

Gebr. Schröfel GmbH  
Woltersdorf

Umweltschonendes Hygienisierungsmodul für öffentliche  
Springbrunnen

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt  
Gefördert unter dem AZ: 34755 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Günter Schröfel

Februar 2021



## Inhaltsverzeichnis

1. Verzeichnis von Bildern und Tabellen.....	2
2. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen.....	4
3. Durchgeführte Untersuchungen, Ergebnisse und offene Fragen des ZIM-Projektes EP160373.....	5
4. Zusammenfassung.....	7
5. Einleitung.....	8
6. Auswahl und Testung geeigneter Materialien für getrennte Ionenlieferanten für Silber und Kupfer.....	11
6.1. Untersuchung verschiedener Ionenlieferanten zur Einstellung der hygienisch wirksamen Konzentration im Wasser.....	11
6.2. Auswahl der Ionenlieferanten für das Hygienisierungsmodul.....	14
7. Einfluss der Brunnendüsen auf den Eintrag von Keimen und organischem Material.....	16
8. Wirkung des ausgewählten Silberionenlieferanten auf aus der Luft eingetragene Keime .....	20
9. Einfluss des Brunnenmaterials auf die Konzentration an Silber- und Kupferionen im Wasser.....	22
10. Einfluss von Chloridionenkonzentration und der Temperatur des Wassers auf die Konzentration an freien Silberionen.....	24
11. Entwicklung einer Methode zur Hygienekontrolle.....	25
12. Technikumsversuche .....	28
13. Entwicklung und Fertigung des Hygienisierungsmoduls für getrennte Ionen- Lieferanten.....	32
14. Vergleichsversuche realer Springbrunnen mit und ohne Hygienisierungsmodul.....	33
15. Entwicklung einer Handlungsempfehlung für Springbrunnenbetreiber.....	41
16. Fazit.....	43
17. Literaturverzeichnis.....	44
18. Anhang.....	45

## 1. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

- Abb. 1: Einflüsse auf die Qualität des Wassers öffentlicher Springbrunnen
- Abb. 2: Ablagerungen auf einem Hygienisierungsmodul mit versilbertem Kupferdraht
- Abb. 3-1: Brunnen mit einfachem Plätschern über den Rand
- Abb. 3-2: Brunnen mit zahlreichen Düsen
- Abb. 4: Versuchsanordnung für Hygienisierungsversuche
- Abb. 5-1: Keimquelle, unter der Pumpe platziert
- Abb. 5-2: Nährboden nach 1,5 h Versuchsdauer mit Keimen
- Abb. 6: Musterbilder zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl für BODE DipSlides Combi
- Abb. 7-1. Einfache Versprudelung (rechts) und Versprudelung durch Fritte (links)
- Abb. 7-2: Vergleich der Gesamtkeimzahl, rechts einfach, links Fritte
- Abb. 8: Aufnahme von organischem Material aus der Luft durch unterschiedliche Versprudelung
- Abb. 9: Versuchsaufbau Parallelversuch ohne und mit Ionenlieferant
- Abb. 10-1: Brunnen 1-4 nach 1 Woche
- Abb. 10-2: Brunnen 1-4 nach 2 Wochen
- Abb. 10-3: Brunnen 1-4 nach 3 Wochen
- Abb. 10-4: Brunnen 1-4 nach 4 Wochen
- Abb. 11-1: Biofilmbildung am Boden in Brunnen 1 – ohne
- Abb. 11-21: Biofilmbildung am Boden in Brunnen 2 – mit Ionenlieferant
- Abb. 12: Versuche zur Adsorption von Kupfer- und Silberionen an typischen Brunnenmaterialien
- Abb. 13: Adsorption von Kupfer auf einer Betonoberfläche (grünlich eingefärbte Partikel)
- Abb. 14: Abhängigkeit der freien Silberionenkonzentration von Wassertemperatur und Chloridgehalt (gelb-hygienisch wirksame Konzentration, grün-optimale Konzentration, rot-zu hohe Konzentration lt. Abwasserverordnung)
- Abb. 15: Versuchsanlage Technikumsmaßstab, linkes Becken ohne Modul
- Abb.16: Algenbewuchs am Sandstein
- Abb. 17: Becken ohne (links) und mit Modul bei Versuchsende
- Abb. 18: Becken bei Versuchsende ohne (links) und mit Modul
- Abb. 19: schematischer Aufbau des Hygienisierungsmoduls
- Abb. 20: Hygienisierungsmodul -Kupferseite
- Abb. 21: Keramikbrunnen
- Abb. 22: Brunnen der Jugend
- Abb.23: Sandsteinbrunnen
- Abb. 24: Waschfrau

Abb. 25: Vergleich der Trübung von Brunnen mit Modul (Sandsteinbrunnen) und ohne Modul (Waschfrau)

Abb. 26: Brunnen am Markt

Abb. 27: Fontanebrunnen

Abb. 28: Spree-Havel-Brunnen

Abb. 29: Vergleich der Trübung von Brunnen mit Modul (Fontanebrunnen) und ohne Modul (Spree-Havel-Brunnen) im Untersuchungszeitraum

Abb. 30: Vergleich der organischen Belastung (TOC) von Brunnen mit Modul (Fontanebrunnen) und ohne Modul (Spree-Havel-Brunnen)

Tab. 1: Änderung von Leitwert und Silberkonzentration in Trinkwasser -TW-durch verschiedene Silberionenlieferanten

Tab. 2: Einstellung von Silber- und Kupferkonzentration in Trinkwasser durch verschiedene Silberionenlieferanten im Beisein von Kupfermaterial

Tab. 3: Vergleich der Keimzahlmessungen in KbE/ml vom BCI mit verschiedenen Dipslides

Tab. 4: Entwicklung der Gesamtkeimzahl in Becken mit und ohne Modul im Versuchsverlauf

Tab. 5: Entwicklung von Gesamtkeimzahl und Trübung in den Becken mit und ohne Modul im Versuchsverlauf

Tab. 6: Algenkonzentration in Becken mit und ohne Modul nach 31 Tagen

Tab. 7: Entwicklung von Gesamtkeimzahl und Trübung in Becken mit und ohne Modul im Versuchsverlauf

Tab. 8: Konzentration an Silber und Kupfer im Brunnenwasser

Tab. 9: Vergleich der mikrobiologischen Analysenwerte mit und ohne Hygienisierungsmodul

Tab. 10: Vergleich der mikrobiologischen Analysenwerte mit und ohne Hygienisierungsmodul

Tab. 11: Konzentration an Silber und Kupfer im Brunnenwasser

Tab. 12: Vergleich der mikrobiologischen Analysenwerte mit und ohne Hygienisierungsmodul

Tab.: 13: Konzentration an Silber und Kupfer im Fontanebrunnen

## 2. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

**TrinkwV** - Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

**AbwV** - Abwasserverordnung, Fassung vom 02.09.2014

### In der Mikrobiologie verwendete Begriffe

**Typische Wasserkeime** (hier):

Pseudomonas aeruginosa, Enterokokken, Kolibakterien (E.coli), Legionellen

### Quantifizierung von Mikroorganismen-koloniebildende Einheit KbE

Als koloniebildende Einheit bezeichnet man einzelne oder mehrere zusammenhängende Individuen von Mikroorganismen, die durch ihre Vermehrung in oder auf einem Gel-Nährmedium eine Kolonie bilden. Diese Größe wird bei der Methode zur Quantifizierung lebender Mikroorganismen mit der Abkürzung KBE oder KbE bezeichnet.

### Biofilm

Gemeinsam mit im Wasser befindlichen Keimen bildet organisches Material schleimige Ablagerungen, auch Biofilm genannt. In diesen Ablagerungen können Bakterien und Keime besonders gut wachsen und gedeihen.

### DipSlides

DipSlides sind mikrobiologische Schnelltests. Es handelt sich um Eintauchnährböden, die einfach zu handhaben sind und bereits nach 2 Tagen anhand von Vergleichsbildern Ergebnisse liefern.

### **3. Durchgeführte Untersuchungen, Ergebnisse und offene Fragen des ZIM-Projektes EP 160373**

Beim Förderträger Euronorm wurde ein ZIM Einzelprojekt mit dem Titel „Entwicklung eines innovativen Hygienisierungsmoduls zur Behandlung von Wässern öffentlicher Brunnenanlagen – HyBeBru“ - mit einer Laufzeit vom 1.1.2017 - 31.05.2018 durchgeführt [Sch18].

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Es wurden umfangreiche chemische und mikrobiologische Kenndaten von verschiedenen kleinen bzw. mittleren Brunnen aufgenommen und die Nutzung durch Mensch und Tier dokumentiert.
- Es wurden Labor- und Technikumsversuche zur Einstellung des chemischen Gleichgewichtes von Silber- und Kupferionen in Modell- und realen Brunnenwässern durchgeführt.
- Versuche im Technikumsmaßstab erfolgten im Winter 2017/18 und wurden in einem Wasserbecken mit Sprühdüsen unter Raumluft mit Kreislaufführung des Wassers durchgeführt. Dabei wurden Proben von typischen Brunnenmaterialien besprüht und mit einer Aquarienlampe zur Simulation des Sonnenlichtes bestrahlt.
- Es wurde die Wirkung von Silber- und Kupferionen auf relevante Wasserkeime wie Pseudomonas aeruginosa, Enterokokken, E.coli und Legionellen im mikrobiologischen Labor BCI untersucht.
- Der Einfluss von Kupferionen zur Vermeidung einer Algenbildung wurde im Labormaßstab anhand von Modell- und realen Brunnenwässern untersucht.
- Es wurden Hygienisierungsmodule aus Edelstahl zum Einhängen in die Brunnen mit Ag/Cu-Gestrick für den Einsatz in Versuchsbrunnen gebaut. Es konnte 2017 jedoch nur eine kurze Versuchsreihe durchgeführt werden, die nicht genügend aussagekräftig war. Ein Modul wurde aus einem Brunnen ohne Vorratsbehälter gestohlen.

#### **Ergebnisse und offene Fragen**

- Die Analysenergebnisse der Brunnenbeprobungen zeigten die Notwendigkeit einer Hygienekontrolle an. Die Einschätzung der Wasserqualität erfolgte durch den Betreiber nach Sicht, dabei zeigte sich, dass die Analytikergebnisse mit einer optischen Einschätzung nicht immer übereinstimmten. Es wurden häufig Brunnenwässer mit geringer Keimbelastung als schlecht eingeschätzt und damit vorzeitig das gesamte Brunnenwasser ausgetauscht. Andererseits wurden auch stark keimbelastete Brunnenwässer nicht als solche erkannt. Hier besteht die Notwendigkeit der Entwicklung eines schnellen und preiswerten Verfahrens.

- Die Analysenergebnisse der Brunnen zeigten, dass es für den Nachweis der Wirksamkeit der Hygienisierung nicht möglich ist, Werte derselben Brunnen in verschiedenen Jahren miteinander zu vergleichen. Infolge unterschiedlicher Witterungsbedingungen, Temperaturen und Nutzungen kam es zu starken Schwankungen. Die Versuchsbrunnen 1 – 4 zeigten sogar im selben Jahr zum selben Zeitpunkt sehr unterschiedliche Werte.  
Für den Nachweis der Hygienisierung können daher nur zum selben Zeitpunkt Brunnen gleichen Materials, ähnlicher Lage und Größe miteinander verglichen werden. Der Nachweis der Wirksamkeit der Hygienisierung kann also nur durch ein Vergleichsmonitoring erfolgen.
- Bei allen vom BCI untersuchten Keimen wurde durch das versilberte Kupfergestrick eine Vermehrung verhindert (Hygienisierung), befanden sich zu Versuchsbeginn bereits Silber- und Kupferionen in wirksamer Konzentration im Wasser, erfolgte bei den meisten sogar eine Desinfektion (Abtöten von Keimen). Für eine noch bessere Hygienisierung ist daher ein möglichst schnelles Erreichen der wirksamen Konzentration an Silber- und Kupferionen im Brunnenwasser von großer Bedeutung.
- Die Präsenz von Silber- und Kupferionen verringert deutlich die Algenbildung im Brunnenwasser.
- Während der Technikumsversuche kam es an den besprühten Materialproben zu Kalkablagerungen infolge des harten Wassers, aber zu keinerlei optisch sichtbaren Verfärbungen, Die Adsorption von Silber- und Kupferionen wurde nicht näher untersucht.
- Sowohl bei Versuchen im Labor- als auch im Technikumsmaßstab wurden Gleichgewichtskonzentrationen an Silber und Kupfer erreicht, die deutlich unterhalb der Grenzwerte nach TWO liegen und keine gesundheitliche Beeinträchtigung der Umwelt darstellen.



#### 4. Zusammenfassung

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines preiswerten umweltschonenden Hygienisierungsmoduls, durch den Eintrag von Silber- und Kupferionen infolge von chemischen Gleichgewichten.

Dieses Ziel wurde erreicht. Es wurde ein Hygienisierungsmodul für getrennte Ionenlieferanten entwickelt und erfolgreich in der Praxis getestet. Durch das Hygienisierungsmodul bleibt die gute Qualität des Wassers nach der Befüllung deutlich länger erhalten (Konservierung), ins Wasser gelangte Bakterien werden an ihrer Vermehrung gehindert und teilweise sogar abgetötet (Desinfektion). Algen- und Biofilmbildung wird reduziert.

Folgende Arbeiten sind erfolgt:

- Untersuchung der Kinetik der Ionenabgabe verschiedener Silber- und Kupfermaterialien verschiedener Hersteller (Forschungsauftrag) zur Entwicklung von Hygienisierungsmodulen mit schneller Wirksamkeit
- Entwicklung und Bau von Hygienisierungsmodulen für getrennte Ionenlieferanten
- Ausstattung von kleinen und mittleren Versuchsbrunnen (Modellhaftigkeit) mit innovativen Hygienisierungsmodulen
- Nachweis der Wirksamkeit der Hygienisierung durch Langzeitversuche (Brunnensaison),
- Vergleichsmonitoring von Brunnen mit und ohne Hygienisierungsmodul zur Keimbelastung und Algenbildung

Im Ergebnis wurden eine Methode zur Hygienekontrolle und eine Handlungsempfehlung für Springbrunnenbetreiber entwickelt.

Das Hygienisierungsmodul für kleine und mittlere Springbrunnen steht in Übereinstimmung mit der Verordnung VDI 4250 vom Verein Deutscher Ingenieure. Ziel der Richtlinie ist es, die Verbreitung von Legionellen in die Umgebungsluft zu verhindern, d.h. die Springbrunnenbetreiber müssen gewährleisten, dass die Keimkonzentration im Wasser so gering wie möglich ist.

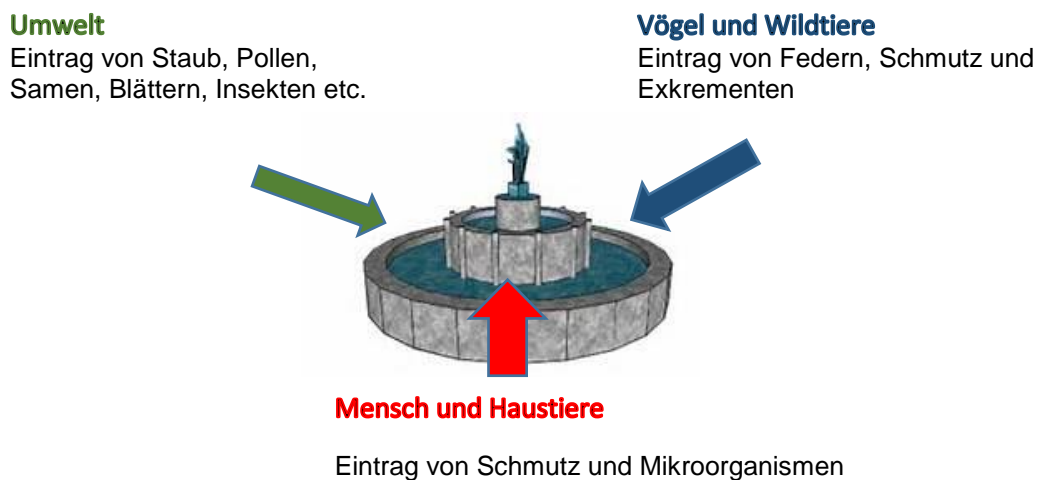
Mit dem Hygienisierungsmodul werden zudem Wasser- und Reinigungskosten gespart. Um den Zeitpunkt für die Notwendigkeit eines Wasserwechsels im Brunnen zu erkennen wurde ein preiswertes Verfahren zur Hygienekontrolle entwickelt.

Mit dem innovativen Hygienisierungsmodul wird damit sowohl ein wichtiger Beitrag zur Entlastung der Umwelt als auch zur Gesundheitserhaltung der Menschen geleistet.

## 5. Einleitung

Brunnenanlagen prägen das Stadtbild vieler Städte auf der ganzen Welt. Besonders an heißen Tagen tragen sie zur angenehmen Abkühlung der Umgebung, zur Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und zum Wohlbefinden der Besucher bei. Häufig sind die Brunnen in Parkanlagen integriert und bieten in unmittelbarer Umgebung Sitzgelegenheiten zur Entspannung. Die Befüllung der Brunnenanlagen erfolgt in der Regel mit Trinkwasser, sodass zunächst eine gute Wasserqualität gewährleistet ist. Das bleibt aber nicht so.

Ein Springbrunnen ist als offenes System zahlreichen Umwelteinflüssen ausgesetzt (Abb.1). Dadurch gelangen ständig Schwebstoffe und Keime in das Brunnenwasser.



**Abb. 1: Einflüsse auf die Qualität des Wassers öffentlicher Springbrunnen**

Keime sind in geringer Anzahl nicht schädlich. Allerdings können sie sich bei Vorhandensein von Algen, Biofilmen und Temperaturen über 20 °C rasch vermehren. Der am Brunnen entstehende Wasserdampf (Aerosol) kann dann Bakterien enthalten, die beim Einatmen für Menschen eine Gefahr darstellen. Aufgrund dessen hat der Verein Deutscher Ingenieure die Verordnung **VDI 4250** erlassen. Anliegen der Richtlinie ist es, die Verbreitung von Legionellen in die Umgebungsluft zu verhindern, d.h. die Springbrunnenbetreiber müssen gewährleisten, dass die Keimkonzentration im Wasser so gering wie möglich ist. Um der Verkeimung des Brunnenwassers vorzubeugen werden bis jetzt außer Bioziden keine weiteren Verfahren routinemäßig zur Hygienisierung angewendet. Biozide, überwiegend auf Chlor- und Brombasis, sind umwelt- und gesundheitsgefährdend. Biozidanlagen sind außerdem teuer und werden nur in großen Brunnen eingesetzt.

Bei mittleren und kleinen Brunnenanlagen wird nach Befüllen der Springbrunnen das Wasser im Kreislauf gefahren und bei hoher Verdunstung der Verlust durch Frischwasser ersetzt. Ein Wasserwechsel findet nach „Sicht“ ca. alle 4 – 6 Wochen statt. Dabei werden die Brunnen und entsprechende Vorratsbehälter mit einem Kärcher gereinigt und mit Trinkwasser neu befüllt.

Bei geeigneten Umweltbedingungen kann es vor allem während der warmen Sommermonate und bei ungehinderter Sonneneinstrahlung zu einer enormen Vermehrung von Bakterien, sonstigen Keimen und Algen kommen. Durch die starke Vermehrung von Mikroorganismen während des Anlagenbetriebs besteht eine akute Gefahr besonders für Kinder, Senioren, sowie kranke und immungeschwächte Personen. Neben dem direkten Kontakt mit dem Wasser sind es auch die Keime in den feinen Tröpfchen der gebildeten Aerosole, die in die weitere Umgebung durch Wind verteilt werden können und bei Aufnahme durch Einatmen teilweise schwere Erkrankungen (z. Bsp. Lungenreizungen oder Legionellose) hervorrufen. Aufgrund derartiger Vorkommnisse hat der Verein Deutscher Ingenieure die neue Verordnung **VDI 4250** erlassen. Maßnahmen zu einer Grundhygienisierung haben daher besondere Dringlichkeit. Diese Sachlage eröffnet einen potentiellen Markt für das innovative Hygienisierungsmodul für die Ausrüstung kleiner und mittlere Brunnenanlagen. Das große Interesse an einer dauerhaften preiswerten und zuverlässigen Hygienisierung dieser Brunnenanlagenwässer wurde auch durch vorliegende Interessensbekundungen von Verantwortlichen und Betreibern deutlich unterstrichen.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung von innovativen, wartungsarmen und preiswerten Hygienisierungsmodulen zur langanhaltenden Konservierung von Wässern öffentlicher Springbrunnenanlagen. Es handelt sich um einen neuartigen technischen Lösungsansatz, ein derartiges Modul wird bisher nicht angewendet. Die Module enthalten eine Kombination von Silber- und Kupfergestrick. Die Einstellung einer hinreichenden Konzentration der Metallionen im Brunnenwasser erfolgt automatisch aufgrund von chemischen Gleichgewichten und bedarf keiner externen Steuerungs- und Kontrolleinrichtungen. Durch die allmähliche Abgabe von Silber- und Kupfer-Ionen in das Wasser wird sowohl eine Verkeimung als auch eine Algenbildung verringert.

Beim Förderträger Euronorm wurde ein ZIM Einzelprojekt mit dem Titel „Entwicklung eines innovativen Hygienisierungsmoduls zur Behandlung von Wässern öffentlicher Brunnenanlagen – HyBeBru“ - mit einer Laufzeit vom 1.1.2017 - 31.05.2018 durchgeführt (siehe Pkt .3). Dort wurden umfangreiche Kenndaten von kleinen und mittleren Brunnenanlagen aufgenommen und grundlegende Untersuchungen zur Mikrobiologie durchgeführt. Im Projektverlauf wurde ein innovatives Hygienisierungsmodul auf Basis eines versilberten Kupfergestrickes entwickelt und dessen Wirksamkeit zur Keimreduzierung und Reduzierung der Algenbildung im Labormaßstab nachgewiesen. Aussagefähige Praxisversuche konnten noch nicht durchgeführt werden. Aus im Projektverlauf gewonnenen neuen Erkenntnissen ergaben sich sowohl weiterer Arbeitsaufwand für Fa. Schröfel als auch Forschungsbedarf, um zu einem erfolgreichen Abschluss des Projektes zu gelangen, was sich in den folgenden Zielspezifikationen für dieses Projekt widerspiegelt.

- Entwicklung eines preiswerten Verfahrens zur Hygienekontrolle von Brunnen
- Untersuchung der Kinetik der Ionenabgabe verschiedener Silber- und Kupfermaterialien verschiedener Hersteller (Forschungsauftrag) zur Entwicklung von Hygienisierungsmodulen mit schneller Wirksamkeit
- Ausstattung von kleinen und mittleren Versuchsbrunnen (Modellhaftigkeit) mit innovativen Hygienisierungsmodulen
- Nachweis der Wirksamkeit der Hygienisierung durch Langzeitversuche (Brunnensaison),
- Vergleichsmonitoring von Brunnen mit und ohne Hygienisierungsmodul zur Keimbelastung und Algenbildung

Zum Erreichen dieser Ziele waren folgende Arbeiten vorgesehen:

AP 1: Auswahl und Beprobung von Brunnen für das Vergleichsmonitoring

Es werden Brunnen von gleicher Größe, gleichem Material und ähnlicher Lage und Nutzung wie die Versuchsbrunnen ausgesucht und sowohl die Versuchsbrunnen als auch die Vergleichsbrunnen beprobt und die erhaltenen Werte auf Übereinstimmung geprüft. Ist das nicht der Fall, müssen andere Brunnen ausgewählt werden. Ziel der Untersuchungen ist eine möglichst gute Übereinstimmung der mikrobiologischen Ergebnisse und der Veralgung.

AP 2: Entwicklung eines preiswerten Verfahrens zur Hygienekontrolle

Das Vorliegen vieler Analysenwerte macht es möglich, Indikatorkeime zu definieren und geeignete Schnelltests auszuwählen. Die Ergebnisse werden mit denen der bisherigen umfangreicheren mikrobiologischen Analytik im Labor verglichen. Ziel ist es, ein preiswertes Verfahren zu entwickeln, das einfach zu handhaben und schnell aussagekräftig ist. Das Verfahren wird 2019 erprobt und bei den Langzeitversuchen 2020 angewandt.

AP 3: Untersuchung verschiedener Silber- und Kupfermaterialien auf die Geschwindigkeit der Ionenabgabe im Labormaßstab (Forschungsauftrag)

Wie im Bericht zum ZIM-Projekt näher erläutert, ist es notwendig, eine schnellstmögliche Hygienisierung der Brunnenwässer (z.B. nach Neubefüllung) zu gewährleisten. Es soll untersucht werden, ob das durch eine Trennung der Materialien Silber und Kupfer erreicht wird und in welchem Umfang.

AP 4: Technikumsversuche

Die Laborergebnisse werden in der vorhandenen Technikumsanlage getestet und durch Langzeitversuche die Einstellung der Ionenkonzentration überprüft. Dabei wird auch ergänzend zu den bereits erfolgten Versuchen im Rahmen des ZIM-Projektes die Wirkung auf Probekörper aus weiteren Brunnenmaterialien überprüft.

#### AP 5: Anfertigung der Hygienisierungsmodule

Nach den Ergebnissen der Labor- und Technikumsversuche werden die Hygienisierungsmodule für alle Versuchsbrunnen fertiggestellt.

#### AP 6: Langzeitversuche mit Vergleichsmonitoring während der Brunnensaison 2020

Um bei Inbetriebnahme des Brunnens bereits Silber- und Kupferionen im Brunnenwasser zu gewährleisten werden die Hygienisierungsmodule bereits beim Befüllen des Vorratsbehälters (ca. 14 Tage vor dem Einschalten des Brunnens) eingebaut. Es wird untersucht, ob bei Inbetriebnahme bereits eine wirksame Konzentration erreicht ist.

Über den gesamten Zeitraum der Brunnensaison werden die Brunnen und die Vergleichsbrunnen in regelmäßigen Abständen chemisch und mikrobiologisch beprobt. Dabei kommt das entwickelte Verfahren zur Hygienekontrolle zum Einsatz.

#### AP 7: Praxistauglichkeit und Wartungsregime

Während der Langzeitversuche werden die Hygienisierungsmodule auf Praxistauglichkeit wie Stabilität, Ablagerungen, Reinigungsmöglichkeiten etc. überprüft. Entsprechende Änderungen in der Konstruktion werden vorgenommen.

Außerdem wird ein Wartungsregime für die Hygienisierungsmodule für die Brunnen festgelegt.

#### AP 8: Dokumentation

## **6. Auswahl und Testung geeigneter Materialien für getrennte Ionenlieferanten für Silber und Kupfer**

Die hygienisierende Wirkung von Silber- und Kupferionen auf Brunnenwässer wurde im vorangegangenen ZIM-Projekt [Sch18]] sowohl bei Modell- als auch bei realen Brunnenwässern nachgewiesen. Dort wurde ein Hygienisierungsmodul mit versilbertem Kupferdraht als gemischter Ionenlieferant entwickelt und getestet. Es wurde in Labor- und Technikumsversuchen festgestellt, dass der Zeitraum zum Einstellen einer hygienisch wirksamen Konzentration im Brunnenwasser etwa eine Woche betrug. Für eine wirksame Hygienisierung in Brunnenwässern ist eine schnellere Einstellung der wirksamen Konzentration von Silber- und Kupferionen, z.B. nach Wasserwechseln, von großer Bedeutung. Untersuchungen im Labormaßstab hatten gezeigt, dass durch eine Trennung der Ionenlieferanten die wirksame Konzentration im Wasser deutlich schneller erreicht wird. Ziel dieses Projektes war es, das Hygienisierungsmodul für getrennte Ionenlieferanten umzugestalten und in Praxisversuchen zu testen.

### **6.1 Untersuchung verschiedener Ionenlieferanten zur Einstellung der hygienisch wirksamen Konzentration im Wasser**

Zuerst galt es geeignete Ionenlieferanten für Silber und Kupfer auszuwählen, die folgenden Anforderungen genügen:

- schnelle Einstellung einer hygienisch wirksamen Konzentration an Silber- und Kupferionen
- gute Durchströmbarkeit
- einfache technische Realisierbarkeit und Wartung
- Preis/Leistungsverhältnis

#### Ionenlieferanten für Silber

In der Trinkwasseraufbereitung im Haushalt als auch in kleineren Tanks (max. 30l) finden Sticks mit einer mikroporösen Oberfläche Anwendung [Sec19]. Die hauchdünne Silberschicht macht nur 0,1 bis 0,3 Prozent des gesamten Sticks aus. Um einen wirksamen Schutz im Brunnenwasser zu erzeugen, müssten mehrere dieser Sticks im Modul eingesetzt werden. Starke Strömungen im Wasser, mechanischer Abrieb durch z.B. Sand könnten die dünne Silberschicht ablösen, in den Zwischenräumen des Sticks könnten sich Schwebstoffe des Brunnenwassers einlagern. Derartige Sticks wurden für den Einsatz im Hygienisierungsmodul daher als technisch schwer realisierbar eingeschätzt und in weitere Untersuchungen nicht integriert.

Eine Silberkugel (im Folgenden SK) wird zur Trinkwasserkonservierung in Tankbehältern mobiler Einrichtungen (80 – 300 l) eingesetzt [Drk19] Sie enthält 4 - 8 g sehr feinen Spezial-Silberdraht. Als Voraussetzung für eine gute Wirksamkeit werden das freie Hängen im

Behälter und die Bewegung des Wassers genannt. Prinzipiell können derartige Kugeln auch in Springbrunnen eingesetzt werden.

Ein Pad mit Silberkugeln – im Folgenden SP - wird für die Wasserkonservierung bis 80 Liter Tankgröße eingesetzt und konserviert 17.500 l Trinkwasser [Wma19]. Es handelt sich beim Silberlieferanten um silberbeschichtete Plastikkügelchen. Prinzipiell könnte das SilberPad in Brunnen eingesetzt werden, da es im Stecksystem erhältlich ist und die Anzahl der Pads der Wassermenge angepasst werden kann. Ebenfalls zur Konservierung in Trinkwassertanks wird von derselben Fa. ein sogenanntes Silbernetz – im Folgenden SN – angeboten. Es handelt sich hier um eine Polyesterplatte mit eingewirkten Silberfäden. Durch das dreidimensionale textile Gewirk entsteht eine große wirksame Silberoberfläche. Das Material ist elastisch und sehr stabil, was es für den Einsatz in Springbrunnen gut geeignet macht.

Ein ähnliches textiles 3D-Gewirk wird in Mattenform – im Folgenden SM - wird erfolgreich zur Konservierung von Trinkwasser und Kühlwasser in der Industrie eingesetzt [Sil19]. Das Gewirk ähnelt dem SN, verfügt aber über einen höheren Silberanteil im Gewirk. Dadurch wird die Kontaktfläche Silber / Wasser noch erhöht.

Von der Fa. Rhodius [Rho17] werden verschiedene Metallgestricke als Meterware, u.a. auch Silber und Kupfer in unterschiedlicher Drahtstärke angeboten. Gestricke besitzen eine große Oberfläche. Für den Einsatz als Ionenlieferant im Hygienisierungsmodul für Springbrunnen ist das Silberdrahtgestrick – im Folgenden SD - ebenfalls geeignet.

#### Ionenlieferanten für Kupfer

Kupfergestrick oder auch Kupferwolle wird traditionell gegen Dachbegrünung und Veralgung eingesetzt [Cot20]. Die relevante Wirkung erzielen dabei  $\text{Cu}^{2+}$  Ionen, die das Kupfer mit der Zeit freisetzt. Kupfer in geringen Mengen ist für Pflanzen und Tiere als Spurenelement essentiell, in höheren Konzentrationen kann es toxisch wirken. Für den Einsatz von Kupferionen im Springbrunnenwasser ist es das Ziel, so wenig Kupfer wie möglich, aber so viel wie nötig für eine algizide Wirkung einzusetzen. Die grundlegenden Untersuchungen zur Einstellung einer Gleichgewichtskonzentration im Brunnenwasser erfolgten bereits im ZIM-Projekt. Dort wurde ebenfalls nachgewiesen, dass eine große Oberfläche zu einer schnelleren Einstellung der Gleichgewichtskonzentration im Brunnenwasser führt. Der Einsatz von Kupfergestrick der Fa. Rhodius wurde daher für das Hygienisierungsmodul präferiert und keine weiteren Kupfermaterialien untersucht.

Wie in der Literatur beschrieben, sind bereits Konzentrationen von 10 µg Silber und 40 µg Kupfer hygienisch und algizid wirksam. [Geb20]. Die Kupferkonzentration wurde photometrisch mit dem Reagenziensatz 0153 mit dem Photometer 400 D der Fa. Macheray-Nagel bestimmt. Die Spurenanalytik von Silber wurde von den Dritteistern Fa. Eurofins GmbH und Envirotech GmbH durchgeführt. Die Materialien wurden in Versuchsgefäßen mit definiertem Wasservolumen (1L) eingehängt und nach 2 Tagen der Anstieg des Leitwertes als Maß der freien Ionen im Wasser und die Silberkonzentration vom Dritteister Eurofins geprüft. Die Ergebnisse sind anhand einer Versuchsreihe in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1. Änderung von Leitwert und Silberkonzentration in Trinkwasser -TW-durch verschiedene Silberionenlieferanten

Silberionenlieferant	Anstieg Leitwert in µS/cm (Ausgangswert: 925 µS/cm)	Silberkonzentration nach 2 Tagen in mg/l
SK	46	0,010
SP	46	0,014
SN	51	0,011
SM	54	0,014
SD	50	0,011

Die Untersuchungsreihen wurden im Beisein von Kupfermaterial wiederholt. Die Ergebnisse zeigt Tab. 2.

Tab. 2: Einstellung von Silber- und Kupferkonzentration in Trinkwasser durch verschiedene Silberionenlieferanten im Beisein von Kupfermaterial

	Silberkonzentration nach 2 Tagen in mg/l	Kupferkonzentration nach 2 Tagen in mg/l
SK + Cu	0,010	0,030
SP + Cu	0,014	0,040
SN + Cu	0,011	0,035
HD 57 + Cu	0,014	0,040
SD + Cu	0,010	0,040

## 6.2. Auswahl der Ionenlieferanten für das Hygienisierungsmodul

Die Untersuchungen zeigten, dass mit getrennten Ionenlieferanten eine deutlich schnellere Einstellung des chemischen Gleichgewichtes von Silber im Wasser erreicht wird als mit dem bisher untersuchten versilberten Kupfergestrick. Alle verwendeten Ionenlieferanten für Silber lieferten dabei vergleichbare Ergebnisse und könnten prinzipiell im Hygienisierungsmodul eingesetzt werden.

Weitere wichtige Faktoren bei der Auswahl des Ionenlieferanten waren gute Durchströmbarkeit und Stabilität des Materials. Der Springbrunnen ist als offenes System vielen Umwelteinflüssen ausgesetzt, es kommt zum Eintrag von Schmutz in Form von Schwebstoffen oder Sand im Wasser, die sich im Hygienisierungsmodul verfangen und die verfügbare Oberfläche zur Ionenabgabe verkleinern können. Das könnte z.B. bei der



Verwendung vom SP zum Abrieb der aufgetragenen dünnen Silberschicht führen. Die SK sind für den Einsatz in Springbrunnen aus diesem Grund ebenfalls nicht geeignet. Der enthaltene Silberdraht ist sehr dünn und flach und verknäult sehr schnell. Im Modul könnten sich dort Ablagerungen von Schwebstoffen bilden. Die Plastikkugel gewährt da nur bedingt Schutz. Als Kugeln eingehängt wären sie in Brunnen ohne Vorratsbehälter zudem für Besucher sehr attraktiv. Wie die Erfahrung aus dem ZIM-Projekt zeigt, wurde dort bei einer Versuchsreihe in einem Brunnen ohne Vorratsbehälter das Hygienisierungsmodul aus dem Brunnen gestohlen.

Wie im ZIM-Projekt untersucht wurde, ermöglicht ein Hygienisierungsmodul in flacher Form die besten Durchströmbarkeit. Eine flache Form verringert damit gleichzeitig Ablagerungen im Inneren des Moduls. Für ein flaches Modul wären SN, SM oder SG geeignet.

Ein weiteres Kriterium für die Auswahl des Ionenlieferanten ist eine einfache Reinigungsmöglichkeit. Abb. 2 zeigt die Ablagerungen auf dem Hygienisierungsmodul nach 3 monatigem Einsatz (August – Oktober 2019) in einem Sandsteinbrunnen von 3.5 m<sup>3</sup> Wasservolumen und kalkhaltigem Trinkwasser. Die Ablagerungen bestanden vorrangig aus Pflanzenresten und Kalk, waren aber mechanisch gut entfernbar, z.B. durch Bürsten/Schrubben oder Abspritzen mit Wasser.



**Abb. 2: Ablagerungen auf einem Hygienisierungsmodul mit versilbertem Kupferdraht**

Die Reinigung des Brunnens vor einer Neubefüllung während der Brunnensaison erfolgt mit Hilfe eines Kärchers, d.h. durch einen harten Wasserstrahl. Um den Wartungsaufwand möglichst gering zu halten muss das Modul so stabil sein, dass eine derartige äußere Reinigung problemlos möglich ist. Die Verwendung eines 3D-Gewirkes (SN oder SM) trägt zur Stabilität des Moduls bei und ist damit dem SG vorzuziehen.

#### Ergebnis:

Für das Hygienisierungsmodul wird als Ionenlieferant für Silber SM präferiert, da es eine größere Silberoberfläche als SN enthält. Vorteilhaft als Verkaufsargument ist auch die Tatsache, dass SM nach VDI 2047 [Vdi21] zur Legionellenprophylaxe in Rückkühlwerken zertifiziert ist.

Als Ionenlieferant für Kupfer wird Kupfergestrick der Fa. Rhodius verwendet.

## 7. Einfluss der Brunnendüsen auf den Eintrag von Keimen und organischem Material

Durch die Düsen des Brunnens erfolgt eine Versprudlung/Zerstäubung des Wassers. Es gibt verschiedene Arten der Versprudlung, vom einfachen Überlauf bis zur Fontäne. Abb. 3 a und b zeigen zwei Beispiele.



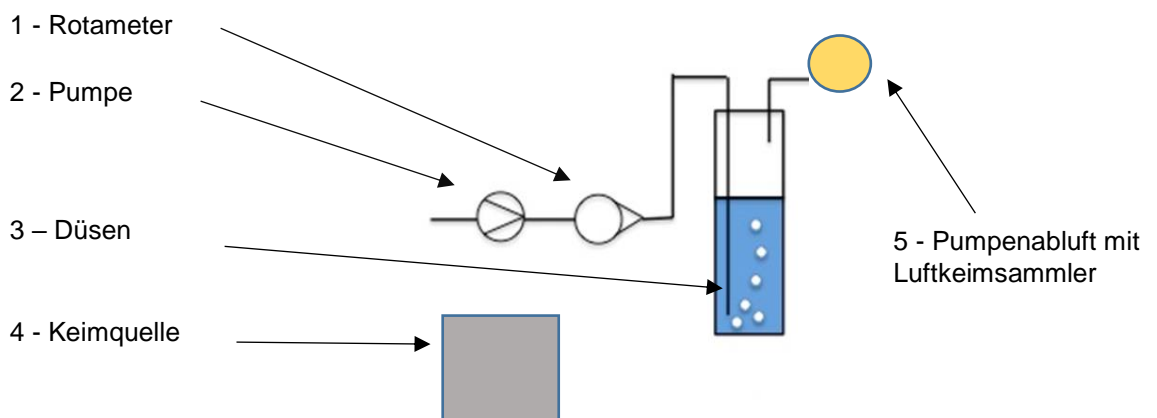
**Abb. 3 a: einfaches Plätschern über den Rand**



**3 b: Brunnen mit zahlreichen Düsen**

Die Verteilung des Brunnenwassers als Aerosol ist bei dem Brunnen 3 b deutlich stärker. Durch die Versprudlung des Wassers werden aber nicht nur Keime an die Umgebungsluft abgegeben, sondern auch aufgenommen. Der Brunnen wirkt sozusagen auch als „Luftwäscher“. Das wurde in den folgenden Untersuchungen bestätigt.

Die Versuchsanordnung bestand zunächst nur aus einer Aquariumpumpe, einem Rotameter zum Einstellen der Geschwindigkeit mit der die Luft über einen Waschflaschenaufsatz in den „Brunnen“ versprudelt wurde (Abb. 4), später wurde sie durch eine Keimquelle, die unter der Pumpe platziert wurde, ergänzt.



**Abb. 4: Versuchsanordnung für Hygienisierungsversuche**

Es wurde zunächst mit Umgebungsluft gearbeitet. Dabei zeigte sich, dass zu wenig Luftkeime zur Verfügung standen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Daher wurde die Versuchsanordnung durch eine Keimquelle erweitert, die unter der Pumpe platziert wurde (Abb. 5-1). Es handelte sich um ein Becherglas mit Wasser, das nichtpathogene Keime enthielt und gerührt wurde. Die Pumpenabluft wurde mit Luftkeimsammlern der Fa. PMT Partikel-Messtechnik GmbH untersucht (Abb. 5-2).



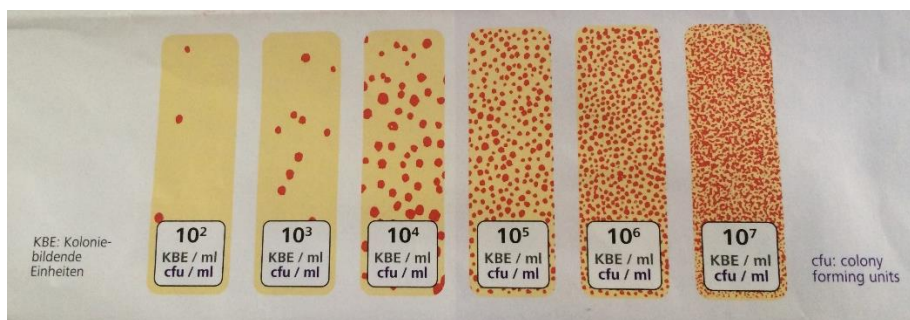
**Abb. 5 -1: Keimquelle, unter der Pumpe platziert**



**Abb. 5-2 : Nährboden nach 1,5 h Versuchsdauer mit Keimen**

Nach 1,5 h Versuchsdauer waren auf dem Nährboden Keime nachweisbar.

Es wurden anschließend Versuche mit unterschiedlichen Arten der Versprudlung durch verschiedene Waschflaschenaufsätze durchgeführt und die Keimzahl im Wasser mit Hilfe von Schnelltests in Form von Eintauchnährböden (DipSlides, siehe Pkt. 6) bestimmt. Zur besseren Übersicht sind die Musterbilder der DipSlides Combi beigefügt (Abb. 6).

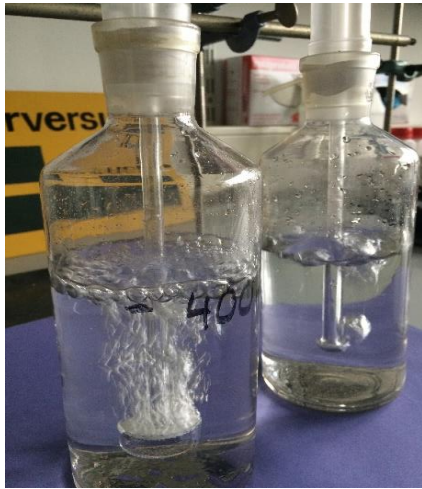


**Abb. 6: Musterbilder zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl für BODE DipSlides Combi**

#### Beurteilung Bakterienkolonien

bis $10^4$	sehr schwache bis schwache Kontamination
$10^5$ – $10^6$	mäßige bis starke Kontamination
über $10^7$	starke bis sehr starke Kontamination

Ein Beispiel für die Keimaufnahme nach 8 Tagen Laufzeit mit unterschiedlich starker Versprudlung zeigen Abb. 7-1 und 7-2.



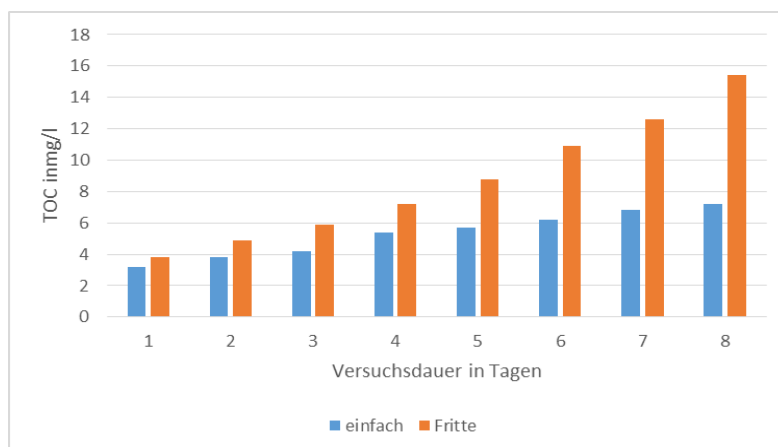
**Abb. 7-1. Einfache Versprudlung (rechts) und Versprudlung durch Fritte (links)**



**7-2: Vergleich der Gesamtkeimzahl, rechts einfach, links Fritte**

Die Versuche zeigten, dass durch eine stärkere Versprudlung des Wassers in derselben Zeit mehr Luftkeime aufgenommen werden.

Aus der Literatur ist ebenfalls bekannt, dass durch turbulente Strömungen des Wassers, wie sie durch die Brunnendüsen erzeugt werden, auch mehr organische Stoffe aus der Umgebungsluft ins Wasser eingetragen werden, die als Nahrung für Bakterien dienen können. Untersuchungen im Rahmen der Reinigungsvalidierung wiesen z.B. eine um 2/3 erhöhte Aufnahme organischer Substanzen im Vergleich mit laminaren Strömungen auf [Bay16]. Die Aufnahme von organischem Material wurde bei den Versprudlungsversuchen ebenfalls untersucht und eine Erhöhung durch stärkere Versprudlung nachgewiesen (Abb. 14). Das organische Material wurde dabei als TOC (total organic carbon) mit dem TOC-Analysator TOC-V<sub>cph/cpn</sub> der Fa. Shimadzu bestimmt.



**Abb. 8: Aufnahme von organischem Material aus der Luft durch unterschiedliche Versprudlung**

Ergebnis:

Durch die Brunnendüsen erfolgt eine Versprudlung des Brunnenwassers. Die Versuche zeigten, dass dabei nicht nur Keime an die Luft freigesetzt, sondern auch eingetragen werden (Prinzip des Luftwäschers). Es wurde nachgewiesen, dass bei stärkerer Versprudlung/Zerstäubung sowohl mehr Keime als auch mehr organisches Material aus der Luft aufgenommen werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass bei der Hygienisierung von Brunnen mit mehr bzw. stärkeren Düsen mehr Hygienisierungsmaterial benötigt wird.

## 8. Wirkung des ausgewählten Ionenlieferanten auf aus der Luft eingetragene Keime

Die folgenden Versuchsreihen zeigten, wie sich eine Präsenz vom Ionenlieferanten SM im Wasser auf den Keimeintrag aus der Luft auswirkt.

Dazu wurden Langzeitversuche mit 4 „Brunnen“ mit jeweils 1 L Trinkwasser bei einem Luftstrom von 70 l/h (Abb. 9) unter Verwendung einer Keimquelle durchgeführt:

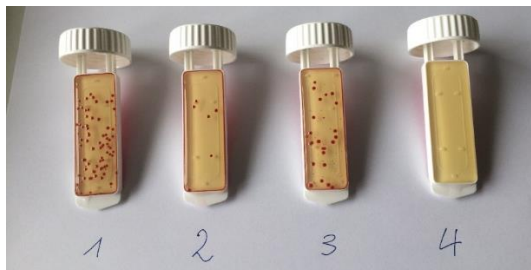


**Abb. 9: Versuchsaufbau Parallelversuch ohne und mit Ionenlieferant**

Brunnen 1 und 3 ohne

Brunnen 2 und 4 mit SM

Die Brunnen mit SM wurden 12 h vor Versuchsbeginn mit Trinkwasser befüllt, um eine hygienisierende Wirkung durch Silberionen ( $>10 \mu\text{g/L}$ ) zu Beginn der Versuchsreihe zu gewährleisten. Es wurden wöchentlich Proben genommen, danach wurden die Brunnen mit Trinkwasser wieder auf 1 L aufgefüllt. Als Keimquelle wurde Trinkwasser mit nichtpathogenen Keimen ( $10^4$  KBE/ml) verwendet. Die Änderungen der mikrobiologischen Beschaffenheit der Wässer im Versuchsverlauf sind anhand einer Versuchsreihe in Abb. 10 dargestellt.



**Abb. 10-1: Brunnen 1 – 4 nach 1 Woche**



**Abb. 10-2: Brunnen 1 – 4 nach 2 Wochen**

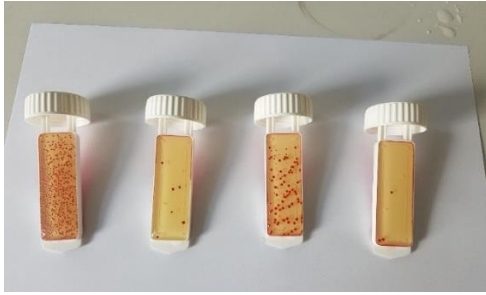


Abb. 10-3: Brunnen 1 – 4 nach 3 Wochen



Abb. 10-4: Brunnen 1 – 4 nach 4 Wochen

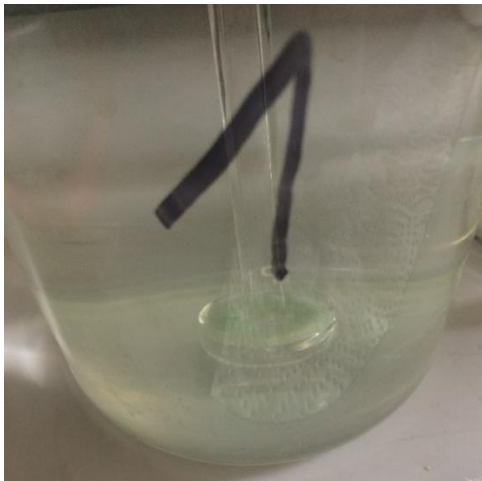


Abb. 11-1: Biofilmbildung am Boden in Brunnen 1 - ohne



Abb. 11-2: Brunnen 2 – mit Ionenlieferant

### Ergebnis

Aus den Abbildungen 10-1 bis 4 ist ersichtlich, dass die Keimbelastung der Brunnen 2 und 4 mit SM deutlich geringer ist.

In den Brunnen mit SM bildete sich im Untersuchungszeitraum zudem **kein Biofilm** am Boden, während in den anderen Brunnen ein Biofilm aufwuchs (Abb. 17).

Der untersuchte Ionenlieferant SM ist somit für den Einsatz im Hygienisierungsmodul sehr gut geeignet.

## 9. Einfluss des Brunnenmaterials auf die Konzentration von Silber- und Kupferionen im Brunnenwasser

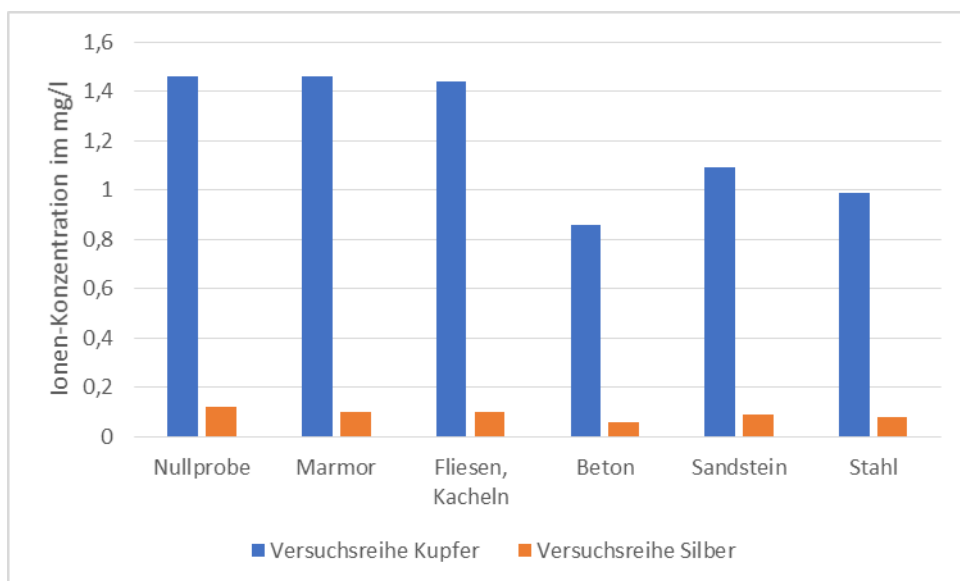
Durch Adsorption der im Brunnenwasser befindlichen Silber- und Kupferionen an im Wasser vorhandene Partikel verringert sich die Zahl der für die Hygienisierung verfügbaren freien Silber- und Kupferionen. Im Fall der Springbrunnen kommen für die Adsorption zum einen das Brunnenmaterial selbst, zum anderen ins Brunnenwasser eingetragene Stoffe wie Pollen, Blätter, Samen oder auch Glas, Plastikbehälter, Bekleidung, Kronkorken etc. in Frage. Letztere Materialien sind nicht vorhersehbar.

Für eine Abschätzung des Bedarfs an Silber- und Kupfermaterial wurden typische Brunnenmaterialien auf ihre Adsorption untersucht.

Diese waren:

- Marmor
- Fliesen/Kacheln
- Beton
- Sandstein
- Stahl

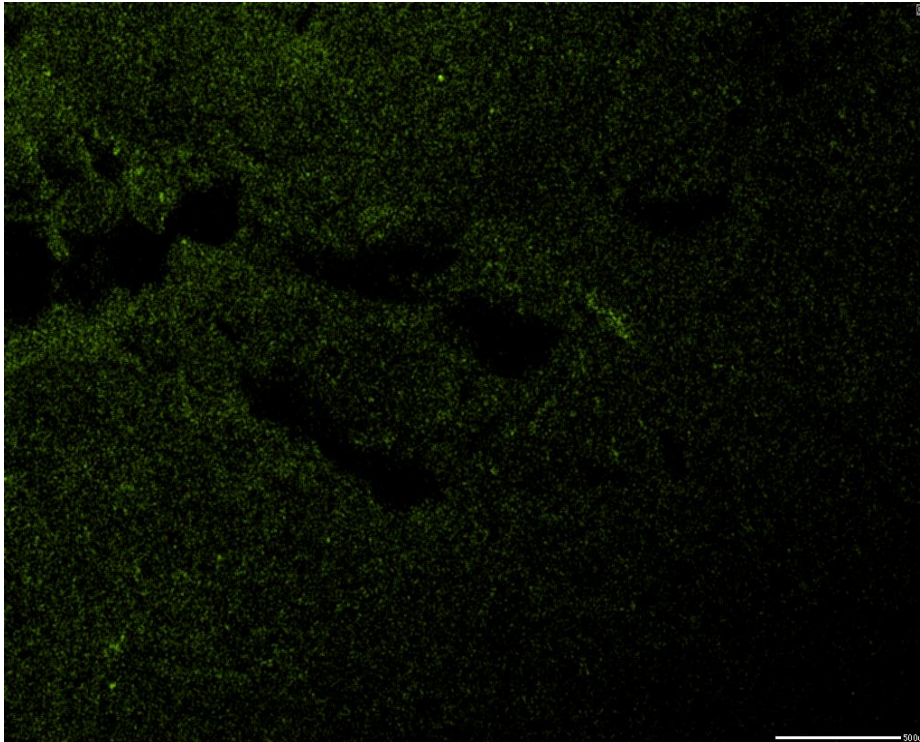
Für die Versuche wurden Plastikflaschen mit 1 l Trinkwasser mit einer definierten Konzentration an Kupfer bzw. Silber befüllt und mit Proben verschiedener Brunnenmaterialien versehen. Eine Flasche diente dabei als Nullprobe und enthielt kein Material. Das Wasser wurde in den Flaschen durch Waschflaschenaufsätze versprudelt. Nach 10 Tagen wurde die Konzentration von Kupfer und Silber in den Behältern bestimmt. Abb. 12 zeigt die Ergebnisse an zwei Beispielen.



**Abb. 12: Versuche zur Adsorption von Kupfer- und Silberionen an typischen Brunnenmaterialien**



Die Adsorption von Kupfer am Beton konnte auch mit Hilfe der REM/EDX Analytik nachgewiesen werden (Abb. 13).



**Abb. 13: Adsorption von Kupfer auf einer Betonoberfläche (grünlich eingefärbte Partikel)**

### Ergebnis

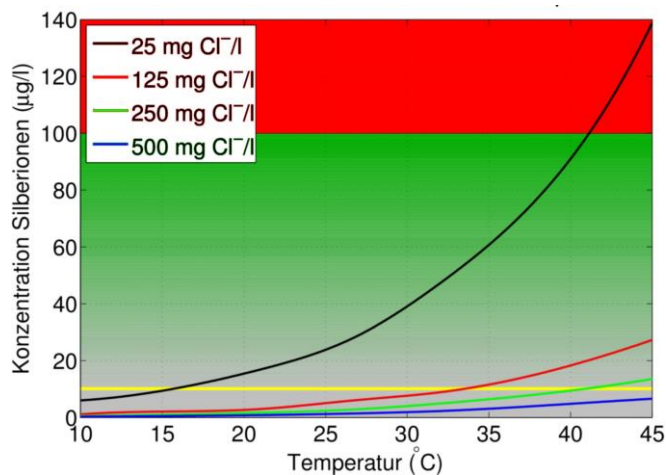
Die Versuche zeigten, dass eine Adsorption der Metalle an den Brunnenmaterialien stattfindet. Die Größe ist dabei materialabhängig. Materialien wie Marmor oder Fliesen zeigten wenig Einfluss auf die Kupfer- oder Silberkonzentration, an Sandstein und Stahl wurden 25- 30 % der Ionen adsorbiert, Beton zeigt mit ca. 40 % die stärkste Adsorption.

Inwieweit die Adsorption in dem zu erwartenden geringen Konzentrationsbereich von 0,01 mg/l (Silber) und 0,04 mg/l Kupfer tatsächlich eine Rolle spielt, konnte nicht untersucht werden, da die Werte an der Nachweisgrenze der genutzten Analytik lagen. Die Kinetik der Adsorption/Desorption wurde im Rahmen dieser Forschungen ebenfalls nicht untersucht.

Bei der Abschätzung des Bedarfes an Hygienisierungsmaterial sollte jedoch bei den Brunnenmaterialien Beton, Sandstein oder Stahl ein Mehrbedarf eingeplant werden.

## 10. Einfluss von Chloridionenkonzentration und Temperatur des Wassers auf die Konzentration an Silberionen im Wasser

Eine hygienisierend wirksame Konzentration an freien Silberionen ( $10 \mu\text{g/l}$ ) entsteht durch Gleichgewichtseinstellung durch Dissoziation von Silber im Wasser. Die Konzentration an freien Silberionen kann dabei durch die Chloridkonzentration und die Temperatur beeinflusst werden [Mar16].



**Abb. 14: Abhängigkeit der freien Silberionenkonzentration von Wassertemperatur und Chloridgehalt (gelb-hygienisch wirksame Konzentration, grün-optimale Konzentration, rot-zu hohe Konzentration. Abwasserordnung**

Die Temperatur im Brunnenwasser wird je nach Ausstattung des Brunnens und der klimatischen Bedingungen während der Brunnensaison bei 15-20  $^{\circ}\text{C}$  liegen und in diesem Bereich keinen signifikanten Einfluss auf die Konzentration an freien Silberionen haben. Sollte die Wassertemperatur ansteigen, würde die Konzentration an freien Silberionen erhöht werden, gleichzeitig führt eine höhere Temperatur auch zu stärkerem Wachstum an Keimen, was eine höhere Konzentration an Ag-Ionen zur Hygienisierung erfordert. Anders ist es bei der Chloridionenkonzentration im Wasser. Der Grenzwert für Chlorid in Trinkwasser liegt lt. Trinkwasserverordnung bei 250 mg/l, die Gehalte sind in Deutschland regional sehr unterschiedlich, z.B. in München beträgt der Chloridgehalt 11 mg/l, in Würzburg 72 mg/l. Silberchlorid ist ein schwerlösliches Salz. Befinden sich zu viele Chloridionen im Wasser werden freie Silberionen gebunden und es fällt Silberchlorid aus. Damit sinkt die Konzentration an hygienisch wirksamen freien Silberionen. Zur Sicherstellung der Hygienisierung des Brunnens empfiehlt es sich, bei hohen Chloridionenkonzentrationen mehr Hygienisierungsmaterial, z.B. zusätzlich ein zweites Modul an einer anderen Stelle im Brunnen einzusetzen. Für die Einschätzung des Bedarfs an Hygienisierungsmaterial sollten daher die Analysewerte des eingesetzten Wassers im Springbrunnen geprüft werden. Die Trinkwasserwerte sind in der Regel für jede Region online abrufbar. Wird der Springbrunnen mit anderem Wasser befüllt (Tiefbrunnen, Regenwassersammler etc.) ist eine Wasseranalyse notwendig.

## 11. Entwicklung einer Methode zur Hygienekontrolle

### Aerosolbildung und Legionellen

Springbrunnen verfügen über Düsen zur Versprudelung/ Vernebelung von Wasser. Dabei verdunstet ein Teil des Wassers. Für den Phasenübergang (flüssig-gasförmig) wird Energie verbraucht, die der Luft entzogen wird. So kühlt sich diese ab. Besonders an heißen Tagen trägt diese Verdunstungskühlung (oder auch adiabatische Kühlung genannt) zu einer angenehmen Abkühlung der Luft am Brunnen bei. Der entstehende Wasserdampf wird als Aerosol bezeichnet, welcher auch Bakterien und weitere organisch lebende Stoffe enthalten kann. Diese Bioaerosole können für Menschen eine Gefahr darstellen. Insbesondere das Einatmen von Legionellen kann beim Menschen Krankheiten verursachen, die durch entsprechende Vorkehrungen vermieden werden müssen. Legionellen kommen in den meisten wässrigen Systemen vor, gefährlich sind sie für den Menschen erst, wenn es zu einer Vermehrung kommt. Dazu benötigen Legionellen Temperaturen über 20°C und Nahrung in Form von organischem Material, Biofilmen oder Algen [Wag19, Him19,Rki21,Nec20]. Der Verein Deutscher Ingenieure hat die Verordnung **VDI 4250** [Vdi18] erlassen. Anliegen der Richtlinie ist es, die Verbreitung von Legionellen in die Umgebungsluft zu verhindern, d.h. die Springbrunnenbetreiber müssen gewährleisten, dass die Keimkonzentration im Wasser so gering wie möglich ist.

Ein Springbrunnen ist ein offenes System und damit allen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Mit Trinkwasser befüllt, ist die Wasserqualität beim Befüllen zunächst sehr gut, das kann sich durch viele Faktoren (Einträge durch Wind, Wetter, Mensch und Tier) schnell ändern. Ziel der Untersuchungen war es, eine einfache und schnelle Methode zu finden, die eine Aussage über den mikrobiologischen Zustand des Wassers liefert.

### Vergleich verschiedener Analysenmethoden

Im ZIM-Projekt wurde der Einfluss von Silber- und Kupferionen auf relevante Wasserkeime in Brunnenwässern vom mikrobiologischen Institut BCI untersucht. Bei allen Bakterien wurde eine hygienisierende Wirkung – d. h. die Verhinderung der Vermehrung nachgewiesen. Außerdem fand bei den meisten untersuchten Bakterien zusätzlich ein Abbau statt, wie z.B. beim Wasserkeim *Pseudomonas aeruginosa*, der die Bildung von Biofilmen bewirkt [Hzi21].

Eine vollständige Wasseranalyse ist für eine Aussage, wann ein Wasserwechsel im Brunnen erfolgen soll, zu teuer und zu zeitaufwändig (>5 Tage). Es mussten daher Indikatorkeime gefunden werden, die durch einfache Schnelltests zuverlässige Aussagen treffen. Es wurden zahlreiche Beprobungen von verschiedenen Brunnen im Jahresverlauf vorgenommen.

Schnelltests, auch DipSlides genannt, sind Eintauchnährböden, die einfach zu handhaben sind und bereits nach 2 Tagen anhand von Vergleichsbildern Ergebnisse liefern.

Tab 3: Vergleich der Keimzahlmessungen in KbE/ml vom BCI mit verschiedenen Dipslides

Nr.	Parameter	BCI	Dipslides 1	Dipslides 2	Dipslides 3
1	GKZ	$8 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$10^3$	$10^4$
	coliforme Keime	n.n.	$1 \times 10^3$		
	E. coli	0,05	> 10		
2	GKZ	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$10^3$	$10^3$
	coliforme Keime	n.n.	$5 \times 10^3$		
	E. coli	0,04	< 10		
3	GKZ	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$10^4$	$10^4$
	coliforme Keime	<10	$1 \times 10^3$		
	E. coli	100	< 10		
4	GKZ	$5 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$10^3$	$10^3$
	coliforme Keime	$5 \times 10^3$ l	$5 \times 10^2$		
	E. coli	< 10	< 10		
5	GKZ	$5 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$10^3$ l	$10^4$
	coliforme Keime	n .n.	$2 \times 10^3$		
	E. coli	3	< 10		
6	GKZ	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	$10^4$	$10^4$
	coliforme Keime	$5 \times 10^3$	$1 \times 10^5$		
	E. coli	0,05	< 10		
7	GKZ	$5 \times 10^3$	$1 \times 10^4$	$10^3$	$10^3$
	coliforme Keime	20l	$5 \times 10^3$		
	E. coli	0,75	< 10		
8	GKZ	$1 \times 10^4$	$5 \times 10^4$	$10^4$	$10^4$
	coliforme Keime	<10	$1 \times 10^3$		
	E. coli	10	< 10		
9	GKZ	97	$1 \times 10^3$	$10^2$	$10^3$
	coliforme Keime	0,5	10		
	E. coli	n.n	< 10		
10	GKZ	17	$10^3$	$10^2$	$10^3$
	coliforme Keime	0,05	< 10		
	E. coli	n.n.	< 10		

Legionellen wurden in den untersuchten Brunnen nur in Ausnahmefällen bei starker Verschmutzung mit Biofilmen und hoher Gesamtkeimzahl (größer  $10^7$  KbE/ml) nachgewiesen.

Als Indikatorkeime kamen damit Legionellen nicht in Frage. Eine Orientierung auf das Vorhandensein von Enterokokken, wie in der Badegewässerverordnung vorgeschrieben, gibt keinen Hinweis auf andere Keime und deren Vermehrung im Brunnenwasser. Bei allen untersuchten Brunnen lagen die Werte für Enterokokken deutlich unterhalb der zulässigen Grenzwerte. In Absprache mit dem mikrobiologischen Labor wurden als Indikatoren die Bestimmung der Gesamtkeimzahl, der coliformen Keime und/oder die Bestimmung von E. coli vorgeschlagen und in Form von Schnelltests überprüft. Es wurden parallel drei verschiedene Schnelltests verwendet und die Ergebnisse mit der Wasseranalyse des mikrobiologischen Labors verglichen (Tab.3).

DipSlides 1 – GFD 05A Fa. Oxoid

DipSlides 2 – Bode DipSlides Combi

DipSlides 3 – Schülke Easycult® Combi

Die Bestimmung der coliformen Keime und von E. coli durch die DipSlides der Fa.Oxoid zeigte abweichende Werte (teilweise deutlich höher) als die vom BCI gemessenen Laborwerte. E. coli wurde nicht in allen Brunnenwässern gefunden. Bei der Bestimmung der Gesamtkeimzahl zeigten die DipSlides 2 und 3 die beste Übereinstimmung mit den Laborwerten.

### Ergebnis

Für die Hygienekontrolle des Brunnenwassers wird die Bestimmung der Gesamtkeimzahl als Indikator für die Verunreinigung des Brunnenwassers unter Verwendung der DipSlides 2 oder 3 empfohlen. Diese wurden in den folgenden Technikums- und Praxisversuchen angewendet und stichprobenartig mit Laboranalysen vom Drittleister BCI verglichen. Die Werte zeigten eine gute Übereinstimmung.

## 12. Technikumsversuche

Die Technikumsversuche mit getrennten Ionenlieferanten im Rahmen dieses Projektes erfolgten während der Brunnensaison (März – Oktober 2020) und wurden im Gegensatz zu den Versuchen im ZIM-Projekt als Freilandversuche mit Vergleichsmonitoring durchgeführt. Dabei wurden jeweils zwei Becken mit 12 l Trinkwasser nebeneinander aufgestellt (Abb. 15). Die Versprudelung des Wassers erfolgte mittels Aquarienpumpen und Waschflaschenaufsätzen. Mit Hilfe einer Zeitschaltuhr wurde die Zeit der Versprudelung auf 10 Betriebsstunden pro Tag eingestellt. Die Becken wurden mit Gesteinsproben aus verschiedenem Material versehen:

- Gegossener Weißbeton
- Sandstein
- Konglomerat aus Beton, Quarzporphyr, Sandstein und Quarzit

Eines der Versuchsbecken wurde mit Silber- und Kupfermaterial - im Folgenden als „mit Modul“ bezeichnet - versehen. Die Becken wurden mit Trinkwasser befüllt, wöchentlich beprobt und die Gesamtkeimzahl mit DipSlides 2 oder 3 bestimmt. Außerdem wurden die Becken auf Algen- und Biofilmbildung geprüft und nach der Probenahme das verdunstete Wasser auf 12 l aufgefüllt. Dieses Procedere entspricht dem bei realen Springbrunnen ohne Vorratsbehälter, wenn der Wasserstand infolge hoher Lufttemperaturen oder Trockenheit sinkt.

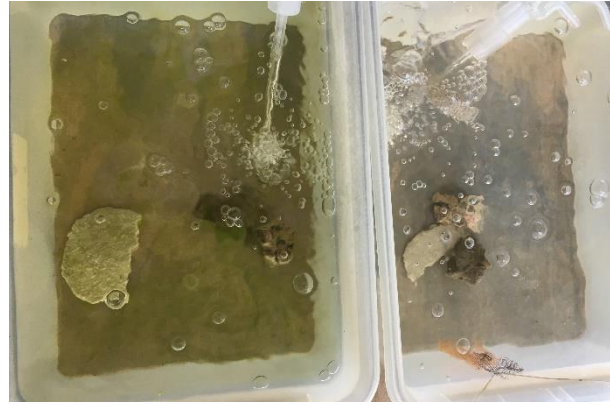


**Abb. 15: Versuchsanlage Technikumsmaßstab, linkes Becken ohne Modul**

Die erste Versuchsreihe begann am 04.05.2020. Nach 20 Tagen wurde am Sandstein im Becken ohne Modul deutlich Algenbewuchs festgestellt (Abb. 16). Am Beckenboden war bereits ein Biofilm erkennbar. Am 02.06.20 wurde die Versuchsreihe beendet (Abb. 17). Das Becken ohne Modul zeigte deutliche Veralgung.



**Abb.16: Algenbewuchs am Sandstein**



**Abb. 17: Becken ohne (links) und mit Modul bei Versuchsende**

Die Messwerte der Versuchsreihe zur Entwicklung der Gesamtkeimzahl zeigt Tabelle 4.

Tab. 4: Entwicklung der Gesamtkeimzahl in Becken mit und ohne Modul im Versuchsverlauf

Datum	Gesamtkeimzahl GKZ	
	ohne Modul	mit Modul
04. Mai	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml
14. Mai	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml
26. Mai	10 <sup>5</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml
02. Jun	10 <sup>5</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml

\*bestimmt mit Schülke DipSlides

Eine weitere Versuchsreihe begann am 08.06.2020, hier wurde außer der Gesamtkeimzahl die Turbidität (NTU-Nephelometrischer Trübungswert) bestimmt (Tab. 5).

Tab. 5: Entwicklung von Gesamtkeimzahl und Trübung in den Becken mit und ohne Modul im Versuchsverlauf

Datum	Gesamtkeimzahl GKZ*		Trübung	
	ohne Modul	mit Modul	ohne Modul	mit Modul
08. Jun	10 <sup>2</sup> KbE/ml	10 <sup>2</sup> KbE/ml	1 NTU	1 NTU
16. Jun	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml	1 NTU	1 NTU
22. Jun	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml	3,0 NTU	1 NTU
28. Jun	10 <sup>5</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml	5,0 NTU	1 NTU
01. Jul	10 <sup>5</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml	14,9 NTU	1 NTU
08. Jul	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml	19,45 NTU	1 NTU

\* bestimmt mit Bode Dipslides

In diesem Versuchszeitraum gab es zunächst eine Hitzeperiode, was zu starkem Algenwachstum und zum Anstieg der Gesamtkeimzahl führte, darauf folgten Starkregenereignisse. Damit wurde das Beckenwasser verdünnt und die Gesamtkeimzahl verringerte sich wieder. Im Becken ohne Modul fand erneut eine starke Algenbildung statt (Abb. 18).



**Abb. 18: Becken bei Versuchsende ohne (links) und mit Modul**

Bei Versuchsende am 08.07.2020 wurde in beiden Becken die Algenmenge gemessen. Die quantitative Bestimmung des Algenwachstums erfolgte nach DIN 38412/16 – Bestimmung des Chlorophyll-a-Gehaltes von Oberflächenwässern [Din16]. Mit dieser Methode werden sowohl intakte Grünalgen als auch bereits abgestorbenen Algen erfasst. Die Ergebnisse sind in Tab. 6. dargestellt.

Tab. 6: Algenkonzentration in Becken mit und ohne Modul nach 31 Tagen

	<b>Algen</b>	<b>Algen, abgestorben</b>
<b>ohne Modul</b>	1219 µg/l	320 µg/l
<b>mit Modul</b>	0 µg/l	207 µg/l

Die Werte zeigen, dass auch im Becken mit Modul eine schwache Algenbildung stattgefunden hat. Die Algen wurden dann durch die Kupferionen im Wasser vernichtet.

Als letztes Beispiel wird hier eine Versuchsreihe aufgeführt, die am 10.08.2020 begann. Jahreszeitlich bedingt sind die Tage kürzer und die Nachttemperaturen niedriger als in den Vormonaten. Die Wassertemperatur in den Brunnen sinkt. Das wirkt sich auch deutlich auf das Keimwachstum aus.



Tab. 7: Entwicklung von Gesamtkeimzahl und Trübung in Becken mit und ohne Modul im Versuchsverlauf

Datum	Gesamtkeimzahl GKZ*		Trübung	
	ohne Modul	mit Modul	ohne Modul	mit Modul
10. Aug	<10 <sup>3</sup> KbE/ml	<10 <sup>3</sup> KbE/ml	< 1 NTU	< 1 NTU
20. Aug	10 <sup>5</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml	< 1 NTU	< 1 NTU
28. Aug	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>3</sup> KbE/ml	< 1 NTU	< 1 NTU
04. Sep	<10 <sup>3</sup> KbE/ml	<10 <sup>3</sup> KbE/ml	4,5 NTU **	1,5 NTU
18. Sep	<10 <sup>3</sup> KbE/ml	<10 <sup>3</sup> KbE/ml	8,0 NTU**	1 NTU

\* bestimmt mit Schülke DipSlides

\*\* Biofilm am Boden

Die Werte zeigen, dass im Untersuchungszeitraum kein sichtbares Algenwachstum mehr stattfand. Das Wasser blieb auch ohne Modul länger klar. Nach 3 Wochen begann sich dort am Boden ein Biofilm zu entwickeln. Die niedrigen nächtlichen Temperaturen ließen die Gesamtkeimzahl in den beiden Becken sinken.

#### Ergebnisse:

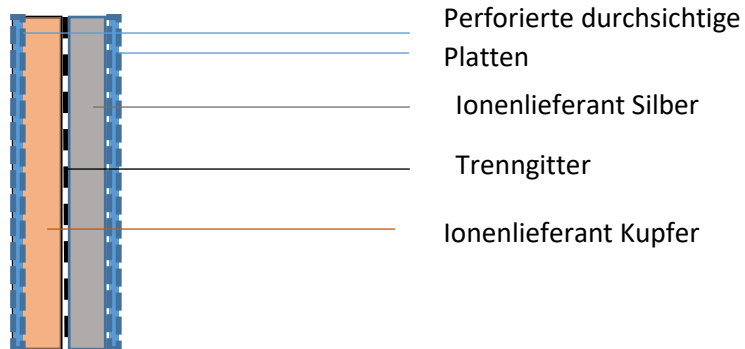
Die Versuchsreihen bestätigen, dass im Zeitraum Mai – Juli die Algenbildung am stärksten ist. In diesen Monaten sollten daher häufiger Beprobungen der Brunnenwässer vorgenommen werden. Ab August fand kaum noch Algenbildung statt. Allerdings müssen dabei auch die jeweiligen Witterungsverhältnisse berücksichtigt werden. Der August 2020 war regnerisch und kühl.

Die vergleichenden Versuchsreihen im Technikumsmaßstab bestätigten die Wirksamkeit des Hygienisierungsmoduls:

- Keimwachstum und Algenbildung im Wasser werden deutlich verringert
- Es bilden sich keine Biofilme.

### 13. Entwicklung und Fertigung des Hygienisierungsmoduls für getrennte Ionenlieferanten

Die Forschungsergebnisse zeigten, dass mit getrennten Ionenlieferanten eine deutlich schnellere Einstellung des chemischen Gleichgewichtes von Silber im Wasser erreicht wird als mit dem bisher untersuchten versilberten Kupfergestrick. Das Hygienisierungsmodul wurde den Ionenlieferanten angepasst und hat folgenden Aufbau (Abb.19):



**Abb. 19 : schematischer Aufbau des Hygienisierungsmoduls**



**Abb. 20 : Hygienisierungsmodul -Kupferseite**

Das Modul besteht aus Kunststoff und wird an einer geeigneten Stelle im Vorratsbehälter oder im Brunnen befestigt, wo es gut durchströmt wird. Die Befestigung erfolgt mit Kabelbindern, was den Einbau vereinfacht und sehr flexibel gestaltet. Die durchsichtigen Frontscheiben ermöglichen es, Verstopfungen oder Ablagerung im Inneren des Moduls schnell zu erkennen.

Das Modul wurde für das Vergleichsmonitoring 2020 in jeweils einen der Brunnenpaare eingesetzt und in der Praxis getestet.

#### 14. Vergleichsversuche realer Springbrunnen mit und ohne Hygienisierungsmodul

Wie die Beprobungen der Brunnen in den vergangenen Jahren zeigten, ist es für den Nachweis der Wirksamkeit der Hygienisierungsmodule nicht möglich, Analysenwerte derselben Brunnen verschiedener Jahre miteinander zu vergleichen, da die Werte durch unterschiedliche Witterungsbedingungen, Temperaturen und Nutzungen in jedem Jahr anders sind. Zur Einschätzung der Wirksamkeit des Hygienisierungsmoduls können daher nur im selben Jahr Brunnen gleichen Materials, ähnlicher Lage und Größe miteinander verglichen werden.

Es wurden drei Brunnenpaare ausgewählt und untersucht.

##### Keramikbrunnen und Brunnen der Jugend

Der Keramikbrunnen und der Brunnen der Jugend wurden für die Vergleichsversuche infolge ihrer sehr ähnlichen Nutzung und der starken Verschmutzung ausgewählt. Beide Brunnen befinden sich in unmittelbarer Nähe zu einem Einkaufszentrum. Die intensive Nutzung durch Menschen führt zu Nahrungsmittelresten, Plastikbehältern, Glasflaschen, Bekleidung etc. im Brunnen. Hunde nahmen dort regelmäßig ein Bad und urinierten ins Wasser. Die Bänke im Umfeld waren zumeist besetzt. Der Keramikbrunnen wurde bei Neubefüllung im August 2019 mit einem Hygienisierungsmodul mit versilbertem Kupfergestrick ausgerüstet.

Beide Brunnen wurden wöchentlich beprobt und die Keime durch das mikrobiologische Labor BCI bestimmt (Tab. 9). Gleichzeitig wurde die Silber- und Kupferkonzentration im Keramikbrunnen gemessen (Tab. 8).

Tab. 8: Konzentration an Silber und Kupfer im Brunnenwasser

	Cu in mg/l	Ag in mg/l
08. Aug	0,04	0,001
15. Aug	0,20	0,001
24. Aug	0,07	0,003
02. Sep	0,15	0,003

Die Verwendung des gemischten Ionenlieferanten führte dazu, dass zunächst bevorzugt Kupferionen in Lösung gingen. Die Kupferkonzentration lag trotzdem deutlich unterhalb der Grenzwerte von Trinkwasserverordnung TrinkwV und Abwasserverordnung AbwV [Tri20, Abw14]. Auch wenn die messbare Silberkonzentration unter der wirksamen Konzentration lag, war deutlich eine Hygienisierung nachweisbar (Tab. 9)



Abb. 21: Keramikbrunnen



Abb. 22: Brunnen der Jugend

Tab. 9: Vergleich der mikrobiologischen Analysenwerte mit und ohne Hygienisierungsmodul

Laborwerte BCI	Keramikbrunnen	Brunnen der Jugend
	Mit Modul	Ohne Modul
<b>08.08.2019</b>		
Gesamtkeimzahl GKZ	11 KbE/ml	1 x 10 <sup>2</sup> KbE/ml
coliforme Keime	ca. 20 KbE/100ml	1 KbE/100ml
E. coli	1 KbE/100 ml	0 KbE/100ml
<b>15.08.2019</b>		
Gesamtkeimzahl GKZ	1 x 10 <sup>3</sup> KbE/ml	1 x 10 <sup>4</sup> KbE/ml
coliforme Keime	ca. 200 KbE/100ml	1 x 10 <sup>4</sup> KbE/ml
E. coli	75 KbE/100 ml	ca. 300 KbE/100ml
<b>24.08.2019</b>		
Gesamtkeimzahl GKZ	5 x 10 <sup>3</sup> KbE/ml	1 x 10 <sup>5</sup> KbE/ml
coliforme Keime	1 x 10 <sup>3</sup> KbE/ml	1 x 10 <sup>4</sup> KbE/ml
E. coli	55 KbE/100 ml	ca. 400 KbE/100ml
<b>02.09.2019</b>		
Gesamtkeimzahl GKZ	1 x 10 <sup>3</sup> KbE/ml	1 x 10 <sup>4</sup> KbE/ml
coliforme Keime	ca. 200 KbE/100ml	1 x 10 <sup>3</sup> KbE/ml
E. coli	3 KbE/100 ml	42 KbE/100ml

\*bestimmt durch mikrobiologisches Labor BCI

Wie bei den Technikumsversuchen bereits festgestellt wurde, gingen infolge der kühleren Nächte Anfang September auch die Keimzahlen (coliforme Keime und E. coli) im Brunnen der Jugend zurück.

Der Keramikbrunnen wurde infolge von Baumaßnahmen stillgelegt und stand 2020 nicht mehr als Versuchsbrunnen zur Verfügung.

### Sandsteinbrunnen und Waschfrau

Beide Brunnen sind Sandsteinbrunnen mit Wasserüberlauf ohne zusätzliche Düsen (Abb.23 und 24) und besitzen einen unterirdischen Vorratsbehälter von ca. 3,5 m<sup>3</sup> Wasser. Der obere Teil wird bei beiden Brunnen intensiv von Vögeln als Rastplatz, zur Tränke und zum Baden genutzt. Die Betriebsdauer beträgt täglich 10 Stunden, im Umfeld gibt es viele Bäume. Bei nächtlicher Abschaltung läuft das Wasser in die Vorratsbehälter, die Becken sind dann trocken.

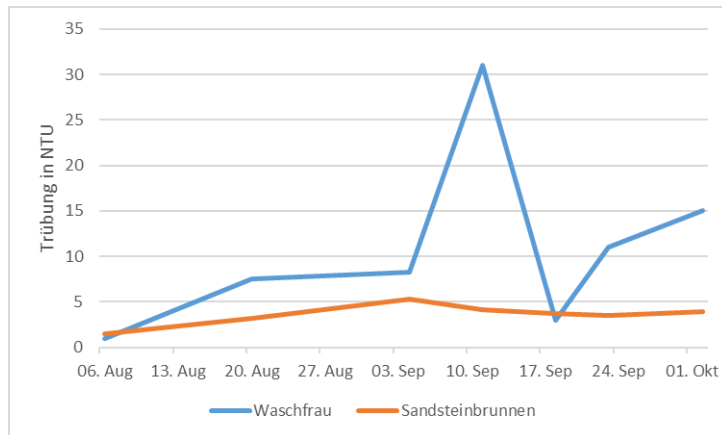


**Abb. 23: Sandsteinbrunnen**



**Abb. 24: Waschfrau**

Der Sandsteinbrunnen konnte ebenfalls nur 2019 beprobt werden. Die vergleichenden Untersuchungen bezogen sich daher auch noch auf das Hygienisierungsmodul mit versilbertem Kupferdraht. Wie bei der vorhergehenden Untersuchungsreihe blieben die Gesamtkeimzahlen im Sandsteinbrunnen deutlich niedriger. Die Verringerung der Algen- und Biofilmbildung durch das Modul zeigt sich deutlich beim Vergleich der Trübung beider Brunnen (Abb. 27). Während im Sandsteinbrunnen gleichbleibende Werte zu verzeichnen waren, zeigten die Trübungswerte im Brunnen ohne Modul starke Schwankungen (Maximum vor und Minimum nach Neubefüllung).



**Abb. 25: Vergleich der Trübung von Brunnen mit Modul (Sandsteinbrunnen) und ohne Modul (Waschfrau)**

Bedingt durch die Corona- Pandemie wurde der Sandsteinbrunnen 2020 nicht in Betrieb genommen.

Die vergleichenden Untersuchungen mit dem Hygienisierungsmodul mit versilbertem Kupfergestrick zeigten, dass auch damit bereits eine Hygienisierung in den Brunnen stattfand.

Für die Untersuchungen mit dem neuen Hygienisierungsmodul mit getrennten Ionenlieferanten musste ein geeigneter anderer Brunnen gefunden werden. Als Vergleichsbrunnen wurde weiterhin die Waschfrau beprobt.



**Abb. 26: Brunnen am Markt**

Der Brunnen am Markt mit 3.5 m<sup>3</sup> Wasservolumen wurde am 01.07.20 mit dem neuen Hygienisierungsmodul in Betrieb genommen.

Tab. 10: Vergleich der mikrobiologischen Analysenwerte mit und ohne Hygienisierungsmodul

	mit Modul			ohne Modul		
	Gesamtkeimzahl GKZ	Hefen	Pilze	Gesamtkeimzahl GKZ	Hefen	Pilze
01.07.2020	n.n.	n.n.	n.n.	10 <sup>4</sup> KBE	n.n.	n.n.
08.07.2020	10 <sup>3</sup> KBE	n.n.	n.n.	10 <sup>4</sup> KBE	n.n.	n.n.
15.07.2020	10 <sup>3</sup> KBE	n.n.	n.n.	10 <sup>3</sup> KBE	n.n.	n.n.
14.08.2020	10 <sup>3</sup> KBE	n.n.	n.n.	10 <sup>3</sup> KBE	n.n.	schwach
28.08.2020	10 <sup>3</sup> KBE	n.n.	n.n.	10 <sup>3</sup> KBE	10 <sup>3</sup> KBE	schwach
14.09.2020	n.n.	n.n.	n.n.	10 <sup>5</sup> KBE	10 <sup>3</sup> KBE	schwach
25.09.2020	n.n.	n.n.	n.n.	10 <sup>3</sup> KBE	schwach	schwach

Wie aus Tab. 10 ersichtlich, blieb im Brunnen mit Modul das Brunnenwasser im Untersuchungszeitraum nur schwach belastet, obwohl kein Wasserwechsel stattfand. Im Waschfraubrunnen fand am 9. Juli eine Reinigung und Neubefüllung statt. Ab Ende August wurden dort auch Hefen und Pilze nachgewiesen.

Tab. 11: Konzentration an Silber und Kupfer im Brunnenwasser

	Cu in mg/l	Ag in mg/l
8.Jul	<0,01	<0,001
14. Aug	0,01	0,001
28. Aug	0,02	0,003
25. Sep	0,03	0,015

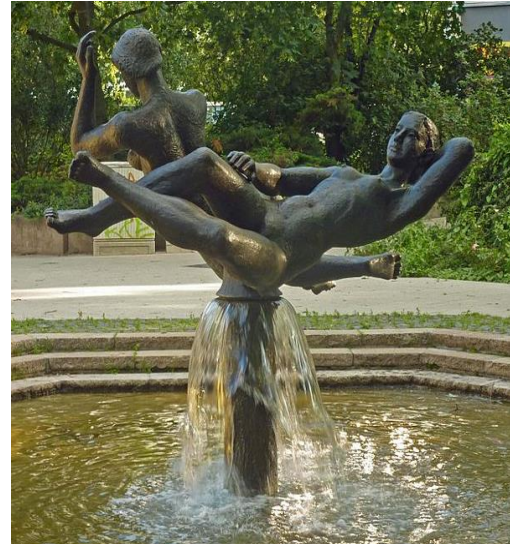
Die Kupfer- und Silberkonzentrationen im Brunnen mit den neuen Hygienisierungsmodul lagen ebenfalls unter den Grenzwerten von TrinkwV und AbwV.

#### Fontanebrunnen und Spree-Havel-Brunnen

Der Fontanebrunnen und der Spree-Havel-Brunnen (Abb. 27 und 28) liegen nur 80 m voneinander entfernt am selben Einkaufszentrum. Beide Brunnen besitzen einen unterirdischen Vorratsbehälter und haben ein Wasservolumen von ca. 3,5 m<sup>3</sup>. Im Umfeld stehen Bänke, in der Nähe befinden sich Restaurants und eine Eisdiele. An den Brunnen spielen Kinder, werden Hände gewaschen, Hunde erfrischt und Singvögel und Haustauben nutzen die Brunnen als Tränke. Der Fontanebrunnen wurde am 02.05.2020 mit dem neuen Hygienisierungsmodul mit getrennten Ionenlieferanten versehen.



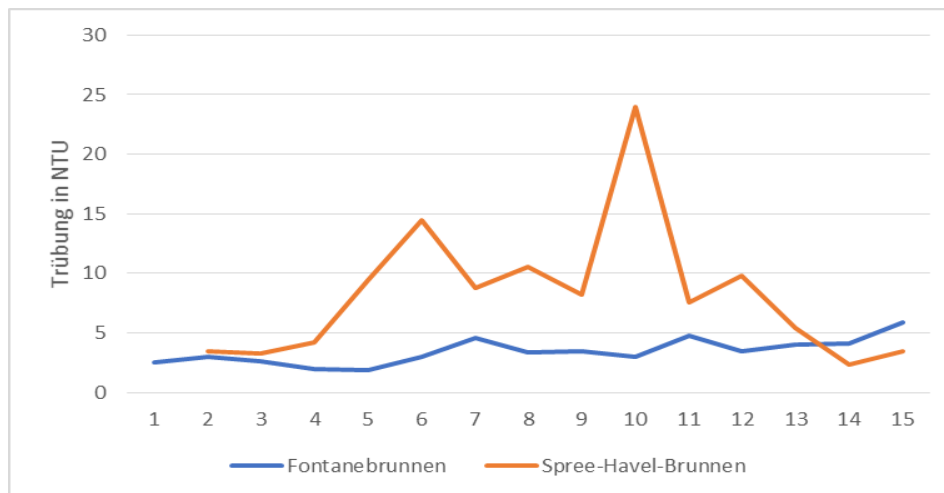
**Abb. 27 : Fontanebrunnen**



**Abb. 28: Spree-Havel-Brunnen**

Beide Brunnen wurden im Untersuchungszeitraum intensiv beprobt. Abb. 29 und 30 zeigen die Trübung und die Menge des organischen Materials (TOC) in den Brunnen, die mikrobiologische Belastung ist in Tab. 12 dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Fontanebrunnen mit Hygienisierungsmodul deutlich niedrigere Gesamtkeimzahlen aufweist. Gleichzeitig zeigt sich im Vergleich zum Spree-Havelbrunnen auch eine deutlich niedrigere Trübung. Die Maxima im Trübungsverlauf des Spree-Havel-Brunnens sind auf Algenbildung zurückzuführen. Das zeigt sich auch bei der organischen Belastung im Brunnen.



**Abb.29: Vergleich der Trübung von Brunnen mit Modul (Fontanebrunnen) und ohne Modul (Spree-Havel-Brunnen) im Untersuchungszeitraum**



Tab. 12: Vergleich der mikrobiologischen Analysenwerte mit und ohne Hygienisierungsmodul

	Gesamtkeimzahl GKZ	Gesamtkeimzahl GKZ
Datum	mit Modul	ohne Modul
07. Mai	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
14. Mai	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
24. Mai	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
31. Mai	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
04. Jun	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>5</sup> KbE/ml
11. Jun	10 <sup>5</sup> KbE/ml	10 <sup>5</sup> KbE/ml
18. Jun	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
25. Jun	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
28. Jun	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>5</sup> KbE/ml
18. Jul	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
01. Aug	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>5</sup> KbE/ml
20. Aug	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
27. Aug	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>5</sup> KbE/ml
03. Sep	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
10. Sep	10 <sup>4</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml
17. Sep	10 <sup>3</sup> KbE/ml	10 <sup>4</sup> KbE/ml

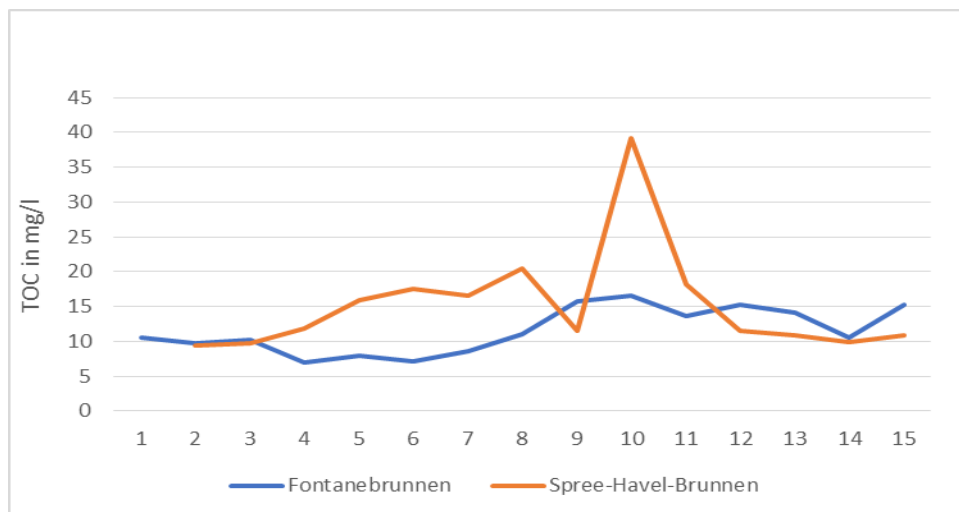


Abb. 30: Vergleich der organischen Belastung (TOC) von Brunnen mit Modul (Fontanebrunnen) und ohne Modul (Spree-Havel-Brunnen)

Tab.: 13: Konzentration an Silber und Kupfer im Fontanebrunnen

	Cu in mg/l	Ag in mg/l
08. Mai	0,04	0,01
23. Mai	0,01	0,001
13. Jun	0,02	0,002
11. Jul	0,04	0,001
07. Aug	0,02	0,005
28. Aug	0,09	0,020
12. Sep	0,15	0,005
23. Sep	0,05	0,0115

Eine Bestimmung der Kupfer- und Silberkonzentration im Becken während der Brunnensaison ist für die Wirksamkeit des Moduls nur wenig aussagekräftig. Die gemessenen Werte für Silber lagen meist unterhalb der hygienisierenden Wirkung – trotzdem fand diese statt. Die Ursache ist in der Dynamik des Brunnens als offenes System, dem quasi ständigen Verbrauch an Silberionen durch Keime bzw. der Adsorption/Desorption der freien Ionen an Schwebstoffen und Material zu sehen. Die Werte zeigen aber deutlich, dass die Konzentrationen an Silber- und Kupfer im Versuchsverlauf sehr niedrig bleiben (deutlich unterhalb der Grenzwerte der TrinkwV und der AbwV).

Alle Vergleichsversuche bestätigten die hygienisierende Wirkung des Moduls.

Das Hygienisierungsmodul erwies sich während der Langzeitversuche als stabil und praxistauglich. Es gab nur wenig Ablagerungen. Die äußerliche Reinigung des Hygienisierungsmoduls erfolgte während der Brunnensaison vor einer Neubefüllung durch Abspritzen mit einem Schlauch.. Verstopfungen oder Ablagerungen im Silber- oder Kupfermaterial, die zur Verringerung der Hygienisierungsleistung führen könnten, waren nicht sichtbar. Die Hygienisierung war über den gesamten Zeitraum der Brunnensaison nachweisbar.

Nach Ende der Brunnensaison wurde das Hygienisierungsmodul aus dem Brunnen entfernt und auseinanderggebaut. In Abhängigkeit vom Brunnen hafteten dem Material in unterschiedlicher Menge Kalk und Rost an. So enthielt z.B. ein Probestück der Silbermatte aus dem Fontanebrunnen von 1g nach der Saison 280 mg Rost. Dieser ließ sich durch Zitronensäurelösung und anschließendes Spülen vollständig entfernen. Eine Wartung des Moduls nach der Brunnensaison ist daher auf jeden Fall erforderlich.

## 15. Entwicklung einer Handlungsempfehlung für Springbrunnenbetreiber

Im Ergebnis der Forschungsarbeiten und des Brunnenmonitorings wurden die Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz des Hygienisierungsmoduls zusammengestellt.

### Reinigung des Brunnens, optische Kontrolle

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Hygienisierung des Springbrunnenwassers ist eine gründliche Reinigung des Brunnens und die Befüllung mit keimarmem Wasser (Trinkwasserqualität). Sollte der Brunnen über einen Vorratsbehälter verfügen, muss dieser vor Inbetriebnahme ebenfalls gereinigt werden.

Die Bildung von Biofilmen und das Wachstum von Keimen wird beschleunigt, wenn organisches Material im Brunnen verbleibt und zerfällt. Dieses sollte daher regelmäßig entfernt werden. Dazu zählen sowohl natürliche Materialien wie Blätter, Gras, Holz, als auch eingetragener Schmutz wie Nahrungsmittelreste und –behälter, Papier, Bekleidung etc. Es ist daher eine regelmäßige optische Kontrolle notwendig.

### Hygienekontrolle

Durch verschiedene Faktoren wie Lichteinfluss, Baumblüte, Temperatur etc. ist die Biofilm- und Algenbildung im Brunnenwasser während der Brunnensaison sehr unterschiedlich. Im Ergebnis der Brunnenbeprobungen sowie der Technikumsversuche ergibt sich folgende Empfehlung zur Hygienekontrolle:

#### **März/April**

- Beginnender Pollenflug
- Teilweise bereits Begehung durch Haustiere

Beprobung mit DipSlides alle 4 Wochen ausreichend.

#### **Mai/Juni/Juli – die kritische Brunnenphase**

- Starker Pollenflug
- Verstärkte Algenbildung
- Tagesmitteltemperatur steigt
- Lichteinfluss am größten

Empfehlung:

Bei Hitzeperioden zusätzlich Wassertemperatur kontrollieren, bei über 20°C nötigenfalls Teilaustausch des Wassers vornehmen, Biofilm- und Algenbildung beobachten, evtl. zusätzlich Trübung messen

Beprobung mit DipSlides alle 3 Wochen

### **August**

- Pollenflug lässt nach
- Lichteinfluss deutlich geringer,
- Nächte werden kühler
- Algenwachstum verringert sich deutlich

DipSlides alle 4 -5 Wochen ausreichend

### **September/Oktober**

- Kürzere Tage, kühle Nächte
- Keine Algenbildung mehr
- Durch niedrige Nachttemperaturen verringert sich die Keimzahl im Wasser deutlich

DipSlides alle 5-6 Wochen ausreichend

Durch die Verwendung von DipSlides werden Anzeichen für eine Vermehrung der Keime und beginnende Biofilm- oder Algenbildung schnell erfasst und notwendige Maßnahmen wie Reinigung und Wasserwechsel können zeitnah erfolgen. Bedingt durch natürliche Faktoren wie Lichteinfluss, Baumblüte etc. ist die Algenbildung im Frühsommer am stärksten. Daher sind für diese Monate häufigere Hygienekontrollen notwendig.

Im Ergebnis der Labor-Technikums und Praxisversuche wird empfohlen, bei Gesamtkeimzahlen größer  $10^5$  KbE/ml einen Wasserwechsel vorzunehmen.

### Reinigung und Wartung

Das Hygienisierungsmodul braucht während des Brunnenbetriebes vom Betreiber nicht geöffnet werden. Eine Entfernung von evtl außen anhaftenden Belägen während des Wasserwechsels durch Abspritzen ist ausreichend. Nach der Brunnensaison muss das Hygienisierungsmodul aus dem Brunnen entfernt und gewartet werden.

Es wurde eine entsprechende Handlungsempfehlung für Springbrunnenbetreiber entwickelt (Anhang) .

## 16. Fazit

Im Projektverlauf wurde ein Hygienisierungsmodul für getrennte Ionenlieferanten für Silber- und Kupferionen entwickelt und dessen Wirksamkeit durch Technikums- und in Feldversuche bestätigt.

- Es wurde nachgewiesen, dass durch Trennung der Ionenlieferanten eine schnellere Einstellung der hygienisch wirksamen Konzentration an Silberionen im Brunnenwasser erreicht wird.
- Es wurde nachgewiesen, dass durch die Versprudlung/Zerstäubung des Brunnenwassers nicht nur Keime an die Umgebungsluft abgegeben, sondern auch Keime und organisches Material aus der Luft ins Brunnenwasser aufgenommen werden.
- Es wurde die hygienisierende Wirkung der Ionenlieferanten auf die aus der Luft aufgenommenen Keime nachgewiesen.
- Es wurde nachgewiesen, dass die im Wasser befindlichen freien Ag- und Cu-Ionen in Abhängigkeit vom Brunnenmaterial in unterschiedlicher Größenordnung adsorbiert werden.
- Das entwickelte Hygienisierungsmodul wurde während der Brunnensaison 2020 erfolgreich in der Praxis getestet.
- Es wurde nachgewiesen, dass die Konzentrationen an Silber- und Kupferionen im Brunnenwasser deutlich unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung und der Abwasserverordnung liegen und keine Gefahr für die Umwelt darstellen.
- Es wurde eine Handlungsempfehlung für Springbrunnenbetreiber entwickelt.

## 17. Literaturverzeichnis

- [Sch18] SCHROEFEL; G, Endbericht ZIM-Einzelprojekt „Entwicklung eines innovativen Hygienisierungsmoduls zur Behandlung von Wässern öffentlicher Brunnenanlagen – HyBeBru-FKZ: EP 160373, 2018
- [Sec19] [www.secosan.de/wasser-genuss/anwendungen/trinkwasser/2019](http://www.secosan.de/wasser-genuss/anwendungen/trinkwasser/2019)
- [Drk19] [www.drkeddo.de/produkte/wasser/103/silberkugel-silberseptica?c=17/2019](http://www.drkeddo.de/produkte/wasser/103/silberkugel-silberseptica?c=17/2019)
- [Wma19] [wm-aquatec.de/silberperlen/2019](http://wm-aquatec.de/silberperlen/2019)
- [Sil19] [/silvertex-aqua.de/problem\\_loesung/2019](http://silvertex-aqua.de/problem_loesung/2019)
- [Rho17] [www.rhodium.com/de/technische-gestricke/2017](http://www.rhodium.com/de/technische-gestricke/2017)
- [Cot20] [www.cotexx.com/moosfree.de/2020](http://www.cotexx.com/moosfree.de/2020)
- [Vdi21] [www.vdi.de/richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-2047Anforderungen](http://www.vdi.de/richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-2047Anforderungen) an Verdunstungskühlanlagen VDI 2047 Blatt 2 und 42. BImSchV
- [Geb20] GEBHARDT, K. [www.aquatechnik.com/aqua-technik-loesungen/wasseraufbereitung-durch-ionisationsverfahren](http://www.aquatechnik.com/aqua-technik-loesungen/wasseraufbereitung-durch-ionisationsverfahren), Auszüge aus der Doktorarbeit, 2020
- [Bay16] BAYERL, A., TOC und TNb Bestimmung im Rahmen der Reinigungsvalidierung 7. TOC-Anwendertreffen Fa. Shimadzu, Berlin, 11.2.2016
- [Mar16] MARSHAL, I L. Spector: „Inhibition Of Algae In Swimming Pools“, United States Patent, US 6,224,779 B1, 2016
- [Wag19] WAGNER, J.-P., [www.zukunft-technik.de/adiabate-verdunstungskuehlung-im-detail/2019](http://www.zukunft-technik.de/adiabate-verdunstungskuehlung-im-detail/2019)
- [Him19] HIMMER, N.: Legionellen, so beugen Sie vor, Apothekenumschau, 25.10.19
- [Rki 21] [www.rki.de](http://www.rki.de), Ratgeber Legionellen, 2021
- [Nec20] [www.necon.de](http://www.necon.de), download Legionellenbekämpfung; 2019
- [Vdi18] [www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4250-blatt-2-bioaerosole-und-biologische-agenzien-umweltmedizinische-bewertung-von-bioaerosol-immissionen-risikobeurteilung-von-legionellenhaltigen-aerosolen](http://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4250-blatt-2-bioaerosole-und-biologische-agenzien-umweltmedizinische-bewertung-von-bioaerosol-immissionen-risikobeurteilung-von-legionellenhaltigen-aerosolen)
- [Hzi21] [www.helmholtz-hzi.de/de/wissen/wissensportal/keime-und-krankheiten/pseudomonas/](http://www.helmholtz-hzi.de/de/wissen/wissensportal/keime-und-krankheiten/pseudomonas/)
- [Din16] DIN 38412/16 – Bestimmung des Chlorophyll-a-Gehaltes von Oberflächenwässern
- [Tri20] Trinkwasserverordnung TrinkwV, „Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 99 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist
- [Abw14] Abwasserverordnung AbwV, Fassung vom 02.09.2014

## 18. Anhang

### A1-Handlungsempfehlung für Springbrunnen mit Hygienisierungsmodul

#### 1. Ziel

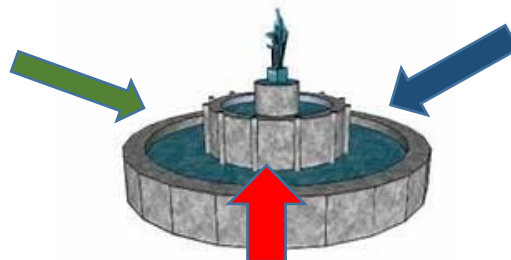
Ein Springbrunnen ist als offenes System zahlreichen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Dadurch gelangen ständig Schwebstoffe und Keime in das Brunnenwasser.

##### Umwelt

Eintrag von Staub, Pollen, Samen, Blättern, Insekten etc.

##### Vögel und Wildtiere

Eintrag von Federn, Schmutz und Exkrementen



##### Mensch und Haustiere

Eintrag von Schmutz und Mikroorganismen

Keime sind in geringer Anzahl nicht schädlich. Allerdings können sie sich bei Vorhandensein von Algen, Biofilmen und Temperaturen über 20 °C rasch vermehren.

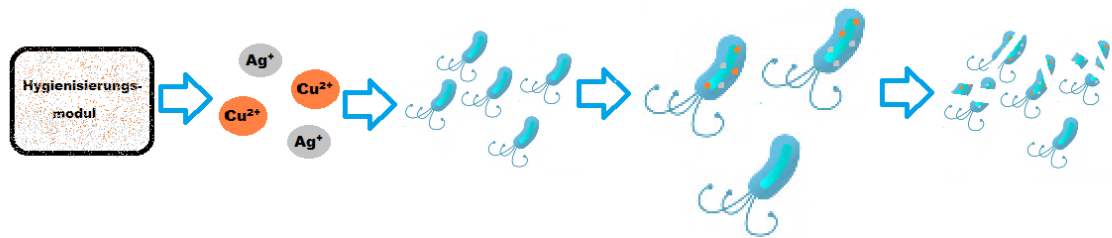
Der am Brunnen entstehende Wasserdampf (Aerosol) kann dann Bakterien enthalten, die beim Einatmen für Menschen eine Gefahr darstellen. Aufgrund dessen hat der Verein Deutscher Ingenieure die Verordnung **VDI 4250** erlassen<sup>1</sup>. Anliegen der Richtlinie ist es, die Verbreitung von Legionellen in die Umgebungsluft zu verhindern, d.h. die Springbrunnenbetreiber müssen gewährleisten, dass die Keimkonzentration im Wasser so gering wie möglich ist.

#### 2. Methodik

Gemeinsam mit der Forschungseinrichtung GNF e.V. in Berlin-Adlershof und unter fachlicher Betreuung durch das mikrobiologische Labor BCI Hoppegarten wurde von der Fa. Gebr. Schröfel GmbH ein Hygienisierungsmodul für Springbrunnen entwickelt.

Aus dem Hygienisierungsmodul gelangen in geringer Konzentration freie Silber- und Kupferionen ins Wasser. Bei Anlagerung an im Wasser vorhandene Bakterien, zerstören sie die Zellmembran und verhindern die Vermehrung. Es ist aber nicht möglich, alle Bakterien zu zerstören, zumal ständig neue in den Brunnen eingetragen werden.

<sup>1</sup> [www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4250-blatt-2-bioaerosole-und-biologische-agenzien-umweltmedizinische-bewertung-von-bioaerosol-immissionen-risikobeurteilung-von-legionellenhaltigen-aerosolen](http://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4250-blatt-2-bioaerosole-und-biologische-agenzien-umweltmedizinische-bewertung-von-bioaerosol-immissionen-risikobeurteilung-von-legionellenhaltigen-aerosolen)



### Schematische Darstellung der Wirkungsweise des Hygienisierungsmoduls

Die Größe des Hygienisierungsmoduls wird der Größe und den speziellen Gegebenheiten des Brunnens angepasst. Obwohl nachgewiesen wurde, dass Silber- und Kupferionen viele Bakterien im Brunnenwasser abbauen und damit sogar desinfizierend wirken, liegt der **Schwerpunkt des Hygienisierungsmoduls auf der Konservierung des Wassers**, d.h. in einer deutlich längeren Erhaltung einer guten Wasserqualität im Brunnen und der Vermeidung von Algen- und Biofilmen, welche die Lebensgrundlage für Bakterien darstellen. Damit wird die Gesundheit der Menschen geschützt und gleichzeitig werden Wasserkosten gespart, da ein Wasserwechsel seltener durchgeführt wird.

### 3. Hinweise für Nutzer

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Hygienisierung des Springbrunnenwassers ist eine gründliche Reinigung des Brunnens und die Befüllung mit keimarmen Wasser (Trinkwasserqualität).

Sollte der Brunnen über einen Vorratsbehälter verfügen, muss dieser vor Inbetriebnahme ebenfalls gereinigt werden.

#### Einbau des Moduls

Zeitpunkt: Bei Inbetriebnahme des Brunnens sollte das Modul installiert sein; wird der Vorratsbehälter vor Inbetriebnahme befüllt, kann das Modul bereits dann installiert werden.

Ort des Einbaus: Eine wirksame Konzentration von Silber- und Kupferionen wird nach spätestens zwei Tagen erreicht. Voraussetzung ist, dass das Modul gut durchströmt wird und das hygienisierte Wasser das gesamte Brunnenbecken erreicht. Ist das aufgrund der Strömungsverhältnisse nicht möglich, empfiehlt es sich, ein zusätzliches Modul an anderer Stelle zu platzieren.

#### Regelmäßige optische Kontrolle

Das Hygienisierungsmodul ersetzt nicht eine regelmäßige optische Kontrolle durch den Betreiber.

Die Bildung von Biofilmen und das Wachstum von Keimen wird beschleunigt, wenn organisches Material im Brunnen verbleibt und zerfällt. Dieses sollte daher regelmäßig entfernt werden. Dazu zählen sowohl natürliche Materialien wie Blätter, Gras, Holz, als auch eingetragener Schmutz wie Nahrungsmittelreste und –behälter, Papier, Bekleidung etc.



## **Mikrobiologische Kontrolle**

Die mikrobiologische Kontrolle des Brunnenwassers kann über die Bestimmung der Gesamtkeimzahl<sup>2</sup> erfolgen.

### Häufigkeit der Messung:

Wie oft die Kontrolle durchgeführt wird, hängt von mehreren Faktoren ab. Starke Sonneneinstrahlung, Hitzeperioden und Eintrag von organischem Material, z.B. durch die Baublüte, fördern Algenwachstum und Biofilmbildung. Regenperioden verdünnen das Brunnenwasser und verringern die Nutzung durch Menschen und Tiere.

Grundsätzlich empfehlen wir, Kontrollen in den Monaten

- März/April - alle 4 Wochen,
- Mai bis Jul - alle 3 Wochen,
- August - alle 4 Wochen,
- ab September nur noch alle 5 - 6 Wochen

durchzuführen.

## **Wasserwechsel**

Ein Wasserwechsel ist vorzunehmen, wenn:

- das Brunnenwasser sichtbar durch viel Schmutz verunreinigt ist,
- Gesamtkeimzahlen über  $10^5$  KbE/ml im Brunnenwasser erreicht werden,
- Wassertemperaturen über 20 °C vorliegen und Düsen mit starker Aerosolbildung vorhanden sind.

Beim Wasserwechsel ist der gesamte Brunnen nebst Vorratsbehälter zu reinigen und das Hygienisierungsmodul von außen anhaftenden Verunreinigungen zu befreien. Eine Grundreinigung des Moduls während der Brunnensaison ist jedoch nicht erforderlich.

## **Wartung**

Das Modul muss nach Ende der Brunnensaison aus dem Brunnen entfernt, gereinigt und gewartet werden.

---

<sup>2</sup> Nach der deutschen Trinkwasserverordnung gilt ein Grenzwert von 100 KbE/ml ("Koloniebildende Einheiten je Milliliter") für leitungsgeführtes und für in Tanks aufbewahrtes Trinkwasser von 1000 KbE/ml.