einer UV-Bestrahlungskammer ist eher nicht notwendig. Werden metallische Bauelemente in Meeresnähe eingesetzt, so sollte ein Salzsprühnebeltest erwogen werden. Ist der antimikrobielle Wirkstoff in ein Vollmaterial eingearbeitet, so ist ein Wirkungsverlust durch Abrasion eher unwahrscheinlich. Wird der Wirkstoff dagegen als Bestandteil einer dünnen Beschichtung aufgebracht, so könnte z. B. der wiederholte Einsatz abrasiver Reinigungsmittel die wirksame Beschichtung abtragen.

Auch die zeitliche Abfolge der Alterungsmodule muss bei der Planung eines Alterungsprogrammes beachtet werden. Denn die Abfolge von Einzelbelastungen könnte die Gesamtwirkung aller aufeinander folgender Belastungen beeinflussen. So könnte zum Beispiel der Effekt einer korrosiven Belastung durch die abrasive Wirkung einer nachfolgenden Reinigung oder Desinfektion mit einem Abriebtester wieder aufgehoben werden. Desinfektionsmittel, die quartäre Ammoniumverbindungen enthalten, haften an Oberflächen und können durch übliche Reinigungsverfahren nicht entfernt werden [11]. Dadurch könnte im ISO 22196 Test eine antimikrobielle Wirkung vorgetäuscht werden, die die Oberfläche durch eine vorangegangene (korrosive, abrasive) Alterung bereits verloren hatte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, bei der Planung und Durchführung eines künstlichen Alterungsprogrammes müssen Eigenschaften von Materialien und Eigenheiten von Methoden berücksichtigt werden, und letztendlich wird auch viel Erfahrung und Ermessen einfließen. Dieselbe Alterungsprozedur ist geeignet zwei oder mehrere Produkte hinsichtlich einer Eigenschaft, hier der Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung, miteinander zu vergleichen. Weichen die Alterungsprozeduren voneinander ab, so ist auch ein Vergleich der zu untersuchenden Eigenschaft fragwürdig. Und inwieweit eine künstliche Alterung eine natürliche Belastung zeitraffend abbildet, kann erst durch parallel ablaufende in-situ Untersuchungen gezeigt werden. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens musste auf in-situ Untersuchungen verzichtet werden, da keine geeigneten Einsatzorte mit hinreichender Belastung für reale Bauelemente zur Verfügung standen, und außerdem eine weitere mikrobiologische Analysetechnik (Abklatschtest) nötig gewesen wäre.

In den folgenden Kapiteln 4.2.2 bis 4.2.5 werden die Belastungsarten Bewitterung, Korrosion, Einwirkung von Schweiß, Reinigungs- und Desinfektionsmittel sowie Abrieb eingehender betrachtet. Es wurde versucht bei der Definition der Alterungsmodule auf bereits existierende Normen und Richtlinien des Bauwesens zurückzugreifen. So gibt es für Bauelemente und Beschläge Normen und Richtlinien zur Prüfung der Dauerhaftigkeit hinsichtlich Dauerfunktion und Korrosion, z. B. EN 1906 [32] für Türdrücker/-knäufe und EN 13126-3 [33] für Fenstergriffe. Speziell für Beschichtungen haben die Fachverbände GSB International und Qualicoat Qualitätsrichtlinien herausgegeben ([34], [35]).

Es kann kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden, aber die angeführten Normen stellen zumindest eine gute Basis für die Erstellung eines Alterungsprogrammes dar.

4.2.2 Bewitterung

Die Tabelle 3 führt Alterungsmodulen und Normen auf, die für eine künstliche Bewitterung relevant sind. Dies geschieht üblicherweise in Schnellbewitterungsgeräten oder Klimakammern.

Tabelle 3 Alterungsmodulen Bewitterung

Nr.	Belastungsart	Anwendbare Norm bzw. weitere Spezifikation der Belastung	Anmerkung
1	UV-Bestrahlung	EN ISO 4892 [6]	Kunststoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten mit Empfehlungen zu Beanspruchungszyklen Teil 2: Xenonbogenlampen Teil 3: UV-Leuchtstofflampen
2		EN ISO 16474 [7]	Beschichtungsstoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten mit Empfehlungen zu Beanspruchungszyklen Teil 2: Xenonbogenlampen Teil 3: UV-Fluoreszenzlampen
3	UV-Bestrahlung + erhöhte Temperatur + Feuchte	EN ISO 4892 [6] EN ISO 16474 [7] Schnellbewitterungsgerät für UV-Bestrahlung plus Betauung / Besprühung	Wechsel von Bestrahlung und Dunkelphase mit Betauung oder Besprühung, Raumtemperatur bis 70°C
4	Erhöhte Temperatur + Feuchte	EN 1279-2:2018 Konstantklima [28]	Dauerhaftigkeit von MIG, 58 °C, 100 % rF
5	Temperaturwechsel + Feuchte	EN 1279-2:2018 Wechselklima [28]	Dauerhaftigkeit von MIG, Temperaturwechsel von -18 °C bis +58 °C / 100 % rF, Zykluszeit 12 h
6	Erhöhte Temperatur	ASTM F1980 [8]	Accelerated Aging for Sterile Barrier Systems of Medical Devices (Beschleunigte Alterung durch Lagerung bei erhöhter Temperatur, Arrhenius-Gleichung) Achtung: Physikalische Alterung von amorphen Polymeren kann wesentlich schneller erfolgen als nach dieser Norm zu erwarten [29].

Für die UV-Bestrahlung in einem Schnellbewitterungsgerät gibt es zwei Normen, die für Bauelemente anwendbar sind, eine für Kunststoffe und eine für Beschichtungen (Nr. 1 bzw. 2 in Tabelle 3). Diese Normen enthalten Empfehlungen zu Beanspruchungszyklen (Lampentyp, Bestrahlungsstärke, Bestrahlungsdauer, etc.). Neben der UV-Bestrahlung erlauben Schnellbewitterungsgeräte i. d. R. auch, die Probekörper mit einer erhöhten Temperatur und Feuchte zu belasten (Nr. 3). Die Befeuchtung erfolgt durch Betauung oder Besprühung.

Eine Belastung durch erhöhte Temperatur und Feuchte, ohne UV-Bestrahlung, ist auch gemäß der Prüfnorm für Mehrscheiben-Isolierglas (Nr. 4) im Konstantklima realisierbar. Ist ein mehrfacher Temperaturwechsel gewünscht, so bietet sich das Wechselklima derselben Norm an (Nr. 5). Sollen die Probekörper nur bei erhöhter Temperatur beschleunigt gealtert werden, dann kommt die ASTM F1980 in Frage (Nr. 6). Es sollte allerdings beachtet werden, dass diese Norm u. U. die Wirkung einer physikalischen Alterung amorpher Polymere erheblich unterschätzt [29].

4.2.3 Korrosion

Tabelle 4 führt Alterungsmodule und Normen auf, die für eine künstliche Belastung durch Korrosion als Grundlage dienen können.

Tabelle 4 Alterungsmodule Korrosion

Nr.	Belastungsart	Anwendbare Norm bzw. weitere Spezifikation der Belastung	Anmerkung
1	Korrosion (Flüssigkeiten)	EN ISO 2812 [30]	Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Flüssigkeiten Teil 1: Eintauchen in Flüssigkeiten außer Wasser Teil 2: Eintauchen in Wasser Teil 3: Auflegen eines mit korrosiver Flüssigkeit getränkten saugfähigen Materials
2	Korrosion (Kondenswasser)	ISO 6270:2017 [31]	Beschichtungsstoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit Beanspruchung in Kondenswasserklimaten (Konstantklima, Wechselklima)
3	Korrosion (Schlösser + Baubeschläge)	EN 1906:2012 [32] (Korrosion + Dauerfunktion)	Schlösser und Baubeschläge – Türdrücker und Türknäufe – Anforderungen und Prüfverfahren: Definiert Korrosionsbeständigkeit gemäß EN 1670: für Innentüren mindestens Klasse 1, für Außentüren mindestens Klasse 3
4		EN 13126-3:2023-04 [33] (Korrosion + Dauerfunktion)	Baubeschläge - Beschläge für Fenster und Fenstertüren - Anforderungen und Prüfverfahren: Teil 3: Betätigungsgriffe, insbesondere für Drehkipp-, Kippdreh- und Drehbeschläge Definiert Korrosionsbeständigkeit gemäß EN 1670: mindestens Klasse 2
5		EN 1670:2007 [36]	Schlösser und Baubeschläge - Korrosionsbeständigkeit - Anforderungen und Prüfverfahren: Definiert Korrosionsbeständigkeits-klassen sowie zugeordnete Prüfdauer (Prüfung gemäß EN ISO 9227 [9])
6	Korrosion (Salzsprühnebel)	EN ISO 9227:2017-07 [9]	Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären - Salzsprühnebelprüfungen:
7			Neutrale Salzsprühnebelprüfung NaCl 50 g/l; 35 °C; pH 6,5-7,2

Nr.	Belastungsart	Anwendbare Norm bzw. weitere Spezifikation der Belastung	Anmerkung
8			Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung NaCl 50 g/l + Eisessig; 35 °C; pH 3,1-3,3
9			Kupferbeschleunigte Essigsäure- Salzsprühnebelprüfung NaCl 50 g/l + Eisessig + CuCl ₂ ; 50 °C; pH 3,1-3,3
10	Korrosion (Schwefeldioxid)	EN ISO 22479:2022-08 [37]	Korrosion von Metallen und Legierungen - Prüfung mit Schwefeldioxid in feuchter Atmosphäre
11	Korrosion (Glas im Bauwesen)	EN 1096-2:2012-04 [38]	Glas im Bauwesen - Beschichtetes Glas Teil 2: Anforderungen an und Prüfverfahren für Beschichtungen der Klassen A, B und S
12			Anhang B: Kondenswasserbeständigkeit 40 °C; 4, 14 bzw. 21 Tage
13			Anhang C: Säurebeständigkeit (Schwefeldioxid gesättigte Atmosphäre) 40 °C; 1 bzw. 5 Zyklen
14			Anhang D: Beständigkeit gegen Neutral- Salzsprühnebel 40 °C; 10 bzw. 21 Tage

Zur Belastungsart Korrosion gibt es Normen aus den Bereichen Beschichtungen, Beschläge/Metalle sowie Glas im Bauwesen. In der Norm EN ISO 2812 (Nr. 1 in Tabelle 4) wird beschrieben, wie die Verträglichkeit eines Substrats mit einer Flüssigkeit durch Eintauchen in die Flüssigkeit oder durch Auflegen eines mit der Flüssigkeit getränkten saugfähigen Materials bestimmt werden kann. Obwohl für Beschichtungen gedacht, kann die beschriebene Methode auch für Substrate aus Vollmaterial angewandt werden. Mit Hilfe der ISO 6270 (Nr. 2) lässt sich die Beständigkeit in Kondenswasserklimaten prüfen. Die Norm ist ebenfalls für Beschichtungen formuliert, lässt sich aber auch auf Vollmaterialien anwenden.

Die Norm EN 1906 für Türdrücker und -knäufe und die Norm EN 13126-3 für Fenstergriffe (Nr. 3 bzw. 4) stellen Anforderungen hinsichtlich der Dauerfunktion und Korrosionsbeständigkeit dieser Bauelemente. Die jeweils angegebenen Betätigungshäufigkeiten könnte man zur Festlegung der Anzahl von Wischzyklen im Abriebtest heranziehen. Darauf wird in dem entsprechenden Kapitel zum Abriebtest noch weiter eingegangen. Die geforderten Korrosionsbeständigkeitsklassen und

Prüfdauer sind in der EN 1670 (Nr. 5) definiert, die eigentlichen Korrosionsprüfungen in der EN ISO 9227 (Nr. 6 bis 9).

Die EN ISO 9227 beschreibt drei Salzsprühnebelprüfungen, mit ansteigender Aggressivität des Sprühnebels: die neutrale Salzsprühnebelprüfung, die Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung und die kupferbeschleunigte Essigsäure-Salzsprühnebelprüfung (Nr. 7, 8 bzw. 9). Die Prüfung mit Schwefeldioxid (Nr. 10) soll sauren Regen simulieren. Für die meisten Anwendungen antimikrobiell ausgestatteter Bauelemente reicht wahrscheinlich die Prüfung mit einem neutralen Salzsprühnebel.

Ganz ähnliche Prüfungen existieren für beschichtetes Glas im Bauwesen (Nr. 11 bis 14). Die EN 1096-2 [38] definiert Prüfungen auf die Beständigkeit gegen Kondenswasser (Anhang B), gegen Säure aus Schwefeldioxid gesättigter Atmosphäre (Anhang C) sowie gegen neutralen Salzsprühnebel (Anhang D).

4.2.4 Schweiß, Reinigung, Desinfektion

Tabelle 5 führt Alterungsmodulen und Normen auf, die für eine künstliche Belastung durch Kontakt mit Schweiß, Reinigungs- sowie Desinfektionsmitteln relevant sind.

Tabelle 5 Alterungsmodulen Schweiß / Reinigung / Desinfektion

Nr.	Belastungsart	Anwendbare Norm bzw. weitere Spezifikation der Belastung	Anmerkung
1	Schweiß	DIN 53160:2013 [39]	Farblässigkeit von Gebrauchsgegenständen; pH 6,5
2	(meist in	EN ISO 105-E04:2013-08 [40]	Farbechtheit von Textilien: Alkalische Lösung pH 8,0
3	Kombination	EN ISO 105-E04:2013-08 [40]	Farbechtheit von Textilien: Saure Lösung pH 5,5
4	mit Abrieb)	EN 60068-2-70:1996-07 [42]	Beständigkeit von Kennzeichnungen und Aufschriften gegen Abrieb durch Wischen mit Fingern und Händen
5		ISO 9022-12:2016-02 [41]	Optik, Photonik: Saure Lösung pH 2,3; simuliert aggressiven Handschweiß; Geruchsbelastung durch Buttersäure
6	Reinigung	pH-neutral	Neutralreiniger
7	(meist in	sauer	Essigreiniger
8	Kombination	alkalisch	Backofen-, Grillreiniger (Nutzung für Beschläge erscheint unwahrscheinlich)
9	mit Abrieb)	abrasiv	Scheuermilch
10		alkoholhaltig	Glas-, Spiegelreiniger
11	Flächen-desinfektion	Quartäre Ammoniumverbindungen (QAV, QUAT)	QAV+Amine häufig als kombinierte Wirkstoffe
12	(meist in	Amine	QAV+Amine häufig als kombinierte Wirkstoffe
13	Kombination mit Abrieb)	Sauerstoffabspalter	Gilt als besonders wirksam, „voll-viruzid“, auch gegen Bakteriensporen; wird bei Ausbrüchen von bestimmten Erregern eingesetzt; rel. Teuer, Standzeit nur etwa 8 h, Geruchsbelastung
14		Aldehyde	Geruch, gesundheitsgefährdend (Atemwege)
15		Alkohole	können einige Kunststoffe angreifen

Nr.	Belastungsart	Anwendbare Norm bzw. weitere Spezifikation der Belastung	Anmerkung
16		Organische Säuren	Korrosiv, z. B. Essigsäure
17		Chlorabspaltende Verbindungen	Geruch, gesundheitsgefährdend (Atemwege)

Belastungen durch Schweiß, Reinigungs- und Desinfektionsmittel könnte man im Prinzip auch unter der Überschrift Korrosion aufführen. Sie sind hier aber separat gelistet, da sie für antimikrobiell ausgestattete „high-touch“-Bauelemente von besonderer Bedeutung sind. Diese Bauelemente werden besonders häufig angefasst, gereinigt und desinfiziert. Deshalb sollte auch jedes Alterungsprogramm für antimikrobiell ausgestattete Bauelemente Module zur Belastung mit Schweiß, Reinigungs- und Desinfektionsmitteln beinhalten.

Synthetischen Schweiß (Nr. 1 bis 5 in Tabelle 5) gibt es in unterschiedlichen Zusammensetzungen. Dabei ist der pH-Wert ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal, das auch die Aggressivität bestimmt. Entwickelt wurden die Schweißsimulanzien, um die Farblässigkeit und die Farbechtheit von Gebrauchsgegenständen und Textilien zu prüfen, die Abriebbeständigkeit von Markierungen und Aufschriften durch Finger und Hände zu testen oder auch die korrosive Wirkung von Fingerabdrücken z. B. auf optischen Linsen zu beurteilen. Die Prüfung mit Schweißsimulanz kann durch Aufbringen auf die Probekörper mit Hilfe eines saugfähigen Materials erfolgen (Nr. 1 in Tabelle 4) oder in Kombination mit Abrieb (Kapitel 4.2.5).

Reinigungsmittel unterscheiden sich ebenfalls in ihrem pH-Wert. Sie können auch abrasiv sein oder Alkohol enthalten, der u. U. Kunststoffe anlösen oder quellen kann (Nr. 6 bis 10). Reinigungsmittel wirken i. d. R. in Kombination mit Abrieb durch Wischen auf Bauelemente ein. Letzteres gilt auch für Desinfektionsmittel. Sie unterscheiden sich durch die antimikrobiell wirksamen Inhaltsstoffe (Lfd. Nr. 11 bis 17). Reinigungs- und Desinfektionsmittel für die künstliche Alterung sollten nach der Praxis der Anwender, also z. B. Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen etc., ausgewählt werden. Auch Hersteller von antimikrobiell ausgestatteten Produkten geben Empfehlungen zur Reinigung und Desinfektion heraus. Die Empfehlungen reichen je nach Hersteller vom bloßen Hinweis zum Vermeiden scharfkantiger Werkzeuge und Scheuermittel bis zur konkreten Nennung von für die Produkte geeigneten Reinigungs- und Desinfektionsmitteln.

Die Dosierung von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln ist von entscheidender Bedeutung. Bei einem Desinfektionsmittel hängt diese im realen Einsatz von der Art der Keime, die bekämpft werden sollen, sowie der Einwirkzeit ab. Tabelle 6 illustriert dies exemplarisch mit einem Auszug aus der Dosieranleitung für ein Flächendesinfektionsmittel. Die empfohlene Konzentration variiert

je nach Anwendung von 4 g/l bis 40 g/l. Solch große Konzentrationsunterschiede könnten sich auf die Materialverträglichkeit auswirken.

Tabelle 6 Beispiel für die empfohlene Dosierung eines Flächendesinfektionsmittels

Quelle der Anwendungs-empfehlung	Anwendung	Empfohlene Konzentration in g/l	Empfohlene Einwirkdauer
Verbund für angewandte Hygiene (VAH)	Bakterizid, Leuvurozid geringe Belastung	4	1 h
		6	30 min
		16	15 min
		40	5 min
EN 13624	Fungizid, geringe Belastung	16	2 h
EN 14348	Tuberkulozid, Mykobakterizid geringe Belastung	32	1 h
		12	2 h
		8	4 h
Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie (DGHM)	Badewannen-desinfektion	4	2 min

4.2.5 Abrieb

Die Tabelle 7 führt Alterungsmodule und Normen auf, die für eine künstliche Belastung durch Abrieb relevant sind.

Tabelle 7 Alterungsmodule Abrieb

Nr.	Belastungsart	Anwendbare Norm bzw. weitere Spezifikation der Belastung	Anmerkung
1	Abrieb (meist in Kombination mit Schweiß, Reinigungs- oder Desinfektionsmittel)	EN 60068-2-70:1996-07 [42]	Prüfung der Beständigkeit von Kennzeichnungen und Aufschriften gegen Abrieb durch Wischen mit Fingern und Händen (Stoß + Linearbewegung)
2		ISO 9352:2018-08 [43]	Kunststoffe – Bestimmung des Abriebs nach dem Reibradverfahren (Taber Abriebprüfgerät)
3		EN ISO 5470-1:2017-04 [44]	Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien – Bestimmung des Abriebwiderstandes – Teil 1: Taber-Abriebprüfgerät
4		EN ISO 12947:2007-04 [45]	Scheuerbeständigkeit von Textilien nach Martindale-Verfahren
5		EN 1096-2:2012-04 [38]	Glas im Bauwesen – Beschichtetes Glas Teil 2: Anforderungen an und Prüfverfahren für Beschichtungen der Klassen A, B und S Anhang E: Abriebfestigkeit 50 bzw. 500 Hübe
6	Dauerfunktion von Bauelementen (Schlösser + Baubeschläge)	EN 1906:2012 [32] (Korrosion + Dauerfunktion)	Schlösser und Baubeschläge – Türdrücker und Türknäufe – Anforderungen und Prüfverfahren: Definiert Dauerhaftigkeitsklassen nach Betätigungshäufigkeit: 100.000 und 200.000 Prüfzyklen
7		EN 13126-3:2023-04 [33] (Korrosion + Dauerfunktion)	Baubeschläge - Beschläge für Fenster und Fenstertüren - Anforderungen und Prüfverfahren: Teil 3: Betätigungsgriffe, insbesondere für Drehkip-, Kippdreh- und Drehbeschläge Definiert Dauerhaftigkeitsklassen nach Betätigungshäufigkeit: 10.000, 15.000 und 25.000 Prüfzyklen

Für eine Abriebprüfung bieten sich Normen aus den Bereichen Beständigkeit von Aufschriften und Markierungen, Kunststoffe, Textilien und beschichtetes Glas an (Nr. 1 bis 5 in Tabelle 7). Die Abriebprüfung soll üblicherweise Handabrieb sowie Reinigungs- und Desinfektionsvorgänge

simulieren. Die Wischzyklen erfolgen also mit einem mit Schweiß, Reinigungs- oder Desinfektionsmittel getränktem Schwamm oder Tuch. Die Anzahl der Wischzyklen lässt sich aus den Anforderungen hinsichtlich der Dauerfunktion von Bauelementen ableiten (Nr. 6 und 7 in Tabelle 7). So nennt die EN 1906 für Türdrücker und -knäufe [32] eine Betätigungshäufigkeit von 100.000 bzw. 200.000 Prüfzyklen. Dementsprechend könnte man die Abriebprüfung mit 100.000 bzw. 200.000 Wischzyklen durchführen, evtl. aufgeteilt auf Wischzyklen mit Schweiß, Wischzyklen mit einem Reinigungsmittel und Wischzyklen mit einem Desinfektionsmittel.

Als Alternative kann man die tatsächliche Reinigungs- bzw. Desinfektionshäufigkeit von Bauelementen heranziehen, um eine sinnvolle Anzahl von Wischzyklen im Abriebtester abzuschätzen. So, ergab eine Befragung bei einem Krankenhaus und einem Seniorenwohnheim, dass „high-touch“-Oberflächen wie Türgriffe, Handläufe, Aufzugknöpfe abgesehen von einer achtstündigen Nachtruhe etwa alle zwei Stunden desinfiziert werden. Das ergibt etwa 3300 Desinfektionsvorgänge pro Jahr (9x pro Tag, x365 Tage). Diese könnte man direkt als Wischzyklen im Abriebtester interpretieren. Nimmt man eine Nutzungsdauer des Türdrückers von 15 Jahren an, so ergeben sich schon etwa 50.000 Wischzyklen aus der regelmäßigen Desinfektion dieser Bauelemente.

Die Kontaktoberfläche des Abriebstempels, der Anpressdruck und die Wischgeschwindigkeit müssen ebenfalls definiert werden. Wenn es um Reinigung und Desinfektion geht wird der Abriebstempel i. d. R. mit einem Schwamm, einem Mikrofasertuch o. ä. auf den Probekörper einwirken. Der Anpressdruck sollte mindestens dem Druck entsprechen, der beim Wischen mit der Hand ausgeübt wird. Wenn „ohne merklichen Druck“ gewischt wird, so wird mit der Hand eine Kraft von etwa 20-30 N aufgebracht. Die übliche händische Wischgeschwindigkeit dürfte im Bereich von 30 bis 50 cm/s liegen.

Abriebtester sind von verschiedenen Herstellern erhältlich. Sie unterscheiden sich u. a. in der Art der Relativbewegung zwischen Probekörper und Abriebstempel (Translation, Stoß, Rotation sowie Kombinationen). Aktuelle Produktinformationen zu den gebräuchlichsten, kommerziell erhältlichen Testern sind über eine Internetrecherche unter den folgenden Stichworten auffindbar:

- Gardco abrasion tester
- Crockmeter
- Elcometer abrasion tester
- Labthink Abriebprüfgerät
- Tribotouch Handabriebtester
- Tribotouch Linear Tester
- Taber Abraser
- Martindale abrasion tester

- Hanatek Abriebtester

Der im Rahmen diese Forschungsvorhabens genutzte Abriebtester (Abbildung 3) führt zyklische translatorische Bewegungen aus. Ein pneumatischer Zylinder bewegt einen mit einem Mikrofasertuch umhüllten Abriebstempel über die Probenoberfläche. Das Mikrofasertuch ist mit dem Reinigungs-/Desinfektionsmittel getränkt.

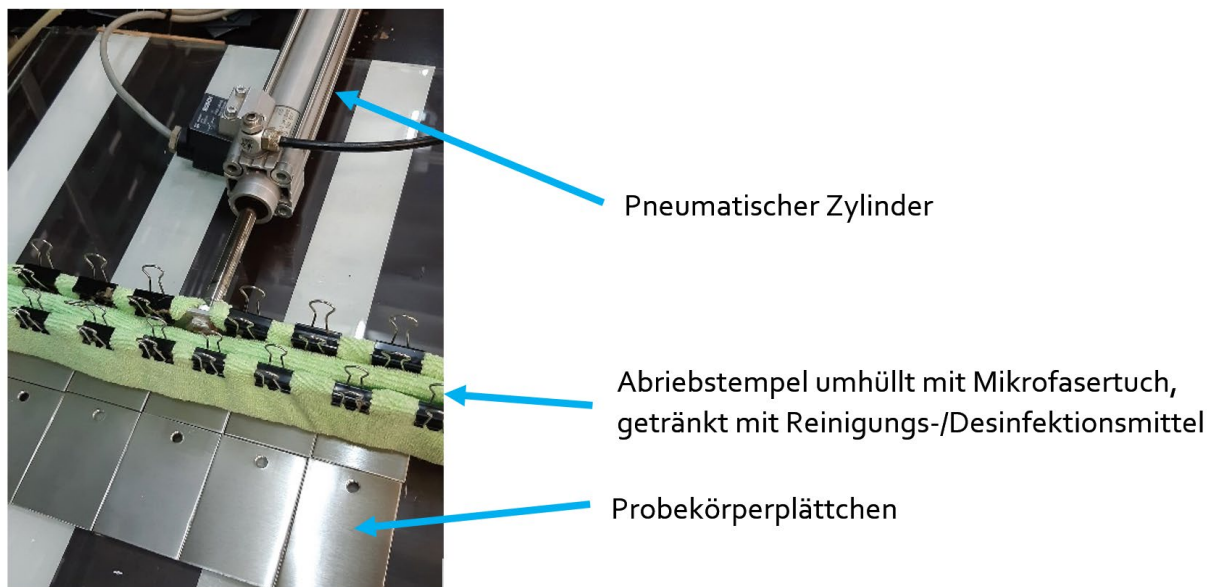


Abbildung 3 Im Forschungsvorhaben verwendeter Abriebtester mit Probekörpern

4.3 Künstliche Alterung antimikrobieller Oberflächen in der Literatur

Bisher gibt es nur wenige Studien zu den Themen Dauerhaftigkeit und künstliche Alterung von antimikrobiell ausgestatteten Bauelementen bzw. Oberflächen. Einige beschäftigen sich mit nicht dauerhaften Beschichtungen. Diese Beschichtungen werden nachträglich auf konventionelle Bauelemente aufgebracht, entweder als Spray oder als Polymerfilm. Untersucht wurden die Wirkung von UV-Strahlung und thermischer Alterung [46] auf Polymerfilm, die Abriebbeständigkeit einer Titandioxidbeschichtung auf Polymer und Glas [47] sowie ein sechsmonatiger in-situ Einsatz einer Polymerfolie in Patientenräumen eines Krankenhauses [48]. Gemein ist diesen Beschichtungen, dass ihre Alterungsbeständigkeit nicht sehr hoch ist, z. B. war die antimikrobielle Wirkung der Titandioxidbeschichtung nach weniger als 500 Abriebzyklen aufgehoben [47].

Die Dauerhaftigkeit der antimikrobiellen Wirkung von Kupferlegierungen hat größeres Interesse erregt. So wurde das Korrosionsverhalten durch mehrtägige Lagerung in einer gebräuchlichen Desinfektionslösung untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Beständigkeit der Oberfläche, die antimikrobielle Wirkung sowie deren Dauerhaftigkeit von der Art und dem Anteil der Legierungselemente abhängen [49]. Mehrfache Zyklen aus Verschmutzung und Reinigung/Desinfektion führten bei einigen Kupferlegierungen zur Akkumulation von organischer Materie auf der Oberfläche ([49], [50]). Diese organische Schicht hatte eine negative Wirkung auf die antimikrobiellen Eigenschaften. In einer dreijährigen Studie in fünf Pflegeeinrichtungen zeigten Türgriffe und Handläufe aus Kupferlegierungen eine niedrigere Keimbelastung als Vergleichsbauteile aus inaktivem Material, aber die antibakterielle Wirkung verringerte sich im Laufe der Zeit durch regelmäßige Nutzung und Reinigung/Desinfektion [51].

Etwas außerhalb der Thematik dieses Forschungsvorhabens liegt die Alterung von antimikrobiell ausgestattetem Implantatmaterial (Titan mit in die Oberfläche eingelagertem Silber und Zink) durch mehrmonatige Lagerung in physiologischer Kochsalzlösung [52].

4.4 Ausgewählte Alterungsprozeduren

Im Verlauf dieses Forschungsvorhabens wurden sieben Alterungsprozeduren eingesetzt. Diese sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die Tabelle ist wie folgt zu lesen. Die Spalte „Belastungsart“ gibt an, ob es sich um eine Bestrahlung oder Korrosion oder Schweißeinwirkung etc. handelt. Wo es möglich ist, wird auf anwendbare Normen verwiesen. In der nächsten Spalte sind weitere Details zu der vorgenannten Belastung aufgeführt, z. B., in der zweiten Zeile der Tabelle, die Temperatur und relative Luftfeuchte im Konstantklima gemäß EN 1279-2 [28]. Die mit „1“ bis „7“ nummerierten Spalten zeigen aus welchen Belastungen die jeweilige Alterungsprozedur aufgebaut ist. Dabei ist die Spalte von oben nach unten zu lesen.

Tabelle 8 Im Forschungsvorhaben verwendete Alterungsprozeduren (AP)

Belastungsart	Details	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 5	AP 6	AP 7
UV-Bestrahlung + erhöhte Temperatur + Feuchte: EN ISO 4892 [6] EN ISO 16474 [7]	alternierend: 4 h Bestrahlung UVA-340, 0,83 W/(m ² *nm) und 4 h Kondensation bei 50 °C			1000 h			1000 h	
Erhöhte Temperatur + Feuchte: EN 1279-2:2018 Konstantklima [28]	58 °C / 100 % rF						1000 h	
Korrosion: EN ISO 9227:2017 [9] Neutraler Salzsprühnebel	Klasse 3 gemäß EN 1670:2007 [36]							96 h
Korrosion: EN 1096-2:2012 Anhang C [38]	Schwefeldioxid gesättigte Atmosphäre				7 Zyklen			
Schweiß DIN 53160 [39] Verfahren mit saugfähigem Material EN ISO 2812-3:2019 [30]	Auflegen von Zellstoffvlies getränkt mit Schweißsimulanz	48 h	48 h	48 h		48 h		
Reinigung + Abrieb: Haushaltsreiniger, alkalisch	Dosierung gemäß Anleitung; getränktes Mikrofasertuch auf Abriebtester					60000 Zyklen		
Desinfektion + Abrieb: Flächendesinfektions- mittel, Wirkstoff Amine	höchste Dosierung gemäß Anleitung; getränktes Mikrofasertuch auf Abriebtester		60000 Zyklen	60000 Zyklen				
Desinfektion + Abrieb: Flächendesinfektions- mittel, Wirkstoff Sauerstoffabspalter	höchste Dosierung gemäß Anleitung; getränktes Mikrofasertuch auf Abriebtester	60000 Zyklen						

Alterungsprozedur „3“ läuft demnach folgendermaßen ab:

- 1000 Stunden in einem Gerät zur künstlichen Bewitterung, dabei abwechselnd 4 Stunden UVA-Bestrahlung und 4 Stunden Dunkelfase mit Kondensation an den Probekörpern, gefolgt von:
- 48 Stunden Einwirkung einer Schweißsimulanz gemäß DIN 53160 [39]. Dabei sind die Probekörper mit einem mit der Simulanz getränktem Zellstoffvlies in Kontakt. (Probekörper

und Vlies sind mit einer Kunststoffolie abgedeckt, um eine Austrocknung zu verhindern.)
Gefolgt von:

- 60.000 Zyklen eines Abriebtesters, wobei der Abriebstempel von einem Mikrofasertuch umhüllt ist. Das Tuch ist mit einem über Amine wirksamen Flächendesinfektionsmittel getränkt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens war es nicht möglich alle ausgewählten Probekörper (Kapitel 3.3) vollumfänglich gemäß den in Kapitel 4.2 beschriebenen Methoden künstlich zu altern. Und wie in den Kapiteln 4.1 und 4.2.1 erläutert, wäre das auch nicht sinnvoll gewesen. Daher sind die in Tabelle 8 aufgeführten Belastungen und Alterungsprozeduren exemplarisch zu sehen. Sie wurden ausgewählt, um verschiedene Belastungsarten und Alterungsprozeduren auszuprobieren und deren Wirkung auf die antimikrobielle Ausstattung der Probekörper zu beobachten. Sie sollten nicht bedingungslos, also ohne weitere Prüfung von Umständen als Vorlage für eine künstliche Alterung von antimikrobiell ausgestatteten Bauelementen, bzw. Probekörpern aus demselben Material, herangezogen werden.

Bereits in Kapitel 4.2.4 wurde auf die besondere Bedeutung von Belastungen durch Schweiß, Reinigungs- und Desinfektionsmittel für antimikrobiell ausgestattete „high-touch“ Bauelemente hingewiesen. Dementsprechend wurde dem Kontakt mit Schweißsimulanz und dem Abrieb mit Reinigungs- und Desinfektionsmitteln auch im experimentellen Teil dieses Forschungsvorhabens besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

5. Bestimmung der antimikrobiellen Aktivität

5.1 Nachweis entsprechend ISO 22196

Die Norm ISO 22196 [2] beschreibt den Nachweis der antimikrobiellen Eigenschaften von Kunststoffen und anderen glatten Oberflächen. Sie ist aus der japanischen Norm JIS 2801 [53] hervorgegangen.

Der Test wird laut Norm als Dreifachbestimmung durchgeführt. Für die Untersuchung der Wirksamkeit einer antimikrobiellen Ausrüstung werden je drei Probekörper der zu untersuchenden Probe und des Referenzmaterials (gleiches Material, nicht antibakteriell ausgerüstet) benötigt.

In der Norm werden die zu verwendenden Stämme der beiden Testkeime *Staphylococcus aureus* (DSM 346) und *Escherichia coli* (DSM 1576) genannt. Vorgaben, ob für die Untersuchung nur einer der beiden Testkeime, beide Testkeime gemeinsam oder beide Testkeime getrennt einzusetzen sind, finden sich nicht.

Die Untersuchung der antibakteriellen Aktivität der Oberflächen erfolgt mit einer Bakteriensuspension mit einer Konzentration zwischen $2,5 \times 10^5$ und 1×10^6 Bakterienzellen pro Milliliter. Die Bakteriensuspension wird auf die sechs Probekörper des Referenzmaterials und die drei des ausgerüsteten Materials aufgetragen und mit Folienstücken abgedeckt. Drei Probekörper des Referenzmaterials werden sofort beprobt. Die restlichen drei Probekörper des Referenzmaterials sowie die Probekörper des ausgerüsteten Materials werden für 24 Stunden bei vorgegebener Temperatur und Luftfeuchte inkubiert und anschließend ebenfalls beprobt.

Für die Beprobung werden die Probekörper mit einer Neutralisationslösung definierter Zusammensetzung abgespült. Die Spüllösung wird aufgefangen und in einer Verdünnungsreihe aufgearbeitet. Von dieser Verdünnungsreihe werden aus jeder Verdünnungsstufe jeweils zwei gleiche Aliquote mit Nähragar in Petrischalen gemischt. Die Petrischalen werden für 48 Stunden bei vorgegebener Temperatur inkubiert. Anschließend werden die angewachsenen Bakterienkolonien gezählt und die Wirksamkeit der Proben berechnet.

Entsprechend ISO 22196 wird die antimikrobielle Aktivität als R-Wert angegeben. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$R = (U_0 - A_t) - (A_t - A_0) = U_0 - A_t$$

R mit U_0 antibakterielle Aktivität
Durchschnitt des dekadischen Logarithmus der Anzahl lebensfähiger Bakterien, in Zellen/cm², die unmittelbar nach der Inokulation aus den nicht ausgerüsteten Testproben (Referenzmaterial) gewonnen wurden

- U_t Durchschnitt des dekadischen Logarithmus der Anzahl lebensfähiger Bakterien, in Zellen/cm², die 24 h nach der Inokulation aus den nicht ausgerüsteten Testproben (Referenzmaterial) gewonnen wurden
- A_t Durchschnitt des dekadischen Logarithmus der Anzahl lebensfähiger Bakterien, in Zellen/cm², die 24 h nach der Inokulation aus den ausgerüsteten Testproben gewonnen wurden

Für die Gültigkeit der Tests müssen laut Norm folgende drei Bedingungen erfüllt sein:

- Der logarithmische Wert der Anzahl lebensfähiger Bakterien, die unmittelbar nach der Inokulation aus der nicht ausgerüsteten Testprobe (Referenzmaterial) gewonnen wurden, muss die folgende Anforderung erfüllen:

$$(L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\text{mean}}) \leq 0,2$$

mit

$L_{\max}$ der dekadische Logarithmus der maximalen Anzahl lebensfähiger Bakterien, in Zellen/cm², auf einer der nicht ausgerüsteten Testproben (Referenzmaterial)

$L_{\min}$ der dekadische Logarithmus der minimalen Anzahl lebensfähiger Bakterien, in Zellen/cm², auf einer der nicht ausgerüsteten Testproben (Referenzmaterial)

L_{mean} der dekadische Logarithmus der Anzahl lebensfähiger Bakterien, in Zellen/cm², als Durchschnitt aller nicht ausgerüsteten Testproben (Referenzmaterial)

- Die durchschnittliche Anzahl lebensfähiger Bakterien, die unmittelbar nach der Inokulation aus der nicht ausgerüsteten Testprobe (Referenzmaterial) gewonnen werden, muss zwischen 6.200 bis 25.000 Bakterien pro cm² liegen.
- Die Anzahl der lebensfähigen Bakterien, die aus jeder nicht ausgerüsteten Testprobe (Referenzmaterial) nach 24-stündiger Inkubation gewonnen wurden, darf nicht geringer sein als 62 Bakterien pro cm².

5.2 Gewählte Vorgehensweise

Die Materialien wurden im Neuzustand entsprechend ISO 22196 geprüft. Die zu prüfenden Materialien wurden mit einer Suspension beimpft, die *Staphylococcus aureus* und *Escherichia coli* enthielt (Abbildung 4).

Bei beiden Bakterienarten handelt es sich um Arten, die vielfach den Menschen besiedeln, daher wurden für die Impfsuspension beide Arten eingesetzt. In Tabelle 9 sind einige Charakteristika der verwendeten Prüforganismen aufgeführt.

Tabelle 9 Charakteristika der Prüforganismen

<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
DSM 346 ^{*)}	DSM 1576 ^{*)}
zwischen 0,8 und 1,2 µm	zwischen 2,0 und 6,0 µm
Meist harmlos, typischer Besiedler der menschlichen Haut und Schleimhaut	Typischerweise in menschlichem und tierischem Darm angesiedelt
Oft gelbliche Kolonien auf Nähragar	Oft weißlich-beige Kolonien auf Nähragar

^{*)} Katalognummer der German Collection of Microorganisms and Cell Cultures GmbH für den entsprechenden Bakterienstamm

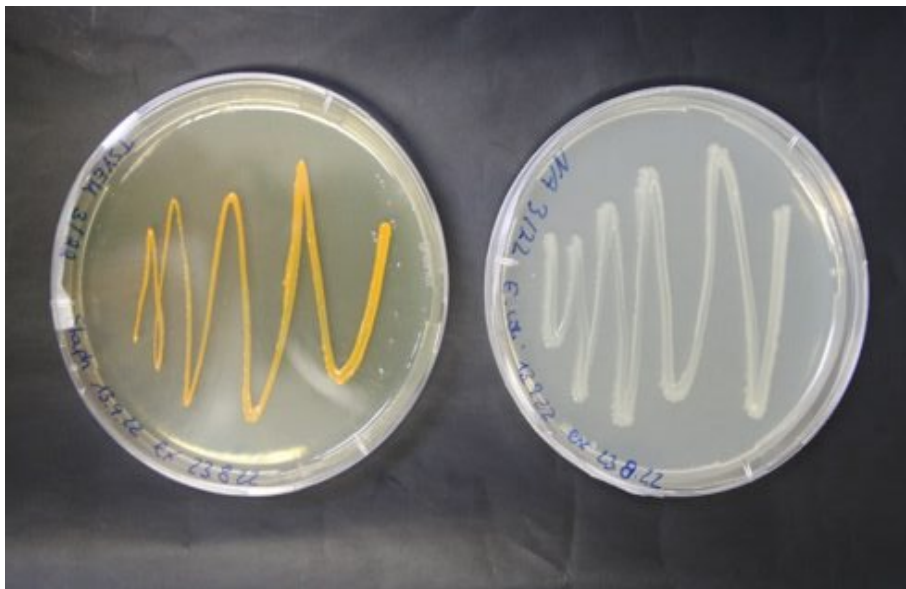


Abbildung 4 Kolonien der eingesetzten Prüforganismen auf Nähragar
(links: *Staphylococcus aureus*, rechts: *Escherichia coli*)

Im Anschluss an die Beimpfung (Abbildung 5 links) wurde eine dünne Folie auf das Inokulum gedrückt, so dass sich die Bakteriensuspension in einer möglichst dünnen Schicht auf den Proben verteilen konnte (Abbildung 5 rechts). Die Folie verhinderte zudem das Austrocknen der Bakterien.

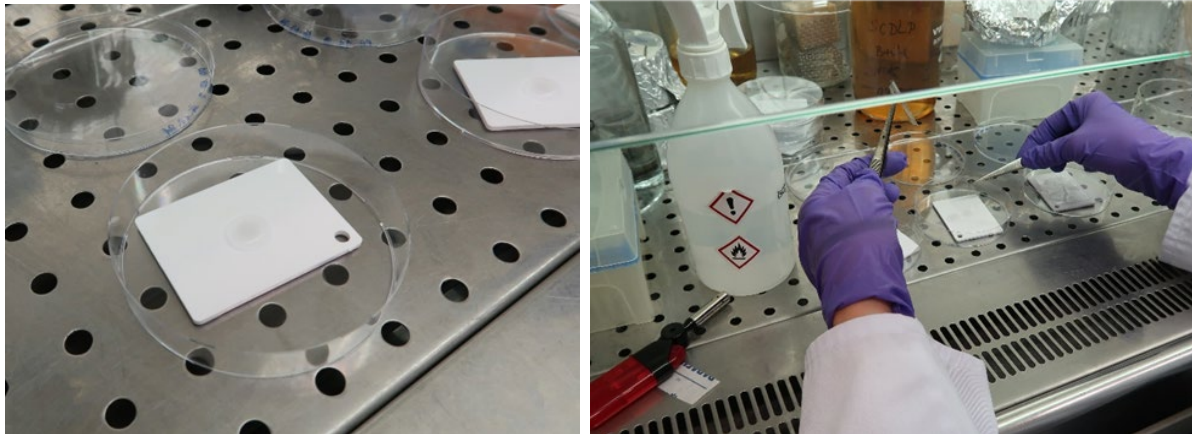


Abbildung 5 links: Beimpfen der Prüflinge mit Bakteriensuspension
rechts: Abdecken des Inokulums mit Folie

Nach der in der Norm definierten Einwirkzeit von 0 bzw. 24 Stunden wurden die Materialien von der Bakteriensuspension befreit und die Wiederfindungsrate der überlebenden Bakterien bestimmt. Dazu wurden die Probekörper gespült (Abbildung 6 links) und die dabei gewonnene Bakteriensuspension in Verdünnungsreihen aufgearbeitet. Nach einer Inkubation von 24 bis 48 Stunden wurden die angewachsenen Kolonien ausgezählt (Abbildung 6 rechts).

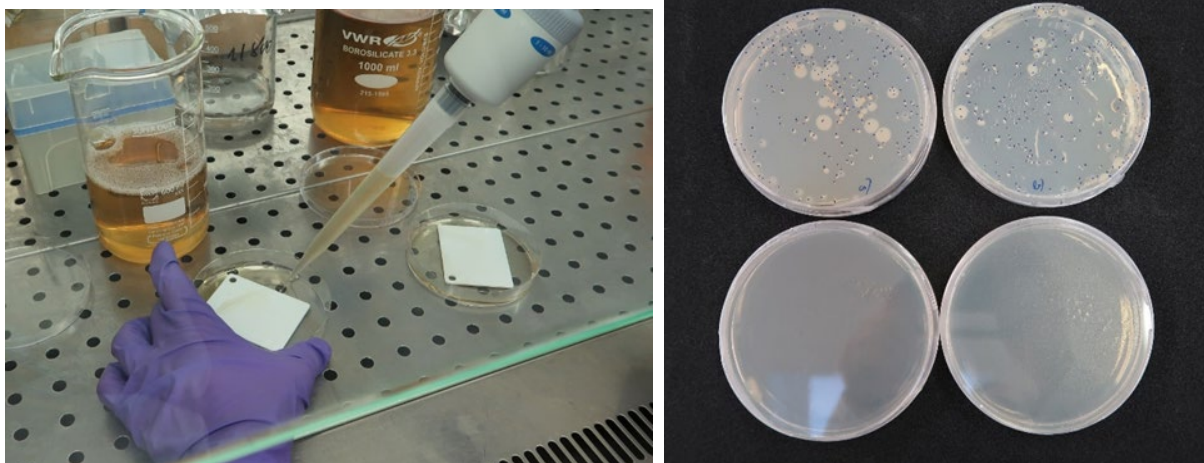


Abbildung 6 links: Spülen der Probekörper
rechts: Auszählen der Bakterienkolonien (oben: nicht ausgerüstete Variante, unten: ausgerüstete Variante)

Um mehr Versuchsdurchläufe in der Projektlaufzeit unterzubringen, wurden ausgewählte Materialien inklusive verschiedener Alterungsprozeduren zusätzlich an ein externes Labor zur Bearbeitung geschickt.

Dieses klassische Normverfahren wurde trotz einiger zu erwartenden Schwachstellen der Norm (vgl. Kapitel 5.4) gewählt, da es sich bei den Inkubationsbedingungen quasi um ideale Bedingungen für die Bakterien handelt und so die unterschiedlichen Auswirkungen der Alterungsprozeduren auf die antimikrobielle Wirksamkeit besser erkennbar sein sollten.

5.3 Abweichungen von der Norm

Im Laufe der fortschreitenden Untersuchungen wurden einige von der Norm abweichende Anpassungen vorgenommen.

Da sich in den ersten Versuchen gezeigt hatte, dass sich die Anzahl der Bakterien nach 24 Stunden Inkubation nicht mehr verändert, sondern lediglich die Kolonien größer wurden, wurde jeweils bereits nach 24 Stunden ausgezählt.

Bei den Proben handelte es sich meist nicht um Serienprodukte, sondern um seriengleiches Probenmaterial, das in Technikums- oder Laborprozessen für die Untersuchungen hergestellt wurde. Um den Aufwand für die Hersteller zu begrenzen, wurde die Anzahl der benötigten Proben auf ein absolutes Mindestmaß reduziert und zum Teil auf die nicht ausgerüsteten Referenzproben verzichtet, da Referenzproben für das Feststellen eines Unterschiedes zwischen ausgerüsteten, nicht gealterten Proben und ausgerüsteten, gealterten Proben hinsichtlich der Wirksamkeit der Ausrüstung an sich nicht relevant sein sollten. Zumal die Wirksamkeit der ausgerüsteten Proben in den ersten Testszenarien jeweils nachgewiesen werden konnte.

Um eine Beeinflussung der Ergebnisse durch eine mögliche mikrobielle Verunreinigung auszuschließen, die zu falschen U_t -Werten führen könnte, wurden die Proben vor den Versuchen durch Ansprühen mit Isopropanol und Abtrocknen lassen desinfiziert. Allerdings ist eine Beeinflussung der antibakteriellen Aktivität durch die Desinfektion nicht sicher auszuschließen [54].

Laut Hersteller von Material 3 entfaltet sich die antibakterielle Wirkung erst durch eine Vorinkubation in vollem Ausmaß. Deshalb wurde Material 3b in einem externen Labor vor dem eigentlichen Test einer Vorinkubation unterzogen, die so in der Norm nicht vorgesehen ist. Für diese Vorinkubation wurden die Materialproben für 5 Tage bei 37 °C in 7 mM NaNO_3 -Lösung gelagert. Bei allen anderen Materialien wurde auf eine Vorinkubation verzichtet, da im praktischen Umgang mit Alltagsgegenständen auch keine Vorinkubation in dieser Form stattfindet. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Praxis wird in Kapitel 5.4 diskutiert.

5.4 Schwachstellen der Methode

Im Laufe der Untersuchungen fielen fehlende oder zu unkonkrete Festlegungen in der Norm auf, die dazu führen können, dass Laboratorien, die Vorgaben der Norm unterschiedlich interpretieren können und dies zu voneinander abweichenden Ergebnissen führt, bzw. die Spannbreite der Ergebnisse vergrößert.

Auswahl des Referenzmaterials

Die Wahl des Referenzmaterials hat einen Einfluss auf den ermittelten R-Wert, der sowohl positiv als auch negativ ausfallen kann. Dabei lassen sich 3 Szenarien unterscheiden:

1. Je besser das Bakterienwachstum, auf dem nicht ausgerüsteten Vergleichsmaterial ist, desto höher kann der R-Wert ausfallen.

2. Zu einigen antimikrobiell wirksamen bzw. aktiven Materialien, z. B. Kupfer-Nickel-Legierung gibt es kein entsprechend nicht ausgerüstetes Vergleichsmaterial. Hier muss ein Ersatz gewählt werden wie z. B. Edelstahl (was das konventionelle Material für das betreffende Bauprodukt ist). Hier spielt wieder eine Rolle, welche Auswirkung das Vergleichsmaterial allein auf das Bakterienwachstum hat.
3. Die Auswahl eines Vergleichsmaterials ist nicht in der Norm festgelegt. Es obliegt dem Hersteller bzw. dem durchführenden Labor ein Material willkürlich festzulegen wie Glas, PE-Film, Leneta (Prüfkarten aus Papier ohne optische Aufheller für die Prüfung von Beschichtungsprodukten), etc.

Da in allen drei Szenarien der R-Wert vom Referenzmaterial mitbestimmt wird, ist ein objektiver Produktvergleich anhand des R-Wertes nur eingeschränkt möglich.

Abhilfe könnte die Festlegung eines einheitlichen, neutralen Vergleichsmaterials schaffen. Dies könnte gleichzeitig zur Vitalitätskontrolle der Bakterien dienen.

Kinetische Aspekte

In der Norm werden keine kinetischen Aspekte berücksichtigt. Zwei Materialien könnten nach 24 Stunden die gleiche Wirkung (zum Beispiel das Absterben aller Bakterien) aufweisen, aber bei einem Material kann das bereits nach 2 Stunden der Fall sein, bei einem anderen erst nach z. B. 22 Stunden. Um hier Unterschiede ausmachen zu können, müsste das Abspülen und Beprobieren des Materials nach verschiedenen Inkubationszeiten stattfinden. Entsprechend müssten mehr Probekörper angesetzt und aufgearbeitet werden. Unter realen Bedingungen kann die Einwirkzeit deutlich kürzer, aber auch länger ausfallen.

Inkubationsbedingungen

Die Inkubationsbedingungen (Wärme, hohe Feuchte, Schutz vor Austrocknung), die laut Norm gefordert werden, stellen quasi einen Idealzustand für das Bakterienwachstum dar. Realitätsnäher wären Untersuchungen unter trockeneren und unter Umständen kühleren Bedingungen, wie sie zum Beispiel von Kobloch et. al. [55] oder Buhl et al. [56] vorgeschlagen werden. Wobei hier Einsatzzweck und -ort sowie die vorherrschenden Klimabedingungen berücksichtigt werden müssen. Außerdem gibt es Hinweise, dass verschiedene Wirksubstanzen unterschiedliche Wirkspektren bezüglich der Temperatur und Feuchtigkeit haben können [57].

Probenanzahl

Die zu untersuchende Probenanzahl von drei ist sehr gering, gerade für Proben, die aufgrund der speziellen Abmessung bzw. Form extra für den Test hergestellt werden und nicht eine Stichprobe aus einer Serienproduktion sind. Hier können sich selbst geringfügige Abweichungen der Homogenität der Rezeptur auf die Ergebnisse auswirken.

Weitere Bedingungen

Neben der Inkubationszeit und der Startkonzentration der Bakterien wurden in einem Ringversuch [58] noch der physiologische Zustand der Bakterien (statische oder exponentielle Phase der Bakterien) sowie die Nährstoffkonzentration als kritische Einflussfaktoren auf den Test genannt. In einer Übersichtsarbeit über standardisierte Testmethoden für antibakterielle Materialien [59] wird auf die Wichtigkeit von solchen methodischen Parametern ebenfalls hingewiesen.

Eine Überarbeitung der ISO 22196 hinsichtlich einer Konkretisierung der Prüfbedingungen und die Aufnahme kinetischer Fragestellungen wäre wünschenswert.

Die aufgezeigten Schwachstellen müssen bei der Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse berücksichtigt werden.

5.5 Probenbezeichnung

Die Probenbezeichnung setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Diese kennzeichnen die Nummer des Materials und ggf. das Produktionsjahr der Charge, eine vorhandene oder nicht vorhandene antimikrobielle Ausrüstung, die angewandte Alterungsprozedur und Angaben zur Vorinkubation der Probekörper. In Tabelle 10 sind Beispiele für die Probenkennzeichnung aufgeführt.

- Die erste Ziffer bezeichnet das Material (1 bis 5). Die Buchstaben u und t stehen für „untreated“ (nicht ausgerüstet) und „treated“ (ausgerüstet) und beziehen sich auf die antimikrobielle Ausrüstung des Materials.
- Die Buchstaben F; E und L stehen für ein Referenzmaterial, wenn es kein spezielles nicht ausgerüstetes Referenzmaterial gab.
- Eine Zahl in Klammern, z. B. (21), kennzeichnet eine Charge aus dem Jahr 2021.
- Der Buchstabe a in Kombination mit einer Zahl steht für die Alterungsprozedur, wie in Kapitel 4 beschrieben.
- Das Buchstabenkürzel (vi) wurde benutzt, um eine Vorinkubation der Probekörper zu kennzeichnen.

Tabelle 10 Beispiele zur Probenbezeichnung

Beispiel	Materialnummer (Charge)	Antimikrobielle Ausrüstung	Alterungsprozedur	Vorinkubation
1(21)-t-a5	1(21)	Ja	5	Nein
2-u (vi)	2	Nein	keine	Ja
3(21)-t	3(21)	Ja	keine	
F	Referenz Folie			
E	Referenz Edelstahl			
L	Referenz Leneta			

6. Ergebnisse und Interpretation

6.1 Ergebnisse

Gemäß Norm wird die Keimreduktion der antimikrobiell ausgerüsteten Materialien als Reduktionsfaktor R angegeben. Dabei versteht man unter der Keimreduktion die Entfernung von Mikroorganismen auf Oberflächen, aus Wasser oder Luft oder die Reduzierung der biologischen Aktivität. Der Reduktionsfaktor R gibt dabei die Differenz zwischen der Ausgangs- und Endkeimzahl nach einer Keimreduktion in Zehnerpotenzen (Log-Stufen) an. In Tabelle 11 sind Beispiele für die Größenordnung der Keimreduktion durch verschiedene hygienische Maßnahmen zusammengefasst.

Tabelle 11 Beispiele der Keimreduktion durch verschiedene Maßnahmen

Reduktion der Keimzahl in Log10-Stufen	Reduktion der Keimzahl in Prozent	Maßnahme
≥ 1 log10-Stufe	> 90 %	Händewaschen
≥ 2 log10-Stufen	> 99 %	Händewaschen mit Seife
≥ 4 log10-Stufen	> 99,99 %	Desinfektion
≥ 6 log10-Stufen	> 99,9999 %	Sterilisation

6.1.1 Validität der Ergebnisse

Für alle durchgeführten Versuchsansätze wurde ermittelt, ob die drei laut Norm geforderten Bedingungen für einen validen Test erfüllt wurden. Bedingung 1 wurde im Labor am IBP nur einmal bei der Untersuchung des Materials 4u nicht erfüllt, in dem Fall wurden Bakterienzahlen pro cm² gefunden, die über der in der Norm angegebenen Grenze von $2,5 \times 10^4$ Bakterienzellen pro cm² liegen. Im Vergleichslabor lagen die Bakterienzahlen teilweise auch oberhalb des Normbereichs. Trotzdem konnte man einen Unterschied der Wirksamkeit beim Vergleich der nicht ausgerüsteten mit den ausgerüsteten Varianten feststellen. Bedingung 3 wurde einmal bei der Untersuchung des Materials 2u nicht erfüllt. Hier wurden nach 24 Stunden auf 2 Prüfkörpern weniger als die geforderten 62 Bakterien/cm² wiedergefunden. Ansonsten wurden alle 3 Bedingungen stets erfüllt.

6.1.2 Neuzustand

Für alle mikrobiell ausgerüsteten Oberflächen konnte im Neuzustand eine Keimreduktion nachgewiesen werden (Tabelle 12). Die antibakterielle Aktivität wurde entsprechend der ISO 22196 berechnet.

Tabelle 12 Ergebnisse der Untersuchung der Materialien im Neuzustand

Variante	Antibakterielle Aktivität (R)
Material 1	~ 3 (Vergleich mit nicht ausgerüsteter Variante)
Material 2	~ 3 (Vergleich mit Edelstahl)
Material 3	~ 2,3 (Vergleich mit nicht ausgerüsteter Variante)
Material 4	~ 3 (Vergleich mit Edelstahl)
Material 5	~ 3 (Vergleich mit Edelstahl)

Um die bei einigen Materialien sehr unterschiedlichen Zahlen an gewonnen Zellen pro Probe deutlicher darzustellen, wurden in den nachfolgenden Diagrammen (Abbildung 7 bis Abbildung 11) für die einzelnen Materialien (nicht ausgerüstetes Referenzmaterial, sowie antimikrobiell ausgerüstetes Material) die Log-Stufen der wiedergefundenen Keimzahlen nach 0 bzw. 24 Stunden dargestellt. Daneben wurde auch der für die Berechnung des R-Wertes verwendete Mittelwert dargestellt.

Material 1

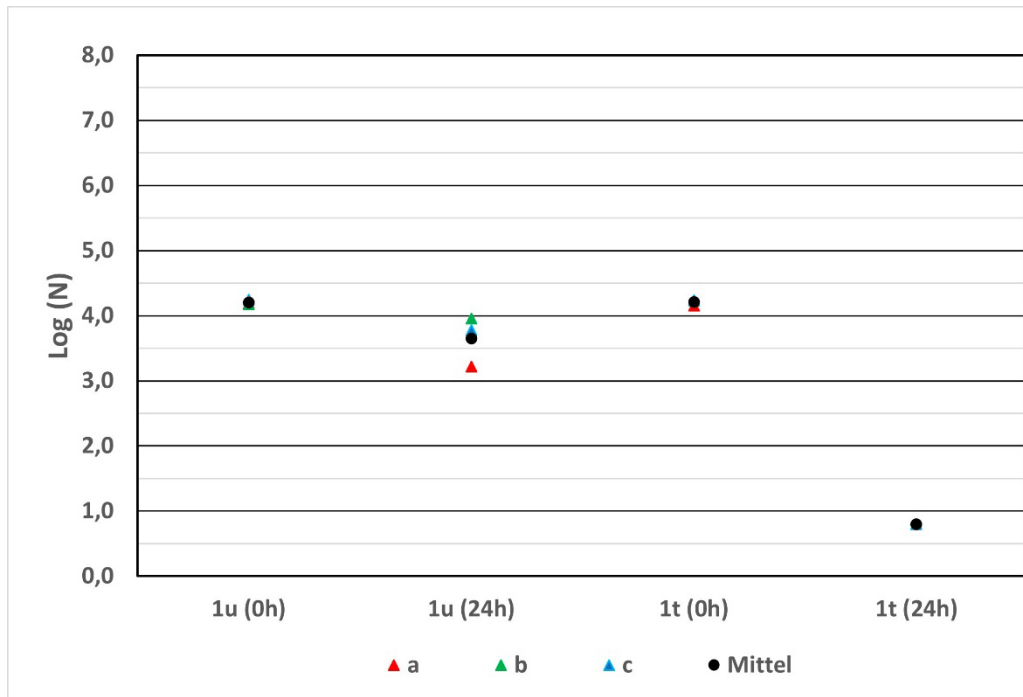


Abbildung 7 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 1 im Neuzustand

Zum Zeitpunkt 0 (1u (0 h)) fanden sich ungefähr 10^4 Zellen pro cm^2 auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern; damit war die Anforderung der Norm für die Validität des Tests erfüllt. Nach 24 Stunden (1u (24 h)) konnte eine Reduktion der Zellzahl gegenüber 1u (0 h) um knapp eine halbe Log-Stufe beobachtet werden.

Auf den antimikrobiell ausgerüsteten Probekörpern fanden sich zum Zeitpunkt 0 (1t (0 h)) ebenfalls ungefähr 10^4 Zellen pro cm^2 , und damit kein Unterschied zu den nicht ausgerüsteten Probekörpern 1u (0 h). Nach 24 Stunden war auf den ausgerüsteten Probekörpern (1t(24 h)) aber eine deutliche Reduktion der Zellzahl um etwa 3 Log-Stufen gegenüber 1t(0 h) erkennbar. Der R-Wert lag bei diesem Material bei ungefähr 3, eine deutlich antimikrobielle Wirksamkeit konnte nachgewiesen werden.

Material 2

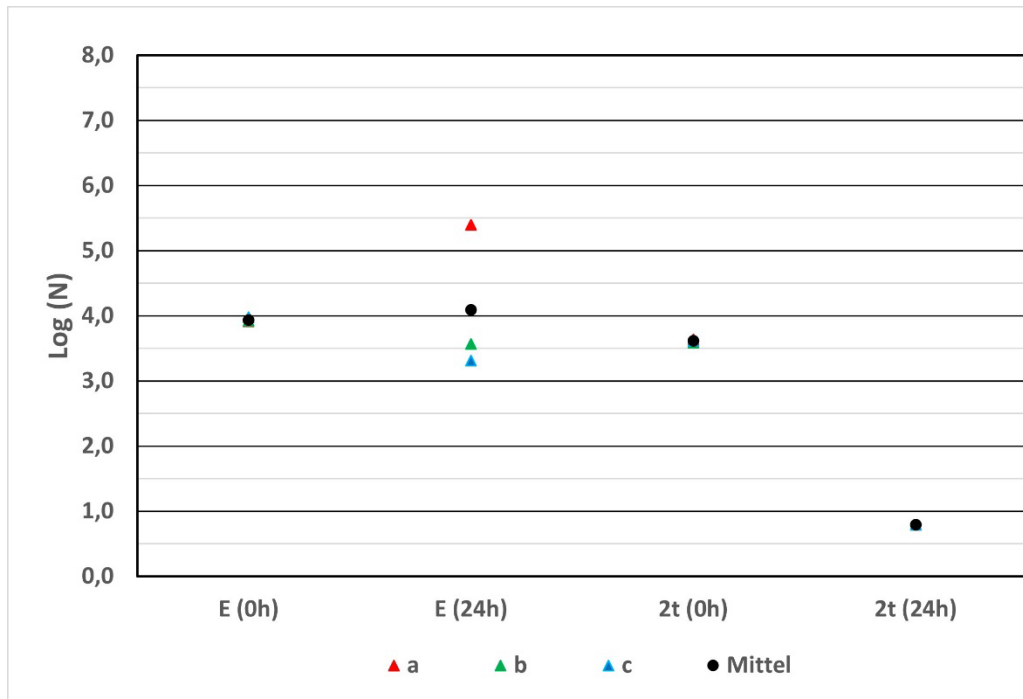


Abbildung 8 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 2 im Neuzustand

Beim Material 2 wurde als nicht ausgerüstetes Referenzmaterial Edelstahl verwendet. Zum Zeitpunkt 0 fanden sich ungefähr 10^4 Zellen pro cm^2 . Damit war die Anforderung der Norm für die Validität des Tests erfüllt. Auf den ausgerüsteten Probekörpern fanden sich zum Zeitpunkt 0 (2t (0 h)) etwa um eine halbe Log-Stufe weniger Zellen als auf dem Edelstahl. Nach 24 Stunden blieb die Zellzahl auf dem Edelstahl (E (24 h)) im Mittel etwa gleich, obwohl es starke Schwankungen unter den Proben gab. Auf den ausgerüsteten Probekörpern (2t (24 h)) fand eine deutliche Reduktion gegenüber E (24 h) um etwa 3 Log-Stufen statt, was einem R-Wert von ungefähr 3 entspricht. Die Streuung zwischen den Proben war gering. Eine signifikante antibakterielle Wirkung konnte nachgewiesen werden.

Material 3

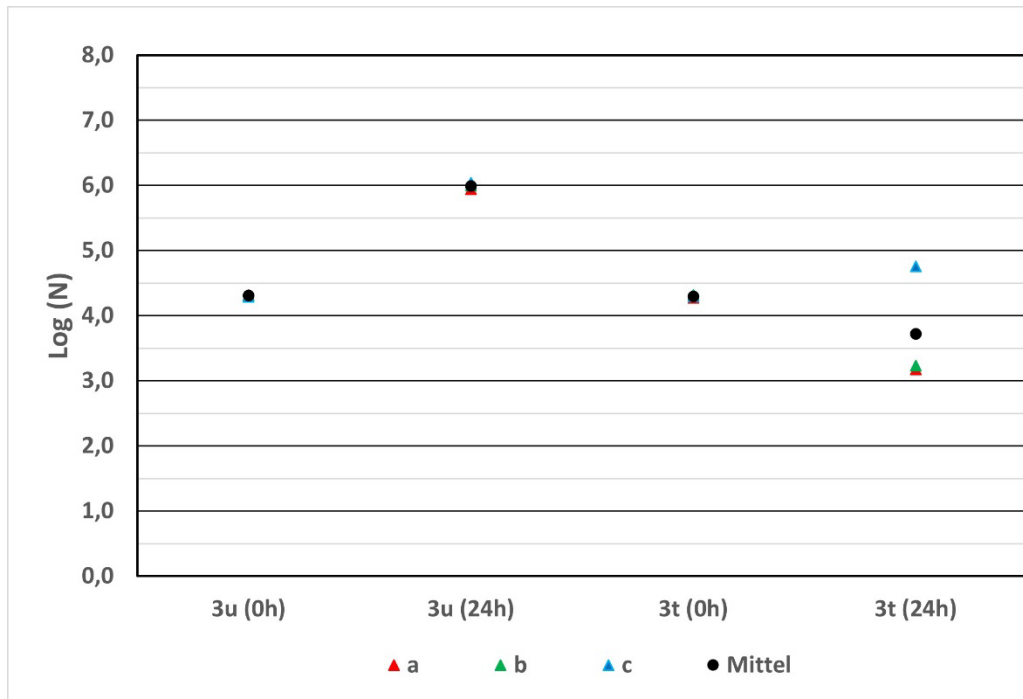


Abbildung 9 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 3 (mit der Formulierung 1) im Neuzustand

Bei der Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit handelte es sich bei dem Material noch um die Formulierung 1. Im Laufe des Projekts wurde bei diesem Material die Formulierung geändert. Bei Material 3 fanden sich zum Zeitpunkt 0 auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern (3u (0 h)) ebenfalls ungefähr 10^4 Zellen, damit waren auch hier die Anforderung der Norm für die Validität des Tests erfüllt. Nach 24 Stunden konnte auf diesen Probekörpern ein Wachstum der Zellzahl um 2 Log-Stufen beobachtet werden (3u (24 h)). Bei den ausgerüsteten Probekörpern fanden sich zum Zeitpunkt 0 (3t (0 h)) ebenfalls ungefähr 10^4 Zellen und damit praktisch kein Unterschied zu 3u (0 h). Nach 24 Stunden (3t (24 h)) konnte eine Reduktion gegenüber 3u (24 h) um etwa 0,5 Log-Stufen (mit Schwankungen zwischen den Probekörpern) festgestellt werden. Durch die Zunahme der Zellzahl auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern ergibt sich trotz einer nur geringen Abnahme trotzdem ein R-Wert von ungefähr 2.

Material 4

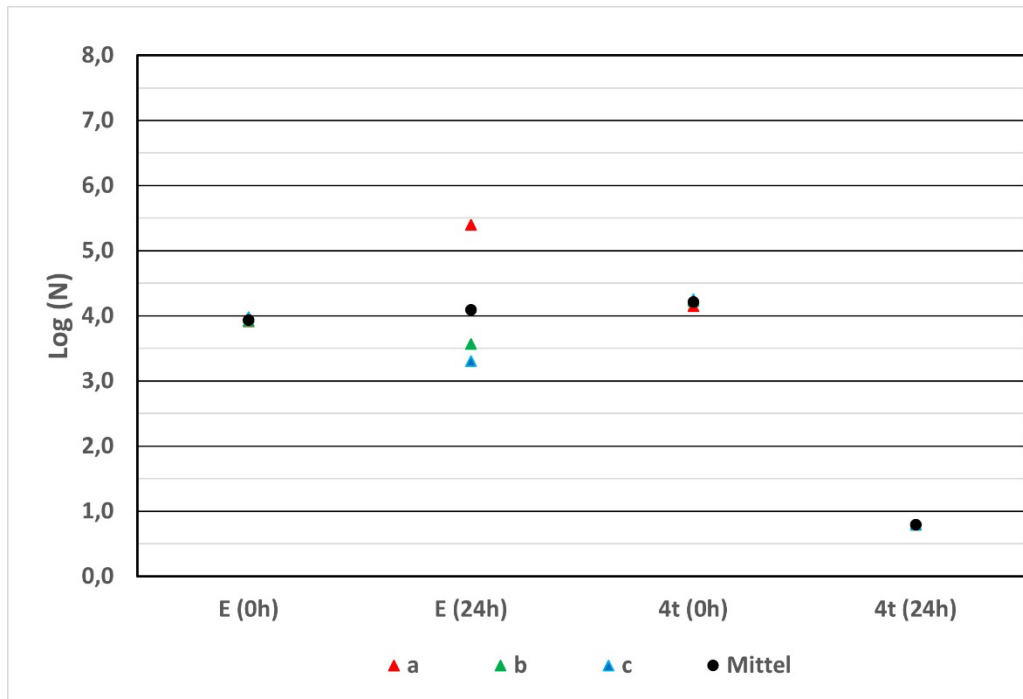


Abbildung 10 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 4 im Neuzustand

Bei den Materialien 4 und 5 wurde, wie bei Material 2 Edelstahl als nicht ausgerüstetes Vergleichsmaterial verwendet, daher sind die Werte für E (0 h) und E (24 h) bei beiden Materialien die gleichen. Es fanden sich zum Zeitpunkt 0 auf dem Edelstahl (3u (0 h)) ebenfalls ungefähr 10^4 Zellen pro cm^2 ; damit waren in beiden Fällen die Anforderung der Norm für die Validität des Tests erfüllt. Nach 24 Stunden konnte auf den ausgerüsteten Probekörpern (4t (24 h)) eine deutliche Reduktion gegenüber E (24 h) um etwa 3 Log-Stufen beobachtet werden (bei geringer Streuung) und damit eine gute antibakterielle Wirkung

Material 5

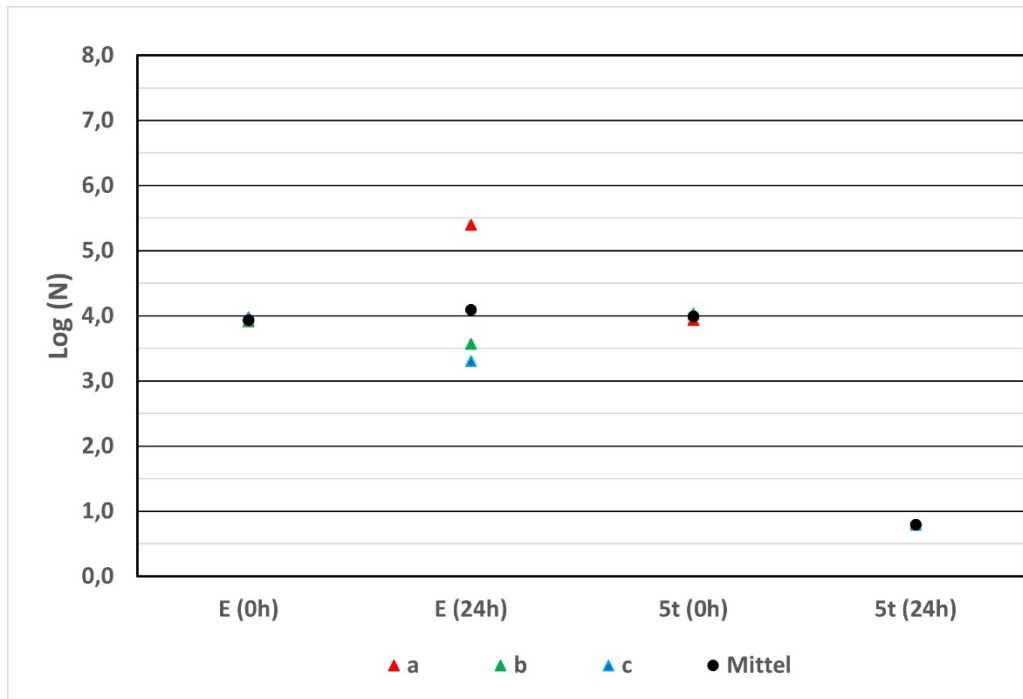


Abbildung 11 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 5 im Neuzustand

Bei Material 5 konnte nach 24 Stunden auf den ausgerüsteten Probekörpern (5t (24 h)) ebenfalls eine deutliche Reduktion gegenüber E (24 h) um etwa 3 Log-Stufen beobachtet werden (ebenfalls bei geringer Streuung) und damit ebenfalls eine gute antibakterielle Wirkung

6.1.3 Nach Alterung

Wie in Kapitel 4 beschrieben, wurden die Materialien entsprechend ihren Eigenschaften und Anwendungsbereiche verschiedenen Alterungsprozeduren unterworfen. Die Alterungsprozeduren sind im Einzelnen in Tabelle 8 (Kapitel 4.4) beschrieben. Nach Anwendung dieser Alterungsprozeduren wurde erneut der Test auf die antimikrobielle Wirksamkeit durchgeführt. Aufgrund der bereits in den Vorversuchen nachgewiesenen Wirksamkeit und der jeweils sehr ähnlichen Zellzahlen zum Zeitpunkt 0 auf den ausgerüsteten und nicht ausgerüsteten Materialien wurde anfangs auf die Messung der nicht ausgerüsteten Referenz verzichtet. Die Anforderung der Norm für einen validen Test wurden bei fast allen Versuchskampagnen erfüllt, daher wird im Folgenden nur noch auf die Ausnahmen näher eingegangen.

Material 1

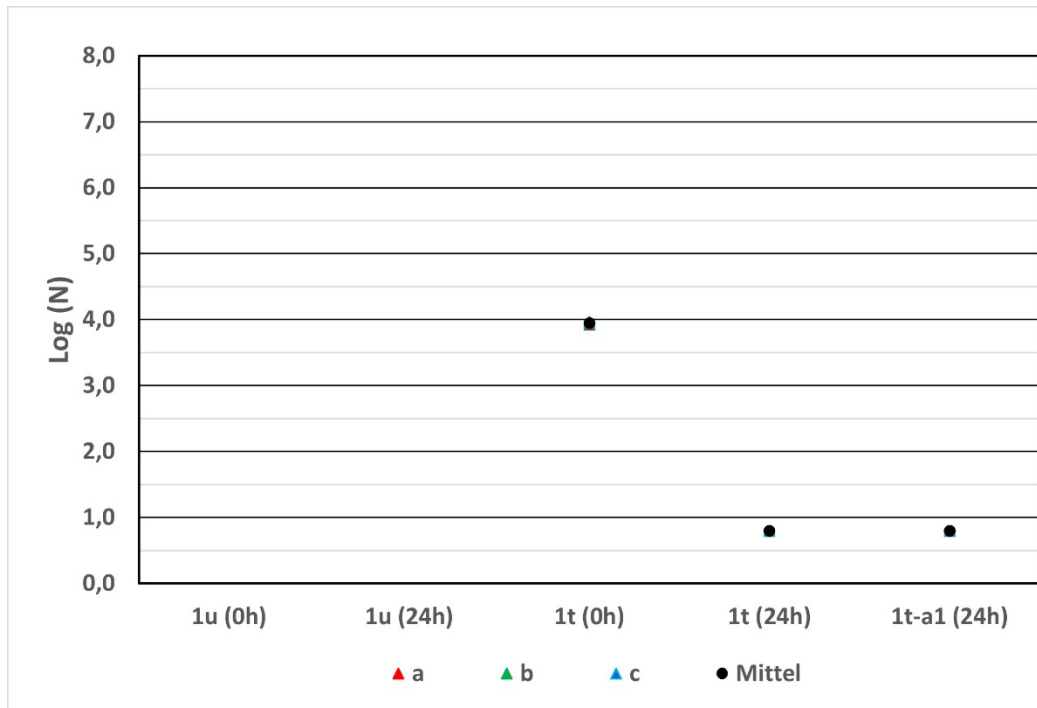


Abbildung 12 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 1 nach Alterung 1

Auf den Probekörpern von Material 1 fanden sich zum Zeitpunkt 0 (1t (0 h)) ungefähr 10^4 Zellen. Nach 24 Stunden (1t (24h)) konnten keine Bakterien mehr gefunden werden, es fand damit eine Reduktion gegenüber 1t (0 h) um etwa 3 Log-Stufen bei sehr geringer Streuung statt. Das Material 1 zeigte wieder eine gute antibakterielle Wirkung. Auf den mit der Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern konnten nach 24 Stunden (1t-a1 (24 h)) ebenfalls keine Bakterien mehr gefunden werden. Die Alterungsprozedur 1 zeigte damit keinen Einfluss auf die antibakterielle Wirkung.

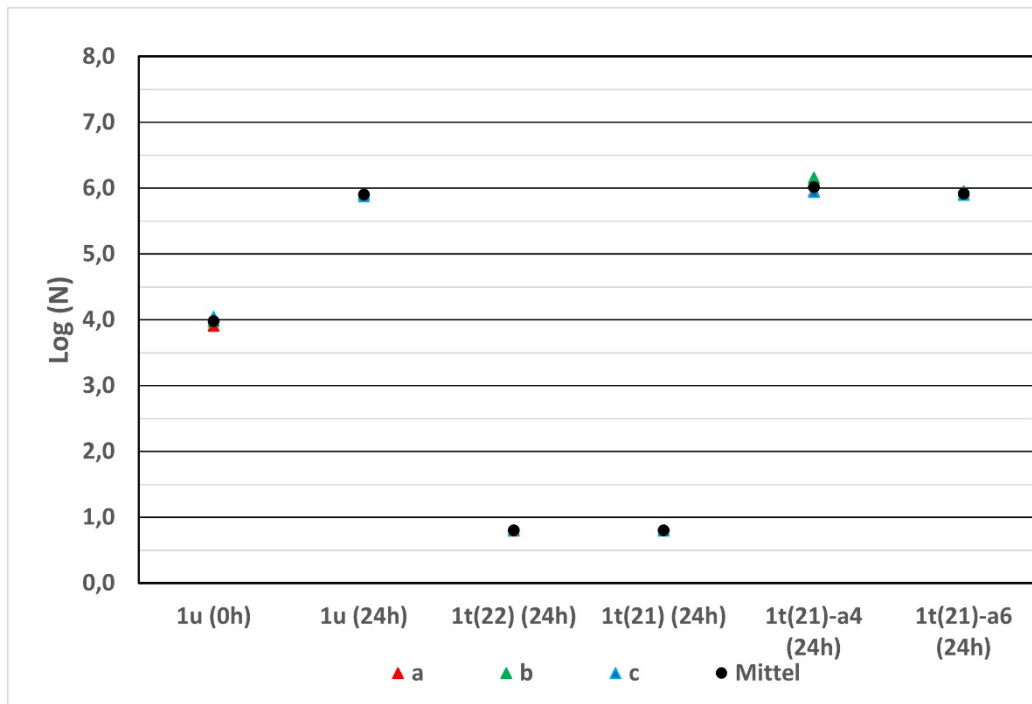


Abbildung 13 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 1 nach Alterung 4 und 6

Bei dieser Untersuchung wurde wieder ein nichtausgerüstetes Referenzmaterial mitgetestet und zusätzlich das ausgerüstete Material in 2 Varianten, die zwei Produktionschargen entsprachen: 1t (21) aus dem Produktionsjahr 2021 und 1t (22) aus dem Produktionsjahr 2022. Nach 24 Stunden konnte auf den nichtausgerüsteten Probekörpern (1u (24)) ein Anstieg der Zellzahl um 2 Log-Stufen beobachtet werden. Dies steht im Gegensatz zur ersten Untersuchung (Abbildung 7). Eine Erklärung für dieses Verhalten konnte nicht gefunden werden. Dagegen konnten auf den Probekörpern der beiden Chargen des ausgerüsteten Materials (1t (22) (24 h) und 1t (21) (24 h)) eine Reduktion gegenüber 1u (24) um etwa 5 Log-Stufen beobachtet werden. Durch diesen Anstieg der Zellzahl bei den nichtausgerüsteten Probekörpern um 2 Log-Stufen ist der R-Wert mit 5 deutlich höher als bei der ersten Untersuchung der antimikrobiellen Wirksamkeit des Materials. Bei einem Vergleich mit dem nicht ausgerüsteten Material zum Zeitpunkt 0 wäre der R-Wert wieder bei ungefähr 3. Dies Phänomen wird in Kapitel 5.4 diskutiert. Bei beiden Chargen war die Streuung gering und eine gute antibakterielle Wirkung gegeben.

Nur die Probekörper aus der Charge 2021 wurden den Alterungsprozeduren 4 und 6 unterworfen. Nach 24 Stunden war auf den Probekörpern beider Alterungsprozeduren (1t (21)-a4 (24 h) und 1t (21)-a6 (24 h)) die Zellzahl vergleichbar mit der der nicht ausgerüsteten Probekörper (1u(24)). Die antibakterielle Wirkung des Materials wurde durch die Alterungsprozeduren 4 und 6 aufgehoben.

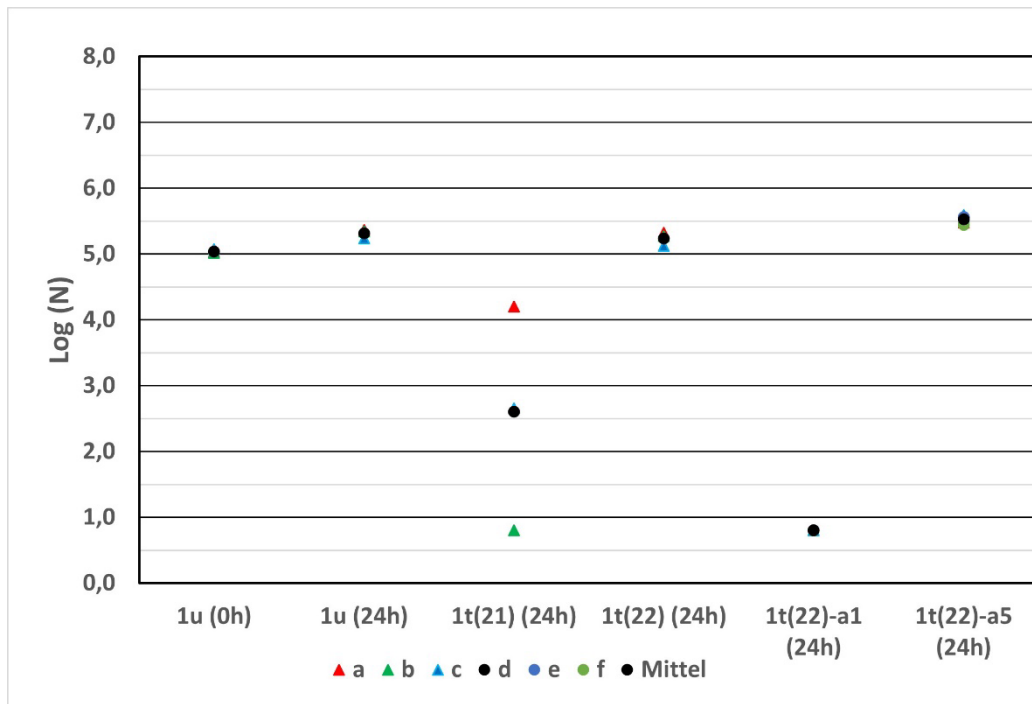


Abbildung 14 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 1 nach Alterung 1 und 5 im Vergleichslabor

Zu Vergleichszwecken wurden einige Proben des Materials an ein Vergleichslabor geschickt. Dies lieferte die folgenden Ergebnisse: Zum Zeitpunkt 0 lag die Zellzahl auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern (1u (21) (0 h)) bei ungefähr 10^5 Zellen pro cm^2 und damit eigentlich über der durch die Norm angegebenen Grenze für einen validen Test. Auch dieses Phänomen wurde in Kapitel 5.4 diskutiert. Trotzdem sollen die Ergebnisse dieses Testansatzes hier aufgezeigt werden. Nach 24 Stunden war die Zellzahl auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern nur gering gestiegen (1u (21) (24)). Auf den ausgerüsteten Probekörpern der Charge von 2021 zeigte sich nach 24 Stunden (1t (21) (24 h)) eine deutliche Reduktion gegenüber 1u (21) (24h) um etwa 2 Log-Stufen, allerdings mit einer großen Streuung zwischen den einzelnen Probekörpern. Auf den ausgerüsteten Probekörpern der Charge von 2022 (1t (22) (24 h)): zeigte sich nach 24 Stunden keine Reduktion gegenüber 1u (21) (24h). Für diesen Testansatz wurden die Probekörper der Charge von 2022 den Alterungsprozeduren 1 und 5 unterzogen. Auf den mit Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern zeigte sich nach 24 Stunden (1t (22)-a1 (24 h)) eine deutliche Reduktion gegenüber 1t(22) (24 h) um ungefähr 5 Logstufen. Erklärbar wäre dieses Phänomen dadurch, dass evtl. noch Rückstände des Desinfektionsmittels vom Typ Sauerstoffabspalter an der obersten Schicht des Materials wirksam waren, wie es auch bei Müller [60] beschrieben wird. Im Gegensatz dazu zeigte sich auf den Probekörpern, die der Alterungsprozedur 5 unterworfen wurde nach 24 Stunden (1t(22)-a5 (24 h)) kein Unterschied zu 1t(22) (24 h). Da das ausgerüstete Material der Charge 2022 keine antimikrobielle Wirksamkeit zeigte, konnte auch die Alterungsprozedur 5 keine Wirkung zeigen, hier kann nicht von Desinfektionsmittelrückständen ausgegangen werden.

Warum das Material der Charge 2022 keine Wirksamkeit zeigte, war nicht erklärbar. Evtl. lag hier eine Vertauschung bei den Chargen vor. Dazu konnten keine weiteren Betrachtungen durchgeführt werden.

Material 2

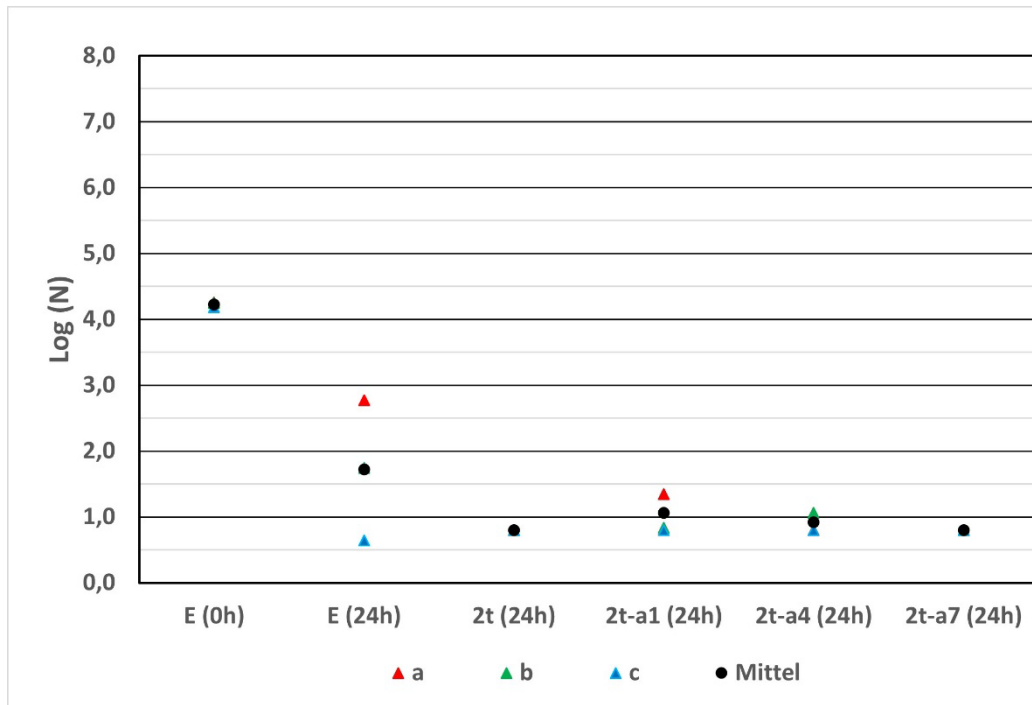


Abbildung 15 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 2 nach Alterung 1, 4 und 7

Bei Material 2 zeigte sich im Vergleich zur ersten Untersuchung der antimikrobiellen Wirksamkeit nach 24 Stunden (2t (24 h)) eine Wirksamkeit mit einer Reduktion der Zellzahl. gegenüber E (24 h) um etwa 1,5 log-Stufen mit einer geringen Streuung. Allerdings gab es hier schon bei den nicht ausgerüsteten Probekörpern nach 24 Stunden (E (24 h)) eine Reduktion gegenüber E (0 h) um etwa 2,5 Log-Stufen mit deutlicher Streuung der einzelnen Probekörpern. Schließt man diese Streuung bei der Betrachtung aus, läge der R-Wert wieder bei ungefähr 3. Auf den Probekörpern, die den Alterungsprozeduren 1, 4 und 7 unterzogen wurden, sind nach 24 Stunden kaum mehr Bakterienzellen wieder zu finden (2t-a1 (24), 2t-a4 (24) und 2t-a9 (24)). Das bedeutet, dass diese Alterungsprozeduren keinen Einfluss auf die Wirksamkeit haben. Aufgrund der Datenunsicherheit durch die große Streuung von E (24 h) wurde der Versuchsansatz, mit dem nach Prozedur 1 gealterten Probekörpern wiederholt.

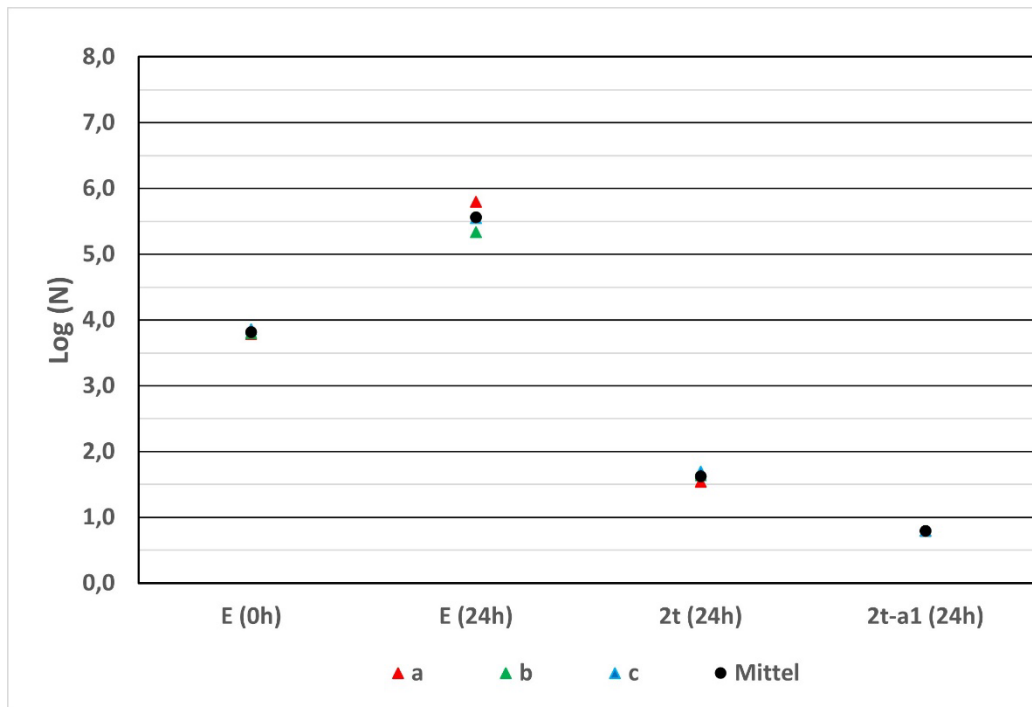


Abbildung 16 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 2 nach Alterung 1

Im Gegensatz zum ersten Versuchsansatz stieg die Zellzahl auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern nach 24 Stunden (E (24 h)) um ungefähr 2 Log-Stufen. Auf den ausgerüsteten Probekörpern kam es nach 24 Stunden (2t (24 h)) zu einer Reduktion gegenüber E (0 h) um knapp über 2 Log-Stufen, gegenüber E (24 h) um 4 Log-Stufen, was die antibakterielle Wirkung bestätigte. Die niedrige Zellzahl auf den mit Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern (2a1 (24 h)) ist möglicherweise wieder auf Reste des Reinigungsmittels aus der Alterungsprozedur zurückzuführen.

Material 3

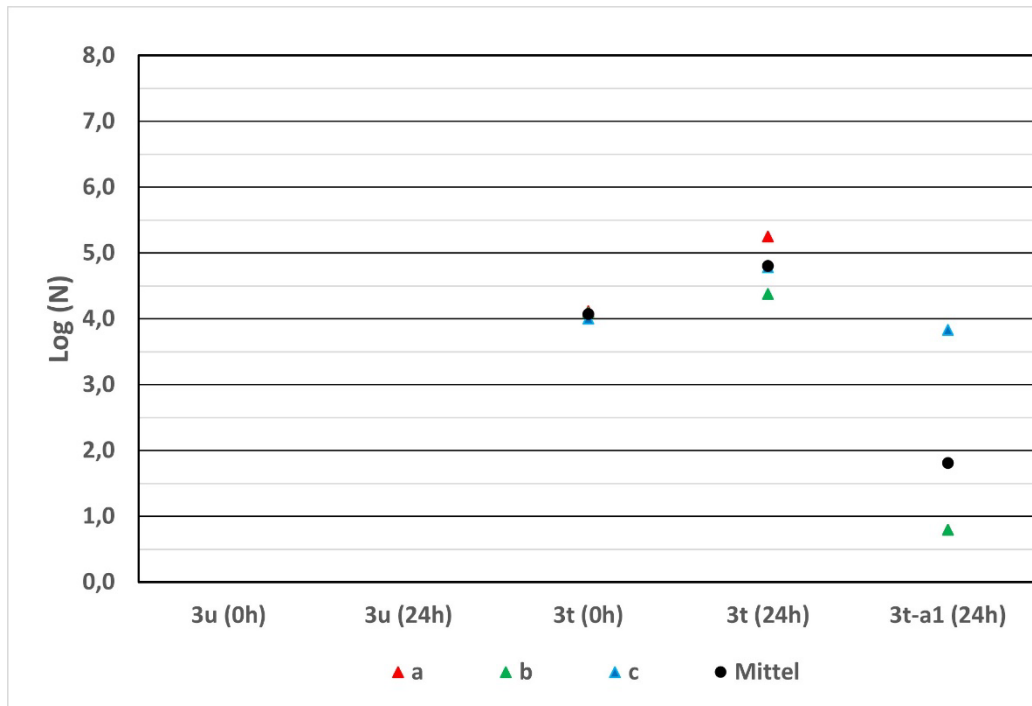


Abbildung 17 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 3 nach Alterung 1

Bei diesem Versuchsansatz wurde wie für den ersten Test der antimikrobiellen Wirksamkeit des Materials das Material 3 mit der Formulierung 1 getestet. Nach 24 Stunden zeigte sich auf den ausgerüsteten Probekörpern (3t (24 h)) ein leichtes Wachstum um ungefähr 1 Log-Stufe, und damit keine antibakterielle Wirksamkeit. Beim Vergleich mit den Ergebnissen aus dem Versuchsansatz mit den Materialien im Neuzustand fällt auf, dass der R-Wert dort auch nur deshalb bei etwa 2 lag, weil die Zellzahl auf dem nicht ausgerüstetem Material 3u (24 h) angestiegen war. Die Reduktion auf den nach Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern nach 24 Stunden um etwa 3 Log-Stufen (mit großer Streuung) ist möglicherweise wieder auf die Rückstände des Desinfektionsmittels aus der Alterungsprozedur zurückzuführen.

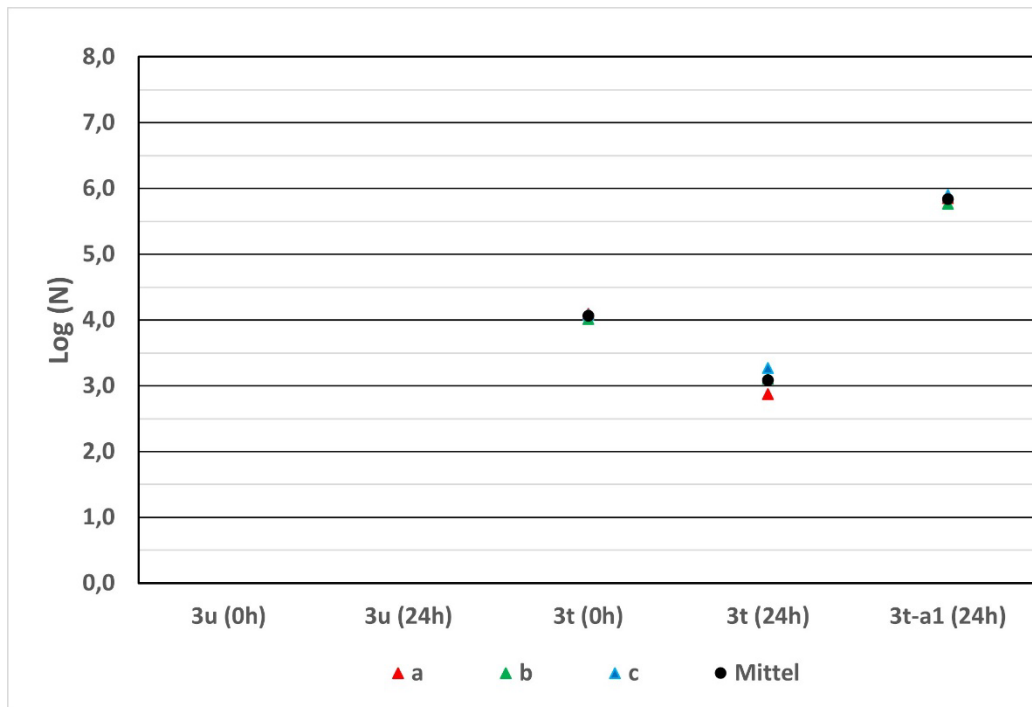


Abbildung 18 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 3 nach Alterung 1 im Wiederholungsansatz.

Um die obigen Ergebnisse zu verifizieren wurde der Versuchsansatz (ebenfalls mit der Formulierung 1) wiederholt. Nach 24 Stunden zeigte sich eine Reduktion gegenüber 3t (0 h) um etwa 1 log-Stufe. Auf den nach Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern zeigte sich nach 24 Stunden (3t-a1 (24 h)) ein Anstieg der Bakterienzahl gegenüber 3t (24 h) um etwa 3 Log-Stufen, Alterungsprozedur 1 hob die antibakterielle Wirkung damit auf. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den bereits dargestellten Ergebnissen bei Material 3.

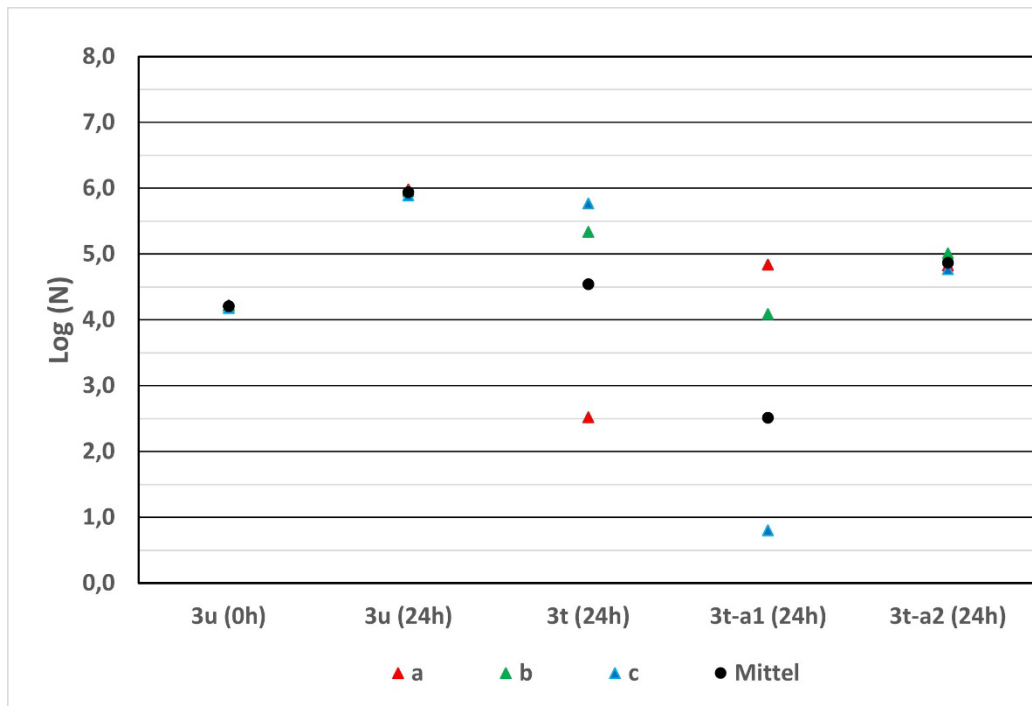


Abbildung 19 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 3 nach Alterung 1 und 2

Ab diesem Versuchsansatz wurde das Material 3 mit der Formulierung 2 verwendet. Außerdem wurde vom Hersteller darauf hingewiesen, dass die Wirksamkeit des Materials nach einer Vorinkubation, bei der die Wirkstoffe aktiviert werden, am besten sei. Eine Vorinkubation der Probekörper ist laut Norm nicht vorgesehen, daher wurde bei diesem Versuchsansatz darauf verzichtet. Bei den nicht ausgerüsteten Probekörpern von Material 3 konnte nach 24 Stunden (3u (24 h)) ein Wachstum der Bakterienzahl um etwa 2 Log-Stufen beobachtet werden. Auf den ausgerüsteten Probekörpern (3t (24 h)) konnte eine Reduktion der Bakterienzahl gegenüber 3u (24 h) um etwa 1,5 Log-Stufen beobachtet werden, mit einer großen Streuung zwischen den einzelnen Probekörpern. Verglichen mit den Bakterienzahlen, auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern zum Zeitpunkt 0, ergab sich im Mittel dabei kaum ein Unterschied.

Auf den nach Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern (3t-a1 (24 h)) ergab sich eine Reduktion der Bakterienzahl gegenüber 3t (24 h) um etwa 1,5 Log-Stufen, auch mit einer großen Streuung zwischen den einzelnen Probekörpern. Es blieb unklar, was die große Streuung zwischen den Werten verursachte.

Auf den nach Alterungsprozedur 2 gealterten Probekörpern (3t-a2 (24 h)) wurde eine leichte Zunahme der Bakterienzahl gegenüber 3t (24 h) mit geringer Streuung beobachtet, ein Einfluss auf die Wirksamkeit des ausgerüsteten Materials gab es nicht.

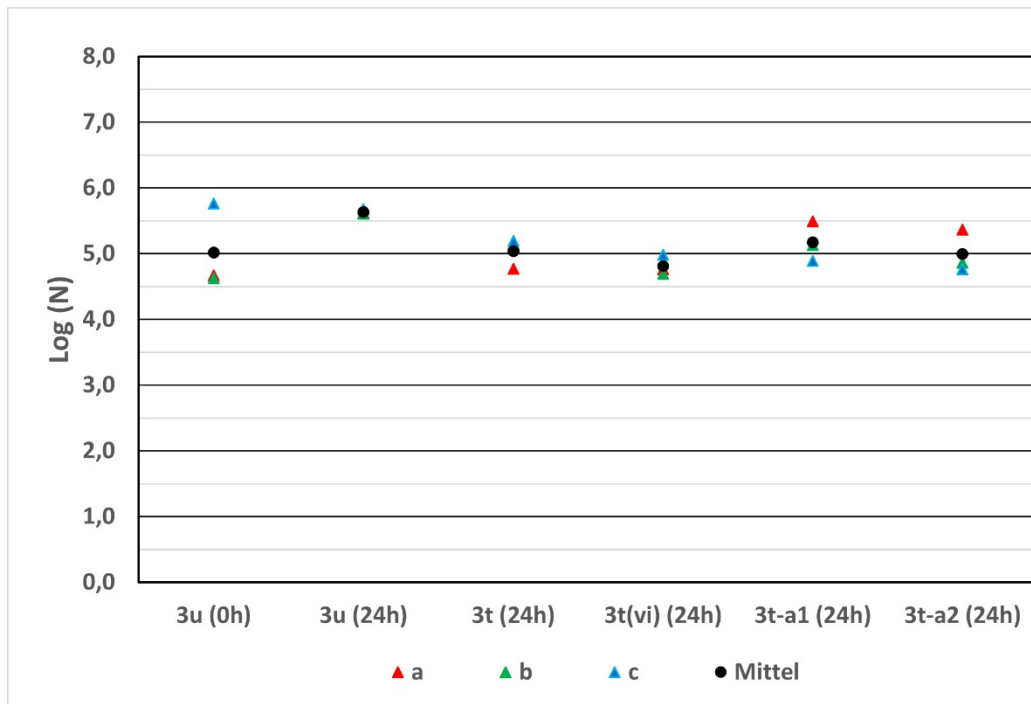


Abbildung 20 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 3 nach Alterung 1 und 2, sowie nach einer Vorinkubation, im Vergleichslabor

Bei einem Versuchsansatz in einem Vergleichslabor mit den identischen Materialien wurde ein Ansatz mit Vorinkubation (vi) mit untersucht. Bei diesem Versuchsansatz fanden sich auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern zum Zeitpunkt 0 (3u (0 h)) ungefähr 10^5 Zellen pro cm^2 und damit mehr als die Norm für einen validen Test vorgibt. Trotzdem sollten die gefundenen Zellzahlen betrachtet werden. Auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern gab es nach 24 Stunden (3u (24 h)) eine leichte Zunahme der Zellzahl gegenüber 3u (0 h). Auf den ausgerüsteten Probekörpern ohne Vorinkubation (3t (24 h)) gab es nur eine geringe Reduktion gegenüber 3u (24 h) von ungefähr einer halben Log-Stufe. Auch auf den ausgerüsteten Probekörpern mit Vorinkubation (3t(vi) (24 h)) gab es nur eine geringe Reduktion gegenüber 3u (24 h) von ungefähr einer halben Log-Stufe. Beide Varianten zeigen keine deutliche Wirksamkeit der antimikrobiellen Ausrüstung. Die beiden Alterungsprozeduren 1 und 2 (3t-a1 (24 h) und 3t-a2 (24 h)) zeigten keinen Einfluss auf die antimikrobielle Wirksamkeit.

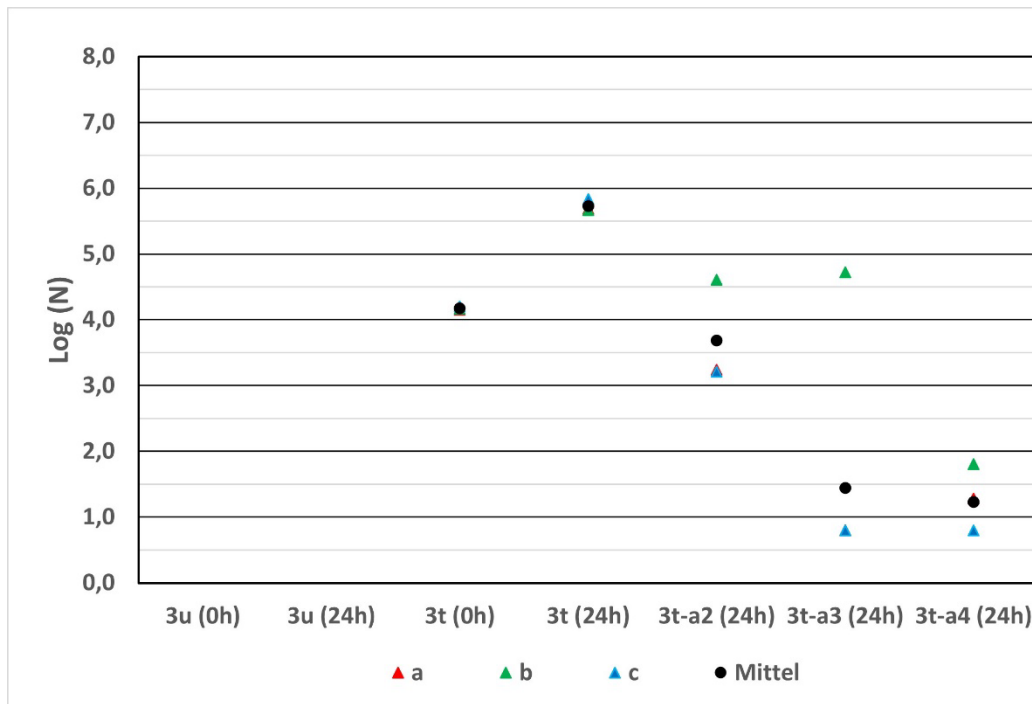


Abbildung 21 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 3 nach Alterung 2, 3 und 4

Bei einem weiteren Versuchsansatz zeigte sich auf den ausgerüsteten Probekörpern des Materials nach 24 Stunden (3t (24 h)) wieder ein Anstieg der Bakterienzahl im Vergleich zu 3t (0 h). Die Zellzahl nahm um 1,5 Log-Stufen zu.

Bei den mit Alterungsprozedur 2 gealterten Probekörpern (3t-a2 (24 h)) zeigte sich eine Reduktion der Bakterienzahl gegenüber 3t (24 h) um immerhin etwa 2 Log-Stufen, Alterungsprozedur 2 vergrößert demnach die antimikrobielle Wirkung. Bei den mit den Alterungsprozeduren 3 und 4 gealterten Probekörpern (3t-a3 (24 h) und 3t-a4 (24 h)) zeigte sich eine noch größere Reduktion der Bakterienzahl um etwa 4 Log-Stufen. Allerdings streuten die Werte der einzelnen Probekörper stark.

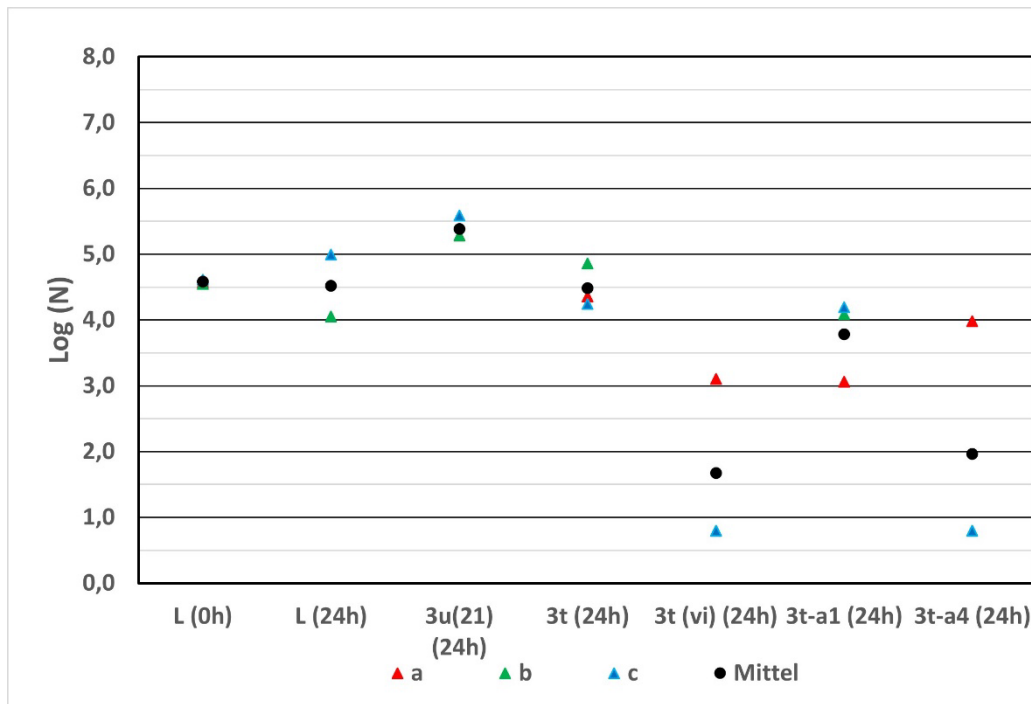


Abbildung 22 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 3 nach Alterung 1 und 4, sowie nach Vorinkubation und zusätzlichem Vergleichsmaterial im Vergleichslabor

Bei einem weiteren Versuchsansatz in einem Vergleichslabor wurde wieder ein Ansatz mit ausgerüstetem und vorinkubiertem Material (vi) mit untersucht, außerdem noch Leneta (L) (siehe 5.4), da vom nicht ausgerüsteten Material nur noch Proben aus einer Charge von 2021 vorhanden waren. Nach 24 Stunden war auf den ausgerüsteten Probekörpern (3t (24 h)) keine Reduktion zu Leneta zu erkennen. Im Vergleich zu den nicht ausgerüsteten Probekörpern (3u (24 h)) gab es eine geringe Reduktion um ungefähr eine Log-Stufe. Auf den ausgerüsteten Probekörpern mit Vorinkubation (3t(vi)(24 h)) kam es zu einer deutlicheren Reduktion der Bakterienzahl um ungefähr 3 Log-Stufen, allerdings mit großer Streuung. Auf den ausgerüsteten und nach Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern (3t-a1 (24 h)) fand im Vergleich zu den ausgerüsteten nicht gealterten Probekörpern (3t (24 h)) eine geringe Reduktion statt. Auf den ausgerüsteten und nach Alterungsprozedur 4 gealterten Probekörpern (3t-a4 (24 h)) fand im Vergleich zu den ausgerüsteten nicht gealterten Probekörpern (3t (24 h)) eine deutliche Reduktion um 2 Log-Stufen statt, aber ebenfalls mit großer Streuung der Einzelergebnisse.

Insgesamt wurden bei den Versuchsansätzen mit dem Material 3 so starke Schwankungen und Streuungen bei den Bakterienzahlen beobachtet, dass im Grunde keine belastbaren Aussagen möglich sind. Die Ursachen dafür konnten nicht geklärt werden. Möglicherweise gab es Vertauschungen bei den einzelnen Chargen bzw. Formulierungen.

Für eine weitere Interpretation des Einflusses der Alterung wurde Material 3 daher nicht weiter berücksichtigt.

Material 4

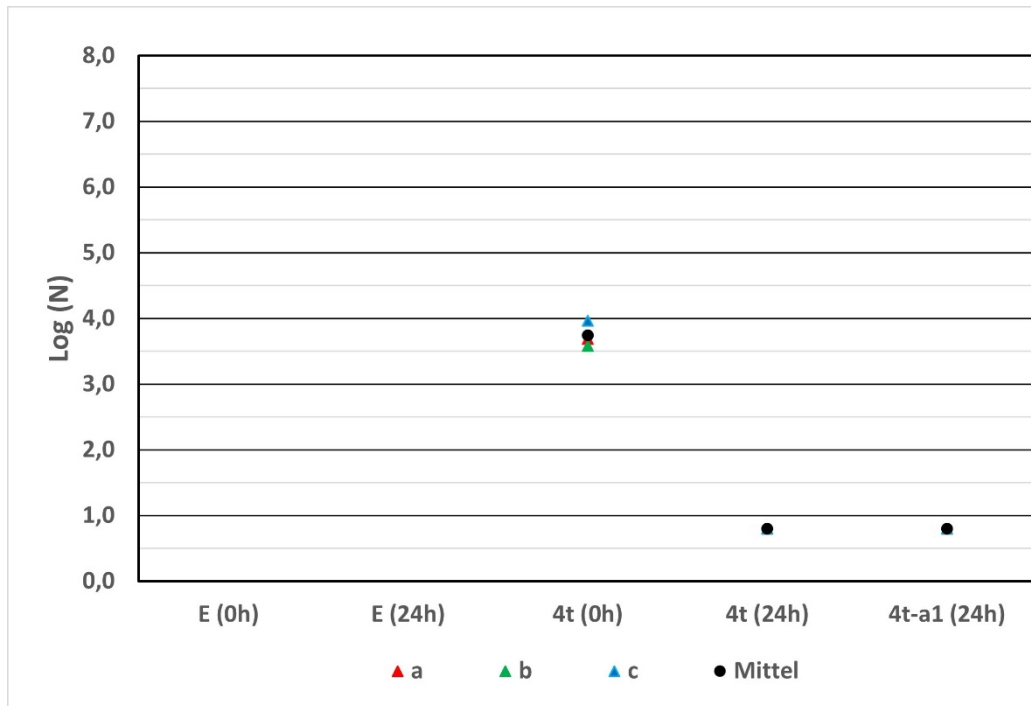


Abbildung 23 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 4 nach Alterung 1

Beim Material 4 konnte auf den ausgerüsteten Probekörpern nach 24 Stunden (4t (24 h)) eine Reduktion der Bakterienzahl gegenüber 4t (0 h) um etwa 3 Log-Stufen beobachtet werden. Eine gute antibakterielle Wirkung konnte bestätigt werden, wie sie auch schon bei der ersten Untersuchung der generellen Wirksamkeit der Ausrüstung festgestellt wurde. Bei den Probekörpern, die die Alterung nach Alterungsprozedur 1 durchlaufen hatten (4t-a1 (24 h)) zeigte sich keine Änderung gegenüber 4t (24 h).

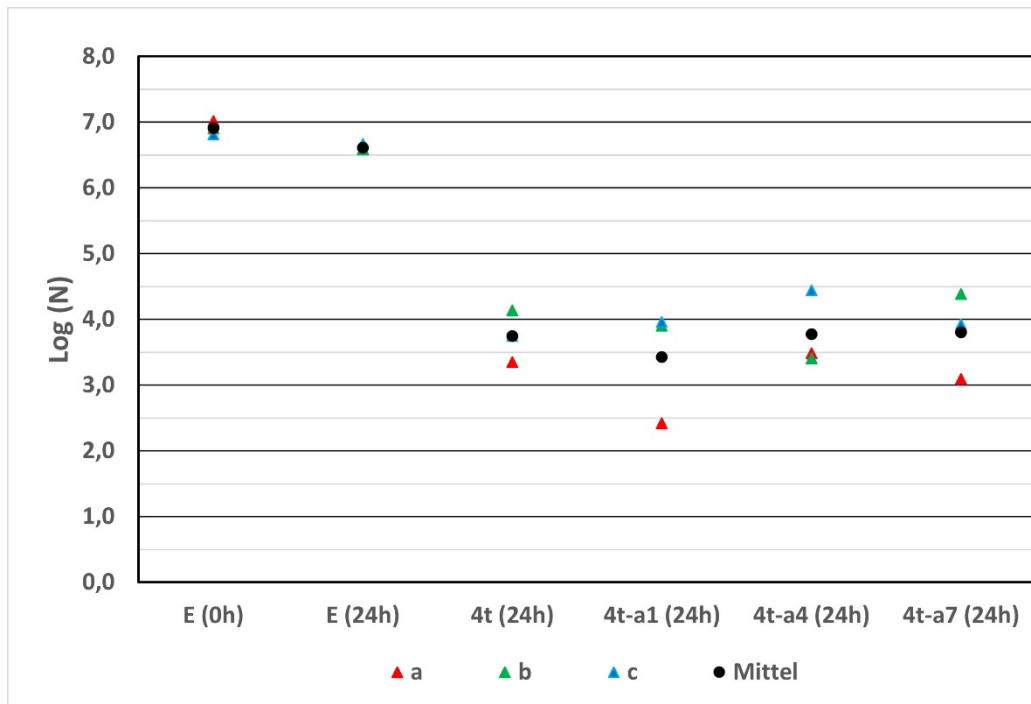


Abbildung 24 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 4 nach Alterung 1, 4 und 7

Bei dieser Untersuchung wurden zum Zeitpunkt 0 auf den Probekörpern des nicht ausgerüsteten Referenzmaterials Edelstahl E (0 h) ungefähr 10^7 Bakterienzellen pro cm^2 festgestellt. Damit war die Anforderung der Norm für einen validen Test nicht erfüllt, da die Bakterienzahl zu hoch war. Nach 24 Stunden war auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern E (24 h): kein Rückgang der Bakterienzahlen erkennbar. Nach 24 Stunden konnte entsprechend der oberen Untersuchung trotz der hohen Ausgangsbakterienzahlen auf den ausgerüsteten Probekörpern (4t (24 h)) wieder eine Reduktion gegenüber E (24 h) um etwa 3 Log-Stufen, beobachtet werden. Auf den Probekörpern, die nach Alterungsprozedur 1 gealtert wurden (4t-a1 (24 h)) veränderte sich die Bakterienzahl kaum im Vergleich zur den nicht gealterten Probekörpern (4t (24h)). Auf den Probekörpern, die mit den Alterungsprozeduren 4 und 7 gealtert wurden (4t-a4 (24 h) und 4t-a9 (24 h)), zeigten die Bakterienzahlen vergleichbare Werte wie bei Alterungsprozedur 1. Die verschiedenen Alterungsprozeduren hatten bei diesem Material keinen deutlichen Effekt auf die Wirksamkeit der antimikrobiellen Ausrüstung.

Material 5

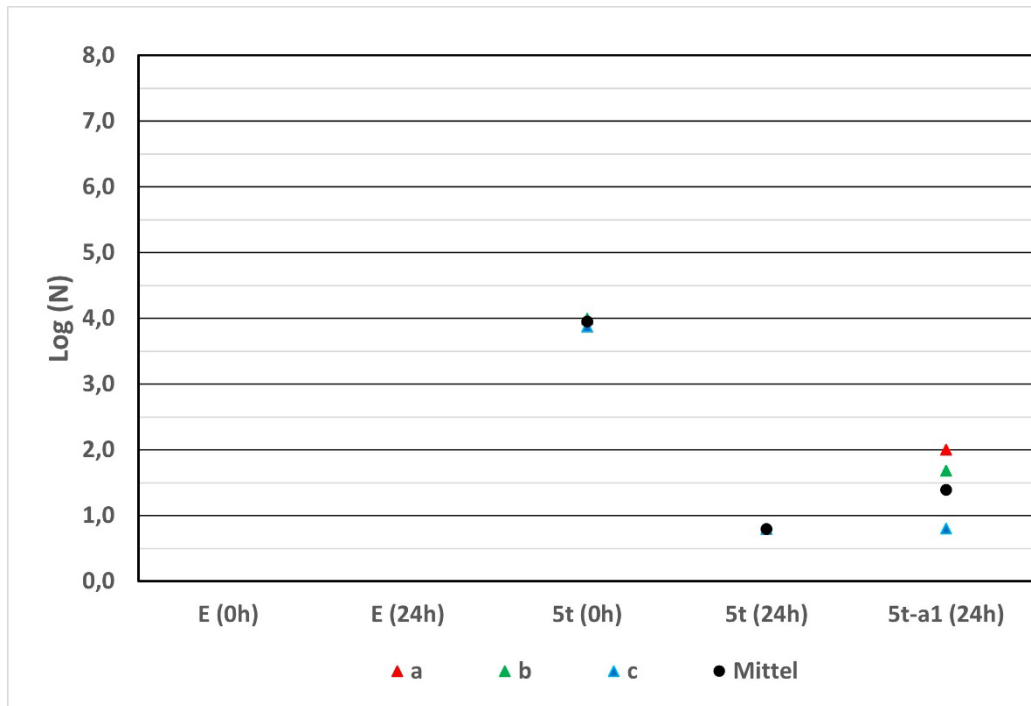


Abbildung 25 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 5 nach Alterung 1

Beim Material 5 konnte wieder die gute antibakterielle Wirkung des ausgerüsteten Materials bestätigt werden. Nach 24 Stunden gab es auf den ausgerüsteten Probekörpern (5t (24 h)) wieder eine Reduktion gegenüber 5t (0) um etwa 3 Log-Stufen. Auf den nach Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern (5t-a1 (24 h)) zeigte sich ein leichter Anstieg gegenüber 5t (24 h). Bei Material 5 hatte die Alterungsprozedur 1 nur einen geringen Einfluss auf die antimikrobielle Wirkung.

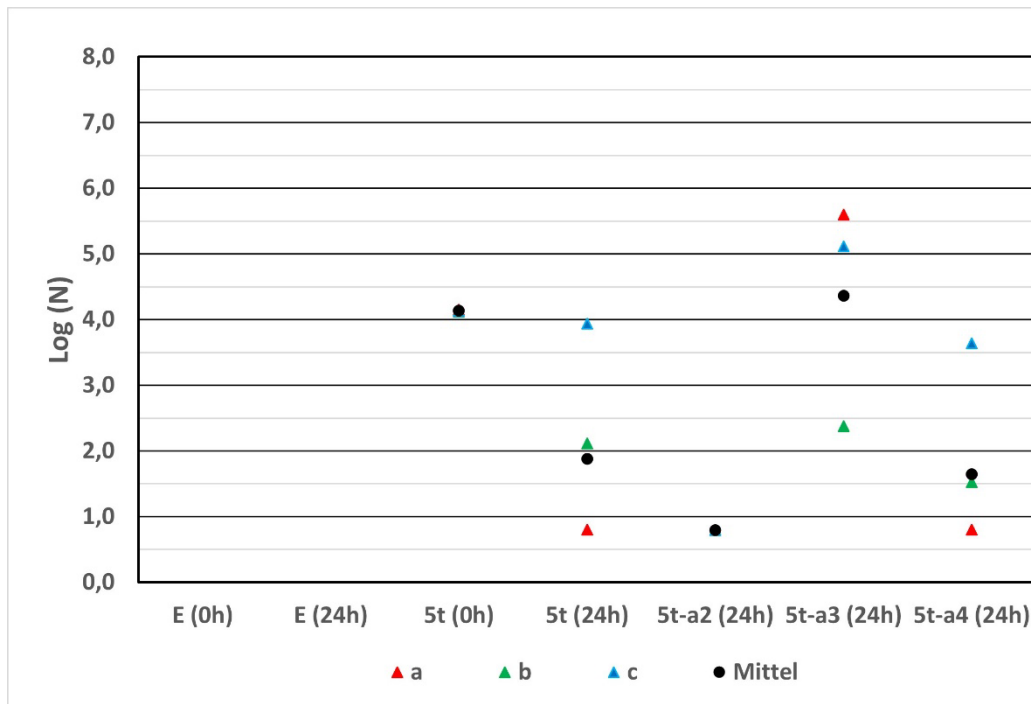


Abbildung 26 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 5 nach Alterung 2, 3 und 4

Bei dieser Untersuchung zeigte sich auf den ausgerüsteten Probekörpern nach 24 Stunden (5t (24 h)) wieder eine Reduktion gegenüber 5t (0 h), allerdings im Mittel nur um etwa 2 Log-Stufen und mit einer großen Streuung zwischen den einzelnen Probekörpern. Die Ursache hierfür konnte nicht ermittelt werden. Auf den Probekörpern, die mit Alterungsprozedur 2 gealtert wurde (5t-a2 (24 h)) zeigte sich eine Reduktion gegenüber 5t (24 h) um etwa 1 Log-Stufe, Alterung 2 verstärkte in diesem Fall die antibakterielle Wirkung. Im Gegensatz dazu hob Alterungsprozedur 3 die antimikrobielle Wirkung auf. Auf diesen Probekörpern (5t-a3 (24 h)) konnte ein Anstieg der Bakterienzahl gegenüber 5t (24 h) um 2,5 Log-Stufen beobachtet werden. Allerdings war auch hier die Streuung groß. Bei Alterungsprozedur 4 (5t-a4 (24 h)) war kein erkennbarer Einfluss auf die antimikrobielle Wirkung feststellbar, es gab keinen deutlichen Unterschied gegenüber 5t (24), aber auch hier war die Streuung groß.

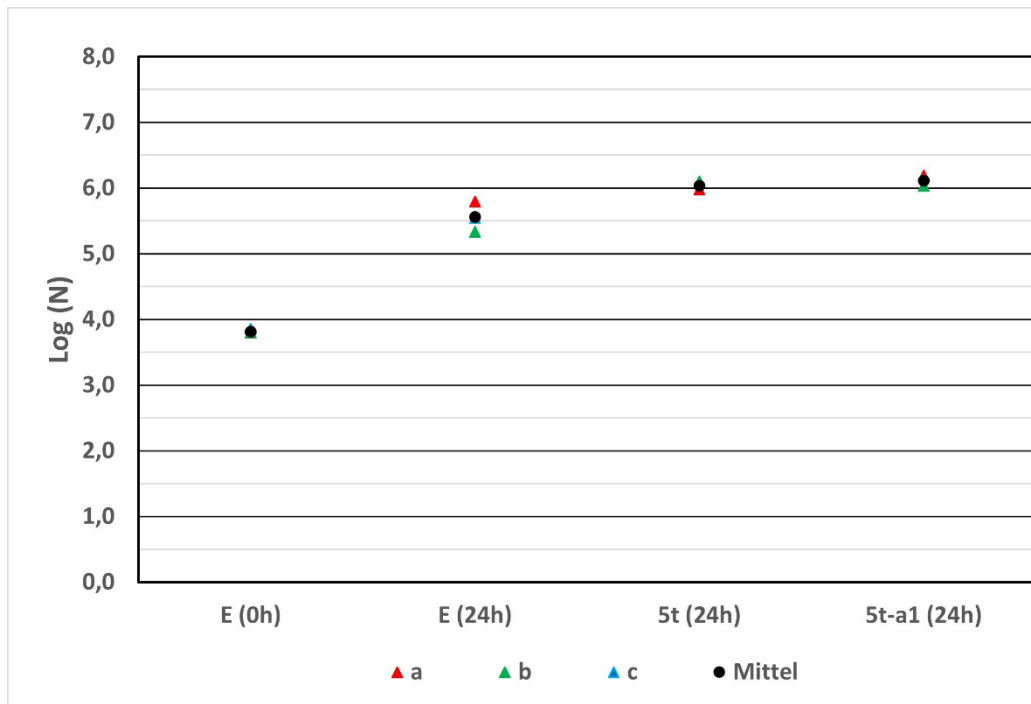


Abbildung 27 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 5 nach Alterung 1

Bei dieser Untersuchung kam es nach 24 Stunden wieder zu einem Anstieg der Bakterienzahl auf der Referenz gegenüber E (0 h) um etwa 2 Log-Stufen, die Streuung zwischen den einzelnen Proben war dabei gering. Auf den antimikrobiell ausgerüsteten Probekörpern (5t (24 h)) zeigte sich diesmal sogar geringer Anstieg der Bakterienzahl gegenüber E (24 h); eine antimikrobielle Wirkung war nicht nachweisbar. Auch zeigte sich bei den nach Alterungsprozedur 1 gealterten Probekörpern (5t-a1 (24 h)) kein deutlicher Unterschied gegenüber 5t (24). Um dieses Phänomen aufzuklären, wurden die Proben zusätzlich im Vergleichslabor untersucht (siehe Abbildung 28).

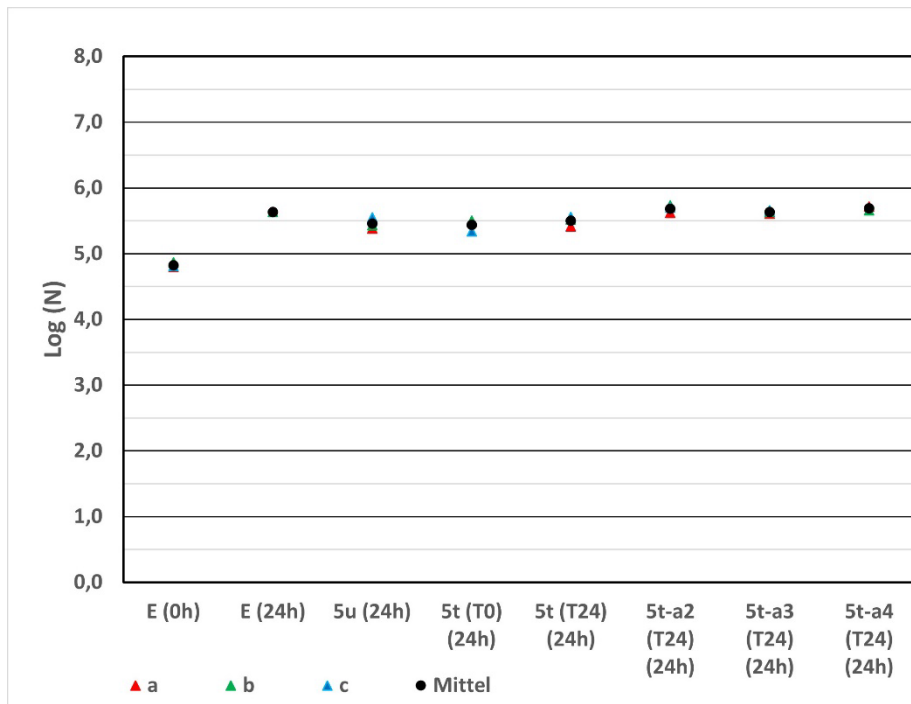


Abbildung 28 Bestimmung der antimikrobiellen Wirksamkeit von Material 5 nach Alterung 2,3 und 4 im Vergleichslabor

Für Wiederholungsmessung im Vergleichslabor stand keine ausreichende Anzahl an frischen Probekörpern zur Verfügung. Daher wurden die Proben, die in der Untersuchung in Abbildung 26 verwendet wurden mit Isopropanol gereinigt/desinfiziert. Diese Proben wurden anschließend an das Vergleichslabor zur Wiederholungsmessung übermittelt. Die Angaben (T0) bzw. (T24) beziehen sich auf die Probenomenklatur in der Untersuchung entsprechend Abbildung 26.

Bei der Wiederholungsmessung im Vergleichslabor (Nachmessung zur Untersuchung aus Abbildung 26), befanden sich auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern zum Zeitpunkt 0 (E (0 h)) ungefähr 10^5 Zellen pro cm^2 und damit mehr als die Norm für einen validen Test vorgibt. Auch hier gab es nach 24 Stunden einen Anstieg der Bakterienzahl auf den nicht ausgerüsteten Probekörpern (E (24 h)), wenn auch nur um ungefähr eine Log-Stufe. Auch bei dieser Untersuchung im Vergleichslabor war weder bei den ausgerüsteten, nicht gealterten Probekörpern (5t(T0) (24 h); 5t(T24) (24 h)) noch bei den ausgerüsteten, gealterten Probekörpern (5t-a2(24 h); 5t-a3(24 h); 5t-a4(24 h)) eine antimikrobielle Wirkung vorhanden.

6.2 Interpretation

Abschließend soll Tabelle 13 einen Überblick geben über den Einfluss der Alterungsprozedur auf die antibakterielle Wirkung der Materialien. Durch die bei Material 3 aufgetretenen widersprüchlichen Ergebnisse ist Material 3 hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt, wird aber nicht weiter betrachtet.

Alterungsprozedur 1 hatte keinen Einfluss auf die antibakterielle Wirksamkeit der Materialien bzw. wäre hier noch abzuklären, ob die teilweise sehr geringen Bakterienzahlen durch Reste des Desinfektionsmittels vom Typ eines Sauerstoffabspalters verursacht werden. Bei Alterungsprozedur 2 und 3 konnte ein Einfluss weder ausgeschlossen noch bestätigt werden. Alterungsprozedur 4 und 6 zeigten einen eindeutigen Einfluss auf die antibakterielle Wirkung von Material 1; diese Alterungsprozeduren hoben die Wirkung quasi auf. Alterungsprozedur 4 hatte bei den übrigen Materialien keinen Einfluss auf die Wirkung. Die Alterungsprozeduren 5 und 7 zeigten bei den untersuchten Probekörpern keinen Einfluss auf die Wirksamkeit.

Tabelle 13 Einfluss der Alterungsprozeduren (AP) auf die antibakterielle Wirkung der Materialien

Material	AP 1	AP 2	AP 3	AP 4	AP 5	AP 6	AP 7
1	unklar	-	-	ja, hebt Wirkung auf	nein	ja, hebt Wirkung auf	-
2	nein	-	-	nein	-	-	nein
3	unklar	unklar	unklar	unklar	-	-	-
4	nein	-	-	nein	-	-	nein
5	nein	unklar	unklar	nein	-	-	-

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in diesem Projekt die Alterungsprozeduren 4 und 6 einen eindeutigen Einfluss auf die antibakterielle Wirkung eines ausgerüsteten Materials haben und diese sogar aufheben können. Bei diesen Alterungsprozeduren handelte es sich um Korrosion mit SO₂ und Bewitterung mit UV-Licht und erhöhter Temperatur und Feuchte. Die Ergebnisse der übrigen Alterungsprozeduren, die Korrosion im Salzsprühnebel sowie verschiedene Arten der Reinigung und Desinfektion umfassen, haben keinen oder nur einen unklaren Effekt, was bedeutet, dass es bei den verschiedenen Versuchsansätzen zu unterschiedlichen Ergebnissen kam.

7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

7.1 Bestimmung der antimikrobiellen Aktivität

7.1.1 Generelle Beobachtungen

Im Verlauf des Vorhabens wurden Schwachstellen der ISO 22196 deutlich, die die Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen, die in unterschiedlichen Laboratorien erzielt werden, erschweren. Auf diese Problematik weisen z. B. auch Wiegand [58] und Cunliffe [59] hin. Außerdem stellten sich teilweise die Untersuchungsbedingungen für die zu bearbeitende Fragestellung als nicht realistisch heraus.

Während des Forschungsvorhabens wurde, wie z. B. auch von Wiegand [58] und Cunliffe [59] beschrieben, eine große Streuung bei den wiedergefundenen Bakterienzahlen beobachtet. Letztendlich handelte es sich nicht um die zu Anfang des Forschungsvorhabens angenommene „einfache“ Vergleichsprüfung und bestehen Zweifel an der Eignung der ISO 22196 zur Bestimmung der antimikrobiellen Wirkung von Bauelementen, insbesondere nach Materialalterungen. Die Norm scheint für die Prüfung von Materialien besser geeignet zu sein, die ständig einem sehr feuchten oder nassen Milieu ausgesetzt sind wie z. B. Implantate oder Katheter.

Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen, die in unterschiedlichen Laboratorien ermittelt wurden

Die Norm beschreibt keine Vorbehandlung oder Vorkonditionierung der Probekörper. Diese wird von manchen Laboratorien aber vorgenommen und kann das Untersuchungsergebnis beeinflussen.

Bei Probekörpern, von denen keine nicht ausgerüsteten Varianten existieren (z. B. massive Metalllegierungen) sind die Laboratorien bzw. deren Auftraggeber frei in der Materialauswahl für die Referenz-Probekörper. Da die Wirksamkeit der ausgerüsteten Oberfläche immer in Relation zur Referenz beschrieben wird, können hier große Unterschiede auftreten, je nachdem wie stark die nicht ausgerüstete Referenz bewachsen wird.

Inkubationsbedingungen

Die in der Norm beschriebenen Inkubationsbedingungen bilden die gängigen Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, ggf. Niederschlag oder natürliche UV-Strahlung), denen Oberflächen im oder am Gebäude ausgesetzt sind, nicht realistisch ab.

Die Inkubation der Oberfläche unter einer Folie ist zwar dem Wachstum von Mikroorganismen und gleichzeitig der Freisetzung von Wirkstoffen förderlich, in der realen Einbausituation sind die Oberflächen aber meist kühler und trockener.

Die Inkubationszeit von 24 Stunden ist für die Beurteilung der antimikrobiellen Wirksamkeit von häufig berührten Oberflächen nicht aussagekräftig. Die antimikrobielle Wirkung soll die Übertragung von Keimen von einer Person auf die nächste verhindern oder die übertragene Erregermenge im Vergleich zu einer nicht ausgerüsteten Oberfläche deutlich verringern. Um diese Wirkung quantifizieren zu können, wäre es wichtig, die kinetischen Aspekte der Wirksamkeit (wie schnell ist die antimikrobielle Wirkung) zu betrachten. Eine derartige Betrachtung ist in der Norm nicht vorgesehen.

Die lange Inkubationszeit lässt auch keine Aussage darüber zu, wie lange die antimikrobielle Wirkung anhält. Bricht die Wirksamkeit bereits nach wenigen Stunden ein, wurden aber innerhalb dieser Zeit alle Bakterien inaktiviert, so ist das nicht vom Verhalten einer Oberfläche zu unterscheiden, deren Wirkung über den gesamten Zeitraum anhält.

Materialeigenschaften

Desinfektionsmittel, insbesondere quartäre Ammoniumverbindungen könnten nach einer Wischdesinfektion an der Probekörper-Oberfläche haften bleiben und eine antibakterielle Wirkung des Materials vortäuschen.

Nach Angaben der Hersteller werden Mikrosilberpartikel üblicherweise mit einer glasartigen hydrophilen Umhüllung versehen. Diese glasartige Matrix soll nach Herstellerangaben Feuchte aus Schweiß, Luft und Regen binden und dadurch die Freisetzung der Silberionen verbessern. An dieser Matrix kann aber u. U. auch das Desinfektionsmittel adsorbieren, was in der Prüfung zu einem antibakteriellen Effekt führt, der aber vom adsorbierten Desinfektionsmittel und nicht vom ausgerüsteten Material selbst herrührt.

7.1.2 Empfehlungen für die Überarbeitung des Prüfverfahrens

Hinsichtlich der Überprüfung der antimikrobiellen Aktivität von glatten, nicht porösen Materialien sollte eine Überarbeitung oder Präzisierung der Norm in Betracht gezogen werden, die die Auswahl eines Referenzmaterials, kinetische Aspekte, Inkubationsbedingungen und die Probenanzahl berücksichtigt. Es ist zu überlegen, wie die Prüfbedingungen praxisnäher und reproduzierbarer gestaltet werden könnten. Gleichlautende Forderungen werden auch durch die Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH) und den Verbund für angewandte Hygiene (VAH) [4] erhoben.

- Wird Mikro- oder Nanosilber als antimikrobieller Wirkstoff eingesetzt, kann von den Herstellern meist ein nicht ausgerüstetes Referenzmaterial zur Verfügung gestellt werden. Bei Probekörpern aus massiven Metalllegierungen ist das nicht der Fall. Wie bereits beschrieben hat die Auswahl des Referenzmaterials aber einen Einfluss auf die Bestimmung der Aktivität der gealterten und nicht gealterten Probekörper. Daher sollte in einem

angepassten Verfahren das Referenzmaterial (z. B. eine bestimmte Edelstahllegierung oder Glas) vorgegeben werden. Ein einheitliches Referenzmaterial, das bei allen Versuchen verwendet wird, könnte zur Kontrolle eingesetzt werden, ob zuverlässig „gleiches“ Bakterienwachstum stattfindet. Zum Beispiel könnten Objektträger aus Glas benutzt werden.

- Um die Kinetik der Wirkung nachvollziehen zu können, sollten abgestufte Inkubationszeiten vorgegeben werden. Wenn die Beimpfung mit Bakteriensuspension und Folienabdeckung durchgeführt wird, könnten verschiedene Inkubationszeiten (z. B. 1 Stunde, 6 Stunden oder 12 Stunden) untersucht werden, die z. B. den Reinigungszyklen in einem Krankenhaus entsprechen.
- Auch andere Beimpfungsmethoden wie die Verwendung von bakterienhaltigem Aerosol [61], Wiederfindungsmethoden wie Abklatschproben oder die Verwendung von Swabs [62] werden diskutiert. Je nach Einsatzbedingungen der Bauelemente könnten im Prüfverfahren trockenere, kühlere (Raumtemperatur) und hellere Bedingungen gewählt werden. Allerdings muss dabei die Auswirkung des Austrocknens und der UV-Strahlung getrennt von einer antimikrobiellen Wirkung eines Materials bei der Bestimmung der Bakterienzahlen berücksichtigt werden.
- Die Anzahl der Probekörper ist für eine statistisch gesicherte Aussage zu gering. Um statistisch besser belastbare Ergebnisse zu erhalten, sollten mehr Probekörper (mindestens 6) getestet werden. Da dies den Arbeitsaufwand erheblich erhöht, wäre eine automatisierte Beprobung sehr hilfreich. Diese sollte in der Verfahrensbeschreibung festgelegt werden.
- Auch andere Prüfverfahren könnten (ergänzend) eingesetzt werden wie zum Beispiel der Certika Proliferationstest [63] bei dem die Fähigkeit von Materialoberflächen, die Vermehrung von Mikroorganismen und Keimen an der Oberfläche zu verhindern, gemessen wird und bei dem ein hoher Probendurchsatz möglich ist. Aufgrund der geringen Größe der Prüfkörper (ca. 7 x 4 mm) sind Alterungen des Materials allerdings nur bedingt möglich. Auch die Verwendung von Abklatschproben zur Wiederfindung von aufgeimpften Bakterien wäre möglich.
- Es ist zu überprüfen, ob die in der Norm erwähnten Testkeime für das Anwendungsszenario „häufig berührte Oberflächen inner- und außerhalb eines Gebäudes“ richtig gewählt sind, oder ob andere Testkeime empfohlen werden sollten.
- Um einen Nutzen der antimikrobiell ausgerüsteten Oberflächen in der Realität nachzuweisen, sollten außerdem ergänzend Feldstudien durchgeführt werden wie sie z. B. von Schwarzkopf [64] durchgeführt und von Bäumlner [65] vorgeschlagen wurden.

7.1.3 Begleitende Materialcharakterisierungen

Allgemein wäre ein besseres Verstehen der Mikrostruktur der Probekörper wünschenswert, um Stärken und Schwächen besser zu erkennen, und gezielt auf Dauerhaftigkeit zu prüfen – dafür ist eine engere Kooperation mit Herstellern notwendig. So wären z. B. Informationen über die Einbettung der Mikrosilberpartikel in eine glasartige Phase wichtig. Begleitend zu den mikrobiologischen Untersuchungen ist es sinnvoll auch andere analytische Methoden zur Charakterisierung der Materialoberfläche und der Freisetzung der antimikrobiell wirkenden Stoffe heranzuziehen wie zum Beispiel:

- Analytische Methoden wie Voltammetrie oder ICP-MS, um die Wirkstoffkonzentration von Silber- oder Kupferionen vor und nach Alterung im Eluat (z. B. künstlicher Schweiß) zu bestimmen.
- Nachweis von Desinfektionsmittelrückständen auf Probekörpern (auf Oberfläche, in glasartiger Matrix) mittels Spektroskopie (IR, UV/VIS, ATR, Raman)
- Strukturelle Veränderungen der Probekörperoberfläche mittels Auflichtmikroskopie, REM, oder REM-EDx

7.2 Künstliche Alterung

7.2.1 Generelle Empfehlungen

Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine zeitraffende Vorgehensweise zu erarbeiten, die die in der Realität auftretenden Belastungen eines Bauelementes (mechanisch, chemisch, thermisch, etc.) simuliert, um die Leistungseigenschaft der Dauerhaftigkeit einer antimikrobiellen Ausstattung in standardisierter Form nachweisen zu können. Im Verlaufe des Forschungsvorhabens hat sich allerdings sowohl aus der Literaturrecherche als auch aus experimentellen Untersuchungen ergeben, dass es keine „one size fits all“-Lösung für die künstliche Alterung von antimikrobiell ausgestatteten Bauelementen bzw. Probekörpern gibt (s. a. 4.1 und 4.2.1). Die Alterung sollte in Abhängigkeit von den spezifischen Materialeigenschaften eines Bauelementes (bzw. Probekörpers) und den Anwendungsbedingungen des Bauelementes zusammengestellt werden. Idealerweise liegen detaillierte Informationen über die Art und Mikrostruktur der Werkstoffe vor. Als Beispiel sei hier nur auf die bereits in den Kapiteln 3.2 und 7.1.3 erwähnte glasartige Matrix verwiesen, die nach Herstellerangaben Mikrosilberpartikel umhüllt. Diese Matrix könnte u.U. Desinfektionsmittelreste speichern und eine höhere antibakterielle Aktivität vortäuschen, als sie von dem eigentlichen Wirkstoff Mikrosilber erzeugt würde.

Auch detaillierte Kenntnisse der Anwendungsbedingungen sind wünschenswert, um zum Beispiel den Grad einer korrosiven oder abrasiven künstlichen Alterung an die reale Belastung anpassen zu können. Die jeweilige Produktnorm kann dabei der Orientierung dienen. Dies soll am Beispiel von Türdrückern und Türknaufen gemäß EN 1906 erläutert werden:

Die Norm definiert die Anforderungen hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit (s. a. 4.2.3): Türdrücker und -knäufe für den Einsatz in Innenräumen sollen mindestens die Anforderungen der Klasse 1 gemäß EN 1670 erfüllen, Türdrücker und -knäufe für die Außenanwendung mindestens die der Klasse 3. Mit diesen Klassenzuordnungen sind die Beanspruchungsdauern im Salzsprühnebeltest nach EN ISO 9227 festgelegt, für Klasse 1 24 Stunden und für Klasse 3 96 Stunden. Diese Prüfbedingungen können direkt auf eine künstliche Alterung zur Ermittlung der Dauerhaftigkeit antimikrobieller Aktivität übernommen werden.

Des Weiteren unterscheidet die Produktnorm EN 1906 zwei Klassen hinsichtlich der Betätigungshäufigkeit von Türdrückern und -knäufen: mittlere Betätigungshäufigkeit entsprechend 100.000 Prüfzyklen und hohe Betätigungshäufigkeit entsprechend 200.000 Prüfzyklen (s. a. 4.2.5). Diese Parameter können übernommen werden, um die Anzahl der Abriebzyklen in einem Abriebtest festzulegen. Als Alternative kann man die geschätzte Reinigungs- bzw. Desinfektionshäufigkeit von Bauelementen heranziehen, um eine sinnvolle Anzahl von Wischzyklen im Abriebtester zu definieren (s. a. 4.2.5).

Eine künstliche Alterung kann Artefakte produzieren. Zu Anfang dieses Kapitels wurde bereits erwähnt, dass eine die Mikrosilberpartikel-umhüllende Glasmatrix u. U. Desinfektionsmittelreste speichern und dadurch eine erhöhte antibakterielle Aktivität vortäuschen kann (s. a. 4.2.1 und 7.1.1).

Letzteres kann auch durch das Anhaften von quartären Ammoniumverbindungen (aktiver Inhaltsstoff von einigen Desinfektionsmitteln) an der Oberfläche von Probekörpern geschehen (s. a. 4.2.1). So könnte z. B. die antibakterielle Wirkung eines Probekörpers durch die Einwirkung von Bewitterung, Korrosionsmedien oder aggressivem Schweiß tatsächlich aufgehoben werden, nur um anschließend durch das Anhaften von quartären Ammoniumverbindungen aus einem Desinfektionsmittel wieder vorgetäuscht zu werden. Durch die gleichzeitige Alterung und mikrobiologische Prüfung von nicht- antimikrobiell ausgestatteten, aber ansonsten gleichartigen, Probekörpern sollten sich Artefakte durch Desinfektionsmittelreste aufspüren lassen.

Obwohl im Rahmen dieses Forschungsvorhaben kein Einfluss von Reinigung bzw. Desinfektion festgestellt werden konnte, können chemische Wechselwirkungen mit Reinigungs- sowie Desinfektionsmitteln nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Die Reinigungsprozeduren sollten auf das Material zugeschnitten sein und auf den Vorgaben der Hersteller hinsichtlich des geplanten Anwendungsbereichs basieren. Ebenso ist die Belastung durch UV-Strahlung und Bewitterung zu berücksichtigen.

Eine künstliche Alterung darf keine Komponenten enthalten, die nicht auch Teil der natürlichen Alterung sind, denn das Auftreten von Artefakten könnte begünstigt werden. Artefakte und Wechselwirkungen von Alterungen können auftreten, aber sie müssen nicht auftreten. Auf jeden Fall sollte ihr mögliches Auftreten bei der Planung und Auswertung einer Dauerhaftigkeitsstudie Berücksichtigung finden. U.U. kann es sinnvoll sein, die Wirkung von Alterungsmodulen einzeln oder auch in verschiedenen Reihenfolgen zu betrachten, um ggf. Wechselwirkungen und Artefakte zu entdecken bzw. zu vermeiden. Dem entgegen steht allerdings der vermehrte experimentelle Aufwand.

Um zu ermitteln, ob die Alterung an sich eine antimikrobielle Aktivität verursachen kann, sollten auch nicht ausgerüstete Probekörper die Alterungsprozeduren und den Test auf antimikrobielle Wirksamkeit nach der ISO 22196 durchlaufen.

Aufwand und Kosten sprechen grundsätzlich auch gegen in-situ Untersuchungen. Trotzdem sollten diese je nach Gefährdungspotential der jeweiligen Anwendung (z. B. Türknauf an einem öffentlichen Gebäude vs. OP-/Intensiv-Bereich eines Krankenhauses) in Erwägung gezogen werden. So könnten in einem Bereich mit hohem Gefährdungspotential regelmäßig über mehrere Jahre mikrobiologische Abstriche genommen werden, um den zeitlichen Verlauf der Keimbelastung darzustellen und die Wirkung antimikrobiell ausgestatteter Oberflächen nachzuweisen.

7.2.2 Vorschlag eines Alterungsprogrammes

Trotz der im vorigen Kapitel geäußerten Bedenken gegen ein festes, allgemeingültiges Alterungsprogramm soll ein Vorschlag präsentiert werden, der zumindest vorerst als Richtschnur dienen kann und in der Zukunft, wenn vielleicht mehr Erfahrungen mit einschlägigen Dauerhaftigkeitsstudien vorliegen, die Grundlage einer Prüfrichtlinie bilden könnte.

Basierend auf der Literaturstudie sowie den experimentellen Erfahrungen dieses Forschungsvorhabens wurde zunächst eine Klassifizierung der künstlichen Alterungen erarbeitet (Tabelle 14). Im Prinzip wurde aus den in Kapitel 4 aufgeführten Alterungsmodulen eine Auswahl getroffen, so dass die verschiedenen Belastungsarten (Bewitterung, Korrosion, Abrieb, etc.) abgebildet werden können und innerhalb jeder Belastungsart eine Graduierung nach der Schwere der Belastung gegeben ist. Außerdem soll durch die Auswahl die Anzahl der in der Laborpraxis anzuwendenden Module reduziert werden.

Den Modulen wurden Klassennummern zugewiesen. So lässt sich ein Alterungsprogramm mit einem fünfstelligen Klassifizierungsschlüssel kennzeichnen. Jede Stelle bezieht sich auf eine bestimmte Belastungsart. Der Wert jeder Stelle gibt die jeweilige Klasse bzw. das Alterungsmodul innerhalb der Belastungsart an.

- 1. Stelle Bewitterung
- 2. Stelle Korrosion
- 3. Stelle Einwirkung von Schweiß
- 4. Stelle Einwirkung von Reinigungs- / Desinfektionsmitteln
- 5. Stelle Abrieb

Tabelle 14 Vorschlag eines Klassifizierungsschlüssels für die künstlichen Alterung (Klassifizierungsmatrix)

Klas- se	Stelle 1 Bewitterung	Stelle 2 Korrosion	Stelle 3 Schweiß	Stelle 4 Reinigung / Desinfektion	Stelle 5 Abrieb
0	Keine Alterung	Keine Alterung	Keine Alterung	Keine Alterung	Keine Alterung
1	Bewittern mit UVA-340 0,83 W/(m ² *nm); sonst wie Klasse 2	Kondenswasser- beständigkeit: EN 1096-2 Anhang B, 14 Tage	Schweiß EN ISO 105- E04, pH 8,0 Verfahren mit saugfähigem Material EN ISO 2812- 3, 48 h	Reinigungsmittel nach Hersteller- auswahl Verfahren mit saugfähigem Material EN ISO 2812- 3, 48 h	Wie Klasse 2, aber 30.000 Wischzyklen
2	Bewittern mit UVA-351 (Globalstrahlung hinter Fensterglas) 0,76 W/(m ² *nm); alternierend: 4 h Bestrahlung, 4 h Kondensation 50°C EN ISO 4892 EN ISO 16474 1000 h	Neutrale Salzsprühnebelprüfung EN ISO 9227, 48 h	Schweiß EN ISO 105- E04, pH 5,5 Verfahren mit saugfähigem Material EN ISO 2812- 3, 48 h	Reinigungsmittel nach Hersteller- auswahl in Kombination mit Abrieb	Abriebstempel ca. 4 cm x (15 - 20) cm; umhüllt von Mikrofasertuch, getränkt mit Reinigungs- bzw. Desinfektionsmittel nach Hersteller- auswahl; Anpresslast 2-3 kg; zyklisches translatorisches Wischen; Wischgeschwindig- keit 30-50 cm/s; 60.000 Wischzyklen

Klas- se	Stelle 1 Bewitterung	Stelle 2 Korrosion	Stelle 3 Schweiß	Stelle 4 Reinigung / Desinfektion	Stelle 5 Abrieb
3	Temperaturwechse l u. Feuchte: -18°C bis 58°C 100 % rF Zykluszeit 12 h EN 1279-2 Wechselklima 1000 h	Neutrale Salzsprühnebelprüfung EN ISO 9227, 96 h	Schweiß ISO 9022, pH 2,3 Verfahren mit saugfähigem Material EN ISO 2812- 3, 48 h	Desinfektionsmittel nach Hersteller auswahl Verfahren mit saugfähigem Material EN ISO 2812- 3, 48 h	Wie Klasse 2, aber 120.000 Wischzyklen
4		Säurebeständigkeit in Schwefeldioxid gesättigter Atmosphäre EN 1096-2 Anhang C, 5 Zyklen		Desinfektionsmittel nach Hersteller- auswahl in Kombination mit Abrieb	

Der Klassifizierungsschlüssel (2-1-3-4-2), zum Beispiel, steht für folgendes Alterungsprogramm:

- 2: Bewitterung mit UVA-351, gefolgt von
- 1: Kondenswasserexposition, gefolgt von
- 3: Schweißexposition pH 2,3, gefolgt von
- 4: Desinfektionsmittel XY (vom Hersteller des Bauelementes ausgewählt) appliziert über
- 2: Abrieb, 60.000 Wischzyklen

Ein antimikrobiell ausgestattetes Produkt, dass sich nach dieser Alterung immer noch als antimikrobiell erweist (s. 7.1), kann als „dauerhaft antimikrobiell gemäß Klassifizierung (2-1-3-4-2)“ bezeichnet werden.

Die Klassifizierungsmatrix gemäß Tabelle 14 ist ein erster Ansatz; sie muss u. U. in der Zukunft modifiziert oder erweitert werden. Eventuell werden mehr Stellen oder mehr Klassen notwendig sein, oder die Parameter eines Moduls (einer Klasse) müssen angepasst werden. Dabei sollten die generellen Empfehlungen zur künstlichen Alterung (7.2.1), die Beobachtungen und Empfehlungen hinsichtlich der Bestimmung der antimikrobiellen Aktivität (7.1) sowie Vorgaben der jeweiligen Produktnorm berücksichtigt werden.

Eine künstliche Alterung für eine Anwendung im Innenraum mit potenzieller Empfindlichkeit des Bauelementes gegenüber UV-Bestrahlung (hinter Fensterglas) sowie moderater Belastung durch Korrosion und Schweiß könnte gemäß Klassifizierungsschlüssel (2-2-2-4-2) erfolgen:

1. Bewittern mit UVA 351; alternierend Bestrahlung und Kondensation
2. Einwirkung von neutralem Salzsprühnebel, 48 h
3. Einwirkung von Schweißsimulanz pH 5,5, 48 h
4. Einwirkung von Desinfektionsmittel (nach Herstellerempfehlung) über Abrieb mit 60.000 Wischzyklen

Dieses Alterungsprogramm sollte als möglicher Startpunkt gesehen und gegebenenfalls gemäß den voran gegangenen Ausführungen (Kap. 7.2) modifiziert werden.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Antimicrobial Coatings Market – Global trends and forecast from 2022 to 2029 EXACTITUDE CONSULTANCY, April 2023
<https://exactitudeconsultancy.com/de/reports/2582/antimicrobial-coatings-market/>
- [2] ISO 22196:2011-08
Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces
Beuth Verlag, Berlin
- [3] ISO 21702:2019-05
Measurement of antiviral activity on plastics and other non-porous surfaces
- [4] Antimikrobielle Oberflächen zur Infektionsprävention
VDI-Statusreport, April 2020
- [5] Smart surfaces to tackle infection and antimicrobial resistance
Imperial College London, Briefing Paper No 4, March 2020
- [6] EN ISO 4892
Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten
Teil 1, 2016-10: Allgemeine Anleitung
Teil 2, 2021-11: Xenonbogenlampen
Teil3, 2016-10: UV-Leuchtstofflampen
Beuth Verlag, Berlin
- [7] EN ISO 16474
Beschichtungsstoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten
Teil 1, 2014-03: Allgemeine Anleitung
Teil 2, 2022-11: Xenonbogenlampen
Teil3, 2021-04: UV-Leuchtstofflampen
Beuth Verlag, Berlin
- [8] ASTM F1980-99e1
Standard Guide for Accelerated Aging of Sterile Medical Device Packages
ASTM International, USA
- [9] EN ISO 9227:2023-03
Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären – Salzsprühnebelprüfungen
Beuth Verlag, Berlin
- [10] Antimicrobial polymers in solution and on surfaces: Overview and functional principles
Felix Siedenbiedel, Joerg C. Tiller; Polymers 2012; 4 (1): 46-71
- [11] Anforderungen an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen
Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO)
beim Robert Koch-Institut
Bundesgesundheitsbl 2022 · 65:1074–1115
Springer-Verlag GmbH Deutschland
- [12] Recent advances in metal-based antimicrobial coatings for high-touch surfaces
Martin Birkett et al.; Int. J. Mol. Sci. 2022, 23, 1162
- [13] Medical Uses of Silver: History, Myths, and Scientific Evidence
Serenella Medici et al.; J. Med. Chem. 2019, 62, 5923–5943
- [14] Silver as an antimicrobial: Facts and gaps in knowledge.
Jean-Yves Maillard, Philippe Hartemann; Critical Reviews in Microbiology, 2012; Early Online: 1–11
- [15] Silver nanoparticles: A new view on mechanistic aspects on antimicrobial activity
Nelson Durán et al.; Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 12 (2016) 789–799
- [16] Sulfidation of Silver Nanoparticles Decreases Escherichia coli Growth Inhibition
B. C. Reinsch et al.; Environ Sci Technol. 2012 Jul 3; 46(13):6992-7000

- [17] Antimikrobielle Wirksamkeit von Kupfer als Beitrag zur Infektionsprävention
Deutsches Kupferinstitut, Düsseldorf, 3. Aktualisierte Auflage, 2013
- [18] Copper-polymer nanocomposites: An excellent and cost-effective biocide for use on antibacterial surfaces
Laura Tamayo et al.; Materials Science and Engineering: C Volume 69, 1 December 2016, 1391-1409
- [19] The antimicrobial efficacy of copper alloy furnishing in the clinical environment: a crossover study
T J Karpanen et al.; Infect Control Hosp Epidemiol. 2012 Jan; 33(1):3-9
- [20] Copper Surfaces Reduce the Rate of Healthcare-Acquired Infections in the Intensive Care Unit
Cassandra D. Salgado et al.; Infect Control Hosp Epidemiol. 2013 May; 34(5):479-86
- [21] Review: Accelerated Climate Ageing of Building Materials, Components and Structures in the Laboratory
Bjørn Petter Jelle; Journal of Materials Science, September 2012, 47(18):6475-6496
- [22] Durability assessment of building materials exposed to atmospheric agents by testing in simulated environment
Jerzy Bochen; Architecture Civil Engineering Environment; No. 1/2013
- [23] Evolving requirements for accelerated testing of paints and coatings
Cynthia Challener; Coatings Xperience article on website of American Coatings Association; June 2023
- [24] Comparison Between Natural Weathering and Fluorescent UV Exposures
Technical Bulletin LU-8035; Q-Lab Corporation, 2011
- [25] The Myth of Reciprocity
Technical Article LW-6041; Q-Lab Corporation, 2011
- [26] Using the QUV to Simulate Behind Glass Exposures
Technical Bulletin LU-8007; Q-Lab Corporation, 2011
- [27] OUTDOOR WEATHERING MUST VERIFY ACCELERATED TESTING
Michael Crewdson, Q-Lab Weathering Research Service
Surface coatings International 91(5), October 2008
- [28] EN 1279-2:2018-10
Glas im Bauwesen - Mehrscheiben-Isolierglas -
Teil 2: Langzeitprüfverfahren und Anforderungen bezüglich Feuchtaufnahme
Beuth Verlag, Berlin
- [29] The mystery of physical ageing, part 3: Accelerated ageing tests
Michael Sepe; Materials 12/29/2014
- [30] EN ISO 2812
Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Flüssigkeiten
Teil 1, 2018-03: Eintauchen in Flüssigkeiten außer Wasser
Teil 2, 2019-03: Verfahren mit Eintauchen in Wasser
Teil 3, 2019-08: Verfahren mit einem saugfähigen Material
Beuth Verlag, Berlin
- [31] ISO 6270:2017-11
Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen Feuchtigkeit
Teil 1: Kondensation (einseitige Beanspruchung)
Teil 2: Kondensation (Beanspruchung in einer Klimakammer mit geheiztem Wasserbehälter)
Beuth Verlag, Berlin
- [32] EN 1906:2012-12
Schlösser und Baubeschläge - Türdrücker und Türknäufe - Anforderungen und Prüfverfahren
Beuth Verlag, Berlin
- [33] EN 13126-3:2023-04
Baubeschläge - Beschläge für Fenster und Fenstertüren - Anforderungen und Prüfverfahren -
Teil 3: Betätigungsgriffe, insbesondere für Drehkipp-, Kippdreh- und Drehbeschläge
Beuth Verlag, Berlin

- [34] Internationale Qualitätsrichtlinien für Beschichtung von Bauteilen
GSB AL 631-7 GSB ST 663-7; Mess- & Prüfverfahren, Normen und Richtlinien; Coated aluminium & Steel
GSB International e. V., Düsseldorf, Juli 2020
- [35] QUALICOAT Specifications 2021
Specifications for a quality label for liquid and powder coatings on aluminium for architectural
applications; Juli 2021
- [36] EN 1670:2007-06
Schlösser und Baubeschläge - Korrosionsbeständigkeit - Anforderungen und Prüfverfahren
Beuth Verlag, Berlin
- [37] EN ISO 22479:2022-08
Korrosion von Metallen und Legierungen - Prüfung mit Schwefeldioxid in feuchter Atmosphäre
(Verfahren mit festem Gasvolumen)
Beuth Verlag, Berlin
- [38] EN 1096-2:2012-04
Glas im Bauwesen - Beschichtetes Glas -
Teil 2: Anforderungen an und Prüfverfahren für Beschichtungen der Klassen A, B und S
Beuth Verlag, Berlin
- [39] DIN 53160:2023-07
Bestimmung der Farblässigkeit von Gebrauchsgegenständen -
Prüfung mit Speichel- und Schweißsimulanz
Beuth Verlag, Berlin
- [40] EN ISO 105-E04:2013-08
Textilien - Farbechtheitsprüfungen - Teil E04: Farbechtheit gegen Schweiß
Beuth Verlag, Berlin
- [41] ISO 9022-12:2016-02
Optik und Photonik - Umweltprüfverfahren - Teil 12: Oberflächenverunreinigung
Beuth Verlag, Berlin
- [42] EN 60068-2-70:1996-07
Umweltprüfungen - Teil 2: Prüfungen - Prüfung Xb: Prüfung der Beständigkeit von Kennzeichnungen
und Aufschriften gegen Abrieb, verursacht durch Wischen mit Fingern und Händen
Beuth Verlag, Berlin
- [43] ISO 9352:2018-08
Kunststoffe - Bestimmung des Abriebs nach dem Reibradverfahren
Beuth Verlag, Berlin
- [44] EN ISO 5470-1:2017-04
Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung des Abriebwiderstandes -
Teil 1: Taber-Abriebprüfgerät
Beuth Verlag, Berlin
- [45] EN ISO 12947-1:2007-04
Textilien - Bestimmung der Scheuerbeständigkeit von textilen Flächengebilden mit dem Martindale-
Verfahren - Teil 1: Martindale-Scheuerprüfgerät
Beuth Verlag, Berlin
- [46] Effects of thermal and UV aging on antibacterial properties of linear low-density polyethylene and
poly(vinyl chloride) films containing nano-silver colloid
Ratchanee Chinkamonthong et al.; Journal of Plastic Film & Sheeting. 2013;29(2):144-162.
- [47] Durability and stability of antimicrobial coated surfaces
Buhl S. et al.; Current Directions in Biomedical Engineering 2020; 6(3)
- [48] Long-term antimicrobial effectiveness of a silver-impregnated foil on high-touch hospital surfaces in
patient rooms
Andreas F. Widmer et. al.; Antimicrob Resist Infect Control (2021) 10:120

- [49] Effects of Ageing in Disinfectant Solution on the Corrosion Resistance and Antimicrobial Behavior of Copper Alloys
Florica Simescu Lazar et al.; *Molecules* 2023, 28, 981
- [50] Potential use of copper as a hygienic surface; problems associated with cumulative soiling and cleaning
P. Airey, J. Verran; *Journal of Hospital Infection* (2007) 67, 271e277
- [51] Copper Alloy Touch Surfaces in Healthcare Facilities: An Effective Solution to Prevent Bacterial Spreading
Marius Colin; *Materials* 2018, 11, 2479
- [52] Development of a Surface Treatment to Achieve Long-Lasting Antimicrobial Properties and Non-Cytotoxicity through Simultaneous Incorporation of Ag and Zn via Two-Step Micro-Arc Oxidation
Yusuke Tsutsumi et al.; *Coatings* 2023, 13, 627
- [53] JIS Z 2801:2010-12-20
Antibacterial products - Test for antibacterial activity and efficacy
- [54] Antimicrobial Activity of a Novel Cu(NO₃)₂-Containing Sol-Gel Surface under Different Testing Conditions; Toplitsch, D.; Lackner, J.M.; Swan, A.M.; Hinterer, A.; Stögmüller, P.; Horn, K.; Fritzlar, N.; Pfuch, A.; Kittinger, C. *Materials* 2021, 14, 6488
- [55] "Life-like" assessment of antimicrobial surfaces by a new touch transfer assay displays strong superiority of a copper alloy compared to silver containing surfaces, Knobloch JK-M, Tofern S, Kunz W, Schütze S, Riecke M, Solbach W, et al., *PloS ONE* 12(11): e=187442
- [56] Untersuchung der Wirksamkeit antimikrobieller Oberflächen in der Infektionsprävention, Buhl S., Käs S., Brückner R., Bulitta C., *HygMed* 2018; 43(10): D83-D92
- [57] Effects of temperature and humidity of the efficacy of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* challenged antimicrobial materials containing silver and copper, Michels, H.T., Noyce, J. O., Keevil, C.W., *Letters in Applied Microbiology* 49 (2009): 191-195
- [58] Critical physiological factors influencing the outcome of antimicrobial testing according to ISO 22196/JIS Z2801, Wiegand C., Völpele A., Remesch M., Kuever J., Bauer J., et al., *PloS ONE* 13(3): e0194339
- [59] How Do We Determine the Efficacy of an Antibacterial Surface? A Review of Standardised Antibacterial material Testing Methods, Cunliffe A., Askew P.D., Stephan I., Iredale G., Cosemans P., Simmons L.M., Verran J, Refern, J., *Antibiotics* 2021, 10, 1069.
- [60] Neutralisation von Desinfektionsmittelrückständen-Mikrobiologisches Umgebungsmonitoring in Reinräumen und Isolatoren, Müller, R., Eikmanns, U., Schindler, H., *Pharm. Ind.* 79, Nr. 9, 2017 : 1298-1302
- [61] Evaluation of new in vitro efficacy test for antimicrobial surface activity reflecting UK hospital conditions, Ojeil, M., Jermann, C., Holah, J., Denyer, S.P., Maillard J.-Y., *Journal of Hospital Infection* 85 (2013) 274-281
- [62] Antibacterial activity testing methods for hydrophobic patterned surfaces. Perez-Gavilan A, de Castro JV, Arana A, Merino S, Retolaza A, Alves SA, Francone A, Kehagias N, Sotomayor-Torres CM, Cocina D, Mortera R, Crapanzano S, Pelegrín CJ, Garrigos MC, Jiménez A, Galindo B, Araque MC, Dykeman D, Neves NM, Marimón JM. *Sci Rep.* 2021 Mar 23;11(1):6675. doi: 10.1038/s41598-021-85995-9. PMID: 33758227; PMCID: PMC7988007.
- [63] A new method for screening anti-infective biomaterials. Bechert T., Streinrücke P., Guggenbichler J-P. *Nature medicine*, volume 6, number 9: 2000
- [64] Antiseptisch beschichtete Stühle im Krankenhaus – Eine Feldstudie, Schwarzkopf, A., Lechner, S., Rösch, K., *Krh.-Hyg. + Inf. Verh* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.khinf.2016.02.002>
- [65] Antimicrobial coatings for environmental surfaces in hospitals: a potential new pillar for prevention strategies in hygiene, Bäuml, W., Eckl, D., Holzmann, T., Schneider-Brachert, W., *Critical Reviews in Microbiology*, 48:5 (2022): 531-564, DOI: 10.1080/1040841X.2021.1991271

9. Danksagung

Das diesem Forschungsbericht zugrundeliegende Vorhaben wurde dankenswerterweise mit Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-21.49). Das Forschungsprojekt wurde durch Industriepartner mit der kostenlosen Lieferung von Probekörpern unterstützt.