

PROJEKTARBEIT

Biologie/Physik-Projektkurs

Die antibakteriellen Eigenschaften und die Herstellung kolloidaler Metalle sowie deren letale Wirkungsweisen auf den Stoffwechsel von Organismen

Verfasserin: Anna Sophie Marjanovic

Kurslehrer: Dr. Sebastian Schmidt, Maximilian Sauerwald

Bearbeitungszeit: 12.08.2020-17.02.2021

Abgabetermin: 17.02.2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	- 3 -
<b>2. Untersuchung der Wirkung antibakterieller Substanzen</b> .....	- 3 -
2.1. Mikroorganismen wissenschaftlich untersuchen .....	- 3 -
2.1.1. Escherichia Coli.....	- 4 -
2.1.2. Saccharomyces cerevisiae - Backhefe .....	- 4 -
2.2. Sicherheitsaspekte und steriles Arbeiten .....	- 5 -
2.3. Antibakteriell wirksame Stoffe experimentell untersuchen - Metallsalze.....	- 6 -
<b>3. Kolloidale Systeme</b> .....	- 7 -
3.1. Bestandteile auf atomarer Ebene.....	- 9 -
3.2. Herstellung .....	- 10 -
3.2.1. Herstellung in der Schule .....	- 10 -
3.2.2. Sicherheitshinweise .....	- 11 -
<b>4. Die bakterizide Wirkung von kolloidalen Metallen</b> .....	- 12 -
4.1. Kolloidales Kupfer.....	- 12 -
4.2. Kolloidales Silber .....	- 13 -
4.3. Historie und Anwendungsgebiete von kolloidalem Silber .....	- 13 -
4.4. Die letale Wirkung auf Organismen .....	- 14 -
4.5. Kritik, Nebenwirkungen und Resistenzbildungen .....	- 16 -
<b>5. Fazit</b> .....	- 17 -
5.1. Mögliche Schwierigkeiten beim Arbeiten mit Mikroorganismen im schulischen Rahmen .....	- 18 -
5.2. Mögliche weitere Forschungsschwerpunkte .....	- 19 -
<b>6. Anhang</b> .....	- 19 -
6.1. Details und Hinweise zu den durchgeführten Versuchen .....	- 19 -
6.2. Glossar .....	- 21 -
6.3. Quellenverzeichnis und Literaturangaben.....	- 22 -
6.4. Abbildungs-/Tabellenverzeichnis .....	- 23 -

## **1. Einleitung**

In dieser Arbeit geht es um die Untersuchung der antibakteriellen Eigenschaften kolloidaler Metalle, spezifisch Silber und seine Anwendungsgebiete, sowie die Untersuchung des chemischen Aufbaus eines Kolloidalen Metalls anhand von kolloidalem Kupfer. Zudem wird auch auf die Wirkung der Metalle auf den Zellkörper eingegangen bzw. wie diese den Stoffwechsel eines Organismus' letal beeinflussen und so schließlich auch den Zelltod einleiten. Die Leitfrage für das Projekt ist demnach; Woraus bestehen Kolloide und wie wirken sie auf Mikroorganismen?

Zielsetzend für das Projekt sind der Erhalt wissenschaftlicher Ergebnisse, die zur Erklärung beitragen, wie Metallionen auf Mikroorganismen wirken.

Die Idee für das Projekt kam durch die Verwendung von Silberpflastern im Haushalt zustande sowie die daraus resultierenden Frage, welchen Sinn es hat in diese Pflaster Silberpartikel zu integrieren, da dies einen erheblichen Kostenfaktor darstellt und somit ein gewisser Mehrwert bei Benutzung dieser Pflaster entstehen müsste.

## **2. Untersuchung der Wirkung antibakterieller Substanzen**

Um antibakterielle Substanzen aussagekräftig untersuchen zu können, müssen zuvor einige Rahmenbedingungen festgelegt, aber auch Organismen, an denen die Stoffe getestet werden sollen, ausgewählt werden. Es wurde sich hier für ein festes Gelmedium aus Nähragar entschieden, welches den Bakterien optimale Bedingungen bietet sich zu vermehren. Um dieses Nährmedium zu testen, wurden als Vorexperiment sogenannte Abklatschproben durchgeführt, bei denen eine spezielle Agarplatte gegen eine Oberfläche oder z.B. auch gegen die Hand gedrückt wurde, um Bakterien von dort aus, auf das Nährmedium zu übertragen. Diese wurden dann für einen Tag in den Inkubator gestellt und von diesem bebrütet, sodass am nächsten Tag erkennbar war, wie viele, und welche Arten von Mikroorganismen vorlagen. (s. 6.1.)

### **2.1. Mikroorganismen wissenschaftlich untersuchen**

Mikroorganismen kommen überall vor, wo die Lebensbedingungen für sie ausreichend sind. Die, an verschiedensten Oberflächen durchgeführten Abklatschproben (s.6.1.) bestätigen dies. Antibakterielle bzw. antimikrobielle Substanzen sollen einer Ansiedlung

der Mikroorganismen an unterschiedlichsten Orten, wie z.B. einer Wunde, entgegenwirken und eine Vermehrung bzw. ein Wachstum hemmen oder den Zelltod des Organismus<sup>1</sup> einleiten (s. 4.). Um bestimmte Bakterienkolonien und ihre Eigenschaften sowie ihr Verhalten im Bezug zu bestimmten Substanzen zu untersuchen, ist die Erschaffung eines Nährbodens, der optimale Voraussetzungen für eine Vermehrung der Mikroorganismen bietet, grundlegend notwendig. Wenn sich diese dann ausgebreitet haben, können Rückschlüsse auf die antibakterielle/antimikrobielle Wirksamkeit des Stoffes gezogen werden. Ein geringes Wachstum der Organismen deutet darauf hin, dass die hinzugegebene Substanz eine antibakterielle Eigenschaft aufweist (s. 2.3.).

#### 2.1.1. Escherichia Coli

E. Coli Bakterien sind menschliche Darmbakterien und werden häufig für Studien in Bereich der Biologie benutzt. Für die Versuche, die im Folgenden durchgeführt wurden, wurde ein K12 Stamm (gramnegativ) verwendet, da dieser unter die Kategorie der Risikogruppe 1<sup>1</sup> fällt und sich deshalb gut für bakterielles Arbeiten in der Schule eignet, da nur unwahrscheinlich Krankheiten im Menschen durch das Bakterium ausgelöst werden<sup>1</sup>. Es gelten für die Arbeit mit diesem speziellen Stamm also „nur“ die allgemeinen Grundregeln des sterilen Arbeitens<sup>2</sup> (s. 2.2.).

#### 2.1.2. Saccharomyces cerevisiae - Backhefe

Dieser Pilz wird, wie der Name bereits sagt, zumeist beim Backen verwendet, um z.B. einen Pizzateig aufgehen zu lassen, ist aber auch, ähnlich wie der E. Coli Stamm ein Modellorganismus für mikrobiologische Arbeiten. Auch dieser Organismus fällt unter die Risikogruppe 1<sup>1</sup>. Er wurde als zweite Alternative zu dem oben genannten Bakterienstamm ausgewählt, da die Messreihen auch mit einem Pilz durchgeführt werden sollten. Die Backhefe eignete sich hierfür gut, da sie leicht anzuschaffen war. Für den ersten Versuch wurde der, zu dem Zeitpunkt, noch als Pulver vorliegende Pilz, in destilliertem Wasser gelöst und auf das Nährmedium aufgetragen. Da nach 24 Stunden kein Wachstum aufzuweisen war, wurde auf frische Hefepäckchen umgestiegen, von welchem kleine Stücke abgebrochen und erneut in destilliertem

---

<sup>1</sup> Vgl. **Bast** (2014): *Mikrobiologische Methoden*, Berlin-Heidelberg: Springer Spektrum, S.39

<sup>2</sup> Vgl. **Bast** (2014): *Mikrobiologische Methoden*, Berlin-Heidelberg: Springer Spektrum, S.42

Wasser gelöst wurden. Mit dieser Methode konnte schließlich ein Wachstum des Pilzes auf dem Nährboden aufgewiesen werden.

## 2.2. Sicherheitsaspekte und steriles Arbeiten

Das Arbeiten im Labor mit Mikroorganismen muss unter besonderen Vorsichts- und Schutzmaßnahmen stattfinden. Je nach Risikoeinstufung<sup>1</sup> der Organismen, mit denen gearbeitet wird, müssen unterschiedliche Voraussetzungen an die Sicherheit des Arbeitsraums erfüllt werden<sup>2</sup>. Sowohl um den Menschen zu schützen, als auch die Versuchsergebnisse nicht mit den falschen Substanzen zu kontaminieren.

Grundlegend bei sterilem Arbeiten sind Schutzkleidung (Kittel, Handschuhe etc.) sowie ein sauberer Arbeitsplatz<sup>2</sup>. Auch sind allgemeingültige Laborregeln, wie nicht Essen, Trinken, Rauchen etc. einzuhalten. Obwohl nur mit vergleichsweise ungefährlichen Mikroorganismen gearbeitet wird, ist es empfehlenswert auch unter einer mikrobiologischen Sicherheitswerkbank zu arbeiten<sup>3</sup>. Die auch genannte sterile Werkbank saugt u.a. Aerosole, die im Gehäuse entstehen an, damit diese nicht in die Umgebung gelangen und schützt je nach Modell auch die Präparate vor Kontamination durch die Umgebung<sup>3</sup>. Vor dem Arbeiten sollten grundsätzlich die Hände gewaschen und desinfiziert werden. Nach dem Arbeiten sollte dies jedoch in umgekehrter Reihenfolge erfolgen. Der Grund dafür ist, dass vor dem Arbeiten bereits auf der Haut bestehende Keime abgewaschen und die Hände zusätzlich steril gemacht werden, nach dem Arbeiten allerdings die Organismen zuerst abgetötet und dann abgewaschen werden sollen, um die Umwelt nicht mit diesen zu kontaminieren. Zudem sollte auch bereits bei der Herstellung der Nährmedien auf sterile Bedingungen geachtet werden, um keine fälschlichen Versuchsergebnisse zu erhalten, da z.B. Erreger aus der Luft oder von anderen Gegenständen schnell auf das Versuchsmaterial übertragen werden können, und im Falle von Nährböden dort optimale Voraussetzungen haben, sich zu vermehren. Bei der Auswertung der Ergebnisse sollte ebenfalls unter der Sicherheitswerkbank gearbeitet werden, um mögliche, gefährdende Organismen nicht der Umgebung auszusetzen. Dies ist vor allem bei Abklatschproben wichtig, da unklar ist, welche Organismen vorliegen. Vor der Entsorgung der Agarplatten ist das Sterilisieren<sup>4</sup> dieser notwendig. Hierbei werden die Proben zunächst verschlossen und mit anderen kontaminierten Gegenständen in einen hitzebeständigen Beutel gelegt.

---

<sup>3</sup> Vgl. **Envair** Deutschland, [www.envair-deutschland.de](http://www.envair-deutschland.de), Zuletzt aufgerufen: 12.02.21

<sup>4</sup> Versuchsdurchführung vgl. **Westermann Gruppe** (12019): *Naturwissenschaften heute*

Hierbei ist wichtig, weder den Beutel, noch eventuell verschließbare Behältnisse, nicht vollständig zu schließen, da andernfalls der Druck im Inneren zu hoch wird und das Gefäß/der Beutel platzen kann. Der Beutel wird nun in einem Dampfkochtopf, bzw. Autoklaven für eine Zeit von circa 20 Minuten erhitzt, da nach dieser Zeitspanne bei hohen Temperaturen ausnahmslos alle Organismen abgetötet sein sollten. Danach ist zu warten, bis sich alle Materialien abgekühlt haben, diese können dann aber entsorgt werden.

### 2.3. Antibakteriell wirksame Stoffe experimentell untersuchen - Metallsalze

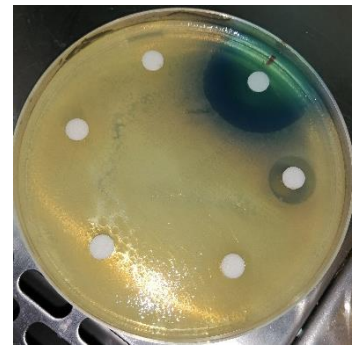
Wie zuvor bereits angesprochen, wird eine toxische Wirkung von Substanzen, hier zunächst Metallsalze mit bestimmten Methoden an Mikroorganismen getestet. Im Versuch wurden dafür Nährböden in Petrischalen vorbereitet und diese jeweils mit einem Organismus beimpft/bestrichen. Bevor der E. Coli Stamm aufgetragen werden konnte, wurde dieser mit Hilfe eines Photometers verdünnt, die Bäckerhefe in destilliertem Wasser gelöst. Die jeweiligen Metallsalze konnten dann in gelöster Form auf kleine Filterpapierblättchen pipettiert werden, welche schließlich auf den Nährboden gelegt wurden. Es sollten sich möglichst nicht mehr als sechs dieser Blättchen auf einer Platte befinden. Die sogenannte Agarplatte wurde dann verschlossen, beschriftet und in einen Inkubator gestellt, der diese für ungefähr 24 Stunden bei ca. 27°C bebrütete. Nach Ablauf dieser Zeit sind sogenannte Hemmhöfe entstanden. Sie entstehen, da sich auf dieser Fläche, durch die zu hohe toxische Wirkung der Substanz auf dem Plättchen, die verwendeten Organismen nicht vermehren können. Anhand der Größe bzw. des Radius' eines solchen Hemmhofs, der Dichte der allgemeinen Bewachsung auf dem Nährboden und anderen Besonderheiten, kann man so die antibakterielle bzw. bakterizide Wirksamkeit einer Substanz ermitteln und mit anderen Stoffen vergleichen (s. Abbildung 1 bis 3).



**Abbildung 1:** Silberoxid (r) und Eisen(II)-sulfat (l)



**Abbildung 2:** Kupfer(II)-sulfat-5-hydrat (r) und Mangan(II)-sulfat (l)



**Abbildung 3:** Kupfer(II)-chlorid-3-hydrat (r)

Für den Versuch wurden verschiedene Metallsalze in unterschiedlichen Konzentrationen verwendet und jeweils an E. Coli Bakterien und an der Bäckerhefe getestet. Letztere lieferte allerdings nur weniger aussagekräftige Ergebnisse, da der Pilz keine ausgeprägte Vermehrung, bedingt durch falsche Anwendung, aufwies.

**Tabelle 1:** Radien der Hemmhöfe ausgewählter Metallsalze bei E. Coli Bakterien

Konzentration/ Stoff	Silberoxid	Eisen(II)- sulfat	Kupfer(II)- sulfat-5- hydrat	Mangan(II)- sulfat	Kupfer(II) - chlorid-3- hydrat
1	4,33mm	8,65mm	8,88mm	8,86mm	14,96mm
1:10	3,74mm	/			6,75mm
1:100	3,61mm	/			

Anhand dieser Werte lässt sich sehen, dass Kupfer(II) -chlorid-3-hydrat der, am besten antibakteriell wirkende Hemmstoff, der ausgewählten Metallsalze ist. Nach einer Verdünnung um das Zehnfache, ist dieser Hemmhof halbiert worden. Die Stoffe Eisen(II)-sulfat, Mangan(II)-sulfat und Kupfer(II)-sulfat-5-hydrat weisen bei der höchsten Konzentration jeweils einen Hemmhof von knapp 9mm im Radius auf. Somit haben diese Stoffe, im Vergleich zum Silberoxid, in der höchsten gemessenen Konzentration, eine bessere antibakterielle Wirksamkeit. In niedrigeren Konzentrationen ist jedoch bei diesen Substanzen im Gegensatz zu Silberoxid kein Hemmhof zu sehen. Silberoxid zeigt dementsprechend die höchste Konstanz in der antibakteriellen Wirksamkeit und es lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass selbst eine geringe Konzentration von Silberoxid ausreicht um eine antibakterielle Wirkung zu erzielen.

### 3. Kolloidale Systeme

Kolloidale Systeme werden durch ihre Zusammensetzung charakterisiert. Sie bilden keinen neuen Aggregatzustand, sondern bestehen lediglich aus einem Dispersionsmedium und einer dispersen Phase, die jeweils fest, flüssig oder gasförmig sein können<sup>5</sup>. Die Stoffe liegen hierbei auch in unterschiedlichen Konzentrationsgradienten vor<sup>5</sup>. Dementsprechend viele Stoffe fallen unter die Begriffsbezeichnung eines kolloidalen Systems. Einige Beispiele hierfür sind: Granit (fest

---

<sup>5</sup> Vgl. **Lagaly** (1997): *Dispersionen und Emulsionen*, Berlin: Springer Verlag, S.1-3

und fest), Milch (flüssig in flüssig) und Rauch (fest in gasförmig). Diese Kombinationen können in einer Tabelle dargestellt werden<sup>5</sup>:

**Tabelle 2:** Kolloidale Verteilungen nach G. Lagaly<sup>5</sup>:

		disperse Phase		
		flüssig (in ...)	gasförmig (in ...)	fest (in ...)
Dispersionsmedium bzw. kontinuierliche Phase	flüssig	Emulsion	Schaum	Dispersion
	gasförmig	Flüssiges Aerosol z.B. Nebel	/	Festes Aerosol z.B. Rauch
	fest	Feste Emulsion	Fester Schaum	festes Sol, Legierung

Eine weitere Eigenschaft dieser Kolloiden Systeme ist, dass die dispersen Teilchen in der kontinuierlichen Phase nicht gelöst vorliegen<sup>6</sup>. Erst ab einem Nanometer gelten Teilchen in einer Flüssigkeit als gelöst<sup>6</sup>. Man spricht also von einer Dispersion, wenn die dispersen Teilchen eine Größe zwischen einem Mikrometer und einem Nanometer haben<sup>5</sup>. Die Größe der Teilchen ist auch für die antibakterielle Wirkung ein entscheidender Faktor, da viele kleinere Teilchen insgesamt eine größere Oberfläche haben, als wenige, größere Teilchen, und somit die Relation des Volumens zur Oberfläche sehr hoch ist<sup>6</sup>. Es liegt dementsprechend eine größere Oberflächenenergie vor, die wiederum entscheidend für die antibakterielle Wirksamkeit ist, da ein bestimmtes Maß an Energie, zum Aufbrechen von molekularen Bindungen und demzufolge zum Eindringen in den Zellkörper eines Organismus', notwendig ist<sup>6</sup>.

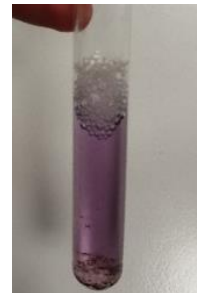
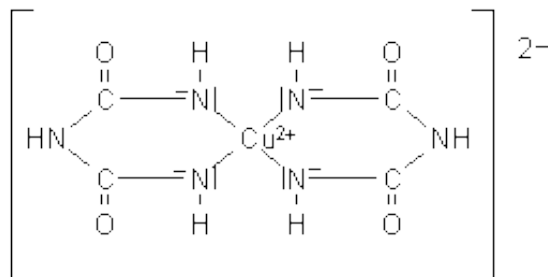
Auch kolloidale Metalle können zugeteilt werden; da es sich um feste Metallteilchen handelt, die in einer flüssigen Phase, meistens Wasser, vorliegen. Es handelt sich somit um eine Feststoffdispersion<sup>5</sup>.

<sup>6</sup> Vgl. **Lauth/Kowalczyk** (2016): *Einführung in die Physik und Chemie der Grenzflächen und Kolloide*, Berlin: Springer Spektrum, S. 3;5 & 8



### 3.1. Bestandteile auf atomarer Ebene

Um einen toxischen Effekt auf Organismen auszuüben zu können, ist es wichtig, dass Metalle **nicht** in ihrer elementaren Form vorliegen ( $\text{Me}_0$ )<sup>7</sup>. Eine antibakterielle Wirkung kann nur dann eintreten, wenn sie in Form von Ionen vorliegen, da die Teilchen dann viel reaktionsfreudiger sind und dementsprechend besser in den Stoffwechsel von Organismen eindringen können<sup>7</sup>. Dies ist durch die hohe Oberflächenenergie von Ionen zu begründen, die größer wird, je kleiner die Teilchen in einer Menge werden<sup>8</sup>. Bei Metallen handelt es sich dabei in der Regel um positiv geladene Ionen, da sie Elektronen an die Umgebung bzw. an Reaktionspartner abgeben. Isoliert man diese einzelnen Ionen von einer chemischen Verbindung, kann Silber in Oxidationszuständen von einfach positiv bis dreifach positiv geladen vorliegen. Am häufigsten kommt das einfach positiv geladene Ion vor ( $\text{Ag}^+$ ). Kupferionen nehmen zumeist einen zweifach oxidierten Ladungszustand ein ( $\text{Cu}^{2+}$ ), können tendenziell aber auch in anderen Oxidationsstufen von +1 bis +4 vorkommen. Das Vorliegen von Kupfer<sup>2+</sup>-Ionen in einer selbst hergestellten (s. 3.2.1.) Kupferkolloidlösung wurde schließlich anhand einer Biuret-Probe bestätigt. Bei der Biuret-Probe handelt es sich um ein Verfahren, bei welchem normalerweise etwas Natronlauge und Kupfersulfatlösung in wässriger, alkalischer Lösung das Vorliegen eines Proteins durch einen Farbumschlag ins Violette bestätigen, da  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen aus der Sulfatlösung an den Proteinkomplex binden (s. Abbildung 4).



**Abbildung 4<sup>9</sup>:** Entstandener Biuretkomplex, durch Bindung des Kupfer<sup>2+</sup>-Ions an ein Protein.

**Abbildung 5:** Positive Biuret-Probe.

Diese Reihenfolge wurde gedreht, und statt dem Kupfersulfat, die eigens hergestellte Kolloidlösung, zu Eiweiß und Natronlauge, die im Verhältnis 2:1 vorlagen, hinzugegeben wurde. Durch einen Farbumschlag ins Violette (s. Abbildung 5) wurde schließlich bestätigt, dass sich in der Lösung  $\text{Cu}^{2+}$ -Ionen befinden müssen und diese an den

<sup>7</sup> **MacGregor** (2012): *Adäquate Anwendung von Silberverbänden bei Wunden*, London: Wounds international, S 7

<sup>8</sup> **Franci** et al. (2015): *Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents*, veröffentlicht in: [www.mdpi.com/journal/molecules](http://www.mdpi.com/journal/molecules) S.3

<sup>9</sup> <https://www.chemieunterricht.de/dc2/komplexe/organal.html> Zuletzt aufgerufen: 15.02.2021, 14:44 Uhr

Proteinkomplex des Eiweißes gebunden haben mussten. Demzufolge ist ziemlich sicher, dass sich in anderen kolloidalen Metallösungen auch Kationen befinden müssen, da unter kolloiden Metallen auch bereits viele andere Ähnlichkeiten, wie zum Beispiel in der Herstellung, vorliegen. Demzufolge ist auch von einer hohen Ähnlichkeit auf atomarer Ebene auszugehen.

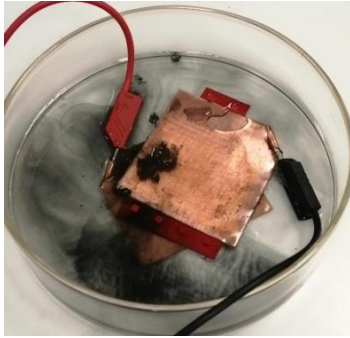
### 3.2. Herstellung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten kolloidale Metalle herzustellen die scheinbar gängigste und einfachste Art ist jedoch eine elektrolytische Herstellung. Hierzu findet man im Internet zahlreiche Anleitungen, Tipps und Tricks. Es dabei ist vermehrt die Rede von sogenannten Silbergeneratoren, die einem die eigene Herstellung zuhause erleichtern sollen. Verschiedene Firmen bieten diese Geräte in verschiedenen Versionen und Preisklassen an. Das Prinzip hinter den Generatoren ist simpel; mit den zugehörigen Metallstäben können sie destilliertes Wasser in die gewählte kolloidale Metalllösung innerhalb von kürzester Zeit umwandeln. Auch verschiedene Konzentrationen, in denen die Dispersionen hinterher vorliegen soll, können vor dem Herstellungsprozess ausgewählt werden. Die Geräte und Metallstäbe sind jedoch relativ teuer, sodass für dieses Projekt auf die Verwendung eines solchen Geräts verzichtet wurde.

#### 3.2.1. Herstellung in der Schule

Die Herstellung ohne einen Silbergenerator erwies sich schwerer als angenommen. Es wurde ein eigener Versuchsaufbau entwickelt (s. Abbildung 6). Dazu wurden zwei Kupferplatten, welche vorher mit Ethanol gereinigt wurden, sehr dicht übereinander in destilliertes Wasser gelegt und nach und nach eine Spannung von insgesamt 200V angelegt. Hierbei wurde darauf geachtet, dass sich die Platten nicht berühren, um einen Kurzschluss zu vermeiden. Um dies zu verhindern können kleine Plastikteile helfen, die an zwei Punkten zwischen die beiden Bleche gelegt werden.

Nach wenigen Minuten war eine schwarze Wolke im Wasser (s. Abbildung 6) und eine Art „Schlamm“ an den Elektroden (s. Abbildung 7) zu erkennen. Beide Phänomene bestanden aus kleinen, dunklen Partikeln, die von der unteren Platte, dem Pluspol bzw. der Anode, abgeschieden wurden.



**Abbildung 6:** Versuchsaufbau und dunkle Wolke **Abbildung 7:** Entstandener „Kolloidschlamm“

Auffällig war, dass die Partikel, die sich im Gefäß verteilt hatten, mit steigender Spannung und voranschreitender Zeit deutlich dunkler wurden und häufig in Schüben von dem Blech abgegeben wurden. Hierbei war zu sehen, dass immer kurz vor einer solchen Abgabe die Stromstärke ein Maximum erreichte, nach der Abgabe aber wieder etwas zurückging, ähnlich wie bei einem Sättigungseffekt. Dies zeigt zusätzlich zu der Biuret-Probe (s. 3.1.), dass insgesamt mehr leitende Ionen im Wasser vorhanden sein müssen, als die, die durch das Ionenprodukt des Wassers zu begründenden, bereits vorliegenden, Hydroxid ( $\text{OH}^-$ )- und Hydroxonium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ )-Ionen.

### 3.2.2. Sicherheitshinweise

Wie auch beim Arbeiten mit Bakterien im Labor müssen bei diesem Versuch einige Sicherheitsmaßnahmen<sup>10</sup> beachtet werden. Der Versuch sollte immer mit einer anderen Aufsichtsperson durchgeführt bzw. von dieser beaufsichtigt werden, die dann im Notfall medizinische Hilfe verständigen kann. Es ist auch notwendig, dass bereits gewisse Kenntnisse und Erfahrungen zu Experimenten mit elektrischem Strom vorliegen, da die hohe Spannung in Kombination mit dem Wasser und der Kurzschlussgefahr der beiden Kupferplatten gefährlich werden kann. Deshalb sollten die Platten vor Anschalten des Stroms auch noch einmal kontrolliert, und während des Versuchs auf keinen Fall berührt werden. Es sollte zudem ein Sicherabstand zu dem Versuchsaufbau eingehalten werden.

---

<sup>10</sup> Vgl. **RiSU**, Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht: Zuletzt aufgerufen: 13.02.21, 14:04  
[https://www.schulministerium.nrw.de/system/files/media/document/file/RISU\\_NRW\\_2020%20%28002%29%20komplett.pdfv](https://www.schulministerium.nrw.de/system/files/media/document/file/RISU_NRW_2020%20%28002%29%20komplett.pdfv)

## 4. Die bakterizide Wirkung von kolloidalen Metallen

Kolloidale Metalle werden aus bestimmten Gründen in der Medizin, bzw. in der Homöopathie eingesetzt und es werden verschiedenste Metalle mit unterschiedlichen Effekten auf den menschlichen Körper hergestellt und angewendet<sup>11</sup>. Nicht alle wirken wie kolloidales Silber (oder Kupfer) bakterizid, bewirken aber andere Effekte, die als positiv für den Menschen gesehen werden, und auch z.B. eine Ergänzung zu Nahrungsmitteln darstellen können, da auch Spuren dieser Metallelemente bereits im Körper vorliegen<sup>11</sup>. Ralf Kuhn beschreibt diese verschiedenen Anwendungsgebiete in seinem Buch „Handbuch der Kolloidalen Metalle“<sup>11</sup> und sagt über diese: „Sie inaktivieren Bakterien, desinfizieren Wunden und Entzündungen, unterstützen oder ersetzen Antibiotika, sie beruhigen das Nervensystem und unsere Psyche, verbessern die Gehirnleistung, fördern das Immunsystem und können den Körper entgiften. Der Anwendungskatalog ist groß und vielfältig.“<sup>11</sup> Im Folgenden werden zwei dieser kolloidalen Metalle und ihre Eigenschaften genauer erläutert.

### 4.1. Kolloidales Kupfer

Die chemischen Eigenschaften des Kupfers ähneln denen von anderen edlen Metallen wie Silber, aber auch teilweise denen von Gold<sup>12</sup>. Da sie im Periodensystem der Elemente derselben Hauptgruppe zuzuordnen sind. Vergleichbare Merkmale sind also z.B. Edelkeit oder Elektronegativität. Es liegt auch eine gewisse Toxikologie vor, die vor allem bei Kupfersalzverbindungen besonders gravierend ist<sup>12</sup>. Die zweiwertigen Ionen des Kupfers sind für viele Kleinstorganismen sehr schädlich da sie in der Lage sind, stabile Komplexverbindungen mit Proteinen zu bilden<sup>12</sup> (s. 3.1.). Auch an Schwefel oder Thiol-Gruppen können sie sich binden<sup>12</sup>. Gram-negative Bakterien, wie E. Coli weisen zwar eine gewisse Menge Kupfer auf, die sich innerhalb ihrer Zellmembran befinden, sind dadurch jedoch nur in der Lage, die Tötungsrate des Kupfers zu verringern, da eine gewisse Toleranz gegenüber der Kupferionen nur bis zu einem gewissen Konzentrationslevel vorliegt und schließlich trotzdem die Zelinaktivierung durch diese eintritt<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> **Kuhn** (2018): *Handbuch der kolloidalen Metalle: Praxisleitfaden zur Herstellung von Kolloiden in Flüssigkeit oder als Gel*, Rottenburg: Kopp-Verlag,

<sup>12</sup> Vgl. **Sietz, Rikus** (k.A.): *Mikrokupfer- Eigenschaften und Effekte*, Hochschule OWL, Höxter, S.2f., 6, 15

## 4.2. Kolloidales Silber

Silber wird seit altertümlichen Zeiten als gutes antibakterielles Mittel beschrieben und auch verwendet<sup>13</sup> (s. 4.3.). „Bekannt ist, dass die aus verschiedenen Silberverbindungen freigesetzten Silberionen die lebende Zelle auf unterschiedliche Weisen schädigen können.“<sup>14</sup> Neben kolloidalen Silber Partikeln gibt es auch sogenannte Nanosilberpartikel, die ebenfalls antibakteriell und teils auch gegen Viren wirken<sup>13</sup>. Diese sind wiederum um einiges kleiner, weisen deshalb ein noch größeres Oberflächen-Volumen -Verhältnis (s. 3.) auf als die kolloidalen Partikel, und können deshalb tendenziell noch mehr bakterizide Effekte erzielen<sup>13</sup>. „Die antibakterielle Wirkung von Nanosilberpartikeln [beruht] ebenfalls auf der Freisetzung von Silberionen.“<sup>13</sup> Die Nanosilberpartikel liegen auch als schwach positiv geladenes Kation vor<sup>13</sup>. Kombiniert mit der geringen Größe können sie sehr viel leichter in den Zellkörper eines Organismus‘ eindringen<sup>13</sup>. Franci et al. legen dar, dass die Silberpartikel auch deutlich mehr antibakterielle Wirkungen bei gram-negativen Bakterienstämmen aufweisen (also auch bei E. Coli Bakterien)<sup>13</sup>. Dies ist damit zu begründen, dass die Ionen bereits schwach positiv geladen sind und somit gering von dem negativen Bakterium angezogen wird. Bestimmte Strukturbesonderheiten in der Zellmembran eines gram-negativen Bakteriums im Gegensatz zu einem gram-positiven, begünstigen den Eintritt eines Silberions in den Zellkörper zusätzlich<sup>13</sup>.

## 4.3. Historie und Anwendungsgebiete von kolloidalem Silber

Man machte sich die Toxikologie einiger Metalle, zumeist Silber, bereits in altertümlichen Zeiten zu Nutze<sup>15</sup>. Um 750 n.Chr. wurde dies das Erste Mal dokumentiert<sup>15</sup>. Es wurde z.B. die Anwendung von Silber zur Bewahrung der Haltbarkeit von Wasser beschrieben<sup>15</sup>. In späterer Zeit (18.- 20. Jahrhundert) kamen Behandlungen mit silberhaltigen Wundverbänden und auch mit kolloidalem Silber auf. Silber wurde zum Beispiel zur Behandlung von Epilepsie oder Cholera eingesetzt<sup>15</sup>. Auch bei Verbrennungswunden wurde Silber in Form von Silbernitrat verwendet und dies wird heutzutage noch praktiziert<sup>15</sup>. Durch die Entdeckung antibiotisch wirkender Substanzen

---

<sup>13</sup> Vgl. **Franci et al.** (2015): Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents, veröffentlicht in: [www.mdpi.com/journal/molecules](http://www.mdpi.com/journal/molecules), Zuletzt aufgerufen: 15.02.21, 14:53, S.1, 11

<sup>14</sup> Vgl. **Bundesinstitut für Risikobewertung** (2009): BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab, S.1

<sup>15</sup> Vgl. **Maillard, Hartemann** (2012): Silver as an antimicrobial: Facts and gaps in knowledge, Inform Healthcare USA Inc., S.1-3

ging der Nutzen von silberhaltigen Produkten zunächst zurück, stieg jedoch durch die Verwendung silberhaltiger Auflagen bei der Wundbehandlung von Verbrennungswunden wieder an<sup>16</sup>. Das Ziel einer Behandlung mit Silberverbänden sei eine „Reduzierung der Keimbelastung der Wunde, die Behandlung lokaler Infektionen und die Prävention einer systematischen Ausbreitung.“<sup>16</sup> In den verschiedenen Wundverbänden kann Silber in unterschiedlichen Formen vorliegen, also elementar bzw. ionisch oder in an- & organischen Verbindungen<sup>16</sup>. Die Wirkung dieser auf Organismen (s.4.4.) sei jedoch immer ähnlich<sup>16</sup>.

Silber bzw. Nanosilber und auch kolloidales Silber wird heutzutage nicht nur in der Medizin verwendet, sondern findet sich auch in vielen Alltagsgegenständen wieder<sup>15</sup>. Es wurde auch anstatt von Wasserstoffperoxid als eine Art Desinfektionsmittel verwendet für die Reinhaltung privater Schwimmbekken oder Oberflächen eingesetzt<sup>15</sup>. Auch in Nahrungsmittelverpackungen seien Silberpartikel zu finden, wodurch deren Inhalte länger haltbar gemacht werden. Weitere Anwendungsgebiete sind zum Beispiel: Kosmetikartikel, Kleidung, Bauelemente im Haus<sup>15</sup>.

#### 4.4. Die letale Wirkung auf Organismen

Für das Abtöten von Mikroorganismen gibt es zunächst verschiedene Begriffe, die im Detail unterschiedliche Dinge bedeuten (s. 6.2.). Ein Stoff kann also zum Beispiel die Vermehrung bzw. Wachstum hemmen, aber auch abtötend wirken<sup>17</sup>. Auch muss hier zwischen bakteriostatischen bzw. bakteriziden Substanzen und antimikrobiellen Stoffen unterschieden werden. Letztere wirken auch schädigend auf andere Mikroorganismen wie zum Beispiel Pilze, anstatt nur auf Bakterien.

Die letale Wirkung auf Bakterien wird unterschiedlich beschrieben. Zum einen heißt es, dass Silberkationen an die bakterielle Zellmembran binden und somit „zur Unterbrechung der bakteriellen Zellwand und [somit] zu Zelleckage [führen].“<sup>17</sup> Es würde damit weitergehen, dass „in die Zelle transportierte Silberionen die Zellfunktion [unterbrechen], indem sie an Proteine binden und die Energieproduktion, Enzymfunktion und Zellreplikation stören.“<sup>17</sup> Letzteres wird in einer Studie an E. Coli. noch etwas detaillierter beschrieben und experimentell belegt, dass die Silberionen antibakteriell

---

<sup>16</sup> Vgl. **Chopra** (2007): *The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern?* Journal of Antimicrobial Chemotherapy, <http://jac.oxfordjournals.org/content/59/4/587.full> Zuletzt aufgerufen: 16.02.21, 9:57. S. 1f.

<sup>17</sup> (Vgl.) **MacGregor** (2012): *Adäquate Anwendung von Silberverbänden bei Wunden*, London: Wounds international, S. 2,4,7

wirken und eher das Innere der Zelle angreifen, anstatt an der Zellmembran zu bleiben und Bindungen mit dieser einzugehen<sup>18</sup>. Bereits nach 30 Minuten seien Silberkationen innerhalb der Zelle vorliegend, jedoch nicht mehr an der Membran<sup>18</sup>. Auch banden die Ionen nicht immer nur mit Schwefel<sup>18</sup>. Yamanaka et al. zeigen, dass die Silberionen zumeist durch Ionenkanäle, die in die Biomembran eingebunden sind, in die Zelle gelangen und dort das Ribosom denaturieren sowie die Ausbildung von Enzymen und Proteinen, die für die ATP Produktion in der Zelle notwendig sind, unterdrücken<sup>18</sup>. Diese Vorgänge leiten dann den Zelltod des Organismus ein<sup>18</sup>. Des Weiteren, können Silberionen aufgrund ihrer positiven Ladung gut an Strukturen mit teilweise negativer Ladung anbinden, wie zum Beispiel an freistehende, als Elektronendonator fungierende, Phosphorgruppen der DNA.<sup>19</sup> Auf diese Weise werden Vorgänge der Proteinbiosynthese gehemmt, da das veränderte Erbgut nicht mehr an den Ribosomen erkannt und so schließlich auch Translation und Transkription<sup>19</sup> blockiert werden, welche notwendig für die Synthese von zelleigenen Proteinen sind.

Die Wirkung von Kupfer auf Bakterien findet wahrscheinlich auf eine ähnliche Art und Weise statt, ist jedoch nicht so weit erforscht wie es bei Silber der Fall ist. Da Kupfer jedoch einige Ähnlichkeiten in seinen Eigenschaften im Vergleich zu Silber aufweist, wie zum Beispiel; die Elektronegativität, Edelkeit und Oxidationsstufen, kann angenommen werden, dass Kupfer ähnlich auf Bakterien wirkt und ähnliche Prozesse beim Eintreten in den Zellkörper ablaufen.

Man könnte nun folgende These annehmen: Die antibakterielle Wirksamkeit eines kolloidalen Metalls hängt mit der Einordnung der Metallionen in der Redoxreihe der Metalle zusammen.

---

<sup>18</sup> Vgl. **Yamanaka** et al. (2005): *Bactericidal Actions of a Silver Ion Solution on Escherichia coli*, veröffentlicht in: American Society for Microbiology, S. 2, 5

<sup>19</sup> Vgl. **Franci** et al. (2015): *Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents*, veröffentlicht in: [www.mdpi.com/journal/molecules](http://www.mdpi.com/journal/molecules), S.4

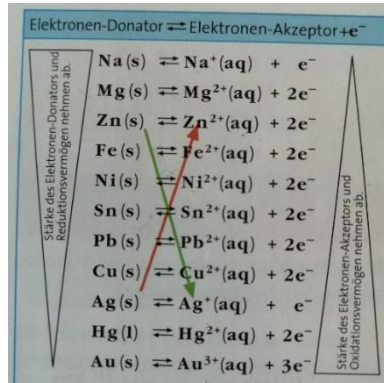


Abbildung 8<sup>20</sup>: Redoxreihe der Metalle

Diese Reihe beschreibt das Reduktions-/ bzw. Oxidationsvermögen eines konjugierten Redoxpaares und besagt, dass die Ionen der Metalle, die am weitesten unten angeordnet, und somit auch die Edlsten sind, die besten Oxidationsmittel seien; ihre verlorenen Elektronen also schnell wieder aufnehmen wollen. Dieses Phänomen könnte eine Ursache für die gute antibakterielle Wirkung der edleren kolloidalen Metalle sein, da diese, wenn sie im Ionenzustand im Dispersionsmedium vorliegen, versuchen wieder die Elektronenkonfiguration zu erfüllen und sich diese Elektronen in den Zellstrukturen der Mikroorganismen suchen. Dies hat für den Mikroorganismus' dann eine Zellinaktivierung bzw. den Zelltod als Folge. Andererseits würde dies bedeuten, dass nach einer gewissen Zeit alle Ionen wieder in Komplexen oder Verbindungen vorliegen und dementsprechend die antibakterielle „Kapazität“ des Stoffes aufgebraucht wäre. Um diese Kapazität wiederherzustellen müssten die Bindungskomplexe aufgebrochen, und die Ionen wieder freigegeben werden. Es ist fraglich, ob diese These belegt werden kann. Dies müsste anhand von Versuchen mit unedleren Metallen, die im Gegensatz zu edleren Metallen eine geringere antibakterielle Wirksamkeit aufweisen müssten, auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

#### 4.5. Kritik, Nebenwirkungen und Resistenzbildungen

In letzter Zeit kam jedoch Kritik gegen Silberverbänden u.ä. auf, da die Frage einer mangelnden Wirksamkeit und einer fehlenden Kosteneffizienz aufkam<sup>21</sup>. Auch ist in einigen Quellen von einer Resistenzbildung von Bakterien gegen Silberionen und

<sup>20</sup> Tausch / von Wachtendonk (2014): *Chemie 2000+ Qualifikationsphase*, Bamberg: C.C. Buchner Verlag, S. 65

<sup>21</sup> Vgl. MacGregor (2012): *Adäquate Anwendung von Silberverbänden bei Wunden*, London: Wounds international, S. 2,4,5



Silbernanopartikel zu lesen<sup>22,23</sup>. Der Kritikpunkt von zu hohen Kosten für Wundbehandlungen mit Silber sind durchaus berechtigt, da reines Silber einen durchaus hohen Wert hat und die Produktion der Verbände aufwendig ist. Dennoch können andere antimikrobielle Verbände allgemein als ähnlich teuer bezeichnet werden, da ebenso aufwendige Technologien zur Abtötung der Keime beinhalten würden<sup>21</sup>. Auch von einer auftretenden Argyrie ist in Verbindung mit Silber zu lesen, eine Krankheit, die durch Silberkonsum entsteht und die Haut des Menschen irreversibel blau-gräulich färbt<sup>21</sup>. Diese irreversible Form soll aber nicht durch Silberverbände und Pflaster ausgelöst werden können, da nur geringe Silbermengen vorliegen, die der Körper auch wieder ausscheiden kann<sup>21</sup>. Nur bei zu hohem Konsum, verstärkt durch orale Aufnahme von Silber, könne sie dauerhaft auftreten<sup>21</sup>.

Eine zunehmende Resistenzbildung, die Bakterien gegen Silberionen aufweisen, wird auch kritisiert. Durch vermehrten Gebrauch von silberhaltigen Produkten würde dies begünstigt werden<sup>22,23</sup>. Auch die Häufigkeit von auftretenden Resistenzen ist bisher nur gering, es wird aber davor gewarnt, dass bei zu intensivem Gebrauch von silberhaltigen Produkten, diese Zahl bekannter Resistenzen, ansteigen könnte<sup>22,23</sup>. Jedoch gibt es bislang erst 20 dokumentierte Fälle von Resistenzbildungen seit 1975<sup>22,23</sup>. Hierbei müssen jedoch die Silberionen konstant vorliegen, sodass sich eine Resistenz überhaupt erst bilden kann<sup>22,23</sup>. Dennoch liegt ein hoher Forschungsbedarf auf diesem Gebiet vor, der vor allem standardisierte Verfahren von der Untersuchung von Resistenzbildungen beinhalten sollte<sup>22,23</sup>, um eine schnelle Überprüfung dieser möglich zu machen.

## 5. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Modellorganismen *Escherichia coli* und *Saccharomyces cerevisiae* gut für Versuche eignen, die gewünschten Versuchsergebnisse jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht eigenständig erreicht werden konnten. Es wurde dennoch bestätigt, dass antibakterielle Wirkungen von kolloidalen Metallen durchaus vorliegen und die Wirkungsweise auf Mikroorganismen mit ihren Kationen zusammenhängt, da diese reaktionsfreudiger sind und so leichter

---

<sup>22</sup> Vgl. **Chopra** (2007): *The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern?* S. 4,6

<sup>23</sup> Vgl. **Bundesinstitut für Risikobewertung** (2009): *BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab*, S.4ff.

einen Weg in den Zellkörper finden können. Dort binden sie an verschiedenste Stellen und leiten damit den Zelltod des Organismus' ein. Es kann angenommen werden, dass kolloidales Kupfer ähnlich auf Mikroorganismen wirkt wie Silberionen und die antibakterielle Wirkung der Metalle könnte anhand der Redoxreihe der Metalle veranschaulicht werden. Hierfür müssten jedoch noch mehr Belege vorgewiesen werden. Aufgrund ihrer antibakteriellen Wirksamkeit, werden die kolloidalen Metalle in vielen Gebieten eingesetzt, wie zum Beispiel in der Medizin, aber auch in Alltagsgegenständen, um mögliche Keime schnell und effektiv abzutöten. Die Integrierung von Silber in Wundauflagen und Pflastern kann demzufolge durchaus einen Mehrwert in der Anwendung haben, da mögliche Infektionen der Wunde durch die antimikrobielle Wirksamkeit des Silbers so zunächst abgemildert werden können.

#### 5.1. Mögliche Schwierigkeiten beim Arbeiten mit Mikroorganismen im schulischen Rahmen

Dennoch kann sich das Arbeiten mit Bakterien in schulischen Rahmen auch als ziemlich problematisch darstellen, da aussagekräftige, wissenschaftlich richtige Ergebnisse von vielen Faktoren abhängig sind. Als erstes ist die Ausrüstung des Labors bzw. der Arbeitsräume ein notwendiger Bestandteil, da verschiedenste Gerätschaften wichtig für eine genau und sichere Ergebnisdokumentation sind. Wenn z.B. keine sterile Werkbank, Kühlschrank (um Haltbarkeit der Nährböden zu verbessern), Autoklav oder Werkzeuge, wie z.B. Mikroliterpipetten etc., vorliegen, kann dies zu erheblichen Schwierigkeiten beim fachgenauen Durchführen von Versuchen, aber auch zu erheblichen Sicherheitslücken, führen. Einige Geräte können zwar durch Haushaltswaren, wie z.B. durch einen Dampfkochtopf (an der Stelle des Autoklavs) ersetzt werden, gewährleisten aber nicht zwingend das Erzielen der gewünschten Ergebnisse. Zudem ist auch eine Gefahren-/Sicherheitseinweisung bezüglich der Geräte und Materialien, aber auch der Versuchsgegenstände (hier: Mikroorganismen) notwendig und die Experimente sollten bestenfalls immer in Gegenwart einer Aufsichtsperson durchgeführt werden. Ein weiterer Problemfaktor ist die Zeit, da Versuche mit Organismen auf Nährböden häufig für 24 Stunden im Inkubator bebrütet, und somit meist außerhalb der eigentlichen Rahmenzeit des Projekts, ausgewertet werden müssen.

Für dieses Projekt lag jedoch ein schuleigenes Labor vor, in welchem meistens gearbeitet werden konnte. Dadurch lagen alle benötigten Gerätschaften vor und es wurden einige Dinge, wie z.B. das Arbeiten mit den Mikroorganismen unter einer mikrobiologischen Sicherheitswerkbank, ermöglicht bzw. erleichtert. Dennoch waren die

Versuche aufgrund der langen Wartezeit sehr zeitintensiv und es wären wahrscheinlich deutlich mehr Ergebnisse erzielt worden, wenn mehr Zeit zur Bearbeitung des Projekts möglich gewesen wäre.

## 5.2. Mögliche weitere Forschungsschwerpunkte

Bei einer Fortsetzung des Projekts könnten noch einige Dinge optimiert und ergänzt durchgeführt werden. Zum einen könnte überprüft werden, ob es Auswirkungen auf die Bakterien hat, wenn die Silberpflaster auf der Agarplatte umgedreht (mit der silbernen Seite nach unten) bzw. angefeuchtet und/oder diese zusätzlich mit anderen Wundauflagenpräparaten verglichen werden würden. Auch könnte untersucht werden, ob die einzelnen Kupferpartikel, die hergestellt wurden eine Auswirkung auf die Bakterien zeigen. Dazu müsste man einen Teil der Lösung filtern oder trocknen und die einzelnen Partikel z.B. direkt auf die beimpfte Agarplatte legen. Zudem könnte man sowohl die einzelnen Partikel, aber auch die Bakterien am Rand des Hemmhofs mikroskopieren und die Zellzahl, sowie Zellmasse dieser bestimmen. Des Weiteren könnten kolloidale Metallösungen (online/Apotheke) gekauft werden und diese (auch in unterschiedlichen Konzentrationen) anhand eines Plättchendiffusionstests mit der eigenen Herstellung verglichen werden, z.B. die Effektivität der Lösungen in Relation zu den Kosten. Man könnte auch noch versuchen andere kolloidale Metalle selbst herzustellen und an Bakterien zu testen (Zink, Magnesium), sowie auch das Herstellungsverfahren noch weiter zu optimieren. Die Herstellung und Untersuchung unedler kolloidaler Metalle könnte insoweit interessant sein, da die aufgestellte Hypothese in 4.4. so weiter bestätigt, aber auch widerlegt werden könnte.

## 6. Anhang

### 6.1. Details und Hinweise zu den durchgeführten Versuchen

#### **Herstellung der Nährböden:**

- Material: 250ml A. dest., 5g LB-Medium, 4g Nähragar, verschiedene Behältnisse und Hilfsmittel
- Durchführung: Beide Pulver abwiegen und in Wasser lösen lassen, in Dampfkochtopf erhitzen (um Sterilität herzustellen), heiße Flüssigkeit

(bestenfalls unter der sterilen Werkbank) in Agarplatten füllen, abkühlen lassen und in Kühlschrank stellen um Haltbarkeit zu verlängern.

#### Abklatschproben nehmen:

- Durchführung: Platten erst kurz vor Entnahme der Probe öffnen und gegen Oberfläche drücken. Zügig verschließen und beschriften. In Inkubator bei 25-30°C für 24 Stunden bebrüten. Bestenfalls unter der sterilen Werkbank öffnen!

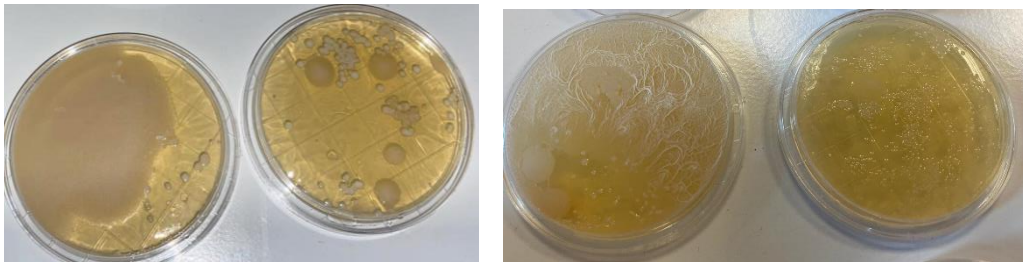


Abbildung 9 & 10: Abklatschproben vor, und nachdem die Hände gewaschen wurden

#### Herstellung kolloidales Kupfer:

- Material: flache Glasschale, 2 Kupferplatten, 2 Kabel, Trennplastikteilchen, ca. 150 ml A. dest., ggf. Ethanol, Papiertücher
- Durchführung: Platten mit Ethanol reinigen und mit A. dest. abspülen (Ethanol leitet Strom), Anlegung einer Spannung von 200V (z.B. in 50er Schritten), bei c. 0,1 A. Wichtig: Nicht berühren, Sicherheit beachten.

#### Biuretreaktion<sup>24</sup>:

- Material: Eiweiß und NaOH (c=1mol/L), Kupferlösung (hier: selbst hergestellte Kolloidlösung), Reagenzgläser ggf. Traubenzucker oder normalen Zucker
- Durchführung: Ei und NaOH im 1:2 Verhältnis (viel hilft viel) zusammengeben und Kupferlösung hinzugeben. Variation: Ei durch (Trauben-)Zucker ersetzen. Andere Farben (rot bzw. blau), aber ähnliches Prinzip der Bindung des Kupfers mit organischem Komplex.

---

<sup>24</sup> Die Idee, die Kolloidale Kupferlösung mit Hilfe dieser Reaktion zu überprüfen, kam im persönlichen Gespräch mit Herrn Böckmann (Chemielehrer des Chemie LKs)

## 6.2. Glossar

Agarplatte: Flache Schale, zumeist aus Plastik, in die ein Nährboden gegossen wird, der optimale Voraussetzungen für die Vermehrung eines Organismus bietet.

Antibakteriell: Eine Substanz ist bakterienschädigend, verursacht irreparable Schäden am Organismus.

Antimikrobiell: Wachstum bzw. Vermehrung eines Mikroorganismus' (dies können Bakterien als auch Pilze sein) wird verhindert.

Bakterizid: Abtötende Wirkung bei Bakterien.

Feststoffdispersion: Beschreibt eine Flüssigkeit, in welcher kleine Teilchen ungelöst vorliegen. Kolloidale Metalle fallen unter diese Bezeichnung.

Ionenprodukt des Wassers: Beschreibt das Gleichgewicht von Hydroxid- und Hydroxonium-Ionen, welches konstant in Wasser vorliegt.

Kationen: Beschreibt einen Zustand, bei dem mehr Protonen als Elektronen im Ion vorliegen und so eine positive Ladung vorliegt.

Letal: Etwas hat tödliche Folgen.

Mikrobiologische Sicherheitswerkbank: Benennt ein Gerät unter dem Steriles Arbeiten möglich ist und das den Menschen durch Absaugen der Luft vor Aerosolen etc. schützt.

Photometer: Benennt ein Messgerät, welches die Lichtdurchlässigkeit einer Probe misst.

Thiolgruppen: Eine funktionelle Gruppe, ähnlich wie die Hydroxygruppe, bei der das Sauerstoffatom durch ein Schwefelatom ersetzt wurde.

Toxikologie: Eine Substanz weist eine giftige Wirkung auf, die bei zu hoher Dosis letale Folgen für einen Organismus haben kann.

Zellreplikation: Beschreibt den Vermehrungsprozess einer Zelle.

### 6.3. Quellenverzeichnis und Literaturangaben

**Bast, Eckard** (<sup>3</sup>2014): *Mikrobiologische Methoden*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 39-43

**Bundesinstitut für Risikobewertung**, (2009): *BfR rät von Nanosilber in Lebensmitteln und Produkten des täglichen Bedarfs ab*. S. 1, 4ff.

**Chopra, Ian** (2007): *The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern?* Veröffentlicht in: Journal of Antimicrobial Chemotherapy, <http://jac.oxfordjournals.org/content/59/4/587.full> Zuletzt aufgerufen: 16.02.21, 9:57. S. 1,2,6

**Franci, Gianluigi** et al. (2015): *Silver nanoparticles as Potential Antibacterial Agents*. (veröffentlicht in: molecules, [www.mdpi.com/Journals/molecules](http://www.mdpi.com/Journals/molecules)) zuletzt aufgerufen: 12.02.21, 17:45. S. 1-4, 11

**Kuhn, Ralf** (2018): *Handbuch der kolloidalen Metalle: Praxisleitfaden zur Herstellung von Kolloiden in Flüssigkeit oder als Gel*, Rottenburg: Kopp-Verlag <https://www.amazon.de/Handbuch-kolloidalen-Metalle-Praxisleitfaden-Herstellung/dp/3864455871> zuletzt aufgerufen: 12.02.2021, 15:14

**Galaly, Gerhard/ Schulz, Oliver/ Zimehl, Ralf** (1997): *Dispersionen und Emulsionen*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 1-3

**Lauth, Günther Jakob/ Kowalczyk, Jürgen** (2016): *Einführung in die Physik und Chemie der Grenzflächen und Kolloide*. Berlin: Springer Spektrum. S. 3,5,8

**MacGregor, Lisa** (2012): *Adäquate Anwendung von Silberverbänden bei Wunden*. London: Wounds international. S. 1-7

**Maillard, Jean Yves/ Hartemann, Philippe** (2012): *Silver as an antimicrobial: Facts and gaps in knowledge*. Veröffentlicht in: Critical Reviews in Microbiology, Informa Healthcare USA, Inc. S 1-3

**RiSU: Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht** (2020): Zuletzt aufgerufen: 13.02.21, [https://www.schulministerium.nrw.de/system/files/media/document/file/RISU\\_NRW\\_2020%20%28002%29%20komplett.pdfv](https://www.schulministerium.nrw.de/system/files/media/document/file/RISU_NRW_2020%20%28002%29%20komplett.pdfv)

**Sietz, Manfred/ Rikus, Christian** (k.A.): *Mikrokupfer- Eigenschaften und Effekte*. Hochschule OWL, Höxter. S.2;6;15

**Westermann Gruppe** (<sup>1</sup>2019): *Naturwissenschaften heute*.

**Yamanaka, Mikihiro/ Hara, Keita/ Kudo, Jun** (2005): *Bactericidal Actions of a Silver Ion Solution on Escherichia coli*. Veröffentlicht in: American Society for Microbiology. S. 2-5

#### 6.4. Abbildungs-/Tabellenverzeichnis

**Abbildungen 1-3** und **5-10** sind eigene Aufnahmen

**Abbildung 4:** Biuretkomplex: Zuletzt aufgerufen am: 11.02.2021, 22:36 Uhr  
<https://www.chemieunterricht.de/dc2/komplexe/organal.html>

**Abbildung 8** aus: **Tausch, Michael/ von Wachtendonk, Magdalene** (2014): *Chemie 2000+ Qualifikationsphase*, Bamberg: C.C. Buchner Verlag, S. 65

**Tabelle 1** aus: **Legaly et al.** (1997): *Dispersionen und Emulsionen*, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, S. 3

**Tabelle 2:** Selbst erstellt, auf Grundlage von gemessenen Versuchsergebnissen

#### Schlusserklärung:

Ich erkläre, dass ich die Arbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literatur- und Quellenverzeichnis aufgeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift