



Philipp Moritz, \*1995  
Barnabas Irmer, \*1994  
Robert Warneke, \*1995

Schule:  
Christian-von-Dohm-Gymnasium, Goslar

Eingang der Arbeit:  
Juli 2013

Zur Veröffentlichung angenommen:  
Januar 2014

## Gib Keimen keine Chance

### Funktionelle Kunststoffe als sterile Oberflächen

Keime sind überall – und doch müssen bestimmte Bereiche in Laboren oder Krankenhäusern steril sein. Da viele Oberflächen aus Plastik bestehen, wurde untersucht, ob Kunststoff durch Zumischen von Wirkstoffen auf längere Zeit steril bleibt. Es zeigte sich, dass bereits geringe Mengen an Kupfer oder Antibiotika ausreichten, um das Wachstum für mehrere Wochen zu verhindern.

#### 1 Einleitung

In unserem alltäglichen Leben berühren wir mit unseren Händen die unterschiedlichsten Oberflächen, sei es in der Schule, auf der Arbeit oder auch zuhause. Doch den meisten Menschen ist kaum bewusst, mit wie vielen Erregern und Keimen sie dabei in Kontakt kommen. Diese Krankheitserreger können teilweise mehrere Tage auf Oberflächen wie z.B. Türklinken, Schneidebrettern oder Toilettensitzen überleben und stellen somit für längere Zeit eine Gefahr dar. In deutschen Krankenhäusern erkranken jährlich zwischen 600.000 und 800.000 Menschen an nosokomialen, also in der Klinik erworbenen, Infektionen, wobei 15.000 bis 30.000 von ihnen daran versterben [1]. Braun formuliert das in [2] wie folgt: "Der Kampf gegen hochresistente Erreger ist mit den bisherigen Mitteln wie dem Einsatz immer neuer Antibiotika und intensiver Desinfektionsmaßnahmen nicht zu gewinnen. Wir

müssen neue Wege gehen, um das Gefahrenpotential für unsere Patienten zu reduzieren."

Deshalb haben wir uns zum Ziel gesetzt, eine funktionelle Oberfläche herzustellen, die durch einen eingearbeiteten Wirkstoff von sich aus steril und somit vielfältig einsetzbar ist, z.B. überall dort, wo man sterile Arbeitsplätze benötigt (Krankenhäuser, Labore) oder dort, wo Erreger sich schnell verbreiten (öffentliche Toiletten, Türklinken). Als Modellorganismen für solche Mikroorganismen wurde zunächst *Saccharomyces cerevisiae* (Bäckerhefe) herangezogen und im späteren Versuchsverlauf auch der *Bacillus subtilis* (Heubazillus).

#### 1.1 Grundlegende Informationen zu den gewählten Wirkstoffen

Allgemein bekannt ist die keimabtötende Verwendung von Silberionen z. B. in (Sport-) Textilien und beschichteten

Kunststoffen bei Kühlschränken. Die letale, also die tödliche Wirkung beruht dabei auf einer kontinuierlichen Freisetzung von Silberionen in die Umgebung. Dies führt in Folge zu einer Belastung von Gewässern, Abwässern und Klärschlamm. Die Verwendung von Silbernanopartikeln ist zudem teuer und nicht nachhaltig [3].

In der Vorbereitung des Forschungsprojektes wurden bei einer Literaturrecherche die beiden organischen Stoffe Propolis und Allicin sowie die anorganischen Kupferionen als zielführend eingestuft. In der Literatur haben sich diese Wirkstoffe als sehr effizient erwiesen:

*Propolis* ist ein harzartiger Naturstoff, der das Bienenvolk gegen unerwünschte Viren und Bakterien schützt. Unter Imkern wird er auch Bienenharz oder Bienenleim genannt und ist ein Gemisch aus vielen unterschiedlichen Stoffen. Sollte ein

verhältnismäßig großer unerwünschter Gast (etwa eine Maus) das Bienenvolk aufsuchen, so wird dieser durch Injektion eines Bienengiftes getötet und mit Propolis ummantelt. Man könnte hierbei von einer Mumifizierung sprechen; Propolis verhindert die Verwesung des Korpus und schützt so das Bienenvolk vor schädlichen Bakterien. [4]

Als 1958 Remy Chauvin seine Ergebnisse wissenschaftlicher Tests über Propolis veröffentlichte, wurde der Stoff als offizielles Arzneimittel anerkannt [5] und ist heutzutage in jeder Apotheke erhältlich. Chauvin konnte in seiner Arbeit zeigen, dass keine bekannten Bakterien- oder Virenstämme resistent gegen Propolis sind. Der einstige Geheimtipp aus der Naturheilkunde profilierte sich als bahnbrechendes Antibiotikum aus der Natur. [9]

**Allicin:** Zerstört man die Zellstruktur von Knoblauch, so wird dabei unter anderem als Umsetzungsprodukt der antibiotische Wirkstoff Allicin frei. Dieser macht bis zu ca. 3 % des Gewichtes von Knoblauch aus. Allicin wirkt antibiotisch, weil es mit thiolhaltigen Enzymen interagiert. Im Experiment konnte eine hemmende Wirkung auf Cystein-Proteinasen, Alkohol-Dehydrogenasen, Thioredoxin-Reduktase und auch der Thiol-Protease Papain nachweisen werden. [6, 7] Allgemein konnte eine hemmende Wirkung auf alle Acetyl-CoA-bildenden Systeme gezeigt werden. Weiter vermutet man eine Wirkung auf die RNA Polymerase. [8]

**Kupferionen** sind im Gegensatz zu vielen anderen Schwermetallen für höhere Organismen wie den Menschen in kleinen Konzentrationen ungefährlich, für viele Mikroorganismen jedoch auch in geringen Mengen bereits toxisch [9]. So konnte Keevil in einer Vergleichsstudie zeigen, dass das Bakterium *Staphylococcus aureus* eine Überlebensfähigkeit von nur neunzig Minuten auf reinen Kupferoberflächen hat [10].

## 2 Bestimmung der letalen Konzentrationen

Bevor die Wirkstoffe in den Kunststoff eingearbeitet werden können, gilt es herauszufinden, in welchen Konzentrationen sie gegen unseren Modellorganismus Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) sicher letal wirken. Die sich ergebenden

Werte dienen als Maßstab für die Menge der Zugabe eines Wirkstoffes.

### 2.1 Methoden und Vorgehensweise

#### 2.1.1 Herstellung der Lösungen

Zur Kultivierung von *Saccharomyces cerevisiae* werden nach Schlegel [11] Sabouraud-Dextrose-Agar und Nährlösungen verwendet.

Kupferionen- bzw. Propolislösungen lassen sich durch das Lösen von Kupfersulfat bzw. der Propolissubstanz herstellen, wohingegen für den organischen Stoff Allicin ein alternativer Weg zur Extraktion gewählt werden muss:

20 g Knoblauchzehen werden geschält und mit Hilfe eines Pistills in einem Mörser zerstoßen. Das Produkt wird samt seines Extraktes und 50 ml Isopropanol in ein Becherglas gegeben, sodass sich ein Verhältnis von 0,4 g Knoblauch auf 1 ml Isopropanol ergibt. Die zerstoßenen Zehen müssen dabei vollkommen von der Flüssigkeit eingeschlossen sein. Das Becherglas wird mit Parafilm, einer Verschlussfolie, abgedeckt und etwa 30 Minuten lang stehen gelassen. Anschließend wird das allicinhaltige Gemisch dekantiert, sodass das grobe Sediment zurückbleibt, und in einem weiteren Schritt mit Hilfe eines Filterpapiers filtriert.

#### 2.1.2 Versuchsreihen

Um zu überprüfen, ab welcher Dosis die Wirkstoffe sicher letal wirken, wird der  $LC_{99}$ -Wert bestimmt. Dieser gibt die Konzentration des jeweiligen Wirkstoffes an, bei der 99 Prozent aller dem Wirkstoff ausgesetzten Organismen gestorben sind. Dazu werden zunächst unterschiedlich konzentrierte Wirkstoffnährlösungen hergestellt, wobei es sich um Nährlösungen handelt, die unterschiedliche Wirkstoffkonzentrationen aufweisen. Jedes dieser flüssigen Nährmedien wird zudem mit Hefezellen beimpft. Durch die sich ergebenden Trübungen der Lösungen kann das unterschiedliche Zellwachstum beobachtet und so auf die Letalität der einzelnen Wirkstoffe geschlossen werden. Um die Eigentrübungen der Wirkstoffe zu vernachlässigen, wird die Trübung jeder beimpften Probe mit der einer gleichkonzentrierten, unbeimpften Probe verglichen. So wird allein die durch Hefezellen ausgelöste Trübung berücksichtigt.

Die sterilen Reagenzgläser werden jeweils mit 5 g Nährlösung gefüllt und jeweils um einen bestimmten Anteil des wirkstoffhaltigen Gemisches erweitert, sodass sich unterschiedlich konzentrierte Nährlösungen ergeben. Für die Messreihe mit Propolis werden die einzelnen Nährlösungen in einem Konzentrationsabstand von 0,2 mg/5ml von 0 bis 1,2 mg/5ml unterschiedlich stark konzentriert. Bei Allicin beträgt der Konzentrationsabstand 0,5 mg/5ml und die Konzentrationsspanne geht von 0 bis 2,5 mg/5ml. Die Proben zur Kupfersulfat-Messreihe werden in einem Abstand von 2 mmol/l von 0 bis 14 mmol/l angesetzt. Für jede Stoffmengenkonzentration werden zwei Reagenzgläser angefertigt. Außerdem wird sowohl eine Positiv-Probe (eine Probe, die lediglich mit Nährlösung gefüllt ist und beimpft wird), als auch eine Null-Probe (eine Probe, die lediglich mit Nährlösung gefüllt ist und nicht beimpft wird) vorbereitet. Bei jeder Messreihe werden Positivprobe und immer nur eine von zwei gleich konzentrierten Wirkstoffnährlösungen mit der Stammkultur beimpft und zusammen mit der weiteren Versuchsreihe für 24 h in den Brutschrank bei 30°C gestellt.

Die Trübungswerte aller Proben werden mit Hilfe eines Photometers bestimmt. Mit Hilfe eines Rechenprogramms wird eine Annäherungskurve für die Messungen modelliert. Dabei werden für jede Messreihe die Trübungswerte der beimpften Proben denen der unbeimpften gegenübergestellt.

## 2.2 Ergebnisse

### 2.2.1 Propolis

Die in Abb. 1 (siehe S. 20) dargestellten Linien sind als Näherungskurven zu verstehen, da sie lediglich die gemessenen Trübungswerte der hergestellten Konzentrationen verbinden und somit die Trübungswerte aller weiteren denkbaren Konzentrationen annähernd angeben. Wie man anhand der steigenden Trübungswerte bei den unbeimpften Proben sieht, ist die Eigentrübung von Propolis sehr hoch. Erst durch Vergleich mit den Messwerten der beimpften Proben können die durch Hefe verursachten Trübungsunterschiede berechnet werden. Mit Hilfe dieser Differenzfunktion ist es möglich, Aussagen über die Letalität von Propolis zu machen. Da die durch Hefe verursachte Trübung mit steigender Pro-

poliskonzentration sofort kleiner wird, wirkt das Naturheilmittel schon bei der geringsten Zugabemenge letal. Aus der Differenzfunktion ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten LC-Werte.

### 2.2.2 Allicin

Aus Abb. 2 wird klar, dass Allicin in Lösung im Vergleich zu Propolis eine wesentlich geringere Eigentrübung aufweist, da die Trübungswerte der unbeimpften Proben mit steigender Konzentration kaum zunehmen. Die sich ergebende Differenzfunktion weicht demnach nicht allzu stark von den Messwerten der beimpften Nährlösungen ab. Wie bei Propolis weist das sofortige Sinken der Trübung bei kleinster Zugabemenge von Allicin auf die sofortige Wirksamkeit des Wirkstoffs hin. Aus den ermittelten Trübungen erhält man in Tab. 1 angegebenen Werte für die letale Konzentration.

### 2.2.3 Kupferionen

In Abb. 3 fällt auf, dass die Kupfersulfat-Lösung wie die Allicin-Lösung eine geringe Eigentrübung aufweist, da die Trübungswerte der unbeimpften Proben mit steigender Konzentration wieder kaum ansteigen. Allerdings sinken die Trübungswerte der beimpften Proben und der Differenzfunktion nicht sofort mit steigender Wirkstoffkonzentration, sondern bleiben bis zu einer Konzentration von etwa 2,4 mmol/l unverändert und sinken erst nach Überschreitung dieses Schwellwertes. Da bis zu dieser Konzentration Null Prozent der Hefe abgestorben ist, markiert dieser Punkt den  $LC_0$ -Wert. Die Konzentration, bei der die Hälfte der Hefe abgestorben ist, beträgt ungefähr 3,6 mmol/l und ergibt den  $LC_{50}$ -Wert. Bei einer Konzentration von 10 mmol/l sind fast alle Hefezellen abgestorben, womit diese Konzentration den  $LC_{99}$ -Wert darstellt (siehe Tab. 1).

## 3 Versuche mit funktionalisierten Kunststoffen

### 3.1 Herstellen der funktionalisierten Kunststoffe

In fünf Petrischalen werden jeweils 20 ml Polyester-Harz gegeben. Anschließend werden in jeweils eine Petrischale folgende Stoffe untergemengt:

- 5 ml Isopropanol
- 5,6 ml von der allicinhaltigen Lösung (0,4 g Knoblauch/ 1 ml Isopropanol)
- 5 mg Propolis
- 2 ml 0,1-molarer Kupfersulfatlösung

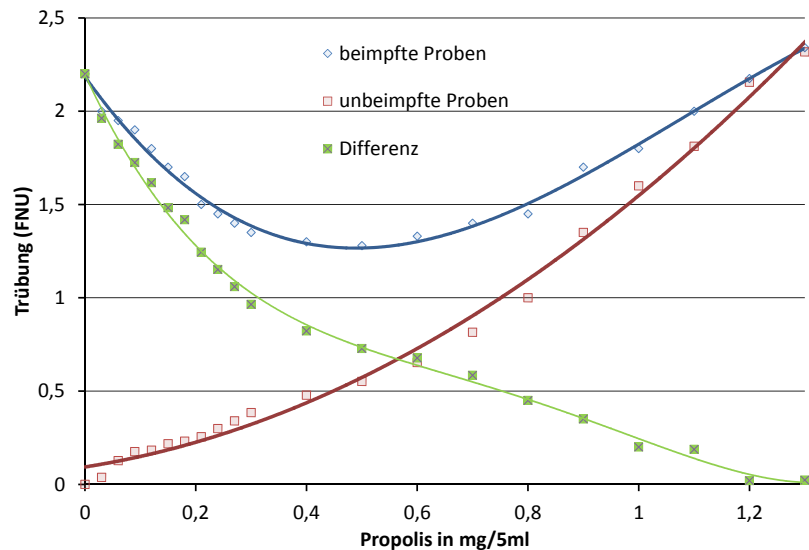


Abb. 1: Trübungswerte der beimpften und unbeimpften Nährlösungen in Abhängigkeit der Propolis-Konzentration.

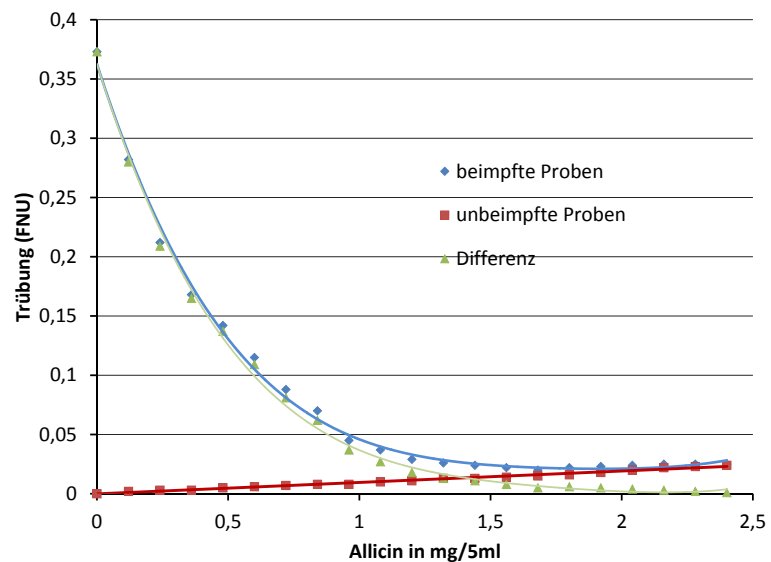


Abb. 2: Trübungswerte der beimpften und unbeimpften Nährlösungen in Abhängigkeit der Allicin-Konzentration.

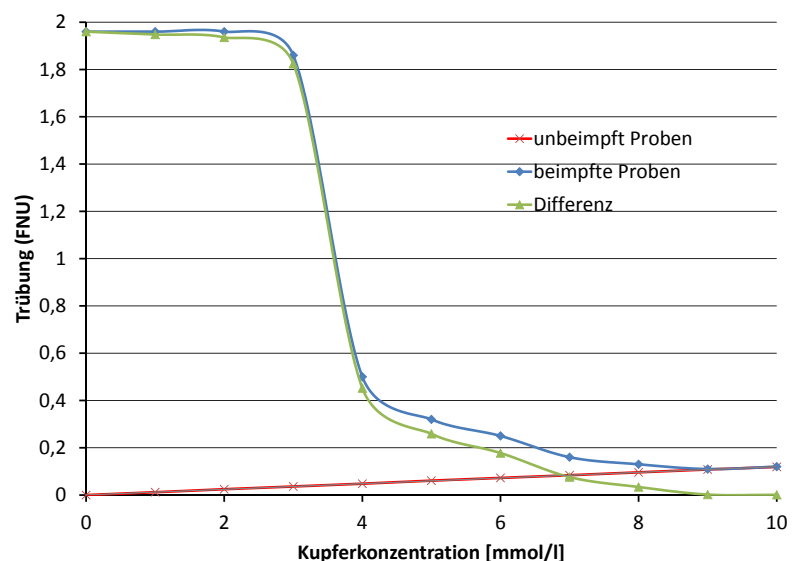


Abb. 3: Trübungswerte der beimpften und unbeimpften Nährlösungen in Abhängigkeit der Kupfersulfat-Konzentration.

Letale Konzentration	Propolis (in mg/5 ml)	Allicin (in mg/5 ml)	Kupferionen mmol/l
LC <sub>0</sub> – nicht-letale Konzentration	bis zu 0		2,4
LC <sub>50</sub> – mittlere letale Konzentration	0,32	0,33	3,6
LC <sub>99</sub> – sicher letale Konzentration	1,24	1,68	10

Tab. 1: Letale Konzentrationen der untersuchten Wirkstoffe.

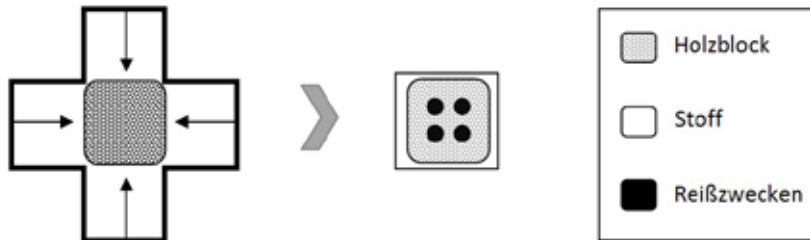


Abb. 4: Draufsicht auf Umhüllung eines Holzblocks mit zugeschnittenem Stoff (links) und anschließender Fixierung durch Reißzwecken (rechts).

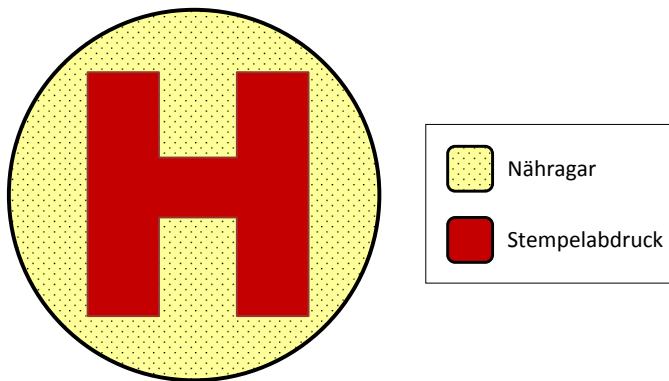


Abb. 5: Draufsicht auf Nähragar in Petrischale, der mit Hefezellen aus der Stammkultur in einem „H“-Muster bestrichen wurde.

- eine Mischung aus allen vorher genannten Stoffen

Nun wird jedes der fünf unterschiedlichen Gemische mit einem Härter gleichmäßig vermengt und bis zur Aushärtung (ca. 24h) stehen gelassen. Anschließend werden die Kunststoffe mit Isopropanol sterilisiert und abgedeckt.

### 3.2 Herstellen eines Stempels

Ein Kreuz wird aus einem hitzebeständigen Stoff ausgeschnitten und mittig auf den ebenmäßigen Holzblock (6cm x 6cm x 1cm) positioniert. Die überstehenden Stoffarme werden über den Holzblock gefaltet und mit hitzebeständigen Reißzwecken fixiert (siehe Abb. 4). Der Stempel wird mit Alufolie umwickelt und in ein Becherglas gelegt, welches wiederum mit Alufolie verschlossen wird. Das Becherglas mit dem

Stempel wird im Ofen auf ca. 200°C trocken sterilisiert.

### 3.3 Herstellen eines Musteragars

Ein Nähragar wird mit Hilfe einer Impfloze aus einer flüssigen Stammkultur des Hefepilzes so angeimpft, dass sich ein „H“-Muster ergibt (siehe Abb. 5). Anschließend wird der Nähragar bei 30°C für 24 h in den Brutschrank gestellt.

### 3.4 Versuchsablauf

Der folgende Versuch soll zeigen, ob die fünf hergestellten Kunststoffproben in einem gewissen Zeitraum Hefezellen abtöten können, die über den Stempel vom Musteragar auf die Oberfläche des jeweiligen Kunststoffes übertragen wurden.

Vor dem Versuch werden drei der fünf Agarplatten als „Nullprobe“ gekennzeichnet und von 1 bis 3 durchnum-

meriert. Die vierte Agarplatte wird mit „Positivprobe“, die fünfte mit „Ergebnisprobe“ beschriftet. Die Nullproben sollen dabei überprüfen, ob die Materialien steril sind, die Positivprobe, ob die Übertragung der Hefezellen auf den Kunststoff erfolgreich war, und die Ergebnisprobe, ob der Kunststoff die übertragenen Mikroorganismen abtöten konnte. Abb. 6 (s. S. 22) stellt die Versuchsdurchführung mit jeweils einer funktionalisierten Kunststoffprobe dar. Der Versuch muss also mit jedem der fünf hergestellten Kunststoffe durchgeführt werden. „Positiv“ steht im Folgenden für Zellwachstum auf der jeweiligen Probe, „Negativ“ für ausbleibendes Zellwachstum.

## 3.5 Versuchsablauf

### 3.5.1 Kunststoff mit jeweils einem Wirkstoff

Bei dem Stemperversuch erwiesen sich alle drei Kunststoffe mit eingearbeitetem Wirkstoff in letaler Konzentration als wirksam (Propolis: 1,24 mg/5ml; Allicin: 1,68 mg/5ml; Kupferionen: 10 mmol/l). Die Abb. 7 bis 9 (s. S. 23/24) zeigen die jeweiligen Agarplatten aus den Versuchsreihen. Alle Nullproben der Stempel und der Kunststoffe sind negativ, sodass eine Kontamination vor dem Versuch ausgeschlossen werden kann. Somit sind alle Versuchsreihen repräsentativ. Wie deutlich zu sehen ist, hat jeweils die Übertragung des Hefemusters auf die Positivprobe und somit auf den Kunststoff funktioniert. Dieser hat die Hefezellen abgetötet, was durch die Ergebnisprobe ohne Hefewachstum bestätigt wird.

### 3.5.2 Kunststoff mit allen Wirkstoffen

Auch der Kunststoff, in den alle Wirkstoffe in ihren letalen Konzentrationen eingearbeitet wurden, lieferte das oben beschriebene Resultat (Abb. 10, s. S. 24). Wieder sind die repräsentativen Nullproben negativ und das Muster wurde nachweislich auf den Kunststoff übertragen. Da auch hier kein Wachstum auf der Ergebnisprobe zu beobachten ist, lässt sich sagen, dass sich die Wirkstoffe gegenseitig in ihrer Wirkung nicht negativ beeinflussen. Der Versuch mit diesem Kunststoff wurde nach acht Monaten erneut durchgeführt, wobei der Kunststoff bei wechselnden Lichtverhältnissen und Raumtemperatur gelagert worden war. Da sich auch hier dieselben Ergebnisse wie bei Abb. 7 bis 10 (s. S. 22-24) zeigten, kann von einer

längerfristigen Wirkung ausgegangen werden.

### 3.5.3 Kunststoff Isopropanol

Überprüft man die Wirksamkeit eines Kunststoffes mit Isopropanol nach dem Schema aus Abb. 6, so stellt sich heraus, dass das Muster auch auf die Ergebnisprobe übertragen wird (Abb. 11, s. S. 25)). Der Kunststoff hat also keine sterilisierende Wirkung gezeigt, was im Vergleich zu den bisherigen Ergebnissen bedeutet, dass diese Wirkung allein durch den eingearbeiteten Wirkstoff und nicht durch das Lösungsmittel Isopropanol hervorgerufen wird.

### 3.6 Wirkung auf den *Bacillus subtilis*

Führt man den Versuch aus Abb. 6 mit einem Musteragar durch, der von Kolonien des Modellorganismus *Bacillus subtilis* bewachsen ist, lassen sich bei allen überprüften Kunststoffen die gleichen Ergebnisse feststellen wie sie bei der Durchführung mit Kolonien der *Saccharomyces cerevisiae* beobachtet wurden. So ist bei den Versuchsreihen mit den drei Kunststoffen, die durch jeweils einen Wirkstoff funktionalisiert wurden, sowie bei der Versuchsreihe mit dem Kunststoff, der durch alle drei Wirkstoffe funktionalisiert wurde, wieder auf den Ergebnisproben kein Wachstum sichtbar. Diese letale Wirkung auf die Bakterien des *Bacillus subtilis* ist bei der Durchführung mit dem Kunststoff, der nur mit Isopropanol versetzt wurde, nicht nachweisbar, da die Bakterienkolonien selbst nach Kontakt mit dem Kunststoff auf der Ergebnisprobe wachsen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Ein funktioneller Kunststoff als sterile Oberfläche

Die beobachtete Wirksamkeit der Kunststoffe zeigt, dass es möglich ist, einen funktionellen Kunststoff herzustellen, der sterilisierend wirkt, indem jeweils ein oder alle drei Wirkstoffe in ihrer sicher letalen Konzentration in diesen eingearbeitet werden, womit unser in der Einleitung beschriebenes Ziel erfüllt wurde. So ließ sich durch den Modellorganismus für Pilze *Saccharomyces cerevisiae* und den für Bakterien *Bacillus subtilis* sowohl eine antimykotische als auch eine antibakterielle Wirkung bei allen funktionalisierten Kunststoffen feststellen. Die direkte Einarbeitung der Wirkstoffe, welche für die letale Wirkung sorgen, stellt den entscheidenden Unterschied

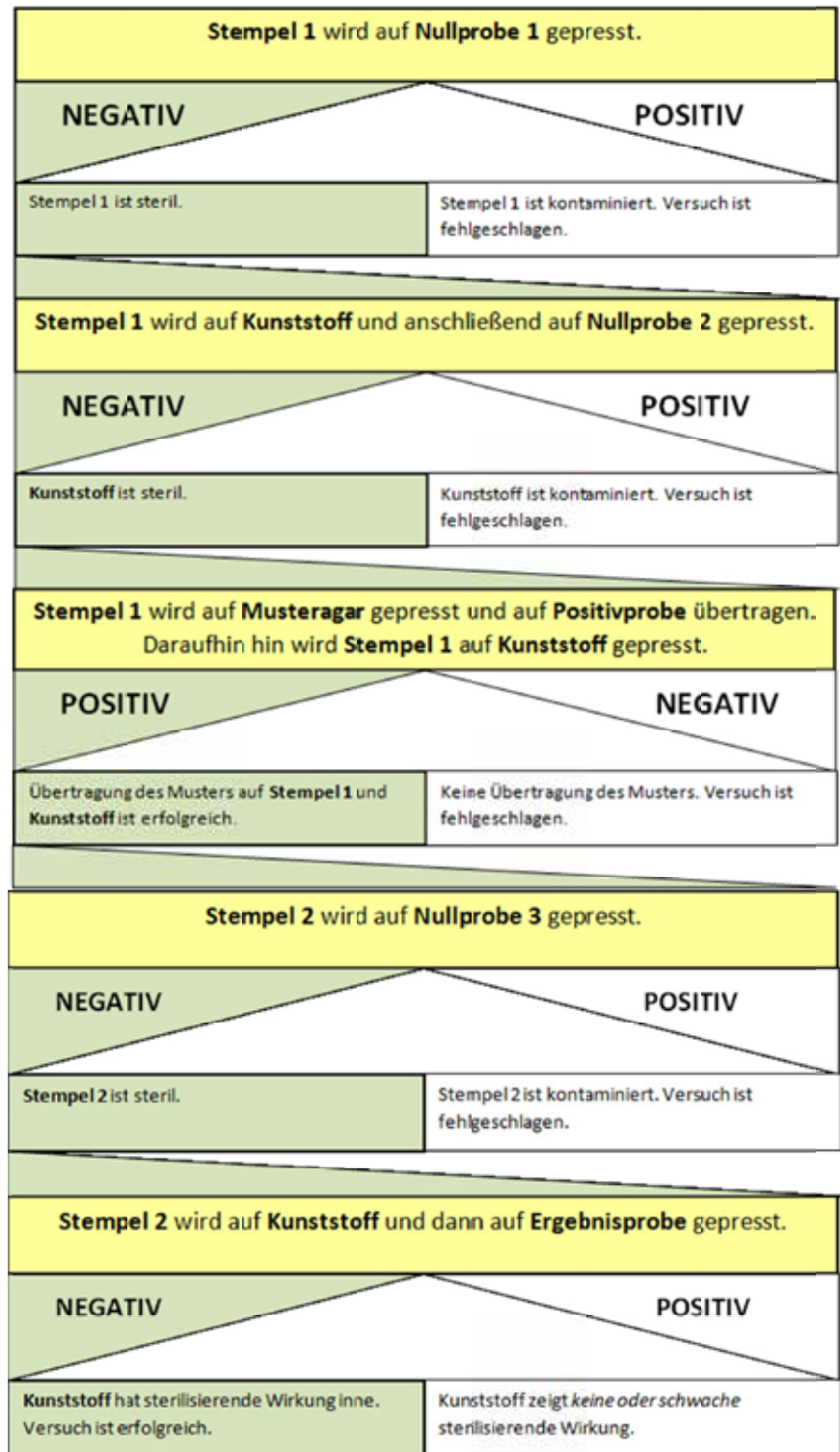


Abb. 6.: Prinzipieller Ablauf der Versuche zum Test der funktionalisierten Kunststoffe.

zu den bisher bekannten Beschichtungen aus Silberionen dar. Eine solche Beschichtung muss in regelmäßigen Abständen erneuert werden, um die Oberfläche steril zu halten, was einen hohen Kosten- und Materialaufwand nach sich zieht. Diesen Nachteil besitzt ein funktioneller Kunststoff mit eingearbeitetem Wirkstoff nicht, da hier nicht die Beschichtung, sondern das Material selbst toxisch wirkt. Diese sterilisierende Wir-

kung bleibt auch längerfristig erhalten, was sich an der bestätigten Wirkung des Kunststoffs nach acht Monaten zeigt. Damit wären solche Oberflächen alltags-tauglicher und kosteneffizienter.

### 4.2 Fehlerbetrachtung

Für das mikrobiologische Experimentieren ist steriles Arbeiten eine Notwendigkeit. Schließlich kann kein separates Beobachten und Erforschen

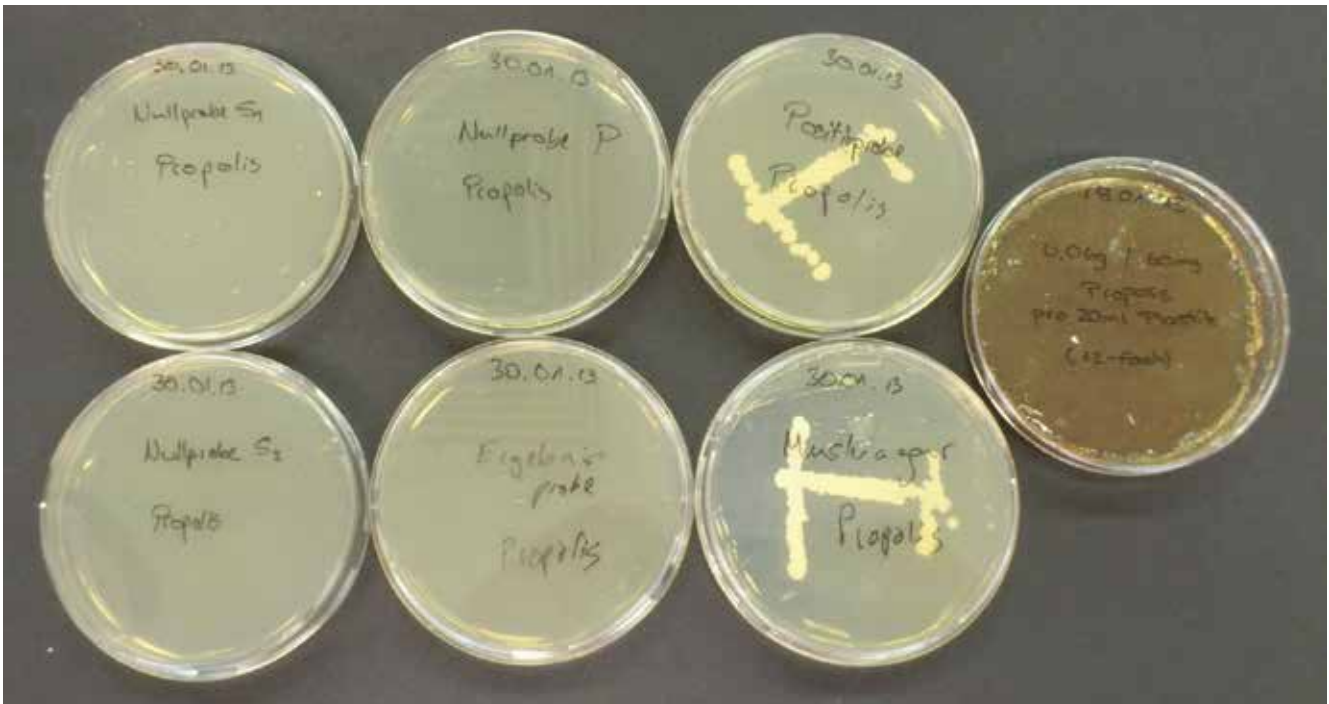


Abb. 7: Versuchsreihe mit Propolis: Obere Reihe: Nullprobe für Stempel 1, Nullprobe für den Kunststoff, Positivprobe; Untere Reihe: Nullprobe für Stempel 2, Ergebnisprobe, Musteragar; Rechts daneben: Propolis-Kunststoffprobe

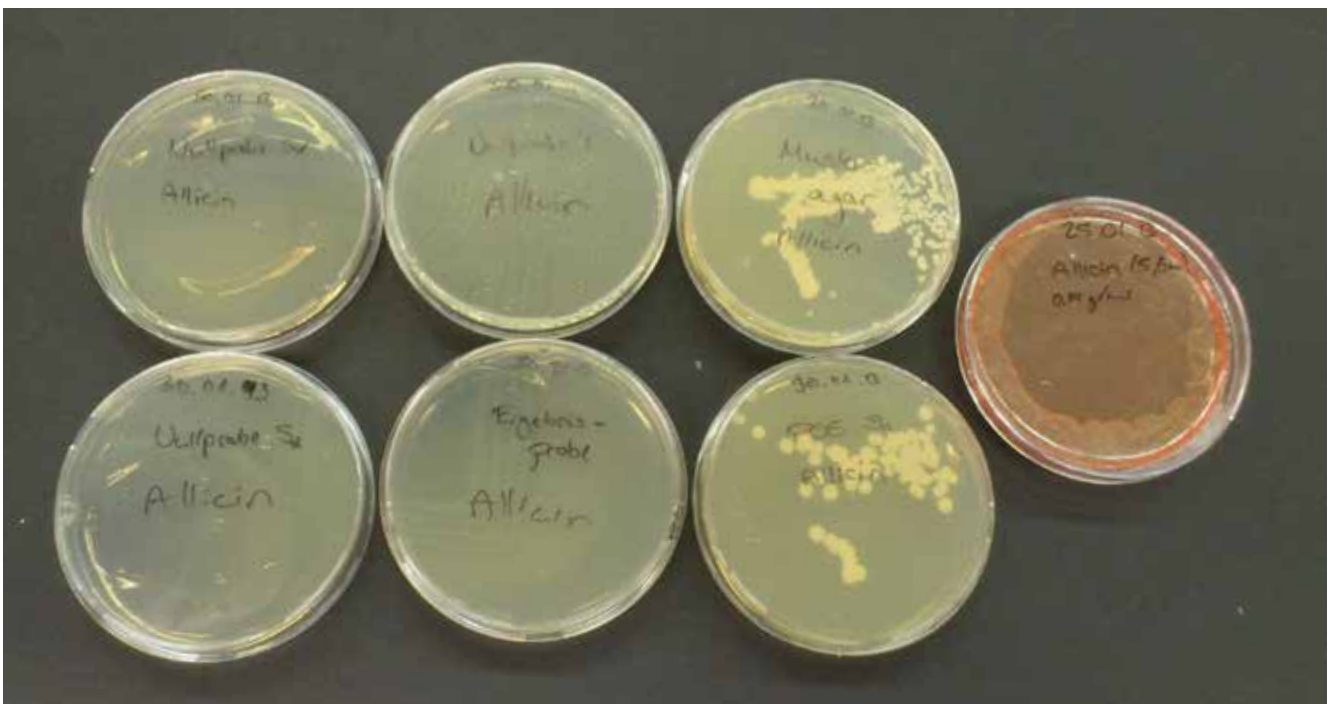


Abb. 8: Versuchsreihe mit Allicin: Obere Reihe: Nullprobe für Stempel 1, Nullprobe für den Kunststoff, Positivprobe; Untere Reihe: Nullprobe für Stempel 2, Ergebnisprobe, Musteragar; Rechts daneben: Allicin-Kunststoffprobe.

eines spezifischen Mikroorganismus stattfinden, solange nicht gewährleistet ist, dass dieser Mikroorganismus von Bakterien oder Ähnlichem nicht überwachsen wird. Leider ist uns das Fernhalten solcher Fremdorganismen nicht immer leicht gefallen. Die Sterilisation von Glaswaren, Impfüßen etc. erfolgte im Backofen bei 200°C und von Nähr-

medien im Schnellkochtopf für mindestens 30 Minuten. Da wir unsere Experimente nicht unter einem Sterilabzug durchführen konnten und auch nicht immer ein Mundschutz für jeden zur Verfügung stand, ließ es sich oftmals nicht verhindern, dass vereinzelte Fremdbakterien auf unsere Agarplatten oder in Nährlösungen gelangten. Man-

che Versuchsergebnisse waren verfälscht und somit nicht auswertbar, was uns aufgrund der großen Zeitspanne zwischen Versuchsstart und Auswertung viel Zeit gekostet hat.

### 4.3 Ausblick

Das experimentelle Arbeiten um das Thema „sterile Oberflächen“ ist an die-



Abb. 9: Versuchsreihe mit Kupferionen: Obere Reihe: Nullprobe für Stempel 1, Nullprobe für den Kunststoff, Positivprobe; Untere Reihe: Nullprobe für Stempel 2, Ergebnisprobe, Musteragar; Rechts daneben: Kupfersulfat-Kunststoffprobe.



Abb. 10: Versuchsreihe mit allen Wirkstoffen: Obere Reihe: Nullproben für Stempel 1, für Stempel 2 und für den Kunststoff; Untere Reihe: Musteragar, Positivprobe, Ergebnisprobe.

sem Punkt keineswegs abgeschlossen. Unsere Arbeit kann als erster Schritt zu weiteren Überlegungen und Nachforschungen angesehen werden, um solche keimabtötenden, funktionellen Oberflächen herzustellen. Weiterführende Überlegungen könnten sich mit der Fra-

ge beschäftigen, welche weiteren Wirkstoffe es geben könnte, die in einem festen Medium ebenfalls ihre sterilisierende Wirkung entfalten, oder ob die von uns festgestellte Wirkung solcher Oberflächen aggressive Bakterien und Krankheitserreger ebenfalls unschädlich

macht. Auch der verwendete Kunststoff könnte verändert werden. So könnte man beispielsweise auf biologisch abbaubare Kunststoffe zurückgreifen, wie z.B. Polymilchsäure als Thermoplast. Dabei ist zu beachten, dass der Kunststoff bei der Herstellung nicht zu stark

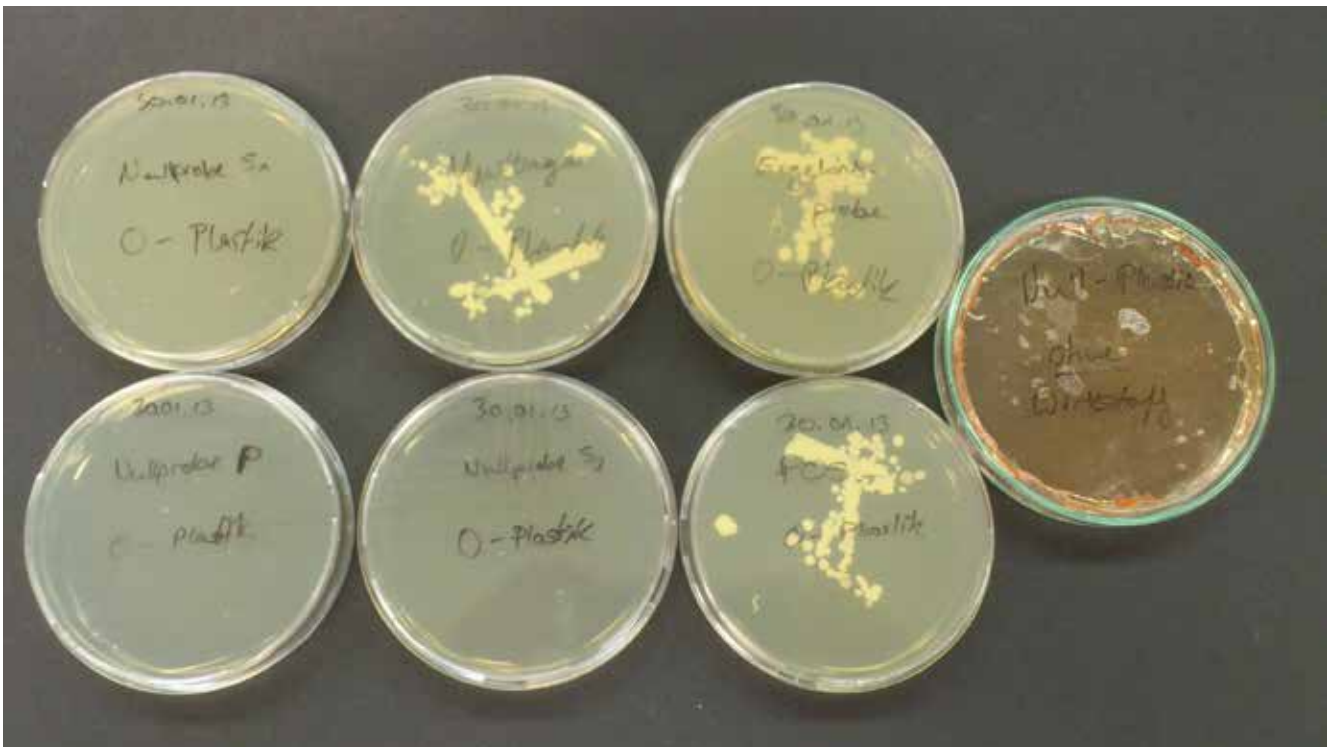


Abb. 11: Versuchsreihe mit Isopropanol: Obere Reihe: Nullprobe für Stempel 1, Musteragar, Ergebnisprobe; Untere Reihe: Nullprobe für den Kunststoff, Nullprobe für Stempel 2, Positivprobe; Rechts daneben: Isopropanol-Kunststoffprobe.

erhitzt werden darf, da sonst die organischen Stoffe Allicin und Propolis ihre Wirkung verlieren könnten.

### Danksagung

Zum Schluss möchten wir uns noch bei einigen Personen bedanken, ohne die dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre. Vor allem möchten wir an dieser Stelle Ute Eckhof und Dr. Frank Walter nennen, die als Betreuungslehrer des Projekts von Anfang an dabei waren. Auch dem Christian-von-Dohm-Gymnasium Goslar, das uns wie selbstverständlich Raum und Geräte zur Verfügung stellte, wollen wir danken. Außerdem gilt unser Dank auch Prof. Dr. Helmrich, stellvertretend für den Jungforscherverein am CvD e.V., welcher das Projekt finanziell unterstützt hat.

### Quellenverzeichnis

- [1] <http://www.welt.de/wissenschaft/article13554025/So-krank-machen-deutsche-Krankenhaeuser.html> (11.01.13)
- [2] <http://idw-online.de/pages/de/news320667> und Referenzen darin, vom 11.01.13, Jens Oliver Bonnet, „Kupfer gegen Keime: Erwartungen wurden übertroffen“, Asklepios Kliniken Hamburg GmbH
- [3] <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-de/n/projekte/silberionen.php>, vom 11.01.13, Frank Marscheider-Weidemann, „Beurteilung der Gesamtumweltexposition von Silberionen aus Biozid-Produkten“, 2013 Fraunhofer ISI
- [4] Flyer: PROPOLIS – Natürliche Heilbehandlung, Autor unbekannt, keine bibliografischen Angaben
- [5] Remy Chauvin, Bee biology. General review until 1956, ed. INRA, vol. 1, 1958
- [6] Cavallito C. et al, Allicin, the antibacterial principle of *Allium sativum*. Isolation, physical properties and antibacterial action, J. Am. Chem. Soc. 66 (1994) 1944-1952
- [7] Rabinkov A. et al, The mode of action of allicin: trapping of radicals and interaction with thiol containing proteins, Biochim. Biophys. Acts 1379 (1988) 233-244
- [8] Ancri S. et al, Allicin from garlic strongly inhibits cysteine proteinases and cytopathic effects of *Entamoeba histolytica*, Antimicrog. Agents chemother. 10 (1997) 2286-2288
- [9] Andreas Heintz; Guido A. Reinhardt (Hrsg.): Chemie und Umwelt - 4., aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 233, Braunschweig 1996
- [10] [http://www.kupferinstitut.de/front\\_frame/frameset.php3](http://www.kupferinstitut.de/front_frame/frameset.php3), „Gesundheit & Umwelt, Antimikrobielle Eigenschaften, Hygienewerkstoff Kupfer“, vom 11.01.13. Deutsches Kupferinstitut
- [11] Schlegel, Hans G.: Allgemeine Mikrobiologie, Stuttgart 1985