

Maturaarbeit

Desinfektionsmittel-Prüfung am Modell zwecks Eindämmung nosokomialer Infektionen

Ist das Erreichen der Wischtest-Anforderungen zur Zulassung von Flächendesinfektionsmitteln im Gesundheitswesen für andere Oberflächenmaterialien sichergestellt und lässt sich ein Zusammenhang zwischen Oberflächenstruktur und Desinfizierbarkeit herstellen?

Verfasser: Antoine Schneider, Klasse 4We

Betreuungsperson: Christian Kofmel

Abgabedatum: 25. Oktober 2023

Zusammenfassung

Nosokomiale Infektionen sind durch Bakterien, Viren, Pilze oder Parasiten verursachte Infektionen, welche sich Patienten in Gesundheitszentren wie Spitälern oder Pflegeheimen zuziehen. Die Bekämpfung resistenter Bakterien ist dabei eine immense, globale Herausforderung. Massnahmen müssen stetig weiterentwickelt und ergänzt werden. Die wirksame Desinfektion im Allgemeinen und speziell die Oberflächendesinfektion sind dabei zentral.

Oberflächendesinfektionsmittel müssen von nationalen Gesundheitsbehörden zugelassen sein. Für die Zulassung braucht es in Europa und der Schweiz unter anderem einen standardisierten Wischtest nach Europäischer Norm. Dieser Wischtest muss mit einem PVC-Standardmaterial durchgeführt werden. Es ist nicht sichergestellt, ob die mikrobiologischen Testanforderungen auch bei anderen Materialien erfüllt wären. Das wurde in der vorliegenden experimentellen Untersuchung an zwei Arbeitsflächenmaterialien (Edelstahl und High Pressure Laminate) und einem PVC-Bodenmaterial anhand von zwei zugelassenen bakteriziden Desinfektionsmitteln überprüft. Alle drei untersuchten Oberflächenmaterialien kommen in Operationssälen zum Einsatz.

Nach der erfolgreichen Durchführung des Tests mit dem PVC-Standardmaterial wurden die drei anderen Oberflächen untersucht. Mit Edelstahl und dem OP-Bodenmaterial waren die mikrobiologischen Testanforderungen nach dem Wischtest erfüllt. Für beide Oberflächen wurden zusätzlich bakterizide Eigenschaften, ohne Einwirkung von Desinfektionsmittel, nachgewiesen.

Mit HPL konnten die Anforderungen bei keinem Test erreicht werden. Der Grund ist unklar.

Das Erreichen der Anforderung von zugelassenen Desinfektionsmitteln ist folglich für andere Oberflächenmaterialien, ohne Zusatzprüfung, nicht sichergestellt.

Die insgesamt vier Oberflächenstrukturen der Materialien wurden zusätzlich mittels REM- und 3D-Laserscanning-Mikroskopie analysiert. Es konnte ein Zusammenhang zwischen der Oberflächenstruktur und deren Desinfizierbarkeit hergestellt werden. HPL hat eine deutlich glattere Oberfläche als die übrigen Materialien. Es sind keine Rillen, Poren oder Furchen sichtbar. Diese aufrauenden Strukturmerkmale könnten, verursacht durch adhäsive Kapillarkräfte, die Benetzbarkeit und damit die Desinfizierbarkeit auf den anderen drei Oberflächen intensiviert haben. Mit einer ähnlich aufgerauten HPL-Oberfläche, wie sie z.B. bei Edelstahl vorkommt, könnte diese These überprüft werden.

Vorwort und Dank

Der Auslöser zur vorliegenden Maturaarbeit war meine Ergriffenheit wegen der schweren Infektionskrankheit des international erfolgreichen russischen Eiskunstläufers Roman Kostomarov. Der Fortschritt seiner Krankheit, welche mit einer coronabedingten Lungenentzündung begann, konnte auf allen Kanälen detailliert verfolgt werden. Da gab es Meldungen wegen bevorstehenden Amputationen seiner Hände und Füße, Gehirnblutungen und Schlaganfällen. Mir erschloss sich nicht unmittelbar, was diese Komplikationen mit einer bakteriellen Infektion zu tun haben. Als potenziell Betroffener wollte ich mich deshalb, im Rahmen meiner Maturaarbeit, mit dem Thema nosokomiale Infektionen und Antibiotikaresistenzen, mit Fokus auf MRSA, auseinandersetzen. Die Hürde, einen geeigneten Praktikumsplatz für die experimentelle Untersuchung zu finden, erwies sich anfänglich als kaum überwindbar. Unzählige Anfragen in Spitalumgebungen und professionellen Mikrobiologielabors führten schliesslich zur Universität Basel mit dem Biozentrum und dem Swiss Nanoscience Institute.

Mein besonderer Dank geht an den Forschungsgruppenleiter Prof. Marek Basler vom Biozentrum der Uni Basel, Abteilung Infektionsbiologie und an Postdoc Dr. Sharath Narayanan für die wertvollen und lehrreichen Gespräche, die Betreuung im Labor und die Unterstützung. Frau Susanne Erpel und Frau Dr. Monica Schönenberger vom Swiss Nanoscience Institute der Universität Basel, Abteilung Nano Imaging Lab, danke ich für den lehrreichen Einblick in die Welt der Raster-Elektronen- und 3D-Laserscanning-Mikroskopie. Es sind wunderbare Aufnahmen von meinen untersuchten Oberflächen entstanden.

Herr Urs Mathis, General Manager von schülke Schweiz, danke ich für die kostenlose Zustellung von 2 Desinfektionsmitteln und den interessanten telefonischen Kontakt.

Herrn René Nussbaumer, Leiter Anwendungstechnik bei Argolite AG, danke ich für die kostenlose Zustellung von 2 HPL-Platten, welche eigens für diese Versuche hergestellt wurden.

Herrn Markus Amstad, Regionalleiter von forbo flooring systems, danke ich für die kostenlose Zustellung eines Musters Spezial-PVC für OP-Böden.

Ein weiterer grosser Dank gilt meinem Vater, der mir immer mit Rat und Tat beigestanden ist. Nicht zuletzt bedanke ich mich bei Herrn Christian Kofmel, Gymnasiallehrer Gymnasium Liestal, der sich bereit erklärt hat, für diese Maturaarbeit die Rolle der Betreuungsperson zu übernehmen und mich in verschiedenen Phasen mit wertvollem Input in die richtigen Bahnen gelenkt hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Nosokomiale Infektionen und multiresistente Bakterien	2
1.2	Die bakterizide Flächendesinfektion	6
1.3	Methoden für die Oberflächendesinfektion	9
1.4	Zulassung von Oberflächen-Desinfektionsmitteln in der Schweiz.....	10
1.5	Oberflächenmaterialien im Gesundheitsbereich	10
1.6	Die mikroskopische Oberflächenanalyse	12
2	Material und Methoden.....	13
2.1	Methodenbeschreibung Wischtest	13
2.2	Methodenbeschreibung Bakterizidie Oberflächenmaterial:	16
2.3	Materialien für Wischtest und Bakterizidietest der Oberflächen	16
2.4	Geräte für die mikroskopische Oberflächenanalyse	21
2.5	Experimente und Auswertung von Wischtests	21
2.6	Durchführung bakterizide Eigenschaften der Oberflächen	23
2.7	Abweichungen von der Methode EN 16615/VAH 14.2.....	24
2.8	Fehlerquellen, welche die Präzision und die Richtigkeit der Resultate beeinflussen können.....	27
3	Resultate	29
3.1	Wischtests	29
3.2	Bakterizidie der Oberflächen.....	32
3.3	Mikroskopische Oberflächenanalyse	33
4	Diskussion	34
4.1	Wischtest.....	34
4.2	Bakterizide Eigenschaften der Oberflächenmaterialien	35
4.3	Mikroskopische Oberflächenanalyse	36
4.4	Schlussfolgerung.....	36
	Anhang 1: REM- und 3D-Laserscanning-Aufnahmen	42

Anhang 2: Rohdaten aus Wischtests..... 47

Anhang 3: Rohdaten aus Bakterizidietests der Oberflächen 48

1 Einleitung

In Gesundheitseinrichtungen werden für Arbeitsflächen, Böden, Wände und Decken unterschiedliche Werkstoffe verbaut. In dieser Arbeit wird einerseits die Desinfizierbarkeit von drei im Gesundheitswesen häufig verbauten Oberflächenmaterialien mit zwei behördlich zugelassenen Desinfektionsmitteln untersucht. Andererseits wird ein Zusammenhang zwischen mikroskopischer Oberflächenstruktur und Desinfizierbarkeit eruiert.

Für die Desinfektionsversuche steht der für die Zulassung von Desinfektionsmitteln vorgeschriebene, standardisierte Wischtest der Europäischen Norm EN 16695 zur Verfügung. Dieser Test wird zuerst reproduziert und wiederholt¹ und anschliessend auf andere Oberflächenmaterialien ausgedehnt.

Aus dieser Zielsetzung lassen sich folgende Leitfragen mit Hypothesen herleiten:

Ist das Erreichen der Wischtest-Anforderungen zur Zulassung von Flächendesinfektionsmitteln im Gesundheitswesen für andere Oberflächenmaterialien sichergestellt und lässt sich ein Zusammenhang zwischen Oberflächenstruktur und Desinfizierbarkeit herstellen?

Hypothesen:

1. *Die Wischtest-Anforderungen müssen auch mit anderen, im Gesundheitswesen gebräuchlichen Oberflächen-Materialien erreicht werden können.*

Argumente:

– *Die Auswahl des Standard-Oberflächenmaterials, kombiniert mit der Wischtestmethode und den Anforderungen zur Zulassung von bakteriziden Oberflächendesinfektionsmitteln sind so gewählt, dass die Desinfektion von anderen geeigneten Oberflächenmaterialien sichergestellt ist.*

– *Die Oberflächenmaterialien in Gesundheitseinrichtungen müssen so ausgewählt sein, dass eine sichere Desinfektion gewährleistet ist. Dabei muss bei Arbeitsflächen auf möglichst glatte Oberflächen geachtet werden. Fussbodenoberflächen müssen aber genügend strukturiert sein, damit die geforderte Rutschfestigkeit gewährleistet ist.*

2. *Je glatter eine Oberfläche ist, desto besser ist sie desinfizierbar.*

Argument:

Ein Desinfektionsmittel kann auf einer glatten Oberfläche die bakteriellen Verunreinigungen viel besser erreichen als auf einer rauen Oberfläche.

¹Reproduzieren: unter anderen Bedingungen (Labor, Personen etc.) wieder durchführen
Wiederholen: unter genau gleichen Bedingungen (Personal, Labor, etc.) wieder durchführen

1.1 Nosokomiale Infektionen und multiresistente Bakterien

Nosokomiale Infektionen, auch als Krankenhausinfektionen bekannt, sind Infektionen, die Patienten während ihres Aufenthalts in Gesundheitseinrichtungen wie Krankenhäuser durch Ansteckung mit Bakterien, Viren, Pilze oder Parasiten entwickeln. Diese Infektionen treten frühestens 48 Stunden nach der Aufnahme in die Einrichtung auf oder im Fall von Lungenentzündungen bis zu 60 Tagen nach der Entlassung und wurden zum Zeitpunkt der Aufnahme nicht diagnostiziert (1).

Nosokomiale Infektionen können zu einer Verschlechterung des Gesundheitszustandes führen, die Genesung verzögern und die Behandlungskosten erhöhen. Patienten mit geschwächtem Immunsystem oder chronischen Krankheiten sind besonders anfällig für nosokomiale Infektionen.

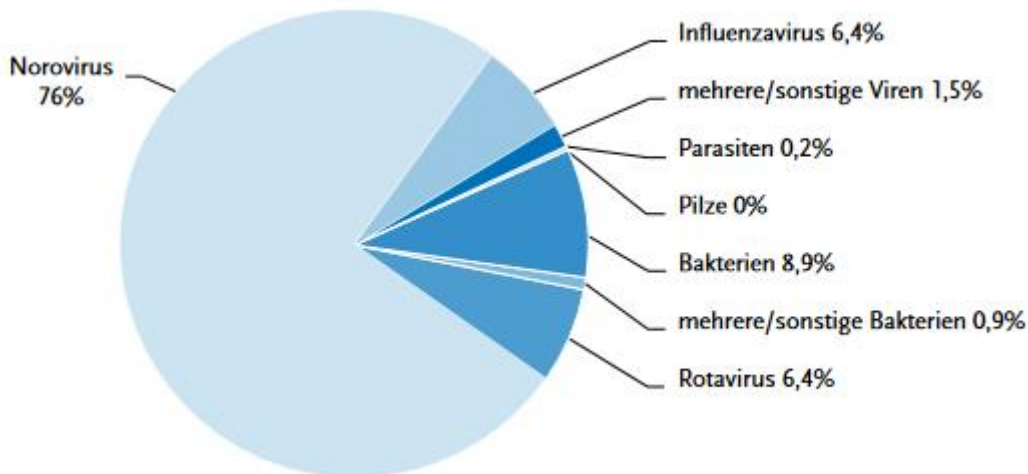


Abbildung 1: Anteil der Erreger/Erregergruppen bei nosokomialen Infektionen 2016 in Deutschland

Die Abbildung 1 zeigt den Anteil der Erreger/Erregergruppen an der Gesamtzahl übermittelter nosokomialer Ausbrüche in Deutschland 2016 (2). Die meisten nosokomialen Infektionen wurden durch Viren verursacht. Die Bakterieninfektionen kamen nach den Norovirus-Infektionen an zweiter Stelle. Dieses Bild dürfte sich heute, in der Postcoronazeit, nicht wesentlich verändert haben und auch für die Schweiz gelten.

Eine der Hauptursachen ist die Exposition gegenüber pathogenen Mikroorganismen in einer Umgebung, die eine hohe Dichte von kranken Menschen aufweist. Krankenhäuser und Gesundheitseinrichtungen bieten ideale Bedingungen für die Verbreitung von Bakterien, Viren und Pilzen. Die häufigste Übertragungsart ist der direkte Kontakt von Mensch zu Mensch, z.B. durch Händeschütteln oder Umarmungen. Aber auch indirekte Übertragung über kontaminierte

Oberflächen, medizinische Geräte und Instrumente spielen eine grosse Rolle. In einigen Fällen können Infektionen auch über die Luft übertragen werden, wenn infektiöse Partikel von einem Patienten direkt oder indirekt auf andere Personen in der Umgebung gelangen.

Risikofaktoren für die Übertragung sind (3):

- Die Nichteinhaltung von Hygienevorschriften und Infektionskontrollmassnahmen
- Unzureichende Hand- und Personenhygiene
- Ungenügende Reinigung und Desinfektion von Oberflächen und Geräten sowie die Verwendung von kontaminierten Instrumenten
- Unsachgemässe Installation und Wartung von Lüftungssystemen
- Unsachgemässe Installation, Einsatz und Wartung von Geräten und Einrichtungen
- Ungenügende Ausbildung und Sensibilisierung von medizinischem Personal, Patienten und Besuchern
- Geschwächtes Immunsystem
- Invasive medizinische Eingriffe wie Operationen, Katheterisierung oder künstliche Beatmung
- Langwierige Krankenhausaufenthalte
- Antibiotika-Behandlung
- Körperliche Nähe zu infizierten Menschen

Die Identifizierung und das Management dieser Risikofaktoren in Kombination mit zeitnahen Korrekturen und Verbesserungen in einem multidisziplinären Ansatz sind entscheidend, um die Verbreitung von nosokomialen Infektionen zu reduzieren. Verschiedene Experten wie Ärzte, Pflegekräfte, Hygienefachleute, Mikrobiologen, Epidemiologen und Gesundheitsbehörden müssen eng zusammenarbeiten, um die Verbreitung von Infektionen zu kontrollieren und das Infektionsrisiko zu minimieren.

Infektionen, welche durch antibiotikaresistente Bakterien ausgelöst werden, sind eine Form von nosokomialen Infektionen. Diese Infektionen sind eine der drängendsten globalen Herausforderungen in der modernen Medizin. Die wachsende Zahl von Antibiotikaresistenzen hat die Behandlung derartiger Infektionen deutlich erschwert und kann schwerwiegende Folgen für die Gesundheit haben.

Eine Antibiotikaresistenz bezeichnet die Fähigkeit von Bakterien, gegen die Wirkung von Antibiotika unempfindlich zu werden, was dazu führt, dass diese Medikamente ihre Wirksamkeit bei der Bekämpfung von Infektionen verlieren. Antibiotikaresistente Bakterien überleben trotz der Behandlung mit Antibiotika und können sich im Körper vermehren, was zu schwereren und länger anhaltenden Infektionen führen kann.

Die Entstehung von Antibiotikaresistenz ist ein natürlicher Prozess, der sich im Laufe der Zeit

entwickelt hat. Bakterien haben die Fähigkeit, sich genetisch zu verändern und Mutationen zu entwickeln. Wenn ein Antibiotikum eingesetzt wird, um eine bakterielle Infektion zu bekämpfen, können einige Bakterien durch Zufall Mutationen entwickeln, die es ihnen ermöglichen, dem Medikament zu widerstehen. Diese resistenten Bakterien überleben und vermehren sich, während empfindliche Bakterien durch die Behandlung abgetötet werden.

Ein wichtiger Faktor für die Entstehung von Antibiotikaresistenzen ist der unsachgemässe Gebrauch von Antibiotika, wenn diese falsch eingesetzt oder vorzeitig abgesetzt werden.

Weitere begünstigende Elemente für die Übertragung resistenter Keime sind der Einsatz von Antibiotika in der Landwirtschaft oder Tierhaltung. Zudem spielen der internationale Reiseverkehr und damit der globale Austausch von Bakterien eine grosse Rolle (3).

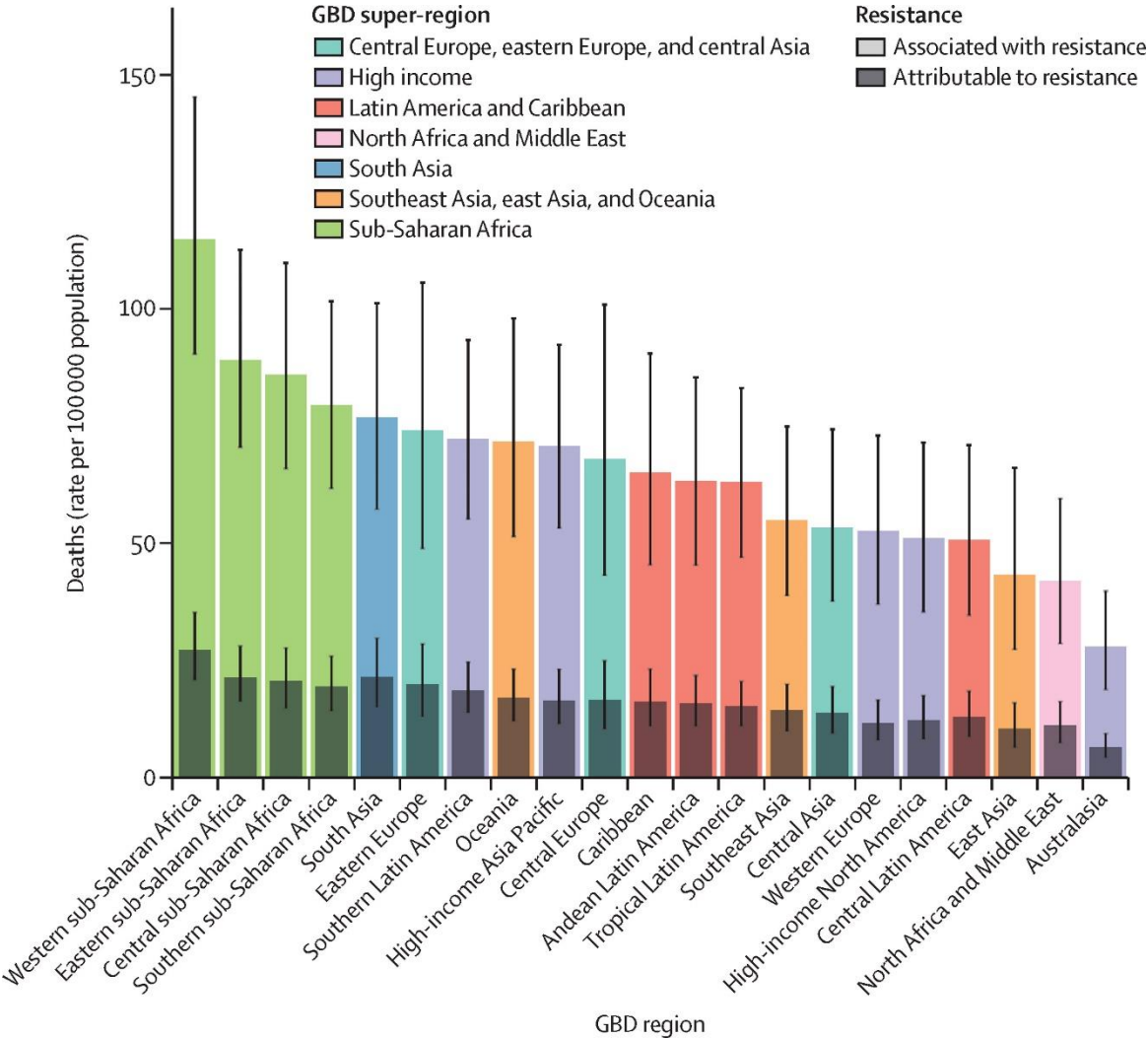


Abbildung 2: Altersübergreifende globale Todesrate durch bakterielle Resistenzen

Die Abbildung 2 zeigt in den farbigen Säulen den Anteil der globalen Todesfälle im Jahr 2019 pro 100'000 Einwohner und davon in den dunklen Säulen den Anteil der Patienten, welche an und mit bakteriellen Resistenzen gestorben sind, aufgeteilt nach GBD-Region (Global Burden Disease,

Globale Krankheitslast). Die dünnen Linien zeigen den jeweiligen grossen Fehlerbereich an. Die jährlichen Todesraten in den Entwicklungs- und Schwellenregionen sind erwartungsgemäss höher als in den entwickelten Regionen. Wenn die Fehlerbereiche ausser Betracht gelassen werden, ist der Beitrag von Todesfällen, wo bakterielle Resistenzen im Spiel waren, in den Entwicklungs- und Schwellenregionen, tendenziell höher als in den übrigen Regionen und liegt über alle Regionen bei 20 bis 25% (4).

In der Schweiz gibt es rund 7'200 Infektionen pro Jahr durch Antibiotikaresistenzen. Im Jahr 2019 sind rund 300 Personen von insgesamt 67'000 Todesfällen (1 von 200) an Antibiotikaresistenzen gestorben (5). Diese Zahl dürfte wesentlich höher liegen, wenn auch die Todesfälle mit antibiotikaresistenten Keimen, wie in Abbildung 2, hinzugezogen würden, wo also eine Antibiotikaresistenz vorlag, die Todesursache aber nicht direkt darauf zurückzuführen war.

Der methicillinresistente *Staphylococcus aureus* MRSA gilt als einer der gefährlichsten und verbreitetsten Vertreter grampositiver multiresistenter Bakterien (6). Es handelt sich um eine Variante des Bakteriums *Staphylococcus aureus*. Unter dem Mikroskop hat diese Keimart ein kugelförmiges bis ovoides Erscheinungsbild.

Methicillin ist ein Antibiotikum, welches von der Pharmafirma Beecham 1959 auf den Markt gebracht wurde. Es handelt sich um ein Beta-Laktam-Antibiotikum, welches zur Optimierung der Eigenschaften und Wirksamkeit vom ursprünglichen Penicillin hergeleitet wurde. Es wird heute angenommen, dass MRSA prinzipiell gegen alle Beta-Laktam-Antibiotika resistent ist. Für diese Fälle müssen andere Antibiotikaklassen als Reserveantibiotikum eingesetzt werden, welche aber, verglichen mit den Beta-Laktam-Antibiotika, erhebliche Nebenwirkungen haben können, aber auch dort eine Resistenzbildung nicht ausgeschlossen werden kann (7).

MRSA kann natürlicherweise auf der Haut und in den Schleimhäuten, speziell im Nasenvorhof von Menschen vorkommen, ohne dass Krankheitssymptome auftreten. Dieses Phänomen wird als "Besiedlung" bezeichnet. MRSA wird hauptsächlich durch den direkten Kontakt über die Hände von Mensch zu Mensch aber auch durch indirekten Kontakt via Gegenstände wie Geräte, Türklinken, Wasserhähne, Arbeitsflächen etc. weitergegeben. Die oben beschriebenen Übertragungsrisiken und Massnahmen für nosokomiale Infektionen gelten, mit Ausnahme der Lüftungssysteme, auch für MRSA. Die Übertragung durch Tröpfchen spielt eine sehr untergeordnete Rolle und die Übertragung über die Raumluft kommt nicht vor (8). MRSA-Bakterien können auf unbelebten Oberflächen² rund ein halbes Jahr überleben (9).

² Unbelebt im Gegensatz zu belebten Zwischenwirten wie zum Beispiel Stechinsekten

Zur Diagnose spielen neben den herkömmlichen mikrobiologischen Untersuchungsmethoden schnelle diagnostische Verfahren eine immer grössere Rolle, damit die Ausbreitung so schnell wie möglich gestoppt werden kann. Dazu gehören beispielsweise die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) oder Massenspektrometrie-basierte Methoden (10), die eine schnelle und präzise Identifizierung von Bakterien und anderen Erregern ermöglichen.

Hautinfektionen sind eine der häufigsten Manifestationen von MRSA. Typischerweise treten rote, geschwollene und schmerzhafte Abszesse oder Furunkel auf der Haut auf. Diese können mit Eiter gefüllt sein und manchmal auch Fieber verursachen.

MRSA kann auch Atemwegsinfektionen wie Lungenentzündungen verursachen, insbesondere bei Menschen, die unter Beatmung sind. Diese Art von Infektionen kann schwerwiegende Komplikationen mit sich bringen und eine intensivmedizinische Behandlung erfordern.

Eine besonders gefährliche Form von MRSA-Infektionen sind die sogenannten invasiven MRSA-Infektionen, bei denen die Bakterien in den Blutkreislauf gelangen. Dies kann zu einer lebensbedrohlichen Sepsis führen, welche durch einen rapiden Blutdruckabfall, verursacht durch die Erweiterung der Blutgefäße mit gleichzeitiger, koagulierender Blutveränderung, zu einem septischen Schock führen kann. Neben drohenden Gehirnblutungen und Schlaganfällen können die lebenswichtigen Organe und Extremitäten im Extremfall nicht mehr mit genügend Sauerstoff versorgt werden. Abgestorbene Extremitäten müssen amputiert werden. Das Versagen von lebenswichtigen Organen kann zum Tod führen. Die Symptome einer Sepsis sind oft unspezifisch und können Fieber, Schüttelfrost, Verwirrtheit, schnelle Atmung und einen beschleunigten Herzschlag umfassen. Eine Sepsis erfordert eine sofortige medizinische Notfallbehandlung (11).

Die Entwicklung neuer antimikrobieller Therapien ist von höchster Bedeutung. Innovative Medikamente sollen gezielt resistente Bakterien angreifen und bekämpfen. Zudem wird die Erforschung alternativer Therapieansätze wie Phagen-Therapie (12) und Immuntherapien (13) intensiviert, um das Behandlungsspektrum von bakteriellen Infektionen zu erweitern.

Die Methoden zur Verhinderung von Keimübertragungen in Gesundheitseinrichtungen werden weiter optimiert, um das Infektionsrisiko für Patienten, Personal und Besucher zu minimieren.

Die effiziente Flächendesinfektion spielt dabei eine zentrale Rolle.

1.2 Die bakterizide Flächendesinfektion

In Krankenhäusern, Kliniken und anderen medizinischen Einrichtungen können sich MRSA-Bakterien auf Oberflächen wie Arbeitsflächen, Böden, Wänden oder sogar Decken ansammeln. Ein wirksames bakterizides Flächendesinfektionsmittel muss eine breite Wirksamkeit gegen

verschiedene Bakterien, insbesondere gegen multiresistente Bakterien aufweisen.

Desinfektionsmittel werden in unterschiedliche Kategorien eingeteilt, wie zum Beispiel Alkohole, Chlorverbindungen, Peroxide oder quartäre Ammoniumverbindungen. Abhängig von Einsatzbereich und zu desinfizierender Fläche können unterschiedliche Desinfektionsmittel eingesetzt werden.

Die Wirksamkeit der Desinfektion hängt nicht nur von der Wahl des Desinfektionsmittels ab, sondern auch von der Anwendung und Einwirkzeit. Eine gründliche Reinigung der zu desinfizierenden Oberflächen ist von entscheidender Bedeutung, da Schmutz und organische Stoffe die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln beeinträchtigen können. Die Einwirkzeit ist ebenfalls wichtig, da einige Desinfektionsmittel eine gewisse Zeit benötigen, um die Keime sicher abzutöten.

Zusätzlich zu den Desinfektionsmitteln spielen auch die verwendeten Verfahren eine wichtige Rolle. Je nach Art der Oberfläche und des zu desinfizierenden Objekts können unterschiedliche Verfahren wie Sprühen, Wischen oder Aerosol-Vernebelung zum Einsatz kommen. Das korrekte Anwenden dieser Verfahren ist entscheidend, um eine effektive Desinfektion zu gewährleisten.

Desinfektionsmittel müssen am Einzelbakterium von aussen nach innen, verschiedene Barrieren wirksam überwinden, bevor sie schliesslich in das Zellinnere gelangen und die Zelle unschädlich machen können:

1. Die Zellwand, einem komplexen Netzwerk von Makromolekülen, insbesondere aus Peptidoglykan, auch bekannt als Murein. Peptidoglykan ist ein einzigartiges Strukturmerkmal von Bakterien und verleiht der Zellwand Festigkeit und Form. Es ist eine Kombination aus Polysacchariden (Zuckermolekülen) und quervernetzten Peptiden.
2. Die semipermeable Zellmembran besteht aus einer Doppelschicht aus Phospholipiden, wobei die hydrophilen Teile gegen aussen und gegen das Zellinnere gerichtet sind. Damit bildet sich dazwischen die hydrophobe Lipidschicht. Ausserdem enthält die Membran die Membranproteine, deren wesentliche Funktion der Stofftransport in und aus der Zelle ist.
3. Nachdem die Desinfektionsmittel die Zellmembran durchdrungen haben, gelangen sie in das Zellinnere. Dort können sie verschiedene zelluläre Prozesse stören und das Bakterium weiter schädigen, was schliesslich zu seiner Abtötung führt.

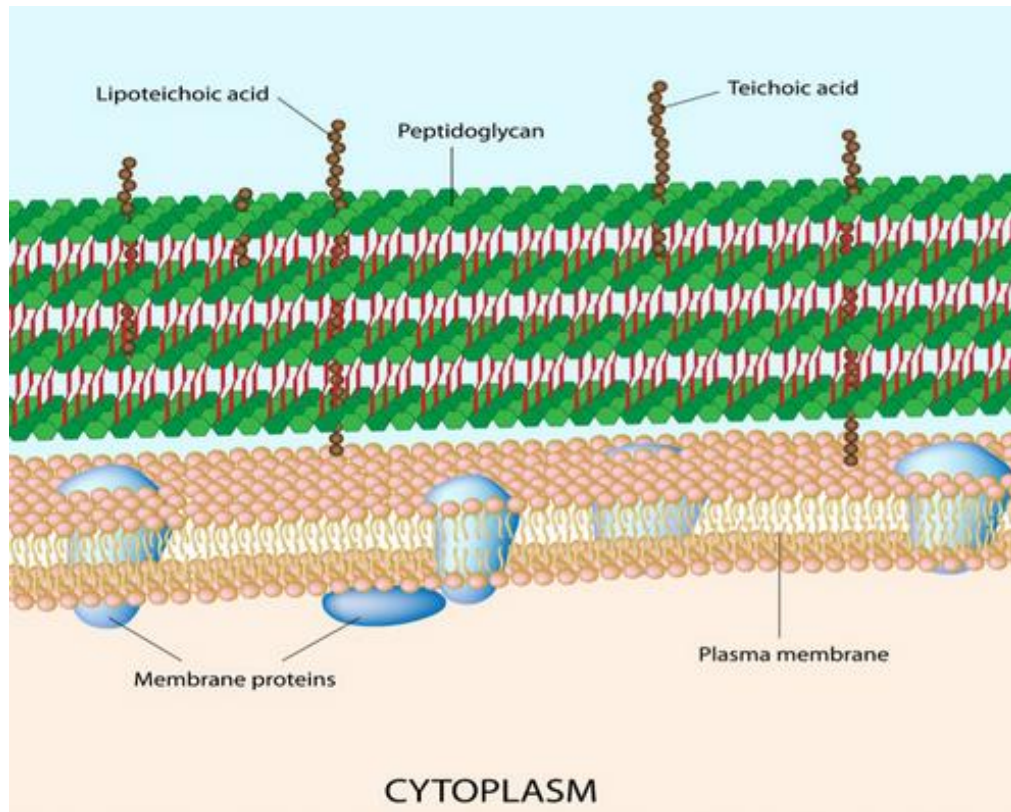


Abbildung 3: Schema der Zellhülle eines grampositiven Bakteriums

Abbildung 3 zeigt schematisch einen Ausschnitt der Zellen-Hülle eines grampositiven Bakteriums mit der mehrschichtigen dicken Mureinschicht oben und der Zellmembran mit der Phospholipid-Doppelschicht unten (14).

Desinfektionsmittel auf Basis von niederen Alkoholen wie Ethanol, Propanol, Isopropanol, Butanol denaturieren die Proteine. Mit der Denaturierung der Proteine wird die räumliche Struktur der Proteine, deren Faltung, aufgehoben und damit gehen die biologischen Funktionen verloren. Alkohole dringen durch die Zellwand und die Zellmembranen in das Zelleninnere ein und die Zelle wird abgetötet. Sie sind schnell wirksam und universell einsetzbar, sind aber wegen der problematischen Arbeitshygiene und der Brand-/Explosionsgefährlichkeit nicht für alle Zwecke geeignet.

Die äussere Zellmembran wird durch quartäre Ammoniumverbindungen, welche als Tenside zum Einsatz kommen, beschädigt. Die kationischen Enden dieser Verbindungen docken an die äussere anionische Hülle der Phospholipid-Doppelschicht der Zellmembran an. Zusammen mit den lipophilen Enden dieser Verbindungen wird die Doppellipidschicht der Membran destabilisiert, was zum Austritt von Zellbestandteilen und letztendlich zum Zelltod führt (15).

Flächen-Desinfektionsmittel für Spezialanwendungen lösen oxidative Reaktionen in den Bakterienzellen aus, die zu einer Schädigung der DNA und anderer zellulärer Bestandteile führen. Hierzu gehören Peroxide, wie Wasserstoffperoxid, Peressigsäure oder Chlorverbindungen, wie

Natriumhypochlorit (Bleichmittel).

Oft kommt bei Desinfektionsmitteln eine Kombination dieser Wirkmechanismen zur Anwendung.

1.3 Methoden für die Oberflächendesinfektion

Wischdesinfektion, die Methode der Wahl:

Es wird entweder das Desinfektionsmittel auf die zu desinfizierenden Oberflächen aufgetragen und dann mit einem Tuch homogen verteilt oder das Tuch wird vor der Desinfektion mit der Desinfektionslösung getränkt. Die vom Hersteller vorgeschriebene Kontaktzeit der Desinfektionslösung mit der Oberfläche muss unbedingt eingehalten werden, um eine effektive Wirkung zu gewährleisten. Für Arbeitsflächen werden bevorzugt Fertigwischtücher auf alkoholischer Basis eingesetzt. Die Einwirkzeit nach dem Wischen beträgt mindestens eine Minute. Wenn die Desinfektionsflüssigkeit von der Oberfläche verdunstet und nicht mehr sichtbar ist, kann die Oberfläche als desinfiziert betrachtet werden.

Böden und Wände werden in der Regel mit verdünnten Desinfektionsmittelkonzentraten auf der Basis von quartären Ammoniumverbindungen mit getränkten Wischtüchern desinfiziert. Hier ist die vorgeschriebene Einwirkzeit mindestens eine Stunde.

Der Vorteil der Wischdesinfektion ist die einfache Anwendung und Durchführbarkeit.

Nachteilig ist, dass mit dieser Methode unzugängliche Stellen, wie z.B. Ecken nicht desinfiziert werden.

Sprühdesinfektion als Ergänzung zur Wischdesinfektion:

Das Desinfektionsmittel wird in Form von Sprühnebel oder Aerosol auf die zu desinfizierenden Oberflächen aufgebracht. Die Sprühdesinfektion kann entweder mit einer Sprühflasche oder mit speziellen Sprühgeräten durchgeführt werden. Das Desinfektionsmittel wird dabei auf die Oberflächen gesprüht und nach der vorgeschriebenen Einwirkzeit abgewischt oder trocken gelassen.

Vorteile: Die Sprühdesinfektion kommt in Gesundheitszentren an den Stellen zum Einsatz, wo mit der Wischdesinfektion keine oder nur eine ungenügende Desinfektion erreicht werden kann.

Nachteile: Die Sprühdesinfektion in Gesundheitszentren wird nicht empfohlen, weil damit eine homogene Verteilung des Desinfektionsmittels auf Oberflächen nicht gewährleistet werden kann (16). Ausserdem sind mit dieser Methode, bei ungenügender Personenschutz-ausrüstung, Gesundheitsrisiken durch Hautkontakt oder eingeatmete Aerosole verbunden. Mit Desinfektionsmitteln auf Alkoholbasis kommen die Brand- und Explosionsrisiken hinzu.

Raum- Aerosol-Vernebelung als Spezialanwendung:

Die Raum-Aerosol-Vernebelung zur Oberflächendesinfektion ist eine spezielle Methode, bei der

Desinfektionsmittel wie Wasserstoffperoxid, Peressigsäure, quartäre Ammoniumverbindungen, Alkohole in feinste Partikel (Aerosol) verwandelt und als Nebel auf die zu desinfizierenden Oberflächen verteilt werden. Diese Methode wird häufig in Bereichen angewandt, in denen eine grossflächige, schnelle und gründliche Desinfektion erforderlich ist. Die Aerosol-Vernebelung erfolgt in der Regel mit Hilfe von speziellen Vernebelungsgeräten. Das Desinfektionsmittel wird in winzige Partikel zerstäubt und als feiner Nebel in die Luft freigesetzt. Dieser Nebel breitet sich in der Umgebung aus und setzt sich auf den Oberflächen nieder, wodurch eine gleichmässige Desinfektion erreicht wird.

Vorteile: Homogene und zeitsparende Abdeckung grosser Flächen und schwer zugänglicher Bereiche.

Nachteile: Bei der Aerosol-Vernebelung besteht das Gesundheitsrisiko, dass das Desinfektionsmittel von Personen eingeatmet wird, und im Fall von brennbaren Desinfektionsmitteln besteht eine Brand-/Explosionsgefahr.

1.4 Zulassung von Oberflächen-Desinfektionsmitteln in der Schweiz

In der Schweiz müssen bakterizide Desinfektionsmittel für Oberflächen in Krankenhäusern, Pflegeheimen, Laboratorien und der Industrie vom Bundesamt für Gesundheit zugelassen sein.

Voraussetzung für die Zulassung ist ein Wirksamkeitsdossier.

Es müssen in einer ersten Stufe quantitative Suspensionstests gemäss europäischen Normen EN 1276 oder EN 13727 (und EN 14348) durchgeführt werden, wo eine Suspension von vorgeschriebenen lebenden Keimen mit dem Desinfektionsmittel in Kontakt gebracht und die Keimreduktion mikrobiologisch quantitativ bestimmt wird.

Wenn diese Anforderungen erfüllt sind, muss eine weitere Prüfung unter praxisnahen Standardbedingungen gemäss EN 16615 mit dem 4-Felder-Test erfolgen (17).

Wenn alle Testanforderungen erfüllt und weitere Daten gemäss Antragsformular, wie z.B. Ökotoxdaten vorhanden sind, dann kann der Zulassungsantrag eingereicht werden.

1.5 Oberflächenmaterialien im Gesundheitsbereich

Es werden hier Oberflächenwerkstoffe betrachtet, welche in einem hygienisch kritischen Bereich, wie dem Operationsaal in einem Spital, verbaut sind.

Dazu gehören Edelstahl und HPL (High Pressure Laminate) für Arbeitsflächen und für den Boden ein spezielles elektrisch leitfähiges PVC.

Edelstahl für Arbeitsflächen:

Edelstahl ist eine Legierung aus Eisen, Chrom und anderen Elementen wie Nickel und Molybdän. Der Chromgehalt ist entscheidend für die Eigenschaften von Edelstahl, da er dem Material seine Korrosionsbeständigkeit gegenüber vielen Medien verleiht. Ausserdem ist er robust, leicht zu reinigen und über Jahre ästhetisch ansprechend.

Die erforderlichen mikroskopisch kleinen Oberflächenrauheiten können nur durch Schleifen und Polieren erreicht werden. Es wird eine mittlere Rillentiefe in der Grössenordnung von einem Mikrometer angestrebt.

HPL für Arbeitsflächen:

HPL (High Pressure Laminate) ist ein duroplastisches³, chemisch stark vernetztes Copolymerisat aus den Monomeren Phenol, Melamin und Formaldehyd. Papierstreifen werden mit einem Phenolharz, gewonnen aus chemischer Addition⁴ von Phenol und Formaldehyd, getränkt und übereinandergelegt. Als Deckschicht dienen mit Melaminharz getränkte Papierstreifen, gewonnen aus chemischer Addition von Melamin und Formaldehyd. Die Polykondensation⁵ findet statt, indem die Schichten unter hohem Druck und hoher Temperatur zusammengepresst werden.

HPL ist ein vielseitiges, gegen Abrieb, Kratzer und Flecken resistentes Material. Dank seiner widerstandsfähigen und glatten Oberfläche soll HPL auch leicht zu reinigen und desinfizieren sein, weshalb es in Krankenhäusern oft zum Einsatz kommt. Für diesen Zweck wird die Oberfläche zusätzlich mit speziellen Verfahren antibakteriell gemacht. Dabei werden in einer Glasmatrix fixierte Silberionen im Monomergemisch, welches die Oberflächenschicht bildet, vollständig dispergiert. Eine Aktivierung der Sanitized® Silver Technologie erfolgt durch die Feuchtigkeit der Reinigungs- und Desinfektionsmittel. Bakterien nehmen Silberionen auf, welche dann ihre Zellteilung blockieren und sie neutralisieren (18). Die initiale Oberflächenstruktur der HPL-Oberfläche wird im Wesentlichen durch die Oberflächenbeschaffenheit des Presswerkzeugs bestimmt.

PVC für Böden:

PVC (Polyvinylchlorid) ist ein Polymerisat aus Vinylchlorid. Es gilt als vielseitiges Material, das in Operationssälen häufig verwendet wird. Dieses Bodenmaterial erfüllt die spezifischen Anforderungen, welche für diesen sensiblen und hochhygienischen Bereich von entscheidender Bedeutung sind:

³ Duroplastische Kunststoffe verformen sich bei Erwärmung nicht, im Gegensatz zu thermoplastischen Kunststoffen

⁴ Polyaddition ist eine Polymerisationsreaktion ohne Abspaltung von Nebenprodukten.

⁵ Polykondensation ist eine Polymerisationsreaktion unter Abspaltung flüchtiger Nebenprodukte, z.B Wasser

- PVC-Oberflächen sind so glatt wie möglich aber rutschfest, leicht zu reinigen und feuchtigkeitsbeständig. Dies ist entscheidend für Operationssäle, da eine hohe Hygiene erforderlich ist, um das Risiko von Infektionen zu minimieren.
- In Operationssälen werden regelmässig schwere medizinische Geräte wie Operationstische, und andere Ausrüstung bewegt. PVC-Bodenbeläge sind aufgrund ihrer hohen mechanischen Belastbarkeit in der Lage, diese Gewichte und Bewegungen standzuhalten, ohne beschädigt zu werden oder sich zu verformen.
- Die elektrische Ableitfähigkeit des Bodens ist in Operationssälen sehr wichtig, um elektrostatische Aufladungen und somit das Risiko von elektrostatischen Entladungen zu verhindern. Elektrostatische Entladungen können sowohl medizinisches Personal als auch die Funktion empfindlicher medizinischer Geräte gefährden.

Selbstverständlich muss das Personal im Operationssaal leitfähige Schuhe tragen und auch die Einrichtungen (mobil oder fest Installiert) müssen eine leitfähige Verbindung zum Boden haben oder direkt geerdet sein (19).

1.6 Die mikroskopische Oberflächenanalyse

Das Rasterelektronenmikroskop ist ein Spezialmikroskop, bei dem ein in einem elektrischen Feld von 10-30kV beschleunigter Elektronenstrahl in einem bestimmten Muster über das abzubildende Objekt geführt (gerastert) wird und Wechselwirkungen der Elektronen mit dem Objekt zur Erzeugung eines Bildes des Objekts genutzt werden. Die typischerweise mit einem Rasterelektronenmikroskop erzeugten Bilder sind Abbildungen der Objektoberflächen und weisen eine hohe Tiefenschärfe auf. Die Messung findet im Hochvakuum statt, um Wechselwirkungen mit Atomen und Molekülen aus der Luft zu vermeiden.

Elektrisch leitfähige Objekte können direkt eingesetzt werden. Die Oberflächen elektrisch isolierender Materialien müssen durch Bedampfen mit Grafit oder Edelmetallen wie Gold oder Platin, vor der Messung leitfähig gemacht werden.

Bei einem 3D-Laserscanningmikroskop wird ein fokussierter Laserstrahl verwendet, der das Präparat in verschiedenen Ebenen abrastert. Das reflektierte Licht, welches sich genau in der Fokusebene befindet, wird durch einen Detektor erfasst. Danach wird in der dritten Dimension um eine Einheit verschoben und eine neue Ebene abgerastert. Die verschiedenen Ebenen werden elektronisch zu einem Bild in dreidimensionaler Darstellung zusammengesetzt. Es wird ein hochaufgelöstes Bild erhalten, wo die Oberflächenstruktur dreidimensional und vermasst dargestellt werden kann. Für diese Visualisierungsmethode braucht es keine spezielle Probenvorbereitung (20).

2 Material und Methoden

2.1 Methodenbeschreibung Wischttest

In Deutschland werden die Desinfektionsmittel vom Verbund für Angewandte Hygiene VAH gemäss den Europäischen Normen geprüft und zertifiziert (21). Die deutschen Gesundheitszentren dürfen nur VAH-zertifizierte Desinfektionsmittel einsetzen. VAH stellt online ein aktualisiertes und detailliertes Anforderungs- und Methoden e-book «Die Anforderungen und Methoden zur VAH-Zertifizierung chemischer Desinfektionsverfahren» zur Verfügung (22). In Kapitel 14.2 wird die Methode der EN 16615-2015-06 (aktuelle Version), welche vom VAH entwickelt wurde, praxisnah beschrieben und auf dem neuesten Stand gehalten. Es steht somit eine detaillierte, praxisnahe und aktualisierte Anleitung, auch für einen Zulassungsantrag in der Schweiz, online zur Verfügung.

Die folgende Methodenbeschreibung ist aus dem Kapitel 14.2 des oben zitierten e-book zusammengefasst.

Vorbereitung der Bakterien-Arbeitskultur:

Ein kommerziell erhältlicher Bakterienstamm wird über Nacht in einer Nährlösung inkubiert. Durch anschliessende Verdünnung mit Nährlösung wird die Arbeitskultur gewonnen, indem die optische Dichte auf 4.5 bis 5 eingestellt wird.

Vorbereitung der Testflächen:

Auf eine rechteckige, gründlich desinfizierte Oberfläche des vorgeschriebenen PVC-Boden-Standardmaterials von der Grösse 20cm x 50cm werden mit einem dünnen, unlöslichen Markerstift vom linken Rand in einem Abstand von 10cm beginnend, in der Mitte, der Länge nach 4 Quadrate von der Grösse 5cm x 5cm im Abstand von 5cm aufgezeichnet. Somit bleibt nach dem 4. Quadrat bis zum rechten Rand der Testfläche ein Abstand von 5cm. Auf das Feld 1 von links wird eine definierte Menge Bakterien-Arbeitskultur gleichmässig aufgetragen und antrocknen gelassen.

Zur Ermittlung des T_0 -Wertes, des Wertes unmittelbar nach dem Antrocknen der frisch aufgetragenen Arbeitskultur (wird zur Ermittlung der Bakterizidie der Oberflächen gebraucht) und des T_t -Wertes nach der vorgeschriebenen Einwirkzeit des Desinfektionsmittels auf Testfeld 1, werden auf einem separaten Stück desselben gründlich desinfizierten Testmaterials ebenfalls 2 Quadrate der Grösse 5cm x 5cm aufgezeichnet und mit derselben Arbeitskultur beaufschlagt. Weil die Einwirkzeit bei der Anwendung von Fertigwischtüchern mit einer Minute sehr kurz ist, entspricht hier der T_t - dem T_0 -Wert.

Vorbereitung der Wischvorrichtung:

Ein sauberer, desinfizierter und trockener Granitquader von der Grösse 12.1cm x 8.6cm x 8.6cm mit polierten Oberflächen und einem Gewicht von 2.3 bis 2.5kg (abhängig von der Materialdichte und der Präzision der Kantenlängen) wird auf seiner grössten Seitenfläche mit frischem Parafilm überzogen.

Ein zugelassenes Fertigwisch Tuch (ein mit Desinfektionsmittel vorgetränktes Einmaltuch aus einem luftdichten Spender) oder ein mit einer Lösung aus Desinfektionsmittelkonzentrat getränktes Standardwisch Tuch wird über die mit Parafilm belegte Fläche des Granitblocks gelegt und mit einem Gummiband rundum fixiert.

Wischvorgang:

Die Wischvorrichtung wird nun, ohne Druck von oben, auf die unmarkierte Fläche auf der linken Seite der Testfläche abgelegt. Ohne Druck wird die Wischvorrichtung innert 1 Sekunde über die 4 Felder bis an den Rand der Testfläche geschoben, dort um 180° gedreht und danach innert 1 Sekunde wieder zurück über das Feld 1 hinausgeschoben.

Die beiden separaten Testfelder zur Bestimmung des T_{0-} und T_{t-} Wertes werden nicht mit Desinfektionsmittel gewischt.



Abbildung 4: Versuchsanordnung für den Wischtest

In Abbildung 4 ist links der Granitblock mit Parafilm bezogen und rechts die Versuchsanordnung unmittelbar vor dem Start des Wischvorganges zu sehen, Quelle: VAH e-book, Kapitel 19-4.

Rückgewinnung:

Nach der vom Hersteller vorgeschriebenen Einwirkzeit für selbstpräparierte Desinfektionsmittel aus Konzentraten oder nach dem vollständigen Abtrocknen des Desinfektionsmittels im Falle von Fertigwisch Tüchern, werden die Testflächen nacheinander getrennt und gründlich mit Neutralisationsmittelgetränkten Wattestäbchen abgewischt. Die Testflächen zur Ermittlung der T_{0-} und

T_t -Werte werden in gleicher Weise mit Neutralisationsmittel abgewischt. Diese Wischlösungen müssen vor der Inokulation/Inkubation verdünnt werden damit die KBE-Anzahl (koloniebildende Einheiten) auswertbar und nicht zu hoch sind.

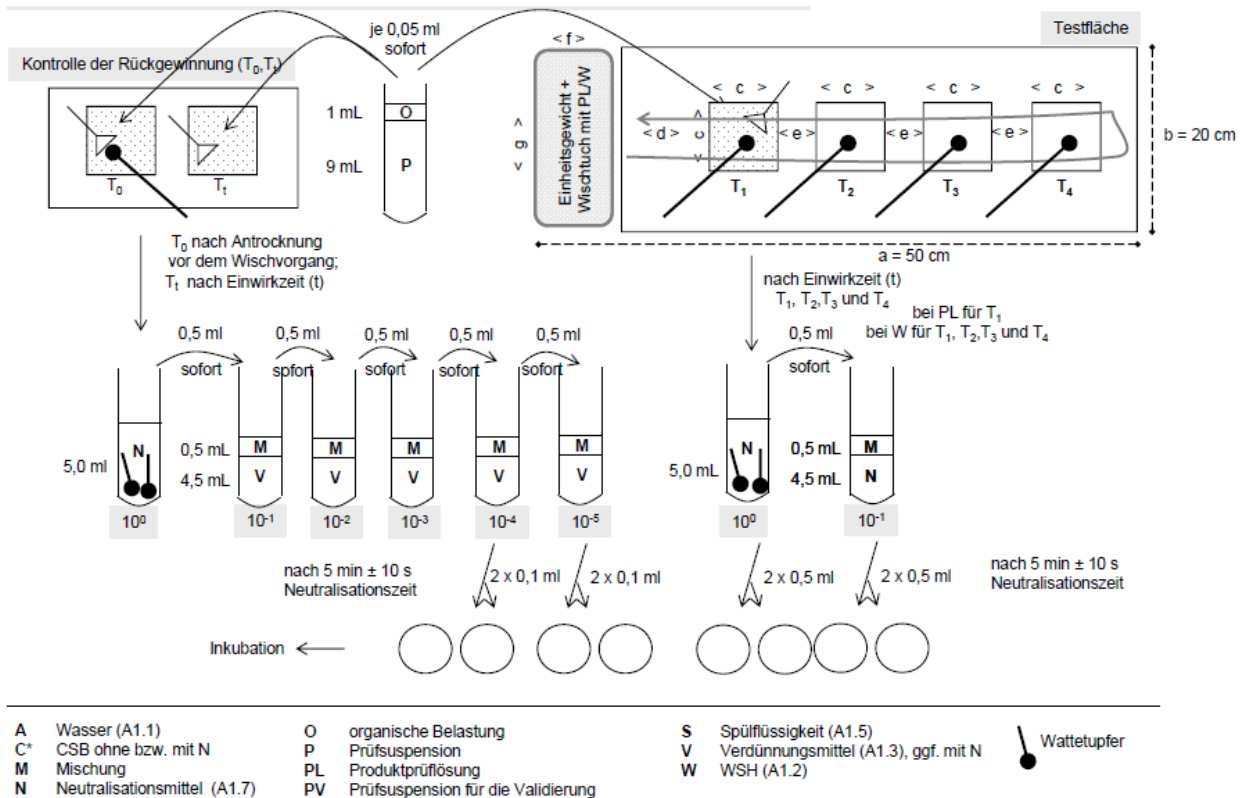


Abbildung 5: Flächendesinfektion mit Mechanik – praxisnaher Versuch

Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung des Wischtests bis zur Inokulation der Agarplatten, Quelle: VAH e-book, Schema D6.

Inokulation und Inkubation der Agarplatten:

Mit einem Aliquot von jeder Wischlösung wird eine Agarplatte inokuliert und anschliessend inkubiert.

Auswertung der Keimreduktion auf den Testfeldern:

Nach der Inkubation werden die entwickelten Bakterienkolonien jeder einzelnen Agarplatte ausgezählt und über die auf die Agarplatten aufgetragenen Volumeneinheiten in Relation zum Gesamtvolumen der jeweiligen Neutralisationslösung und unter Berücksichtigung der jeweiligen Verdünnung auf die 25cm² pro Testfläche hochgerechnet.

Für das Feld 1 wird die Differenz der 10-er Logarithmen aus dem T_t -Wert und dem Wert nach dem Wischvorgang errechnet.

Für die Felder 2 bis 4 wird der Mittelwert der jeweils gezählten Bakterienkolonien ermittelt.

$$\log R = (\log KBE_{T_t}) - (\log KBE_{T_1})$$

Formel 1: Berechnung der KBE-Zahl-Reduktion für Feld 1

R	= Keimreduktion auf Testfeld 1
KBE_{T_1}	= Anzahl koloniebildende Einheiten auf Testfeld 1 nach Einwirkzeit mit Wischvorgang
KBE_{T_t}	= Anzahl koloniebildende Einheiten auf Testfeld 1 nach Einwirkzeit ohne Wischvorgang

$$AF2 \text{ bis } 4 = \frac{(KBE_{T_2}) + (KBE_{T_3}) + (KBE_{T_4})}{3}$$

Formel 2: Berechnung KBE-Zahl Mittelwert Felder 2 bis 4

AF 2 bis 4	= Mittelwert der Anzahl koloniebildender Einheiten der Felder 2 bis 4 jeweils nach Einwirkzeit mit Wischvorgang
------------	---

Anforderungen:

- logR darf nicht kleiner als 5 sein, das heisst, die Keimreduktion auf dem Testfeld 1 muss mindestens dem Faktor 100'000 oder 5 log-Stufen entsprechen.
- Auf den Feldern 2 bis 4 dürfen durchschnittlich nicht mehr als 50 KBE vorhanden sein.

2.2 Methodenbeschreibung Bakterizidie Oberflächenmaterial:

Die Differenz der KBE-Zahlen zwischen T_0 und T_t gibt einen Hinweis, ob das Oberflächenmaterial selbst unter den Versuchsbedingungen bakterizid ist. Edelstahloberflächen zum Beispiel haben bakterizide Eigenschaften (23).

Edelstahl und HPL werden häufig für Arbeitsflächen verbaut. Arbeitsflächen werden in der Regel mit Fertigwischtüchern mit Einwirkzeiten von einer Minute desinfiziert. Wegen dieser sehr kurzen Einwirkzeit spielt in der Praxis die Bakterizidie dieser Oberflächen keine Rolle. Im Rahmen dieser Untersuchung werden diese Daten jedoch für alle vier Oberflächenmaterialien mit der Einwirkzeit von einer Stunde ausgewertet.

Zu den bakteriziden Eigenschaften der Oberflächenmaterialien gibt es keine Anforderungen.

2.3 Materialien für Wischtest und Bakterizidietest der Oberflächen

Standard PVC-Bodenmaterial:

20cm x 50cm, 2mm dick, dieses Material wird vom VAH vertrieben und entspricht dem Material, das in der VAH-Methode 14.2 vorgeschrieben ist (PVC mit PUR-coating⁶).

Lieferant: VAH, Bonn

⁶ PUR ist Polyurethan, welches zur Veredelung der Oberfläche dient

Oberflächenmaterialien für Arbeitsflächen im Operationssaal:

- Edelstahlplatte, Qualität 1.4301, 20cm x 50cm, 2mm dick, eine Oberfläche geschliffen/poliert auf die Rauheit Ra 1.0µm⁷, gemessen mit einem Diavite DH-8 Messgerät.

1.4301 Legierungszusammensetzung: Eisen, 17,5 bis 19,5% Chrom, 8 bis 10,5% Nickel, ≤ 2% Mangan, ≤ 1% Silicium, ≤ 0,07% Kohlenstoff, ≤ 0,11% Stickstoff, ≤ 0,045% Phosphor, ≤ 0,03% Schwefel

Lieferant: Rubitec AG, Bennwil

- HPL Kompakt, 20cm x 50cm, 3mm dick, Farbe 306 schneeweiss, Oberfläche AM (aluminiummatt), Kernfarbe braun, antibakteriell (Sanitized®)

Rauheit Ra 1.5µm, gemessen mit einem Diavite DH-8 Messgerät

Lieferant: Argolite AG, Willisau

OP-Bodenmaterial:

Colorex SD 150206 moonstone PVC-Boden, 20cm x 50cm, 2mm dick, gleichzeitig ableitfähig $1 \times 10^6 < R < 1 \times 10^8 \Omega$ und isolierend nach VDE 0100-600

Lieferant: Forbo-Giubiasco SA, Giubiasco

Granitblock:

Grösste Oberfläche (der Block hatte keine exakt quadratische Grundfläche) 11.3 cm x 7.9 cm reine Auflagefläche, gefaste Kanten nicht berücksichtigt. Gewicht: 2,33 kg, polierte Oberflächen

Lieferant: VAH, Bonn

Desinfektionsmittel:

- Fertigwisch Tuch, mikrocid universal wipes premium, 100 Stück, Los Nr. 9780797, Verfalldatum 28.02.2025, Inhaltsstoffe pro 100g flüssigem Anteil: 17,4 g Propan-2-ol, 12,6 g Ethanol (94 % w/w), <5g anionische Tenside, Rest ist Wasser, Grösse 20cm x 20cm.

Fertigwischtücher bergen die Herausforderung, dass sich die Flüssigkeit über die Zeit, der Schwerkraft folgend, im unteren Bereich der Packung anreichert und die oberen Tücher damit nicht mehr genügend Flüssigkeit enthalten, um eine sichere Desinfektion zu gewährleisten. Der Hersteller garantiert, dass dieser Anreicherungsprozess bis zum Verfalldatum nicht von Bedeutung ist. Darüber hinaus kann die Wirkung auch durch häufiges Öffnen der Verpackung durch Verdunstung der Flüssigkeit beeinträchtigt werden. Daher sollten die Tücher ein Monat nach dem erstmaligen Öffnen der Packung nicht mehr

⁷ Arithmetischer Mittelwert der Oberflächenerhebungen aus einem bestimmten Oberflächenausschnitt

verwendet werden.

Lieferant: Schülke und Mayr AG, Frauenfeld

- Desinfektionsmittelkonzentrat, Terralin protect, 2 Liter, Los Nr. 1594551, Verfalldatum 31.12.2025, Inhaltsstoffe: 100 g Konzentrat enthalten folgende Wirkstoffe: 22 g Alkyl(C12-16)dimethylbenzylammoniumchlorid (ADBAC/BKC (C12-16)), 17 g 2-Phenoxyethanol, 0.9 g Amine, N-C12-14-(geradzahlig)-alkyltrimethylenedi-, Reaktionsprodukte mit Chloressigsäure, 5 – 15% nichtionische Tenside, der Rest ist Wasser.

Für die Experimente wurde das Konzentrat zu 0.5% und 0.1% mit Leitungswasser verdünnt.

Lieferant: Schülke und Mayr AG, Frauenfeld

Wischtücher für selbstpräparierte Desinfektionslösung:

Tork fusselfreie Reinigungstücher, Art.-Nr. 190491, Fa. Essity Professional Hygiene Germany GmbH, Zusammensetzung: 55 % Zellstoff, 45 % Polyethylenterephthalat (PET), Grösse 17,5 cm x 28 cm.

Für die Experimente wurde ein neues Wischtuch in einem 1000ml Becherglas in 16ml selbstpräparierte Desinfektionslösung für 30min eingelegt.

Lieferant: VAH, Bonn

Bakterienstamm:

Die in EN 16615/VAH 14.2 aufgeführten Bakterienstämme sind alle pathogen und aus Sicherheitsgründen wurde auf deren Einsatz, insbesondere vom Typ Staphylococcus Aureus (SA) verzichtet. Als geeigneter Ersatz wurde Micrococcus luteus Typ ATCC9341c der Firma ATC identifiziert. Ein Vergleich der beiden Bakterienstämme findet sich in Kapitel 2.7

Nährlösung:

Die Nährlösung wurde mit der Bakterien-Startkultur inokuliert und über Nacht inkubiert. Zum Einsatz kam Lysogen Broth (LB), Product LB_02. Diese wurde in der Media Kitchen des Biozentrum der Universität Basel gemäss Vorschrift hergestellt (24).

Reagenzglas Schüttler:

Dieses Gerät diente zur Homogenisierung von Suspensionen oder Lösungen. Ein Reagenzglas oder anderes kleines Gefäss wird oben auf der Platte fixiert. Dann wird das Gerät eingeschaltet. Die Platte beginnt zu kreisen, wobei der Gefässinhalt homogenisiert wird. Die Drehzahl kann stufenlos eingestellt werden. Die Platte kann auch in Bewegung gesetzt werden, indem das Gefäss, ohne es zu fixieren, gegen die Platte gedrückt wird. Nach Überschreiten des Druckpunktes schaltet sich das Gerät ein.

Das eingesetzte Gerät war vom Typ Vortex Typ 2.

Inkubationsschüttler:

In diesem Gerät wurde die inokulierte Nährlösung über Nacht inkubiert.

Das Gerät war vom Typ Infors HAT Ecotron.

Zelldichtemessgerät:

Dieses Gerät misst die optische Dichte (OD) einer Bakteriensuspension in einer Küvette. Dieser Messwert dient als Ersatzgrösse für die ungefähre Konzentration in KBE/ml.

Für die vorliegende Arbeit hatten die OD-Werte orientierenden Charakter. Wichtig war, dass die KBEs auf den Agarplatten gut auszählbar waren und diesbezüglich die Anforderungen gemäss EN 16615/VAH 14.2 erfüllten. Mit einer entsprechenden Verdünnung der Bakteriensuspensionen mit Nährlösung konnte zu diesem Zweck verdünnt und so die Arbeitskulturen gewonnen werden. Das eingesetzte Gerät zur OD-Bestimmung war vom Typ WPA, CO8000 und misst bei einer Wellenlänge von 600nm.

Agarplatten:

Die Agarplatten enthielten das Nährmedium als zähe gelartige Masse und wurden mit den zu untersuchenden Bakteriensuspensionen inokuliert. Anschliessend wurden die Platten inkubiert. Dabei bildeten sich aus einzelnen Zellen (KBEs) Bakterienkolonien, welche dann von blossen Auge gezählt werden konnten.

Die Agarplatten waren vom Typ Lysogen broth (LB) plate pure, Product LB_06 und wurden in der Media Kitchen des Biozentrums hergestellt (24). Die zylinderförmigen Petrischalen, welche das Agarmedium enthielten, hatten einen Innendurchmesser von 90mm, eine Innenhöhe von 15mm und waren aus durchsichtigem Polystyrol.

Inkubator:

Im Inkubator wurden die Agarplatten mit Umluft während einer vordefinierten Zeit bebrütet. Zum Einsatz kam ein Inkubator vom Typ Binder KT 170 mit Umluft.

Neutralisationsmittel:

Zur Rückgewinnung der Bakterien von den Testoberflächen wurden mit Neutralisationsmittel getränkte handelsübliche Wattestäbchen verwendet.

Das Neutralisationsmittel erfüllt den Zweck, die rückgewonnenen Bakterien an ihrer weiteren Vermehrung zu hindern. Es bestand aus einer Lösung aus 10% Phosphatpuffer (1.37mol NaCl, 27mmol KCl, 100mmol Na₂HPO₄, 18mmol KH₂PO₄ gelöst zu 1000ml Lösung mit Wasser aus einer Milli-Q-Anlage und autoklaviert, hergestellt in der Media Kitchen des Biozentrums) und 90% sterilem Wasser aus einer Milli-Q-Anlage. Die Verdünnung geschah jeden Tag frisch im Labor.

Allgemeine Labormaterialien:

Bei der folgenden Auflistung handelt es sich um Labormaterialien, welche in einem Labor für mikrobiologische Untersuchungen zum Einmal- oder Mehrfachgebrauch verwendet werden und zur Standardausrüstung eines derartigen Labors gehören. Die produktberührenden Materialien sind in der Regel für den Einmalgebrauch bestimmt und steril verpackt, um Fremdkontaminationen mit anderen Keimen so weit wie möglich zu vermeiden.

- Einweg-Nitrilhandschuhe, von SemperCare für aller Laborarbeiten
- Spritzflasche mit Ethanol 70% v/v in Wasser, zur Desinfizierung von Flächen und Materialien
- Kim Tech Tücher zum Desinfizieren / ohne Fasern, von Kimberly-Clark professional, Typ: precision wipes
- Eppendorf Pipetten verschiedener Volumen inklusive Einweg-Pipettenaufsätze
- Messpipetten aus Glas verschiedener Volumen inklusive Halterung
- 100ml Messzylinder
- Bechergläser aus Glas verschiedener Volumen
- Bunsenbrenner, wird zur Sterilisation der unmittelbaren Arbeitsumgebung mit blauer Flamme betrieben (25). Die in Ethanol eingelegten Drigalskispatel und Laborspatel werden damit vor dem Einsatz abgeflammt.
- Reagenzglasalter
- Parafilm von Bemis, Laboratory Film, 4in x 125 ft Roll, zum Abdichten/Verschliessen
- Laborspatel aus Edelstahl, um den Bakterienstamm aus dem Aufbewahrungsröhrchen zu entnehmen. Dieser Spatel wurde vor Gebrauch in Ethanol 70% eingetaucht und in der Bunsenbrennerflamme abgeflammt.
- Drigalskispatel aus Edelstahl, um die Arbeitskultur auf den Testflächen und die Agarplatten zu inkubieren. Der Drigalskipatel wurde, in Ethanol 70% eingetaucht zwischengelagert und jeweils vor dem Gebrauch kurz in der Bunsenbrennerflamme abgeflammt und abkühlen gelassen.
- Wattestäbchen, M-Budget
- Laborwaage, welche auf 0.01g genau anzeigt, Mettler Toledo
- Digitalkamera für die Aufnahme der bebrüteten Agarplatten, Typ Nikon
- Mechanischer Handzähler für das Auszählen der Kolonien auf den Agarplatten
- Konische Kunststoff Einwegröhrchen mit Schraub- oder Klappdeckel verschiedener Grössen, z.B. für die vorgelegten Neutralisationslösungen beim Wischen der Testflächen oder für die

Aufbewahrung des verdünnten Neutralisationsmittels, Falcon A Corning Brand, Polypropylene Conical Tube.

2.4 Geräte für die mikroskopische Oberflächenanalyse

Die Oberflächenstrukturen der untersuchten Materialien wurden mit einem Rasterelektronenmikroskop visualisiert. Mit dem 3D-Laserscanningmikroskop konnten die Strukturen zusätzlich ausgemessen werden. Daraus soll eine Korrelation zwischen den Oberflächenstrukturen und deren Desinfizierbarkeit hergestellt werden, um die Hypothese 2 gemäss Kapitel 1 zu stützen.

Rasterelektronenmikroskop:

Gerät:	Zeiss – Gemini SEM 450
Detektor:	Everhardt-Thornley Detektor (für Sekundärelektronen)
Spannung:	10kV
Stromstärke:	0.5nA
Vergrößerung:	100 bis 5000fach
Vorbereitung:	die 3 Kunststoffproben wurden vor der Messung mit ca. 20nm Gold bedampft

3D-Laserscanning-Mikroskop:

Gerät:	Keyence VK-X1100
Objektive:	5x bis 150x Vergrößerung
Höhenmessung in z-Achse:	0.5nm (Bildschirmauflösung)
Vorbereitung:	keine

2.5 Experimente und Auswertung von Wischtests

Nachfolgend wird ein typischer, optimierter Experimentablauf beschrieben. Anpassungen und Abweichungen wurden hauptsächlich aus praktischen Gründen vorgenommen. Diese Anpassungen/Abweichungen werden in Kapitel 2.7 aufgeführt und deren Auswirkungen auf die Resultate diskutiert.

Die Laborumgebung hatte während der Versuchsdurchführung eine Raumtemperatur von 23-24°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von rH 40%. Die Versuche wurden in einem Mikrobiologielabor des Biozentrums der Universität Basel durchgeführt.

Zuerst wurde der Standardtest gemäss EN 16615/VAH 14.2 mit dem Fertigwisch Tuch reproduziert und wiederholt. Die Erfüllung der Testanforderungen war die Voraussetzung, das Fertigwisch Tuch auf Arbeitsflächen wie Edelstahl und HPL zu testen.

Das OP-Bodenmaterial wurde mit einer selbstpräparierten Desinfektionslösung aus Desinfektionsmittelkonzentrat getestet.

Aus dem Kühlgerät wurde eine Spatelspitze (ca.20mg) des Bakterienstammes in ein Reagenzglas überführt, mit 1ml Nährlösung versetzt und im Reagenzglas Schüttler homogenisiert. In einer Reagenzglashalterung wurde diese Bakteriensuspension über Nacht bei 37°C und 200rpm im Inkubationsschüttler inkubiert. Am nächsten Morgen wurde die gewonnene Bakteriensuspension mit LB-Nährlösung verdünnt und der OD-Wert in einer 1ml Küvette gemessen. Abhängig von diesem OD-Wert wurde weiter mit LB verdünnt bis der Zielwert von 4.5 bis 5 für die Arbeitskulturerreichte war.

Die mit den vier aufgezeichneten Feldern vorbereitete Prüfoberfläche wurde mit 70%-Ethanol und Kim-Tech-Tüchern gründlich desinfiziert und vorbereitet. Auf das Testfeld 1 wurden mit einer Eppendorf Pipette 0.05ml der Arbeitskulturerreichte aufgebracht, mit einem abgeflamten Drigalski-spatel homogen verteilt und bis zur optischen Trockenheit liegen gelassen.

Ein frisch aus der Verpackung genommenes Fertigwisch Tuch wurde gewogen und über die vorbereitete Oberfläche des Granitblocks fixiert. Der Granitblock wurde an die Startposition vor das Testfeld 1 auf die Testfläche gelegt und danach ohne zusätzlichen Druck innert 2 Sekunden gleichmässig über alle 4 Felder geschoben, um 180° gedreht und wieder zurückgeschoben. Das Feuchttuch wurde erneut gewogen. Die Differenz aus den Wägungen vor und nach dem Wischtest ist zur Information und wird für die Auswertung nicht benötigt. Die Einwirkzeit betrug eine Minute.

Alternativ wurde 0.5ml Desinfektionsmittelkonzentrat mit einer Messpipette in einen 100ml Messzylinder pipettiert. Mit Leitungswasser wurde auf die 100ml Marke aufgefüllt. Mit einer Messpipette wurden 16ml dieser Desinfektionslösung in ein 1000ml-Becherglas überführt. Dazu wurde das Wischtuch gegeben und während 30 Minuten mit der Desinfektionslösung vollsaugen gelassen. Für den Wischtest, der wie mit dem Fertigwisch Tuch erfolgte, wurde das Tuch einmal über die längeren Seiten gefaltet. Die Einwirkzeit betrug eine Stunde.

Zur Rückgewinnung wurden in einem neuen Einwegröhrchen 1.0ml Neutralisationslösung vorgelegt. Mit einem neuen, mit Neutralisationsmittel getränkten Wattestäbchen wurde jedes der 4 Testfelder jeweils 1 Minute lang in horizontaler, vertikaler und diagonaler Richtung intensiv und vollständig gewischt. Das Wattestäbchen wurde im vorgelegten Neutralisationsmittel intensiv ausgewaschen und anschliessend wurde der Vorgang wiederholt. Das Wattestäbchen wurde dann in der vorgelegten Neutralisationslösung aufbewahrt, indem der obere Teil des

Stäbchens abgebrochen wurde. Abschliessend wurden die Testfelder jeweils mit einem neuen Wattestäbchen intensiv trockengewischt. Dieses Stäbchen wurde auf die gleiche Weise im vorgelegten Neutralisationsmittel aufbewahrt.

Mit einer Eppendorfpipette wurden jeweils 0.1ml der Lösungen aus der Rückgewinnung auf eine Agarplatte gegeben und mit einem desinfizierten und abgeflammt Drigalskispatel gleichmässig auf der Oberfläche verteilt. Anschliessend wurden die Agarplatten, mit der Öffnung gegen unten, während 48 Stunden bei 37°C mit Umluft (Drehzahl Ventilator 40 rpm) im Inkubator bebrütet. Mit einem Markerstift in der einen und einem mechanischen Zählgerät in der anderen Hand wurden die Kolonien von der Unterseite der Agarplatten markiert und gleichzeitig gezählt.

Auswertung anhand eines Beispiels:

Oberflächenmaterial:	Standard PVC
Desinfektionsmittel:	Fertigwisch Tuch
OD Bakt.Suspension:	4.5 bis 5
Tuchmasse vor Wischen:	6.06g
Tuchmasse nach Wischen:	5.18g
abgegebenes Des.Mittel:	0.88g (zur Information)
Menge Neutral.Mittel:	1.0ml
Auftragmenge Agarplatte:	0.1ml
Verdünnung T_t :	10'000
KBE Agarplatte T_t :	= 154
KBE Anzahl T_t :	$154 \times 1\text{ml} \div 0.1\text{ml} \times 10'000 = 15'400'000$
KBE Agarplatte Feld 1:	= 2
KBE Anzahl Feld 1:	$2 \times 1\text{ml} \div 0.1\text{ml} = 20$ (Anforderung $14 \leq n \leq 330$, erfüllt)
log (KBE-Reduktion):	$\log(15'400'000) - \log(20) = 5.9$ (Anforderung ≥ 5 , erfüllt)
KBE Agarplatte Feld 2:	= 1
KBE Agarplatte Feld 3:	= 1
KBE Agarplatte Feld 4:	= 1
KBE Anzahl Feld 2:	$1 \times 1\text{ml} \div 0.1\text{ml} = 10$ (Anforderung $1 \leq n \leq 330$, erfüllt)
KBE Anzahl Feld 3:	$1 \times 1\text{ml} \div 0.1\text{ml} = 10$ (Anforderung $1 \leq n \leq 330$, erfüllt)
KBE Anzahl Feld 4:	$1 \times 1\text{ml} \div 0.1\text{ml} = 10$ (Anforderung $1 \leq n \leq 330$, erfüllt)
Durchschnitt Feld 2- 4:	$(10 + 10 + 10) \div 3 = 10$ (Anforderung ≤ 50 , erfüllt)

2.6 Durchführung bakterizide Eigenschaften der Oberflächen

0.05ml der Arbeitskulturen wurden mit einer Eppendorf Pipette auf die vorbereiteten und desinfizierten beiden separaten Testfelder aufgebracht und mit einem abgeflammt Drigalskispatel homogen verteilt. Danach wurde bei einem Testfeld die Rückgewinnung, wie oben beschrieben, unmittelbar gestartet zur Bestimmung des T_0 -Wertes und beim anderen Testfeld, nach Ablauf der vorgeschriebenen Einwirkungszeit von 1 Stunde, für die Bestimmung des T_t -Wertes. Danach mussten die Wischlösungen jeweils verdünnt werden, indem mit einer Eppendorfpipette 0.1ml entnommen, in ein neues Einwegröhrchen transferiert und dazu 0.9ml Neutralisationslösung

gegeben und mit dem Reagenzglas-Schüttler homogenisiert wurde. Dieser Vorgang wurde mit der neuen Verdünnung 4-mal wiederholt. Mit den jeweils letzten verdünnten Lösungen wurden 2 Agarplatten inokuliert/inkubiert und ausgezählt.

Auswertung anhand eines Beispiels:

Oberflächenmaterial:	OP-Bodenmaterial	
KBE-Anzahl T ₀ :	24	
KBE-Anzahl T _t :	3	
Verdünnung T ₀ :	100'000	
Verdünnung T _t :	10'000	
Menge Neutral.Mittel	1ml	
Auftragmenge Agarplatte:	0.1ml	
KBE Anzahl T ₀ :	$24 \times 1\text{ml} \div 0.1\text{ml} \times 100'000$	= 24'000'000
KBE Anzahl T _t :	$3 \times 1\text{ml} \div 0.1\text{ml} \times 10'000$	= 300'000
KBE Reduktion:	$(24'000'000 - 300'000) \div 24'000'000 \times 100\%$	= 98.8%
log (KBE-Reduktion):	$\log (24'000'000) - \log (300'000)$	= 1.9

Die Verdünnung für den T_t-Wert war in diesem Experiment 10'000 und nicht 100'000 wie für den T₀-Wert und wurde für die Berechnung entsprechend berücksichtigt.

2.7 Abweichungen von der Methode EN 16615/VAH 14.2

Aus Sicherheits- resp. praktischen Gründen und auf Empfehlung der Labor-Experten am Biozentrum der Universität Basel, haben sich folgende Abweichungen ergeben, welche als potenziell systematische Fehlerquellen betrachtet werden müssen und damit die Richtigkeit der Resultate beeinflussen können.

Es war wichtig, für die einzelnen Arbeitsschritte immer die gleichen Methoden anzuwenden und die gleichen Materialien zu verwenden, um eine bestmögliche Resultatvergleichbarkeit unter den Versuchen zu erzielen.

Bakterienstamm:

Abweichung:

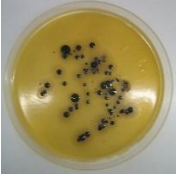

Es wurde der Bakterienstamm *Micrococcus luteus* eingesetzt statt *Staphylococcus aureus* (SA).

Diskussion:

SA ist pathogen und sollte nur von geschultem Personal unter besonderen Vorsichtsmassnahmen gehandhabt werden.

Im nichtpathogenen *Micrococcus luteus* wurde eine geeignete Alternative gefunden. Es ist ebenfalls ein aerobes, grampositives Kugelbakterium welches sich gegenüber Oberflächen und Desinfektionsmitteln sehr ähnlich wie SA verhält. Die in diesem Kontext generierten Resultate sind demnach gut auf SA resp. MRSA übertragbar.

Tabelle 1: Eigenschaften von *Staphylococcus aureus* vs *Micrococcus luteus*

Merkmale	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Micrococcus luteus</i>
Pathogenität	hoch	kaum
Gramfärbung	positiv	positiv
Stoffwechsel	aerob, fakultativ anaerob	aerob
Vorkommen	Haut, Schleimhaut, obere Atemwege, Nahrungsmittel, Gewässer	Hautflora beim Menschen Raumluft, Staubpartikel, obere Bodenschicht
Grösse Einzelzelle	kugelförmig 0.8 bis 1.2 µm	Kugelförmig 0.5 bis 3.5µm
Zellen Cluster	Traubenförmige Anordnung von Einzelzellen	Mehrheitlich 2-er bis 4-er Anordnungen von Einzelzellen
Bilder		
Farbe der Zelle	grau-schwarz	gelb-orange

Die Tabelle 1 zeigt die für diese Versuche relevanten Eigenschaften von *Micrococcus luteus* und von *Staphylococcus aureus*. Abgesehen von der Pathogenität (26) sind die Eigenschaften sehr ähnlich und *Micrococcus* eignet sich gut für die vorliegende Untersuchung, Bildquellen: wikipedia.org

Herstellung der Bakterien-Arbeitskultur:

Abweichung:

1. Die Arbeitskultur wurde nicht gemäss Kapitel 6 des VAH e-books hergestellt, sondern in einer über-Nacht-Bebrütung in einer LB-Nährlösung und anschliessendem Einstellen des gewünschten OD-Wertes durch Verdünnung mit der Nährlösung. Der optimierte OD-Wert hat sich aus praktischen Erfahrungen ergeben. Der initial eingestellte OD-Wert von 0.8 bis 1.6 war tendenziell zu klein, was sich in sehr kleinen KBE-Zahlen auf den Agarplatten ausgewirkt hat. Die ausgewerteten Versuche hatten für die Arbeitskultur einen OD-Wert zwischen 4.5 und 5.
2. Die Bakterien-Gebrauchskultur wurde ohne Zusatz organischer Belastungen (künstliche organische Verschmutzung), welche der Simulation praxisnaher Bedingungen dient, eingesetzt.

Diskussion:

1. Bei insgesamt kleineren ausgezählten KBE-Zahlen bekommen Bakterien, verursacht durch Fremdkontaminationen, ein höheres Gewicht. Die Resultate können dadurch ungünstig beeinflusst werden. Die zehn initialen Versuche mit den tieferen OD-Werten von 0.8 bis 1.6 wurden für die Auswertung deshalb nicht berücksichtigt.

2. Die organische Belastung der Bakterien-Gebrauchssuspension hat einen Einfluss auf die Resultate. Eine systematische Untersuchung dazu gibt es aber nicht. Das hat eine Rückfrage bei VAH ergeben.

Verwendete Agar-Medium und Nährlösung:

Abweichung:

Die eingesetzten Agarplatten waren vom Typ Lysogeny broth (LB) plate pure, Product LB_06, statt vom Typ CSA (Casein-Sojamehlpepton Agar), wie gemäss EN 16615/VAH 14.2 vorgeschrieben. Die Nährlösung zur Herstellung der Bakterien-Arbeitskultur war ebenfalls vom Typ LB.

Diskussion:

Gemäss Laborexperthen ist der Typ LB für den vorgesehenen Zweck bestens geeignet und ist im Biozentrum via Media Kitchen verfügbar. Die Komponenten in LB sind ideal, um das Bakterienwachstum zu fördern. Trypton und Hefeextrakt liefern essenzielle Wachstumsfaktoren, die Bakterienzellen sonst synthetisieren müssten. Das Medium enthält auch essenzielle Elektrolyte wie NaCl für den Transport und das osmotische Gleichgewicht.

Menge Neutralisationsmittel und Auftragsmenge:

Abweichung:

Die vorgelegte Neutralisationsmittelmenge für die Rückgewinnung betrug 1ml statt 5ml. Dementsprechend betrug die Auftragsmenge auf die Agarplatten 0.1ml statt 0.5ml.

Diskussion:

0.5ml Auftragsmenge haben sich für die verwendeten Agarplatten als zu grosszügig erwiesen. Diese Abweichung hat keinen Einfluss auf die Resultate. Die Konzentration in der Neutralisationslösung war höher, dafür wurde entsprechend weniger auf die Agar-Platten aufgetragen.

Verdünnung der Wischproben im Neutralisationsmittel:

Abweichung:

Gemäss EN 16615/VAH 14.2 sollten die Rückgewinnungsproben sowohl für den T_0/T_t - als auch für den 4-Felder-Test in jeweils 2 Konzentrationen (Abstufung 10-fach Verdünnung) und jeweils auf 2 Agarplatten aufgetragen werden. Nach der Inkubation sollten die Agarplatten für Feld 1 ausgewertet werden, welche zwischen 14 und 330 KBE aufweisen und für die Felder 2 bis 4 Agarplatten, welche jeweils zwischen 1 und 330 KBE enthalten.

Für die experimentelle Untersuchung wurden für die Rückgewinnungsproben nicht 2 Konzentrationen hergestellt, sondern die unverdünnte Rückgewinnungslösung, im Sinne einer Doppelbestimmung der Inkubation, direkt auf 2 Agarplatten aufgetragen. Alternativ wurde das komplette Experiment (Wischtest und Inkubation) als Doppelbestimmung durchgeführt.

Diskussion:

Die Herstellung von 2 Konzentrationen hat sich als nicht notwendig erwiesen, weil die Anforderungen bezüglich der Anzahl KBE für Feld 1 und für die Felder 2 – 4 erfüllt werden konnten.

Kontrolle mit Wasser standardisierter Härte (WSH), Kontrolle der Neutralisation und Kontrolle der Nicht-Toxizität des Neutralisationsmittels:

Abweichung:

Diese 3 Tests sind in EN 16615/VAH 14.2 vorgeschrieben, wurden aber nicht durchgeführt.

Diskussion:

Ein Wischtest wird mit einer nach Vorschrift hergestellten Lösung aus sterilisiertem Wasser und härtebildenden Calcium- und Magnesiummineralien ohne Desinfektionsmittel durchgeführt. Die Differenz der Keimreduktion mit dieser wässrigen Lösung und der Desinfektionsmittellösung wird ermittelt. Dieser Unterschied stellt den Beitrag von WSH durch den rein mechanischen Wischvorgang an der Gesamtreduktion der Keimzahl dar.

Für die vorliegenden Tests wurde mit einem zugelassenen/zertifizierten Desinfektionsmittel gearbeitet. Somit darf davon ausgegangen werden, dass der WSH-Test für die Zulassungsprüfung akzeptable Resultate lieferte.

Das eingesetzte Neutralisationsmittel Phosphatpuffer ist für diesen Zweck aus Erfahrung am Biozentrum gut geeignet, weil dieses Medium den physiologischen Bedingungen sehr ähnlich ist. Es ist ungiftig und die Salzkonzentrationen schützen die Zellen.

2.8 Fehlerquellen, welche die Präzision und die Richtigkeit der Resultate beeinflussen können

Die meisten und grössten Fehlerquellen hängen mit einer Kreuzkontamination mit Keimen aus anderen Quellen als der des verwendeten Bakterienstammes zusammen. Diese Fehlerquellen unter Kontrolle zu haben, ist die grosse Herausforderung in mikrobiologischen Laboratorien. Die Grundvoraussetzungen für diese Arbeiten waren ideal, weil sie in einem auf dem letzten Stand der Technik ausgestatteten Mikrobiologielabor inkl. Infrastruktur durchgeführt werden konnten. Wichtig war, dass alle Arbeitsschritte immer auf die gleiche Weise durchgeführt wurden.

Zufällige Fehlerquellen welche zu unpräzisen Resultaten führen können und Massnahmen zu deren Minimierung:

– *Arbeitsumgebung enthält zu viele Keime:*

In der unmittelbaren Arbeitsumgebung stand auf dem Labortisch ein mit blauer Flamme brennender Bunsenbrenner. Durch die erzeugten thermischen Luftbewegungen konnten luftschwebende Keime ferngehalten werden.

- *Oberflächen in der Arbeitsumgebung enthalten zu viele Keime:*
Die Oberflächen wurden vor der Arbeit gründlich mit 70% v/v Ethanol in Wasser durch Wischdesinfektion desinfiziert.
- *Einschleppung von Keimen durch Kleidung oder Körperteile:*
Während der Arbeit wurden ein sauberer Labormantel und neue Einweg-Nitrilhandschuhe getragen, welche zwischen den Arbeitsschritten gewechselt wurden.
- *Ungenügende Desinfektion der Testoberflächen vor dem Wischtest:*
Die Testoberflächen wurden gründlich mit 70% v/v Ethanol in Wasser desinfiziert.
- *Fremdkeimeinschleppung durch kontaminierte Arbeitsmaterialien wie Pipetten, Gefässe etc:*
So weit wie möglich wurden Einweg-Materialien verwendet. Die Mehrweg-Materialien wie Glas-Messpipetten oder -Bechergläser etc. waren visuell sauber mit dem Laborgeschirrspüler gewaschen. Der Drigalski-Spatel zur Verteilung der Arbeitskultur auf den Testflächen und zur Inokulation der Agarplatten wurde in 70% v/v Ethanol in Wasser in einem Becherglas aufbewahrt und unmittelbar vor dem Einsatz am Bunsenbrenner abgeflammt.
- *Die Bakteriensuspensionen sind während der Entnahmen nicht homogen:*
Unmittelbar vor jeder Entnahme wurden die Suspensionen z.B. vor dem Auftragen auf die Agarplatten oder während der Herstellung einer Verdünnungsreihe durch Schütteln des Gefässinhaltes mit dem Reagenzglas Schüttler, homogenisiert.
- *Die Resultatberechnungen sind nicht immer richtig:*
Für die Resultatberechnungen wurde ein Excel Spreadsheet mit Zellenfunktionen verwendet.

Systematische Fehlerquellen, welche zu unrichtigen Resultaten führen können und Massnahmen zu deren Minimierung:

- *Fremdkeimeinschleppung durch Reagenzien:*
Die Reagenzien, wie Neutralisationslösung, Nährlösung, Agarplatten etc. stammten alle aus der zentralen Media Kitchen des Biozentrums, waren dicht verschlossen und mit Lot-Nummer und Ablaufdatum versehen.
- *Bakterien-Arbeitskultur oder Rückgewinnungslösung sind nicht ohne Verlust auf den Testflächen oder den Agarplatten verteilt:*
Dieser Verlust lässt sich kaum vermeiden, kann aber durch Verwendung der immer gleichen Werkzeuge und Anwendung der immer gleichen Arbeitsweise, standardisiert und minimiert werden.
- *Unvollständige Rückgewinnung von den Testflächen:*
Dieser Fehler lässt sich kaum vermeiden, kann aber durch das immer gleiche Vorgehen beim Abwischen der Testflächen standardisiert und minimiert werden.

– Die Formeln zur Resultatberechnung im Excel Spreadsheet sind nicht korrekt:

Stichprobenartig wurden die Resultate mit einem Taschenrechner nachgeprüft.

3 Resultate

3.1 Wischtests

Für alle Experimente wurden Doppelbestimmungen, zumindest was die Inokulation/Inkubation/Auszählung der Agarplatten betrifft, durchgeführt. Bei der kompletten Experimentanordnung wurde der ganze Versuch, Wischtest und Inokulation/Inkubation der Agarplatten, ausgeführt. Bei der Anordnung 1 Wischtest 2 Inkubationen wurden aus Effizienzgründen aus einer Wischlösung zwei Agarplatten inokuliert/inkubiert und ausgezählt.

Wischtest mit Fertigwisch Tuch:

Tabelle 2: Resultate Wischtests mit Fertigwisch Tuch

Material	Experiment-Anordnung	Log R (≥5)	$\bar{X}_{(\text{Feld 2-4})}$ (≤50)	Bemerkungen
Standard PVC	komplett	4.5	27	--
	komplett	5.9	10	--
	1 Wischtest 2 Inkubationen	5.1	50	--
		5.1	40	--
Edelstahl	komplett	5.6	13	--
	komplett	5.6	13	--
	1 Wischtest 2 Inkubationen	5.4	17	--
		5.3	17	--
HPL	komplett	3.7	17	sichtbare Spuren auf Feld 1 nach Wischen
	komplett	4.2	30	sichtbare Spuren auf Feld 1 nach Wischen
	1 Wischtest 2 Inkubationen	4.6	10	KBE-Zahl auf Feld 1 relativ hoch
		4.6	10	

Die Tabelle 2 zeigt die Resultate aus den Wischtests auf verschiedenen Oberflächenmaterialien mit dem Fertigwisch Tuch. Die logR-Werte mit dem HPL-Oberflächenmaterial entsprachen alle nicht den Anforderungen. Die Bakterien liessen sich schlecht von der Oberfläche entfernen.

Der Mittelwert der Differenzen aus den Massenbestimmungen des Wischtuchs jeweils vor und nach dem Wischtest über alle Versuche betrug 0.72g (n=18, s=0.28g)

Wischtest mit selbstpräparierter Desinfektionsmittellösung:

Tabelle 3: Resultate Wischtests mit selbstpräparierter Desinfektionsmittellösung

Material	Experiment-Anordnung	Konzentration Desinfektionsmittel (%)	Log R (≥5)	$\bar{x}_{(\text{Feld } 2-4)} (\leq 50)$	Bemerkungen
Standard PVC	komplett	0.5	6.7	10	--
	komplett	0.5	6.5	10	--
OP-Boden	je 1 Wischtest 2 Inkubationen	0.5	5.5	17	--
		0.5	5.5	20	--
		0.1	5.5	27	--
		0.1	5.5	10	--
HPL	komplett	0.5	4.3	433	KBE-Zahlen auf allen Feldern hoch
	komplett	0.5	4.1	500	

Die Tabelle 3 zeigt die Resultate aus den Wischtests mit der selbstpräparierten Desinfektionslösung.

Die Anforderungen beim Standard PVC wurden besser erfüllt als mit dem Fertigwisch Tuch.

Die Anforderungen für das OP-Bodenmaterial konnten auch mit der gemäss Gebrauchsanweisung nicht vorgesehenen tieferen Konzentration von 0.1% erfüllt werden.

Die logR-Werte mit der HPL-Testfläche entsprachen nicht den Anforderungen. Die Durchschnittswerte der Testfelder 2-4 sind extrem hoch.

Der Mittelwert der Differenzen aus den Massenbestimmungen des Wischtuchs jeweils vor und nach dem Wischtest über alle Versuche betrug 0.95g (n=17, s=0.18g)

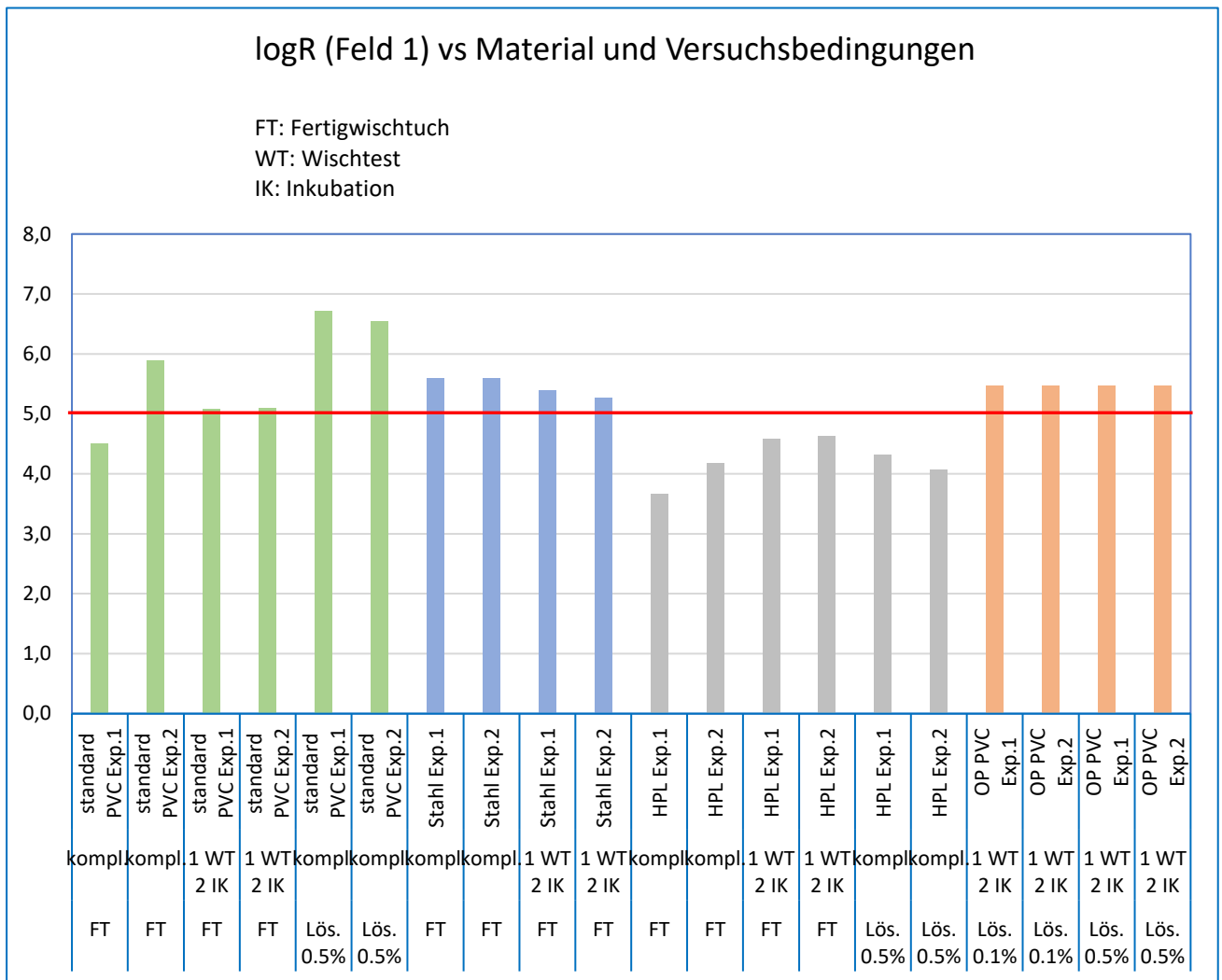


Abbildung 6: Resultate aus Wischtest, logR Feld 1

Die Abbildung 6 zeigt die Resultate aus allen ausgewerteten Wischtestversuchen. Es wird deutlich, dass die logR-Anforderungen bei HPL für alle 6 Tests nicht erfüllt waren.

Abgesehen von einem Ausreisser nach unten, kann die logR-Anforderung beim Standard-PVC als wiederholbar erfüllt betrachtet werden.

OP-Bodenmaterial und Stahl lieferten die konstantesten Resultate und die Anforderungen waren wiederholbar deutlich erfüllt.

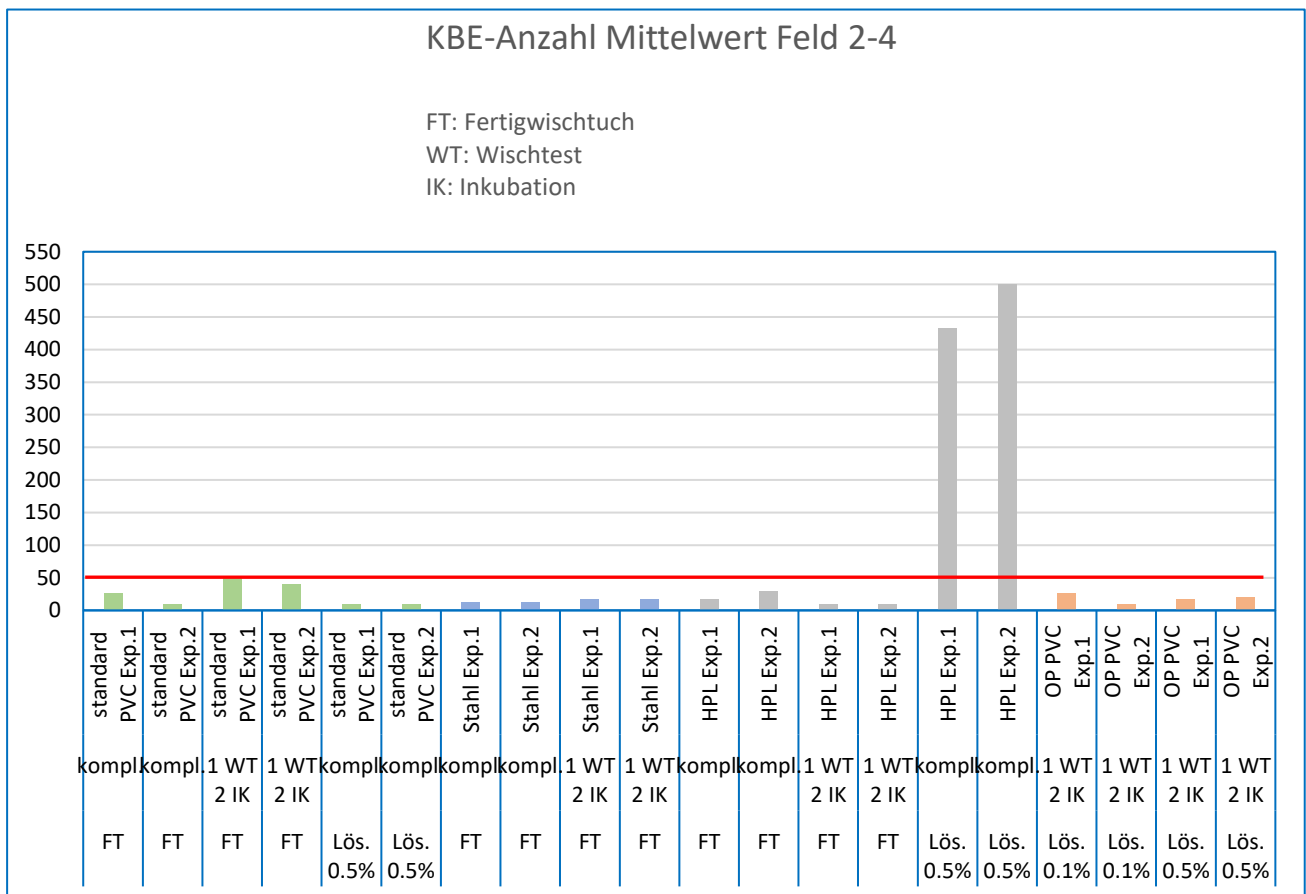


Abbildung 7: Resultate aus Wischtest, KBE-Mittelwert der Felder 2 – 4

Abbildung 7 zeigt die Mittelwerte der Felder 2 bis 4 aus allen ausgewerteten Wischtestversuchen. Die Anforderung an den Mittelwert von nicht mehr als 50 KBE war, mit der Ausnahme bei HPL mit 0.5% selbstpräparierter Desinfektionslösung, in allen Versuchen erfüllt.

3.2 Bakterizidie der Oberflächen

Tabelle 4: KBE-Reduktion der Oberflächen ohne Desinfektionsmittel

Oberflächenmaterial	KBE Zahl T ₀	KBE Zahl T _t	KBE Reduktion (%)	Log R	Befund
Standard PVC	105	104	0.95	0.004	nicht bakterizid
	90	88	2.2	0.01	
OP-Bodenmaterial	24	3	98.8	1.9	ausgeprägt bakterizid
	184	1	99.5	2.3	
Edelstahl	110	64	41.8	0.2	mittel bakterizid
	81	25	69.1	0.5	
HPL	103	88	14.6	0.07	wenig bakterizid
	104	87	16.3	0.08	

Die Tabelle 4 zeigt die Unterschiede der antibakteriellen Eigenschaften der getesteten Oberflächenmaterialien (ohne Einwirkung von Desinfektionsmittel) ausgedrückt in prozentualer

KBE-Reduktion und logR. Es gibt eine klare Abstufung von ausgeprägt bakterizid (OP-Bodenmaterial) bis nicht bakterizid (Standard PVC).

3.3 Mikroskopische Oberflächenanalyse

Um die Grössenverhältnisse der Strukturen wie Rillen, Furchen oder Poren auf den Oberflächen im Verhältnis zu den Grössen der kugelförmigen Einzelzellen oder Cluster der betrachteten Kokkenbakterien mit Durchmessern zwischen 0.8 und 3.5µm gut abschätzen zu können, wurde bei den REM-Bildern die Vergrösserung 1000 resp. 5000-fach gewählt. Mit diesen Vergrösserungen liessen sich die Formen der Oberflächenstrukturen am besten visualisieren und vergleichen.

Die 3D-Laserscanning-Aufnahmen machen die räumlichen Strukturformen der Oberflächen ebenfalls sichtbar und können mittels Punkt- oder Profilmessungen ausgemessen werden. Eine Aufnahme mit dem 150x-Objektiv erzeugt einen Bildausschnitt von ca. 75 x 90µm und entspricht einer Bildschirmvergrösserung von ca. 3'600x. Hinzu kommt, dass alle drei Dimensionen mit einem virtuellen Massstab vermassst sind. Diese Masse werden zusätzlich mit einem Farbcode dargestellt, wobei die tiefsten Strukturen schwarz bis dunkelblau und die höchsten Strukturen gelb bis rot dargestellt sind.

Tabelle 5: Mikroskopische Oberflächenanalyse

Oberflächenmaterial	REM		3D-Laserscanning	
	Abbildung (Vergrösserung)	Beschreibung Oberfläche	Abbildung (Vergrösserung)	Grössen der Strukturen
HPL	8, (1000fach)	sehr glatte Oberfläche wenige blasenförmige, erhabene Strukturen keine Rillen, Furchen oder Poren	10 (3600fach)	erhabene Strukturen max.11µm hoch und 30µm Durchmesser in der grössten Ausdehnung
	9, (5000fach)	Furchen erkennbar, <1µm breit		
Standard PVC	11, (1000fach)	sehr glatte Oberfläche viele enge talförmige Strukturen keine Rillen, Furchen oder Poren	13 (3600fach)	erhabene Strukturen max.25µm hoch und an der Basis 50µm max. Ausdehnung talförmige Strukturen sind 5 bis 10µm breit
	12, (100fach)	viele erhabene, edelweissförmige Strukturen		
Edelstahl	14, (1000fach)	sehr viele lange Rillen und Furchen, einige Poren	15 (3600fach)	Rillen und Furchenbreite zwischen 5 und 15µm, Porendurchmesser ca.5µm, max. Höhe ca.10µm
OP-Bodenmaterial	16, (1000fach)	körnige Oberfläche wenige sanft gewellte, erhabene Strukturen viele Poren und einige Furchen	17 (3600fach)	erhabene Strukturen max.10µm hoch und an der Basis 90µm max. Ausdehnung Porendurchmesser max.5µm

Tabelle 5 enthält systematisierte Beschreibungen der Oberflächenstrukturen. Die räumlichen Ausdehnungen der Strukturelemente sind quantifiziert. Die Bilder 8 bis 17 befinden sich im Anhang 1.

4 Diskussion

4.1 Wischtest

Der Standardtest mit dem Fertigwischtuch lieferte mit Standard PVC bei der zweimaligen, vollständigen Durchführung logR-Werte mit signifikantem Unterschied. Dieses Experiment müsste zur Bestätigung der Wiederholbarkeit nochmals durchgeführt werden. Unter Bezug der Resultate aus der Experimentanordnung mit 1 Wischtest und 2 Inkubationen und der Wiederholung des Tests mit 0.5% selbstpräparierter Desinfektionslösung mit 1 Wischtest und 2 Inkubationen, kann der Standardtest am Standard PVC als wiederholbar betrachtet werden.

Mit Edelstahl wurden gut wiederholbare Resultate erhalten. Alle logR-Werte entsprachen den Anforderungen.

HPL zeigte in dieser Reihe durchgehend tiefe logR-Werte. Bei der Durchführung hat sich herausgestellt, dass sich beim Wischtest die angetrocknete Bakteriensuspension schwierig von Feld 1 löste. Damit hängen wahrscheinlich die tiefen Werte zusammen.

Für das OP-Bodenmaterial wurde für den Wischtest mit der selbstpräparierten Desinfektionslösung die gemäss Hersteller vorgeschriebene Konzentration/Einwirkzeit 0.5% in Leitungswasser/60 Minuten angewandt. Alle logR-Werte entsprachen den Anforderungen. In einem weiteren Versuch wurde die Konzentration interessehalber auf 0.1% gestellt bei ebenfalls 60 Minuten Einwirkzeit. Die logR-Werte entsprachen auch hier den Anforderungen. Mit einer Ausnahme waren auch die Durchschnittswerte für die Felder 2-4 gut wiederholbar, alle Werte entsprachen aber den Anforderungen.

Weil beim HPL-Oberflächenmaterial die Wischtests mit dem Fertigwischtuch nicht den Anforderungen entsprachen, war von Interesse, ob die Wischtests mit selbstpräparierter Desinfektionslösung und einer Einwirkzeit von 60 Minuten statt eine Minute eine Veränderung bringen würde. Es wäre denkbar, dass die Einwirkzeit von einer Minute nach der Desinfektion mit dem Fertigwischtuch zu kurz war. Das war nicht der Fall. Sowohl die logR-Werte als auch die Durchschnittswerte der KBE-Zahlen auf den Feldern 2-4 entsprachen nicht den Anforderungen. Eine HPL-Arbeitsfläche mit selbstpräparierter Desinfektionslösung zu desinfizieren ist unüblich, weil umständlich und zeitintensiv, aber nicht verboten. Der grobe Ausreisser, welcher bei einer

kompletten Doppelbestimmung wiederholbar war, lässt darauf schliessen, dass hier beim Wischtest die Bakterien über alle Felder verschmiert und deutlich ungenügend abgetötet wurden.

Resultat-Qualitätsanalyse aus Wischtests:

Jedes Experiment wurde in mindestens einer Doppelbestimmung wiederholt. Für eine statistisch signifikante Aussage sind das zu wenig Datenpunkte. Nach der Einarbeitung in die Methode und Sammeln von Erfahrungen, wurden die Experimente immer gleich durchgeführt. Es können demzufolge vergleichende Aussagen gemacht werden, wie z.B. HPL lässt sich wiederholbar schlechter desinfizieren als Edelstahl, oder OP-Bodenmaterial hat wiederholbar ausgeprägtere bakterizide Eigenschaften als Standard PVC.

Gestützt wird diese Aussage durch eine umfassende Ringstudie von VAH, welche erhebliche Unterschiede zwischen den 24 teilnehmenden akkreditierten Labors offenlegt (27). Die Versuche wurden jeweils in 3 Wiederholungen mit 3 verblindeten⁸ Desinfektionsmitteln (2 Konzentrate und ein Fertigwischtuch) einmal mit dem Standard PVC, wie in der vorliegenden Studie und einmal mit einem alternativen Bodenmaterial durchgeführt. Als Testbakterium diente *Staphylococcus aureus*. Bei der Wiederholbarkeit liegen die Standardabweichungen für die logR-Werte aus jeweils 12 Labors im Bereich von 0.1 und 0.7. Bei der Reproduzierbarkeit liegen die Standardabweichungen im Bereich von 0.5 bis 1.2.

Die Resultate für die Wiederholbarkeit der vorliegenden Studie passen gut in das Bild der Ringstudie, wo es mit drei Wiederholungen zum Teil beträchtliche Unterschiede unter den Einzelwerten gab.

4.2 Bakterizide Eigenschaften der Oberflächenmaterialien

Das OP-Bodenmaterial hat sich als ausgeprägt bakterizid erwiesen. Die Reduktion beträgt ca. 2 Logstufen. Würde dieser Beitrag für die Auswertung abgezogen, dann wäre dort die logR-Anforderung nicht erfüllt. Rückfragen zu diesem Befund beim Lieferanten dieses Bodenmaterials haben leider keine befriedigende Antwort ergeben. Es wurde nur bestätigt, dass dem Material bei der Herstellung kein Nanosilber oder dergleichen zugesetzt wird. Der Rest läuft offenbar unter Betriebsgeheimnis. In der Praxis ist dieser Befund nicht von Relevanz. Die Anforderungen waren erfüllt, aber interessanterweise liefert die Bakterizidie der Oberfläche einen signifikanten

⁸ Die teilnehmenden Labors wussten nicht, um welche Desinfektionsmittel es sich handelte, sie waren mit A, B und C gekennzeichnet.

Beitrag an dieses Resultat. Das Desinfektionsmittel selbst würde die erforderliche Leistung nicht bringen.

Bei Stahl würden die logR-Werte aus dem Wischtest auch unter Abzug der logR-Werte aus der Bakterizidie-Studie den Anforderungen entsprechen.

Standard-PVC erfährt eine sehr kleine Bakterien-Reduktion. Damit kann gesagt werden, dass sich dieses Testmaterial als Standard zur Zulassungs-/Zertifizierungsprüfung neuer Oberflächen-Desinfektionsmittel sehr gut eignet. Die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln kann geprüft werden ohne Einfluss des Materials selbst.

HPL hat gewisse bakterizide Eigenschaften. Das ist sehr wahrscheinlich der Tatsache geschuldet, dass diese Oberfläche antibakteriell imprägniert ist, wie das in Kapitel 2.3 ausgeführt ist.

4.3 Mikroskopische Oberflächenanalyse

Die Stahloberfläche enthält die typischen Rillen, welche vom Polierprozess stammen.

Die Oberfläche von Standard PVC ist gröber gewellt als diejenige von HPL oder OP-Boden. Sie wirkt aber etwa gleich glatt wie die der HPL-Oberfläche. Der Beitrag zur Rutschfestigkeit wird beim Standard-PVC vermutlich durch die vielen edelweissartigen, erhabenen Strukturelemente und beim OP-Bodenmaterial durch die körnige Struktur erreicht.

Bezüglich Oberflächenstrukturen und deren Dimensionen könnten sich auf allen Materialien, ausser HPL, Kokkenbakterien mit einem Durchmesser von 0.8 bis 3.5µm festsetzen. Die HPL-Oberfläche dagegen enthält weder Rillen, Poren noch genügend breite Furchen, sodass Bakterien dort kaum genügend Auflageflächen finden, um sich festsetzen zu können. Von daher müsste diese Oberfläche eigentlich am besten desinfizierbar sein.

4.4 Schlussfolgerung

Der erste Teil der Leitfrage «Ist das Erreichen der Wischtest-Anforderungen zur Zulassung von Flächendesinfektionsmitteln im Gesundheitswesen für andere Oberflächenmaterialien sichergestellt?» muss negativ beantwortet werden.

Die diesbezüglichen Hypothesen, dass die Auswahl des Standard-Oberflächenmaterials, kombiniert mit der Wischtestmethode und den Anforderungen zur Zulassung von bakteriziden Flächendesinfektionsmitteln so gewählt sind, dass die Desinfektion von geeigneten Oberflächenmaterialien sichergestellt ist und dass die Oberflächenmaterialien in Gesundheitseinrichtungen so gewählt sind, dass eine sichere Desinfektion mit zugelassenen Desinfektionsmitteln gewährleistet ist, konnten nicht bestätigt werden.

Der zweite Teil der Leitfrage: «Lässt sich ein Zusammenhang zwischen Oberflächenstruktur und deren Desinfizierbarkeit herstellen?» kann im Rahmen dieser Untersuchung mit Ja beantwortet werden. Die zugehörige Hypothese, dass die Desinfizierbarkeit besser wird, je glatter die Oberfläche ist, konnte aber, zumindest anhand von HPL, nicht bestätigt werden.

Die sehr glatte und hydrophobe Oberfläche von HPL bewirkte wahrscheinlich, dass sich sowohl die Bakteriensuspension als auch das Desinfektionsmittel beim Auftragen sehr inhomogen auf der Oberfläche verteilten und keine vollständige Benetzung stattfand (28). Das konnte speziell mit der selbstpräparierten Desinfektionslösung 0.5% in Wasser von blossen Auge beobachtet werden.

Bei einer im Bereich von 1 bis 10µm eng strukturierten hydrophoben Oberfläche wie beim Standard-PVC oder einer körnigen resp. mit Poren, Rillen und Furchen durchsetzten Oberfläche im gleichen Grössenbereich wie beim OP-Bodenmaterial oder Edelstahl könnten sich durch adhäsive Kapillarkräfte, welche durch die Strukturen hervorgerufen werden, Flüssigkeiten besser auf der Oberfläche verteilen und diese dadurch homogener benetzen. Das ist ein bekanntes Phänomen und wurde untersucht (29). Mit diesem Effekt würde zunächst die Benetzung der Oberfläche mit der Bakteriensuspension erhöht. Aber auch die Benetzung mit dem Desinfektionsmittel und damit dessen Kontakt mit den Bakterien könnte dadurch deutlich intensiviert werden. Voraussetzung wäre, dass nicht eine sehr hydrophobe Oberfläche mit einer Flüssigkeit mit hoher Oberflächenspannung aufeinandertreffen. Das würde zu einem Lotuseffekt führen und die Flüssigkeit würde trotz strukturierter Oberfläche abperlen (30). Oberflächendesinfektionsmittel haben wegen den enthaltenen Tensiden und Alkoholen etc. eine relativ niedrige Oberflächenspannung und ein Lotuseffekt ist damit sehr unwahrscheinlich.

Mit einem vergleichenden Wischtest von zwei HPL-Flächen, einmal mit einer rauen Struktur mit Rillen, in der gleichen Grössenordnung wie bei Stahl, und einmal im Originalzustand, könnte diese These bestätigt werden.

Literaturverzeichnis

- (1) U. Oesterlee, S. K. Holt, S. Schneitler, W. Randerath (2018): Nosokomiale Pneumonie, in: M. Kruschewski, H.J. Buhr P. Schneider (Hrsg.), *Thoraxchirurgie für den Allgemein- und Viszeralchirurgen*, Deutschland, Springer-Verlag GmbH, S. 234-241.
- (2) Robert Koch Institut, (2017): Infektionsepidemiologisches Jahressbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2016, Berlin, S. 151. [online]
[https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Jahrbuch/Jahrbuch_2016.pdf? blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Jahrbuch/Jahrbuch_2016.pdf?blob=publicationFile)
[10.09.2023]
- (3) Stahlhacke, Michael: Spitalhygieniker, Kantonspital Liestal, persönliches Interview, 31.03.2023.
- (4) Dr. Mohsen Naghavi, (2022): Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis, in: The Lancet Group (Hrsg.), *Lancet 2022*, Bd. 399, Seattle USA, S. 629-637.
- (5) Plüss-Suard, Catherine (2023): Multiresistente Bakterien in der Schweiz, Was gibt es Neues? [PowerPoint Präsentation], Bern, Universität Bern, [online]
https://www.swissnoso.ch/fileadmin/module/ssi_surveillance/Dokumente_D/7_Praesentationen/P8_Catherine_Pluess-Suard_MRE_in_der_Schweiz_was_ist_neu_DE_fin_to_publish.pdf
[12.09.2023]
- (6) World Health Organization (WHO), (2017): Prioritization of pathogens to guide discovery, research and development of new antibiotics for drug-resistant bacterial infections, including tuberculosis, S. 26-29, [online] <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-EMP-IAU-2017.12> [12.09.2023].
- (7) Bush, Larry M., (2023): *Staphylococcus-aureus-Infektionen*, in: MSD Manual Ausgabe für Patienten (Hrsg.), Rahway, USA, S. 1-9, [online]
<https://www.msdmanuals.com/de/heim/infektionen/bakterielle-infektionen-grampositive-bakterien/staphylococcus-aureus-infektionen> [12.09.2023].
- (8) Kassenärztliche Vereinigung Berlin (2023): Informationsblatt zum Umgang mit MRSA für Patienten (in Krankenhäusern) und deren Angehörige, Berlin, [online]
https://www.kvberlin.de/fileadmin/user_upload/qs_hygiene/hygiene_mrsa_merkblatt_patienten_angeh.pdf [12.09.2023].
- (9) Volker Kittlar, Medpertise (2015): Wie lange überdauern MRSA-Bakterien auf Oberflächen? [online] <https://www.medpertise.de/mrsa/ueberleben-oberflaechen/> [18.09.2023].
- (10) Kyrsewski, Sophie Cathérine (2018): Einsatz von PCR, Massenspektrometrie und konventionellen Verfahren zur direkten Identifizierung und Resistenzbestimmung von Mikroorganismen aus Blutkulturen, Medizinische Fakultät Charité, Universitätsmedizin Berlin, zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.).
- (11) Forrester, Joseph D, (2021): Sepsis und septischer Schock, in: MSD Manual Ausgabe für medizinische Fachkreise (Hrsg.), Rahway USA, [online]
<https://www.msdmanuals.com/de/profi/intensivmedizin/sepsis-und-septischer-schock/sepsis-und-septischer-schock> [20.09.2023].
- (12) Becker, Prof. Dr. Karsten (2015): Bakterienfressende Viren gegen Krankenhauskeime – neuer Wirkstoff gefunden, in: *Newsletter*, Newsletter Spezial: G7-Gipfel in Deutschland, [online]
<https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/bakterienfressende-viren-gegen-krankenhauskeime-neuer-wirkstoff-gefunden-3250.php> [19.09.2023].

- (13) Tagung der Paul-Ehrlich-Gesellschaft, Universimed (2018): Immuntherapie bei bakteriellen Erkrankungen, [online] <https://www.universimed.com/ch/article/infektiologie/immuntherapie-und-impfungen-bei-bakteriellen-erkrankungen-2108236> [20.09.2023].
- (14) Aziz, Ann-Marie, British Journal of Community Nursing (2020): Strategies to reduce Gram-negative infections: a community perspective, [online] <https://www.britishjournalofcommunitynursing.com/content/professional/strategies-to-reduce-gram-negative-infections-a-community-perspective/> [21.09.2023].
- (15) Hartmann Science Center, (2023): Quartäre Ammonium Verbindungen (QAV), [online] <https://www.hartmann-science-center.com/de-de/hygiengewissen/glossar/glossary-17/quaternary-ammonium-compounds> [21.09.2023].
- (16) Lexow, Dr. F., (2022): Anforderungen an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen [PowerPoint Präsentation], Berlin, Robert Koch Institut, [online] https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Kommission/Downloads/Hygiene-Anforderungen_10-2022.pdf?blob=publicationFile [10.09.2023].
- (17) Schweizerische Eidgenossenschaft (2020): Anmeldestelle Chemikalien der schweizerischen Eidgenossenschaft, Zulassungsverfahren ZN für Desinfektionsmittel, [online] <https://www.anmeldestelle.admin.ch/chem/de/home/themen/pflicht-hersteller/zulassung-biozidprodukte/uebergangszulassung/zulassung-zn/zulassungsverfahren-zn-desinfektionsmittel/wirksamkeitsdossier.html> [10.09.2023].
- (18) Agolite AG, (2015): Broschüre, Antibakteriell ausgerüstete Agolite HPL, Willisau, S. 1-2, [online] https://www.argolite.ch/files/pdf1/2015_09_argolite_sanitized_d.pdf [16.09.2023]
- (19) Faschlan, Oliver: Leiter Betrieb, Bau & Infrastruktur Kantonsspital Baselland, telefonisches Gespräch, 09.05.2023.
- (20) Schönenberger, Dr. Monica: Application scientist AFM/LSM, Swiss Nano Science Institute (SNI), persönliches Gespräch, 21.08.2023.
- (21) VAH, (2020): Flyer, Faktencheck Liste, [online] https://vah-online.de/files/download/2020_Flyer_VAH.pdf [05.09.2023].
- (22) Gebel, Dr. rer. nat. Jürgen, (2022): Anforderungen und Methoden zur VAH- Zertifizierung chemischer Desinfektionsverfahren, in: Desinfektionsmittel-Kommission im Verbund für angewandte Hygiene (Hrsg.), *Flächendesinfektion mit Mechanik – praxisnaher 4-Felder-Test*, Bonn, S.115-125.
- (23) Krieger, Christine, Medizin & Technik (2008): Keimresistenz von Edelstahl und Kupfer im Vergleich, [online] <https://medizin-und-technik.industrie.de/technik/entwicklung/kein-naehrboden-fuer-schmutz-und-bakterien/> [10.09.2023].
- (24) Mowoh, Nadine, Protocols.io, (2022): Preparing LB Broth Agar +/- Antibiotic, [online] <https://www.protocols.io/view/preparing-lb-broth-or-agar-antibiotic-5jyl896prv2w/v1> [07.09.2023].
- (25) Bast, E, (2014): Mikrobiologische Methode, Eine Einführung in grundlegende Arbeitstechniken [PowerPoint Präsentation], Duisburg, Universität Duisburg. [online] https://www.uni-due.de/imperia/md/content/water-science/WS1415/2022_04_a_steriles_arbeiten_-_luftkeime.pdf [07.09.2023].

- (26) Lakna, Pediaa, (2018): Difference Between Micrococcus and Staphylococcus, [online] <https://pediaa.com/difference-between-micrococcus-and-staphylococcus/#:~:text=Micrococcus%20is%20a%20bacteria%20that,motile%20and%20non%20Dspore%20producing> [10.9.2023].
- (27) Gemein, Dr. rer. nat. Stefanie & Gebel, Dr. rer. nat. Jürgen (2018): Final Report VAH ring trial 2018-1, Chemical disinfectants and antiseptics, Bonn, S. 8-11. [online] https://vah-online.de/files/download/Ringversuche/Ring_trial_VAH_2018_1.pdf [14.09.2023].
- (28) Xinqi Wang, Lijiu Cao, Yue Hu, Yufang Chen (2023): Highly transparent, hydrophobic, hard and flexible coatings based on a novel melamine-formaldehyde resin synthesized by hydrophobic melamine, Bd. 179, China, Elsevier-Verlag, [online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944023000838> [08.10.2023].
- (29) Krüss Know-How, (2020): Rauheit, Oberflächenrauheit, [online] <https://www.kruss-scientific.com/de-DE/know-how/glossar/rauheit> [15.09.2023].
- (30) Wikipedia, (2023): Lotoseffekt, [online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Lotoseffekt> [15.09.2023].

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1, Seite 2: 2016, Robert Koch Institut, Anteil der Erreger/Erregergruppen 2016 in Deutschland
- Abbildung 2, Seite 4: 2022, The Lancet Group, Altersübergreifende globale Todesrate
- Abbildung 3, Seite 8: 2020, British Journal of Community Nursing, Schema grampositives Bakterium
- Abbildung 4, Seite 14: 2022, VAH, Versuchsanordnung für den Wischtest
- Abbildung 5, Seite 15: 2022, VAH, Flächendesinfektion mit Mechanik – praxisnaher Versuch
- Abbildung 6, Seite 31: 2023, Antoine Schneider, Resultate aus Wischtest, logR Feld 1
- Abbildung 7, Seite 32: 2023, Antoine Schneider Resultate aus Wischtest, KBE-Mittelwert der Felder 2 – 4
- Abbildung 8, Seite 42: 2023, Susanne Erpel, REM Aufnahme HPL Oberfläche 1000fach
- Abbildung 9, Seite 42: 2023, Susanne Erpel, REM Aufnahme HPL-Oberfläche 5000fach
- Abbildung 10, Seite 43: 2023, Antoine Schneider, 3D-Laserscanning Aufnahme HPL 3600fach
- Abbildung 11, Seite 43: 2023, Susanne Erpel, REM Aufnahme Standard PVC 1000fach
- Abbildung 12, Seite 44: 2023, Susanne Erpel, REM Aufnahme Standard PVC 100fach
- Abbildung 13, Seite 44: 2023, Antoine Schneider, 3D-Laserscanning Aufnahme Standard PVC 3600fach
- Abbildung 14, Seite 45: 2023, Susanne Erpel, REM Aufnahme Edelstahl 1000fach
- Abbildung 15, Seite 45: 2023, Antoine Schneider, 3D-Laserscanning Aufnahme Edelstahl 3600fach
- Abbildung 16, Seite 46: 2023, Susanne Erpel, REM Aufnahme OP Boden 1000fach

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1, Seite 25: 2023, Antoine Schneider, Eigenschaften von Staphylococcus aureus vs Micrococcus luteus

Tabelle 2, Seite 29: 2023, Antoine Schneider, Resultate Wischtests mit Fertigwischtuch

Tabelle 3, Seite 30: 2023, Antoine Schneider, Resultate Wischtest mit selbstpräparierter Desinfektionsmittellösung

Tabelle 4, Seite 32: 2023, Antoine Schneider, KBE-Reduktion der Oberflächen ohne Desinfektionsmittel

Tabelle 5, Seite 33: 2023, Antoine Schneider, Mikroskopische Oberflächenanalyse

Formelverzeichnis

Formel 1, Seite 16: 2023, VAH, Berechnung der KBE-Zahl-Reduktion für Feld 1

Formel 2, Seite 16: 2023, VAH, Berechnung KBE-Zahl Mittelwert Felder 2 bis 4

Anhang 1: REM- und 3D-Laserscanning-Aufnahmen

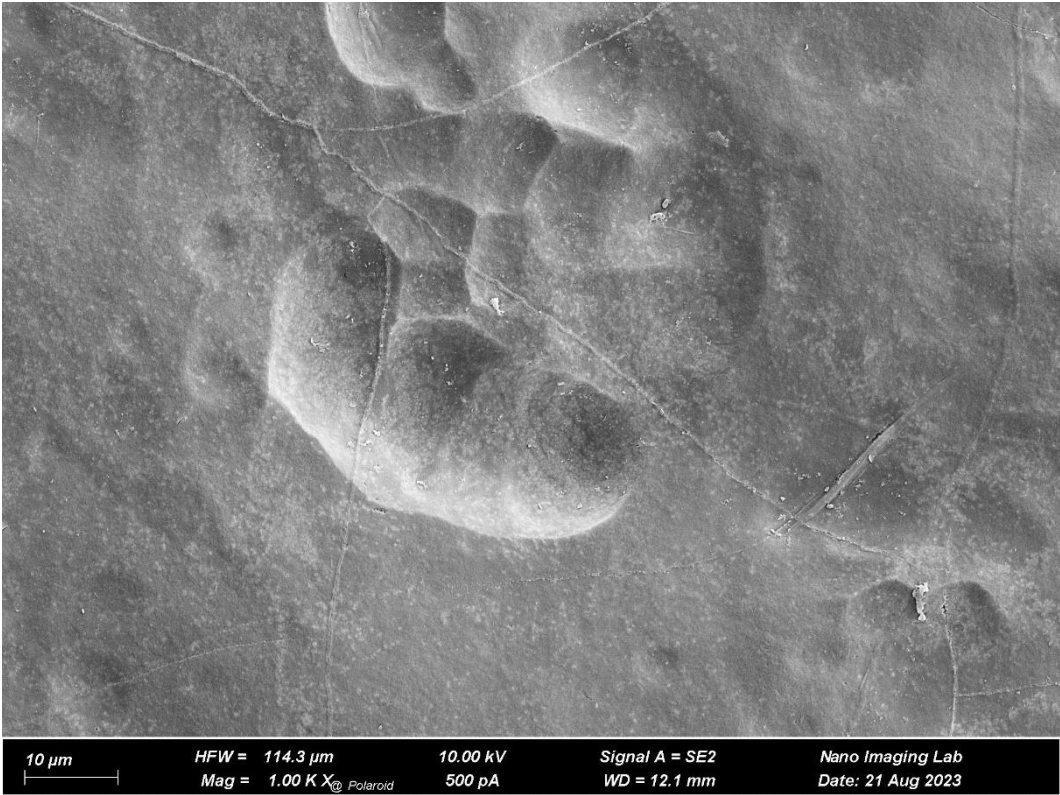


Abbildung 8: REM Aufnahme HPL Oberfläche 1000fach

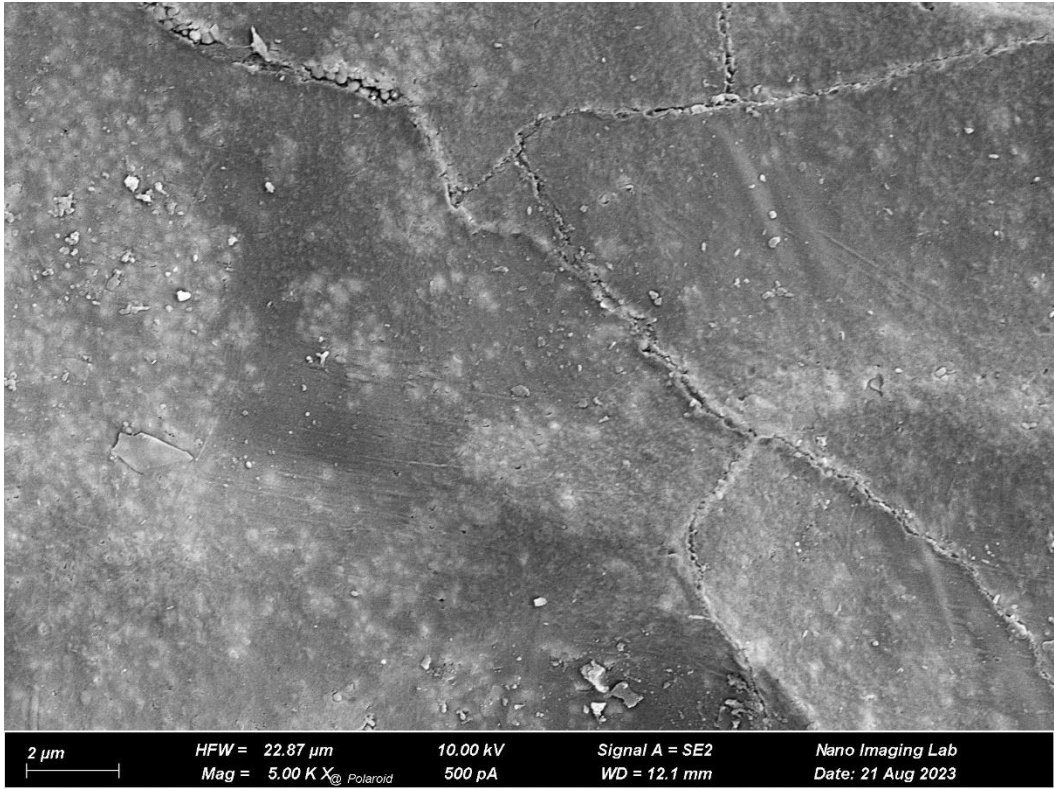


Abbildung 9: REM Aufnahme HPL-Oberfläche 5000fach

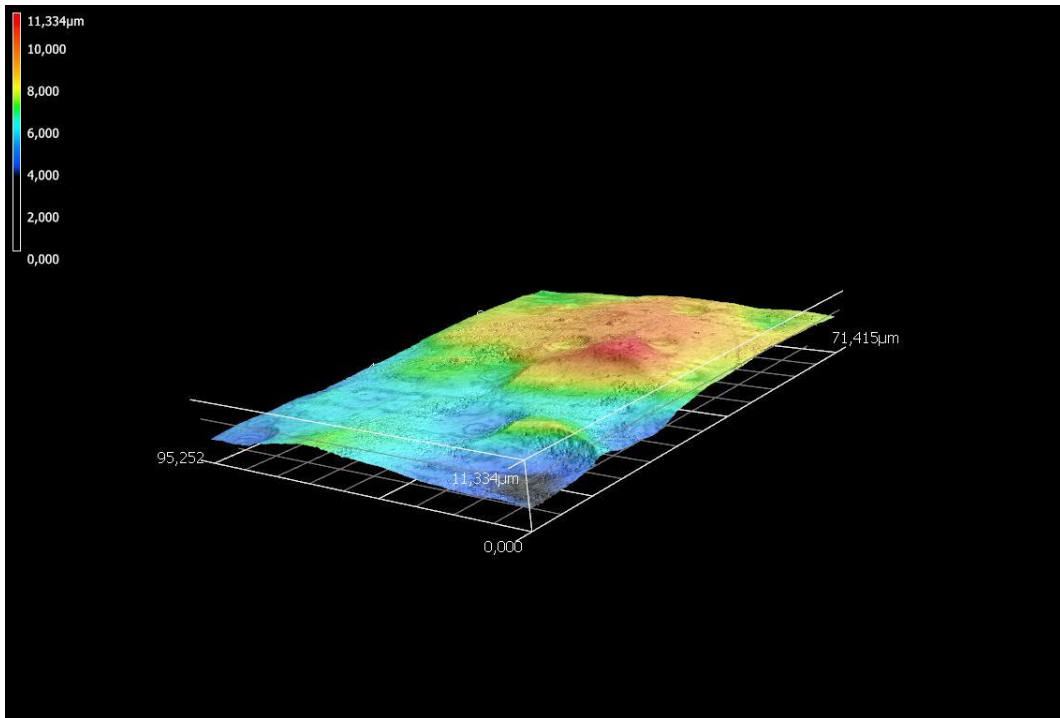


Abbildung 10: 3D-Laserscanning Aufnahme HPL 3600fach

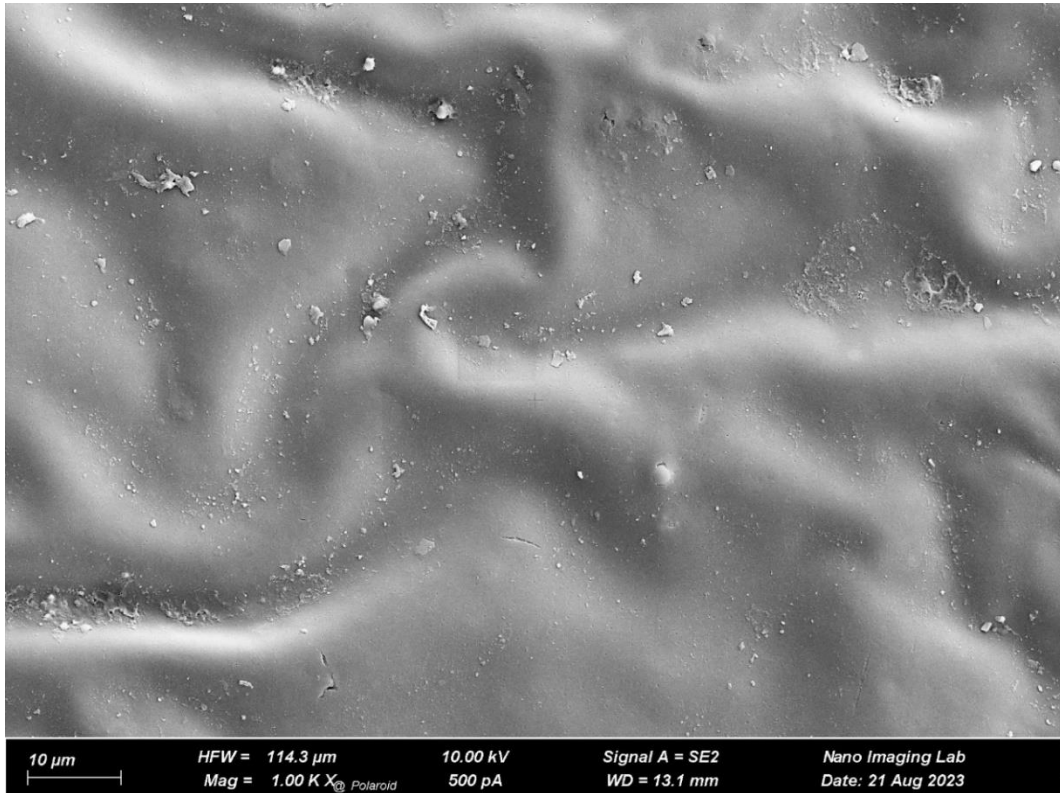


Abbildung 11: REM Aufnahme Standard PVC 1000fach

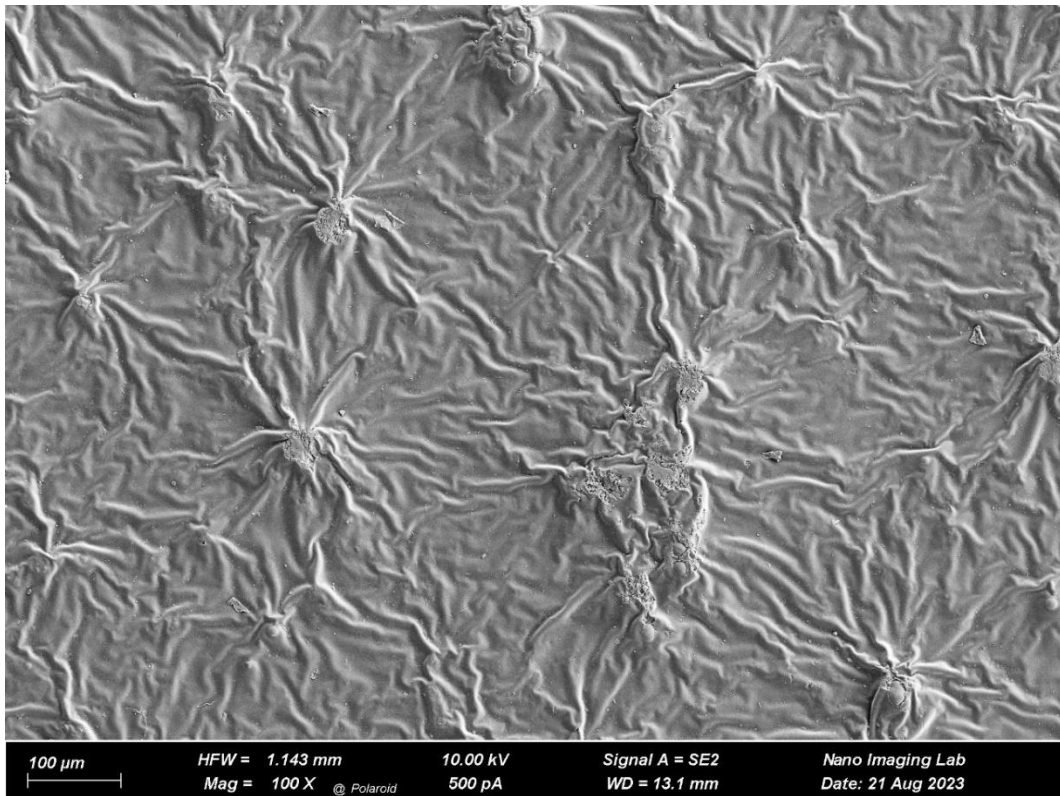


Abbildung 12: REM Aufnahme Standard PVC 100fach

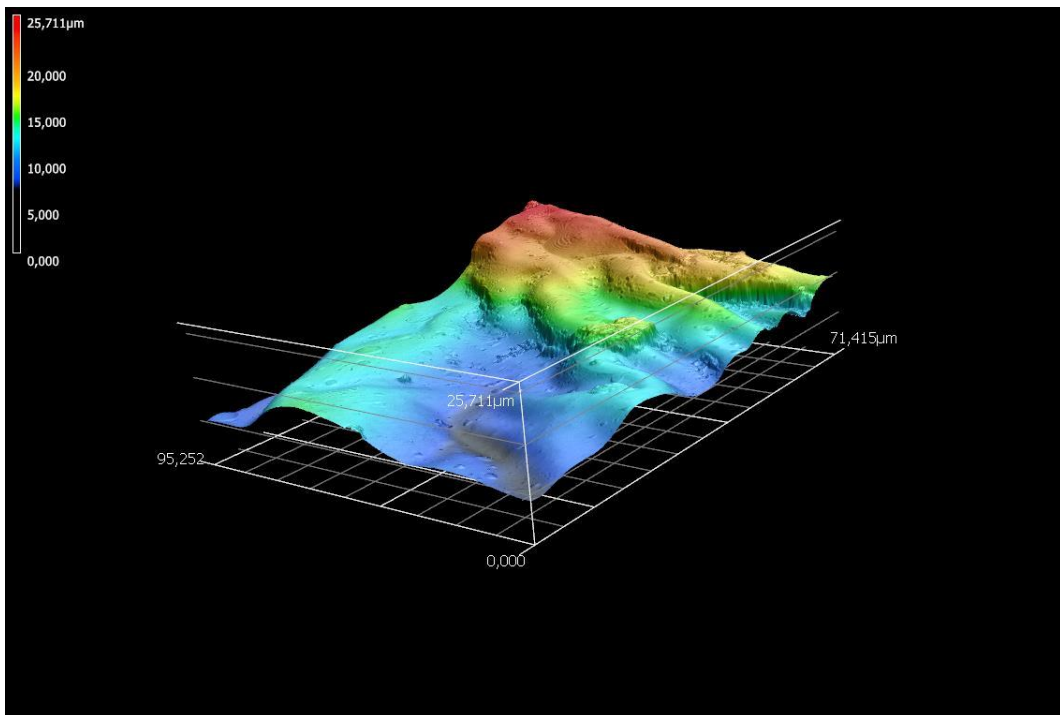


Abbildung 13: 3D-Laserscanning Aufnahme Standard PVC 3600fach

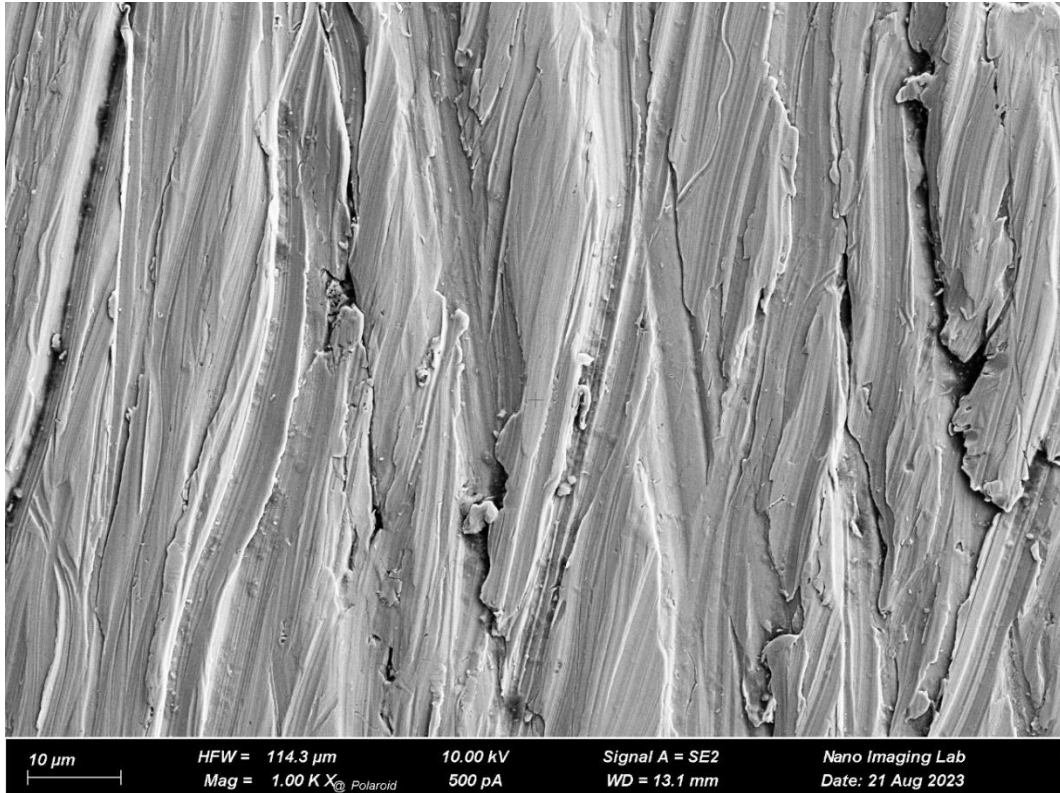


Abbildung 14: REM Aufnahme Edelstahl 1000fach

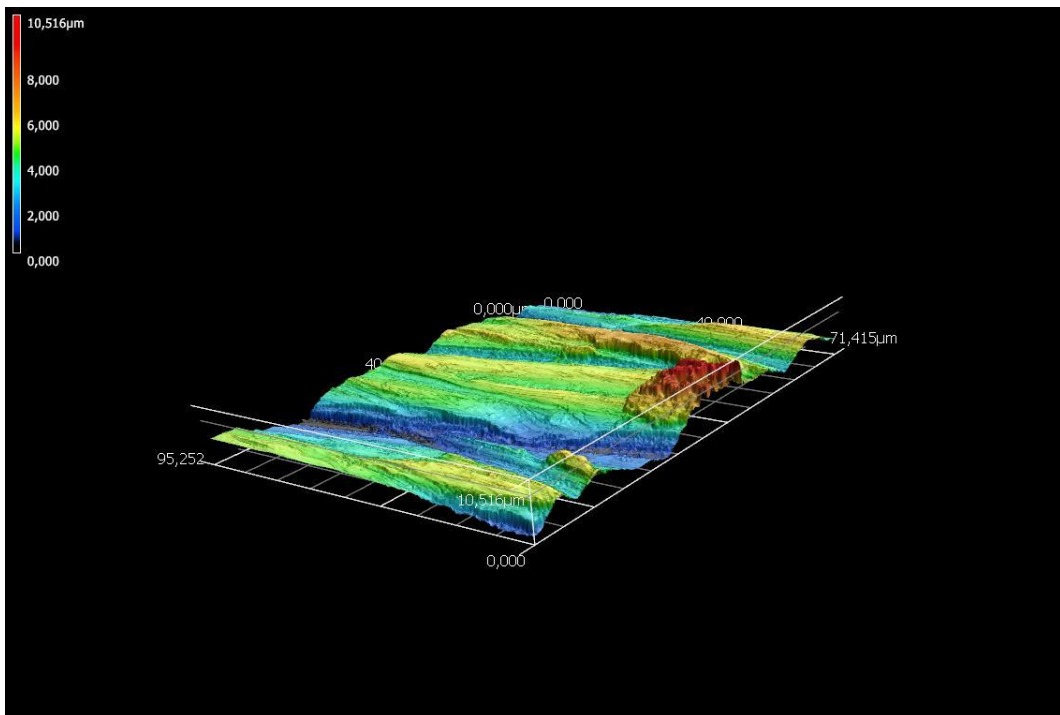


Abbildung 15: 3D-Laserscanning Aufnahme Edelstahl 3600fach

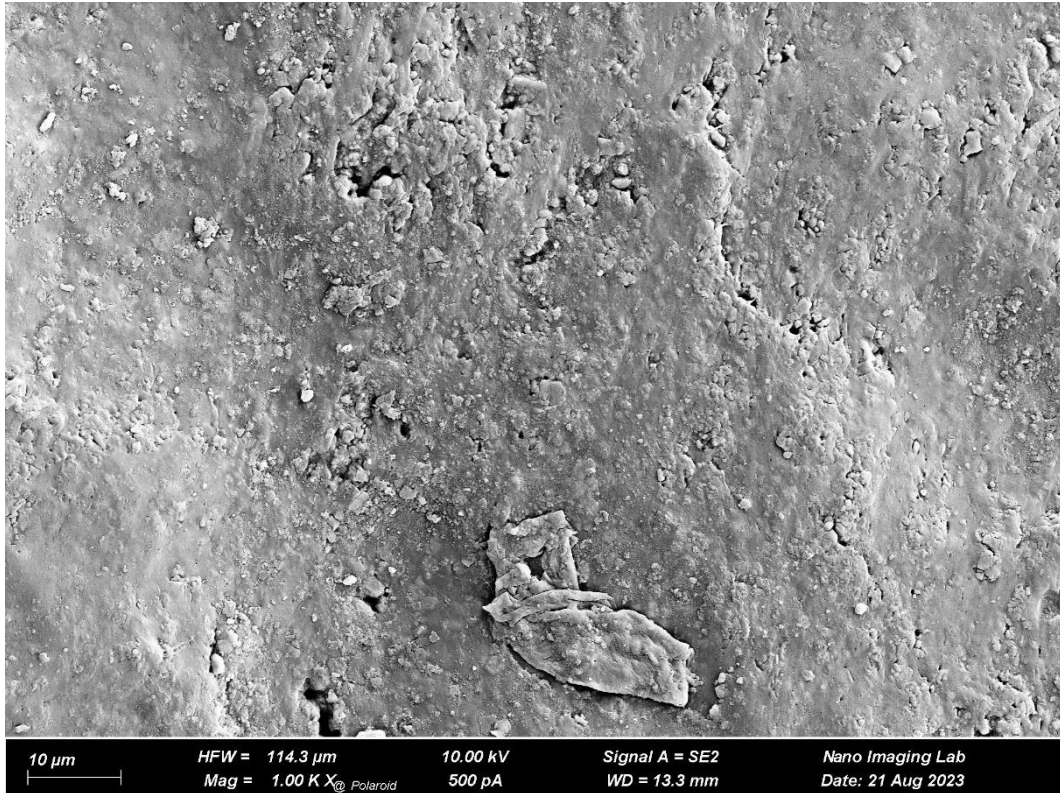


Abbildung 16: OP Boden REM Aufnahme 1000fach

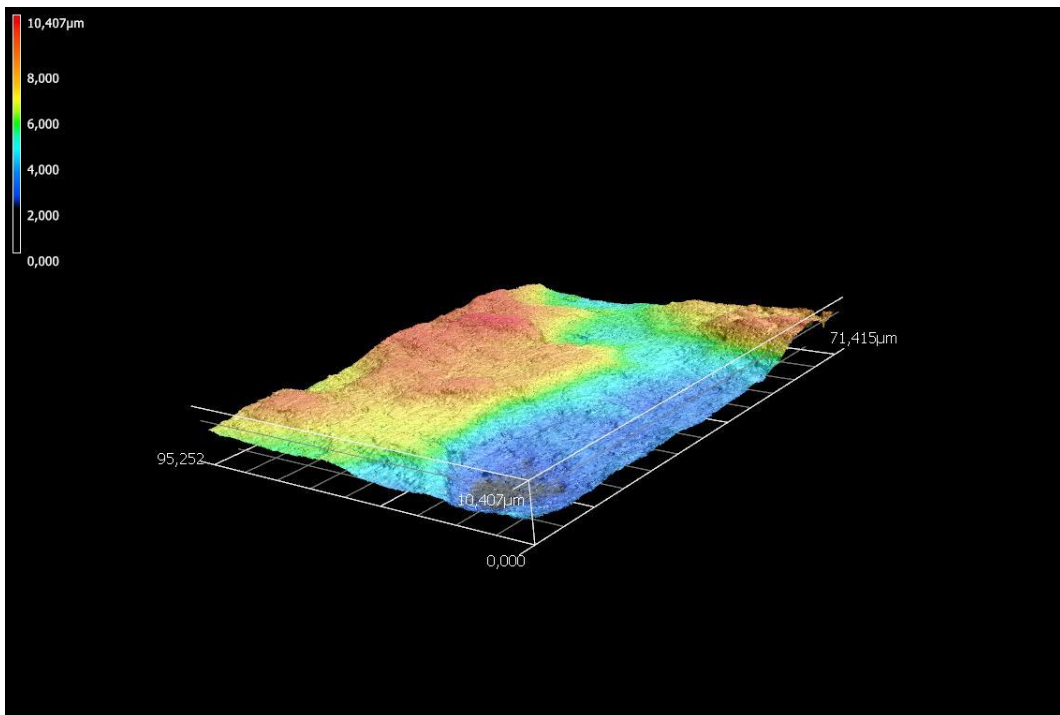


Abbildung 17: 3D-Laserscanning Aufnahme OP-Boden 3600fach

Anhang 2: Rohdaten aus Wischtests

Standard PVC Exp.1	FT	komplett	5.82	4.83	0.99	1	0.1	10'000.00	154	15'400'000	48	480	3	30	4	40	1	10	4.5	27	n.a
Standard PVC Exp.2	FT	komplett	6.06	5.18	0.88	1	0.1	10'000.00	154	15'400'000	2	20	1	10	1	10	1	10	5.9	10	grosse logR-Differenz aus Doppelbestimmung
Standard PVC Exp.1	FT	1 WT 2 IK	6.47	5.82	0.65	5	0.5	100'000.00	134	134'000'000	112	1120	2	20	6	60	7	70	5.1	50	n.a
Standard PVC Exp.2	FT	1 WT 2 IK	6.47	5.82	0.65	5	0.5	100'000.00	134	134'000'000	105	1050	3	30	4	40	5	50	5.1	40	n.a
Standard PVC Exp.1	0.5	komplett	18.32	17.5	0.82	1	0.1	100'000.00	104	104'000'000	2	20	1	10	1	10	1	10	6.7	10	höerer logR-Wert mit selbstpräp. Des.mittel
Standard PVC Exp.2	0.5	komplett	18.35	17.26	1.09	1	0.1	100'000.00	104	104'000'000	3	30	1	10	1	10	1	10	6.5	10	höerer logR-Wert mit selbstpräp. Des.mittel
Stahl Exp.1	FT	komplett	6.36	5.77	0.59	1	0.1	10'000.00	78	7'800'000	2	20	1	10	2	20	1	10	5.6	13	n.a
Stahl Exp.2	FT	komplett	6.33	5.59	0.74	1	0.1	10'000.00	78	7'800'000	2	20	1	10	2	20	1	10	5.6	13	n.a
Stahl Exp.1	FT	1 WT 2 IK	6.47	5.82	0.65	5	0.5	10'000.00	588	58'800'000	24	240	3	30	1	10	1	10	5.4	17	n.a
Stahl Exp.2	FT	1 WT 2 IK	6.47	5.82	0.65	5	0.5	10'000.00	588	58'800'000	32	320	1	10	2	20	2	20	5.3	17	n.a
HPL Exp.1	FT	komplett	6.64	5.98	0.66	5	0.5	10'000.00	103	10'300'000	224	2240	2	20	2	20	1	10	3.7	17	sichtbare Spuren auf Feld 1 nach Wischen
HPL Exp.2	FT	komplett	6.32	5.72	0.6	5	0.5	10'000.00	103	10'300'000	69	690	1	10	1	10	7	70	4.2	30	sichtbare Spuren auf Feld 1 nach Wischen
HPL Exp.1	FT	1 WT 2 IK	6.92	6.42	0.5	1	0.1	100'000.00	135	135'000'000	347	3470	1	10	1	10	1	10	4.6	10	relativ hohe KBE-Zahl auf Feld 1
HPL Exp.2	FT	1 WT 2 IK	6.92	6.42	0.5	1	0.1	100'000.00	135	135'000'000	316	3160	1	10	1	10	1	10	4.6	10	relativ hohe KBE-Zahl auf Feld 1
HPL Exp.1	0.5	komplett	18.96	17.92	1.04	1	0.1	10'000.00	218	21'800'000	105	1050	75	750	54	540	1	10	4.3	433	Durchmitt Felde 2-4 deutlich nicht erfüllt
HPL Exp.2	0.5	komplett	18.31	17.33	0.98	1	0.1	10'000.00	218	21'800'000	184	1840	124	1240	5	50	21	210	4.1	500	Durchmitt Felde 2-4 deutlich nicht erfüllt
OP-Boden Exp.1	0.1	1 WT 2 IK	18.45	17.37	1.08	1	0.1	10'000.00	59	5'900'000	2	20	2	20	3	30	3	30	5.5	27	0.1% Desinfektionsmittel in Wasser
OP-Boden Exp.2	0.1	1 WT 2 IK	18.45	17.37	1.08	1	0.1	10'000.00	59	5'900'000	2	20	1	10	1	10	1	10	5.5	10	0.1% Desinfektionsmittel in Wasser
OP-Boden Exp.1	0.5	1 WT 2 IK	19	17.91	1.09	1	0.1	10'000.00	59	5'900'000	2	20	1	10	1	10	3	30	5.5	17	0.5% Desinfektionsmittel in Wasser (Standard)
OP-Boden Exp.2	0.5	1 WT 2 IK	19	17.91	1.09	1	0.1	10'000.00	59	5'900'000	2	20	2	20	1	10	3	30	5.5	20	0.5% Desinfektionsmittel in Wasser (Standard)

Anhang 3: Rohdaten aus Bakterizidietests der Oberflächen

Oberfläche Experiment Nr.	Menge Neutralisationsmittel (ml)	Menge für Inokulation (ml)	Verdünnung T ₀	Verdünnung T _t	KBE-Zahl T ₀	KBE-Zahl T _t	KBE-Zahl hochgerechnet T ₀	KBE-Zahl hochgerechnet T _t	KBE-Reduktion	logR
standard PVC Exp.1	1	0.1	100'000	100'000	105	104	105'000'000	104'000'000	1	0.004
standard PVC Exp.2	1	0.1	100'000	100'000	90	88	90'000'000	88'000'000	2.2	0.01
Stahl Exp.1	1	0.1	100'000	100'000	110	64	110'000'000	64'000'000	41.8	0.2
Stahl Exp.2	1	0.1	100'000	100'000	81	25	81'000'000	25'000'000	69.1	0.5
HPL Exp.1	1	0.1	100'000	100'000	103	88	103'000'000	88'000'000	14.6	0.07
HPL Exp.2	1	0.1	100'000	100'000	104	87	104'000'000	87'000'000	16.3	0.08
OP-Boden Exp.1	1	0.1	100'000	10'000	24	3	24'000'000	300'000	98.8	1.9
OP-Boden Exp.2	1	0.1	10'000	10'000	184	1	18'400'000	100'000	99.5	2.3

Bestätigung

Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich meine Maturaarbeit selbständig durchgeführt und verfasst habe. Ich habe alle Personen und deren Anteil an der Arbeit sowie alle verwendeten Quellen aufgeführt.

Ich weiss, dass die Maturarbeit bei nachgewiesenem Betrug als ungültig erklärt wird.

Ich habe §11 der Weisungen der Schulleitungskonferenz zu den Maturaarbeiten (Leitfaden zur Maturarbeit am Gymnasium Liestal) gelesen und verstanden.

Name: Schneider Vorname: Antoine

Klasse 4We, Gymnasium Liestal

Titel der Arbeit: Desinfektionsmittel-Prüfung am Modell zwecks Eindämmung nosokomialer Infektionen

Betreuer: Christian Kofmel

Frenkendorf, 25. Oktober 2023

Unterschrift:
