

AGXX – Eine nachhaltige Lösung für die Entkeimung wässriger Lösungen

Prof. Dr.-Ing. Uwe Landau, Largentec GmbH, Berlin

Die Ressource Wasser wird in der Industrie als Rohstoff, Betriebsmittel, Reinigungsmittel, Transportmittel und als Energieträger eingesetzt, wobei sich die quantitativen und qualitativen Anforderungen an den Produktionsfaktor Wasser je nach Industriebranche, Industriebetrieb und Verwendungszweck wesentlich unterscheiden können. Eine nachhaltige industrielle Wasserwirtschaft erfordert in der Regel die Kreislaufführung von Prozesswässern. Dabei werden technische Lösungen benötigt, die die Effizienz sowohl aus ökonomischer als auch ökologischer Sicht erhöhen. Gefragt sind dabei Konzepte und Verfahrenstechniken, die beim Betrieb wassertechnischer Anlagen eine möglichst hohe Flexibilität sicherstellen, also eine Anpassung ohne aufwändige bauliche Erweiterungen oder Investitionen, ermöglichen.

1 Einleitung

Bei der Nutzung von Wasser in der Industrie kommt es durch hohe Einträge von Nährstoffen und erhöhte Temperaturen zu besonderen Belastungen durch Bakterien, Pilze oder Algen. Die Folgen sind Beeinträchtigung der Produktqualität, Schäden an Anlagenteilen, erhöhte Verbrauchskosten für Prozesschemikalien, kostspielige Säuberungen des Wassersystems bis hin zur Gefährdung der Gesundheit der Arbeiter durch Überschreitung der MAK-Werte. Keime „fressen“ Emulgatoren, die die feinen Öltröpfchen in wässrigen Kühlschmiermitteln stabilisieren und so eine gute Schmierwirkung garantieren, oder sie „verzehren“ Korrosionsschutzmittel, die die Werkzeuge in Kunststoffspritzereien oder Laserbearbeitungssystemen vor einem Korrosionsangriff schützen sollen. Keime verstopfen Düsen oder blockieren mechanische Schalter. An wärmetauschenden Einrichtungen behindern Keime die Wärmeabfuhr. Wenig bekannt ist die Tatsache, dass Keime auch beträchtliche Schäden durch mikrobiell induzierte Korrosion verursachen. Die Schäden durch Biokorrosion an Bauten, Anlagen, Rohrleitungen sind weit höher als bis heute bekannt und werden in Deutschland jährlich auf eine zweistellige Milliardensumme geschätzt.

In industry, water is a valuable resource. It is used as a feedstock, for cleaning, as a transport medium and for energy transfer. In each of these roles, the required degree of purity depends on the particular application and the industry in question, with water quality requirements often differing greatly as between different uses. In most applications, a closed loop recirculatory system is essential for cost-effective operation. In order to operate and maintain such systems, a technology is needed which is both economically and ecologically efficient. What is required are concepts and process technologies capable of assuring a high degree of flexibility and thus being capable of expansion at a later date without significant additional investment requirements.

Kreislaufsysteme führen zu einer Verschärfung der Keimprobleme

Der Einsatz eines Verfahrens zur Desinfektion und Wasseraufbereitung ist in solchen Fällen die einzige Alternative zum Ersatz von Wasser durch teures Frischwasser.

Bei hochreinen Prozesswässern, wie sie zum Beispiel zur Produktion von Pharmaka, zur Reinigung in der Optischen Industrie, in der Halbleiter- und Leiterplattenindustrie, der Galvanotechnik, der Lebensmittelproduktion oder der Lackiertechnik benötigt werden, spielt die Verhinderung der Verkeimung eine besonders wichtige Rolle. Zusätzlich besteht hier das Problem, dass zur notwendigen Desinfektion selten Chemikalien eingesetzt werden dürfen.

Grundsätzlich steht eine Vielzahl chemischer, physikalischer und physikalisch-chemischer Verfahren zur Entkeimung zur Verfügung. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Anwendungsbreite, Investitions- und Betriebskosten sowie ihrer Gebrauchseigenschaften. Ein wichtiges Unterscheidungskriterium stellen auch gesetzliche Regelungen für den Gebrauch der Entkeimungssysteme dar, zu denen beispielsweise die Biozidverordnung, REACH, MAK-Werte oder Anforderungen zur Senkung des Energieverbrauchs zu zählen sind. Generell ist nach

Meinung von Experten davon auszugehen, dass die Bedeutung chemischer Entkeimungen (Biozide) in den nächsten Jahren zugunsten von physikalischen und physikalisch-chemischen Methoden deutlich zurückgehen wird [1, 2].

Insgesamt ist festzustellen, dass Betriebe auch auf dem Gebiet der Entkeimung wässriger Lösungen zunehmend mehr auf die Nachhaltigkeit der eingesetzten Methoden achten. Mit der „DIN SPEC 91020: Standard zur Zertifizierung von betrieblichem Gesundheitsmanagement“ schaffen sich Betriebe über die rechtlichen Verpflichtungen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz und Maßnahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung hinaus eine organisatorische Anleitung mit dem Ziel, in einem komplexen, anspruchsvollen und sich ständig ändernden Umfeld nachhaltigen Erfolg durch den Einsatz des betrieblichen Gesundheitsmanagements zu erreichen.

Andererseits ist aber auch richtig, dass in vielen Betrieben das Problembewusstsein hinsichtlich der Verkeimung von Prozessflüssigkeiten und deren Auswirkungen auf die betrieblichen Abläufe noch deutlich unterentwickelt ist.

2 Grundsätzliche Betrachtungen zur Verkeimung von Prozesslösungen

Wir sind täglich von Mikroorganismen umgeben. Auf allen natürlichen und den meisten synthetischen Materialien setzen sich in feuchter Umgebung Mikroben wie Bakterien, Pilze, Sporen, Algen und Viren ab. Biofilme entstehen, wenn Mikroorganis-

men sich an Oberflächen anlagern und dort wachsen. Biofilme sind als die älteste Form des Lebens auf der Erde anzusehen. Sie haben über Milliarden Jahre ein gewaltiges Überlebenspotential entwickelt und sind außerordentlich resistent gegen Versuche sie zu beseitigen. Biofilme wurden sogar in stark radioaktiv kontaminierten Bereichen von Kernkraftwerken gefunden [3].

Nach Flemming [4] erfolgt die Biofilmbildung in mehreren Teilschritten, wobei sich die ersten planktonischen Keime (Keime in freier Suspension) aus der Luft oder der Flüssigkeit auf einem dünnen Konditionierfilm absetzen, der überwiegend aus Polysacchariden besteht (Abb. 1a, 1b). Ein Zellhaufen mit einer hohen Besiedelungsdichte überzieht sich mit einer sogenannten Extrazellulären Polymeren Matrix (EPS) (Abb. 1c), die die Keimmikrokolonie schützen soll. Innerhalb dieser Mikrokolonie gibt es bereits eine Zelle-zu-Zelle-Kommunikation, die bewirkt, dass sich die Mikrokolonien beispielsweise gegen Angriffe durch Biozide und Schwermetalle verteidigen können oder bei Nahrungsarmut überlebensfähig bleiben. Entscheidend in Bezug auf das Thema dieses Beitrags ist, dass sich Biofilme im stationären Zustand (Abb. 1d) stetig auf den Oberflächen ausbreiten und neue Oberflächen besiedeln (Abb. 1e, 1f). Damit werden beständig neue Keime in die wässrigen Lösungen abgegeben, und die Biofilme bilden sich auf allen Oberflächen der Anlagen aus. Biofilme bevorzugen Bereiche in denen es warm ist und sie nicht zu starker Flüssigkeitsströmung ausgesetzt sind.

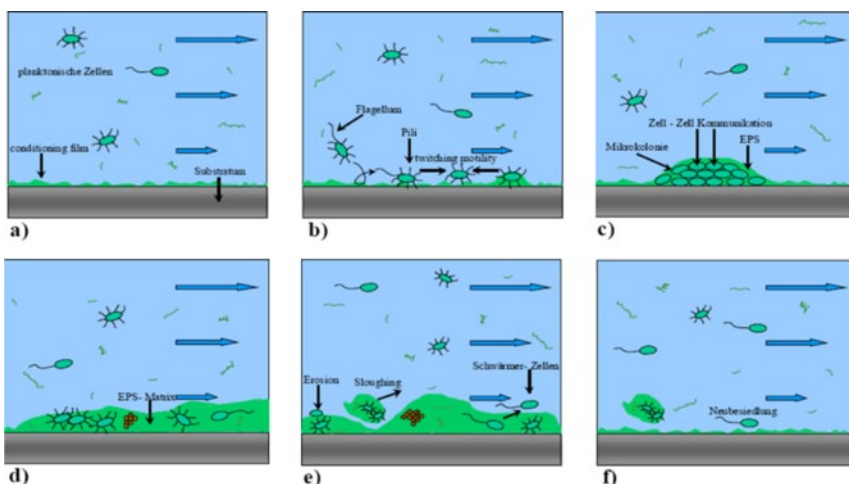


Abb. 1a–1f: Verschiedene Stufen der Biofilmbildung und -ausbreitung nach Flemming [4]

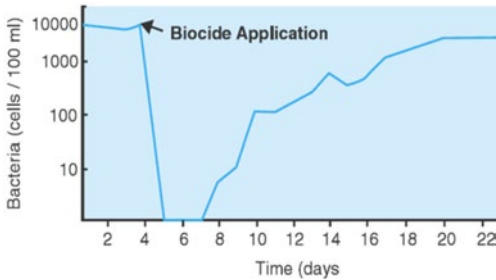


Abb. 2: Biofilmerholung nach einer Biozidbehandlung (Mittelmann, 1986)

Wie schnell sich Biofilme wieder ausbreiten nachdem sie durch Biozide zerstört werden konnten, ist in *Abbildung 2* zu sehen. Innerhalb von Tagen hat der zerstörte Biofilm seine alte Stärke wieder erreicht. Daher müssen die Biofilme ständig aufs Neue mit Bioziden bekämpft werden, wodurch sich allerdings die Gefahr einer Resistenzausbildung gegenüber dem verwendeten Biozid oder Reinigungsmittel erhöht, ein Problem das nicht auf Krankenhäuser beschränkt ist, sondern auch auf die industrielle Fertigung zutrifft.

Die *Abbildungen 3a bis 3c* zeigen beispielhaft Biofilme auf einer Oberfläche, in einem Luftwäscher und einer Rohrleitung. Die Beispiele machen deutlich, dass Biofilme beträchtliche Ausmaße annehmen können.

Die Zutrittswege von Keimen in technischen Anlagen sind vielfältig und reichen von dem Kontakt der Mitarbeiter mit der Prozesslösung und dem Zutritt über die Luft bei offenen Behältern bis zur Keimzufuhr durch Werkstücke, Frischwasser und ange-

schlossene Rohrleitungssysteme (*Abb. 4*). Außerdem werden je nach Produktionsprozess mehr oder weniger Nährstoffe und Wärme zugeführt, die das Keimwachstum entscheidend befördern können. Auch Späne und Partikel aus Metall, Kunststoff oder Glas sind bevorzugte Besiedelungs- und Transportvehikel für die Ausbreitung von Keimen und Biofilmen, die daher in Anlagen mit guter antimikrobieller Pflege durch eine effektive Filtration regelmäßig aus den wässrigen Lösungen entfernt werden müssen.

Mathematisch betrachtet handelt es sich bei der Keimbekämpfung um eine einfache Bilanzierung, wobei die Aufgabe für die Keimbekämpfung darin besteht, dass die Keimabtötungsgeschwindigkeit größer als die Keimzufuhr und das Keimwachstum zusammen ist:

$$\Delta \text{KBE/ml}^* \text{ Abnahme} - (\Delta \text{KBE/ml} \text{ Keimwachstum} + \Delta \text{KBE/ml} \text{ Keimzufuhr}) > 0$$

Das Keimwachstum und die Keimzufuhr sind ihrerseits von einer Reihe von Parametern abhängig.

*KBE: Kolonie bildende Einheiten als ein Maß für die Keimbelastung

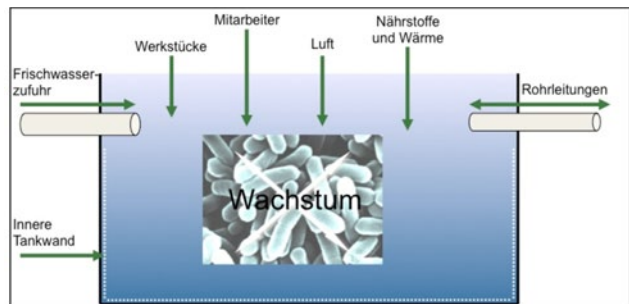
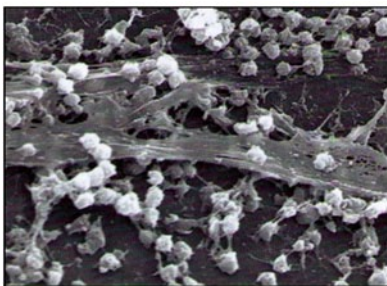


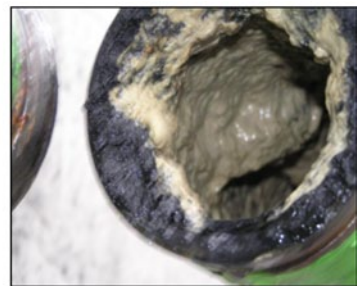
Abb. 4: Keimeintrittswege und Zufuhr von Nährstoffen und Wärme



(a)



(b)



(c)

Abb. 3: (a) Biofilm durch Staphylokokken; (b) durch Biofilme verstopfter Luftwäscher; (c) Biofilm in Rohrleitung

So hängt das Keimwachstum stark von der zugeführten Wärme, von Nährstoffen wie beispielsweise organischen Zusätzen, von Flüssigkeitsströmungen und von der Konstruktion der Anlage ab.

Die Keimzufuhr wird bestimmt durch die Zutrittsfläche in offenen Systemen, die Anzahl von Zulaufleitungen, in denen sich in zeitweise stagnierendem oder gering fließendem Wasser Biofilme gebildet haben oder Keime aus anderen Prozesslösungen zugeführt werden. Andere Faktoren können die Anzahl der Produkte und Menschen sein, die mit der Flüssigkeit in Berührung gekommen sind oder durch die Effizienz der Filterung, die zu einer reduzierten Keimzufuhr über Partikel beitragen kann.

Aus der oben beschriebenen Gleichung geht hervor, dass theoretisch verschiedene Maßnahmen zu einer Reduktion der Keimzahl beitragen können:

- Reduktion des Keimzutritts
- Vermeidung von Nährstoff- und Wärmezufuhr
- Einsatz wirkungsvoller Entkeimungssysteme

In der Praxis wird es auf eine Kombination aus allen drei Ansätzen hinauslaufen.

Methoden zur Entkeimung von wässrigen Lösungen

Die am weitesten verbreitete Entkeimungsmethode für Flüssigkeiten ist derzeit noch immer die Zugabe von Bioziden. Bei den Bioziden handelt es sich um komplexe Mischungen von hoch toxischen Substanzen mit großem Allergiepotential. Die Biozide unterliegen daher der Biozidverordnung, die sich ab September 2013 noch einmal verschärft hat. Bereits die derzeit gültige Biozidverordnung hat dazu geführt, dass eine große Zahl an Biozidprodukten vom Markt verschwunden ist. Wirksame Zusätze wie Formaldehyd und Formaldehyd abspaltende Substanzen stehen unter dem Verdacht Leukämie auszulösen, und so wird ihre Verwendung in Zukunft fraglich oder eingeschränkt sein. Biozide sind einfach einzusetzen, da sie lediglich der Lösung zugesetzt werden müssen; allerdings müssen sie in speziell dafür eingerichteten Lagern verwahrt sein. Die Einfachheit der Anwendung ist jedoch nur auf den ersten Blick gegeben,

denn die Folgen der Biozidbehandlung werden erst später, meist bei einer Grundwartung, sichtbar, wie die Schädigung der Produktionsanlagen. Die Ablagerungen toter Biomasse mit Einschlüssen von lebender Biomasse sind eine weitere Folge: Tote Biomasse dient den lebenden Keimen als „Futter“ und führt somit zu einem hohen Keimpegel, der wiederum nur durch erhöhte Biozidzugabe zu beherrschen ist; die in toter Biomasse versteckt lebenden Keime können auch von Bioziden nicht mehr erreicht werden. Grundsätzlich gilt für Biozide, dass Keime gegen die eingesetzten Chemikalien resistent werden können. In diesen Fällen ist es üblich, dass man zu einer anderen Chemie wechselt. Das wiederum kann zur Folge haben, dass sich Multiresistenzen ausbilden. Ein Problem, das sich in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus schiebt, sind die gesundheitlichen Belastungen durch Biozide, häufig der Haut (Dermatosen). Wie in der *Abbildung 5* anhand der Statistik der Deutschen Gesetzlichen Krankenversicherung abzulesen ist, hat sich die Zahl der gemeldeten Hauterkrankungen in der Industrie in den letzten 10 Jahren merklich erhöht, was sicher auch auf eine zunehmende Sensibilisierung in den Betrieben zurückzuführen ist.

Zu den neben komplexen Bioziden gebräuchlichsten Chemikalien, die zur Keimbekämpfung eingesetzt werden, zählen Chlor, Hypochlorit, Chlordioxid, H₂O₂ und Ozon.

Beim Chlor und dem Hypochlorit sind die wirksamen Konzentrationen aufgrund der jahrelangen Verwendung beständig angestiegen, da Biofilme in der Lage sind, Chlor in den Biofilmen zu binden (Chlorzehrung). Beide Substanzen bedürfen ebenfalls

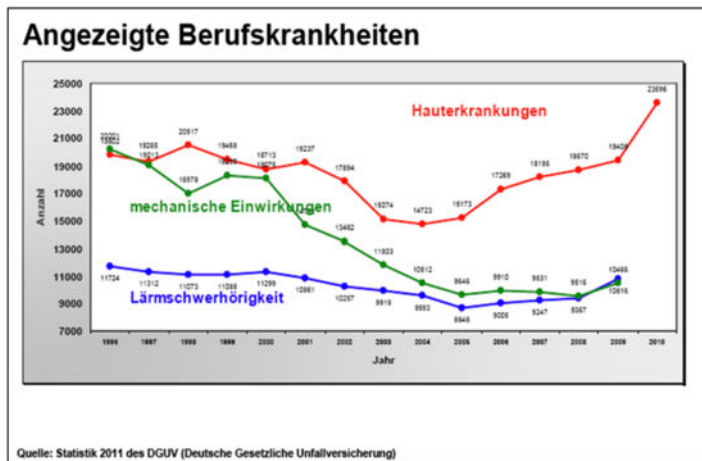


Abb. 5: Angezeigte betrieblich bedingte Hauterkrankungen

einer besonderen Lagerhaltung und Einhaltung von Sicherheitsvorschriften (Sicherheitsausrüstungen) beim Gebrauch. Chlor kann erhebliche Korrosionsschäden an den Anlagen verursachen. Chlor reagiert mit Ammoniumverbindungen zu Chloraminen (gesundheitliche Gefahren und Geruchsbildung), bei Anwesenheit von organischen Inhaltsstoffen können sich gesundheitsgefährdende Chlorphenole oder Trihalogenmethan bilden. Chlor gilt auch als Allergietrigger.

Chlordioxid ist aufgrund der besseren Wirksamkeit (insbesondere bei $\text{pH} > 8$) eine gegenüber Chlor oder Hypochlorit bevorzugte Alternative. Gasförmiges Chlordioxid ist ab einer Konzentration von 300 mg/l explosiv und kann deshalb als Gas nicht gelagert oder transportiert werden, sondern muss vor Ort hergestellt werden. Ein fachmännischer Umgang mit diesem Gefahrstoff ist daher eine Grundvoraussetzung.

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist ebenfalls eine instabile Verbindung, so dass Lagerung und Transport nur in begrenztem Umfang möglich sind. Wasserstoffperoxid kann sich durch katalytisch wirkende Substanzen (wie Kupfer) spontan zersetzen. Durch die Abspaltung von Sauerstoff befördert das instabile Wasserstoffperoxid sogar das Keimwachstum. Durch die Fenton-Reaktion kann es durch Wasserstoffperoxid zu einer sich selbst verstärkenden Eisenkorrosion der Anlagenbestandteile kommen.

Ozon ist ein sehr giftiges Gas, das vor Ort in einer speziellen Anlage erzeugt wird, die vergleichsweise hohe Investitionskosten erfordern. Die sehr starke Giftigkeit drückt sich in dem niedrigen MAK-Wert von 0,1 ppm (0,2 mg/l) aus. Ozon wirkt physiologisch als Reizstoff wobei die Hauptangriffspunkte die Schleimhäute von Augen, Nase und Lunge sind.

Wie bereits erwähnt, geht man davon aus, dass die chemischen Entkeimungslösungen für das Wassermanagement in Zukunft eine deutlich geringere Rolle spielen werden. Zunehmen werden physikalische oder physikalisch-chemische Entkeimungsmethoden.

Das bekannteste physikalische Entkeimungsverfahren dürfte die thermische Desinfektion sein, wobei zur Entkeimung Temperaturen $> 70^\circ\text{C}$ erforderlich sind. Zur thermischen Desinfektion ist beständig ein hoher Energieaufwand notwendig, da thermische Verfahren keine Langzeitwirkung besitzen. Es ist bekannt, dass es spezielle Keime gibt, die auch hohe Temperaturen überleben. Durch hohe Temperaturen wird Korrosion verstärkt und es besteht Verbrü-

hungsgefahr. Biofilme lassen sich durch eine thermische Behandlung nicht vermeiden oder beseitigen. Weit verbreitete physikalische Verfahren setzen zur Entkeimung UV-Strahlung ein. Die UV-Verfahren erfordern einen kontinuierlichen Energieeinsatz und besitzen je nach Trübung der Flüssigkeit eine mehr oder weniger geringe Eindringtiefe, bis zu der sie wirksam werden können. Durch spezielle technische Anordnungen versucht man dieses Handicap zu reduzieren. Die UV-Lampen haben zudem eine begrenzte Lebensdauer, wobei der Arbeitsaufwand beim Lampenwechsel häufig teurer ist als die Lampenkosten selbst. Mitarbeiter, die an Anlagen arbeiten, die mit UV-Systemen ausgerüstet sind, müssen Augenschutzbrillen tragen.

In Kombination mit UV-Systemen oder allein werden zum Teil auch Ultraschallanlagen eingesetzt, die Keime mechanisch zerstören sollen. Inwieweit die Ultraschallmethode wirksam ist, ist nicht sicher belegt. Es wird davon ausgegangen, dass möglicherweise nur große Keime durch Ultraschall geschädigt werden.

Eine besonders hochwertige Methode zur Entkeimung ist die Ultrafiltration, die beispielweise in industriellen Fertigungen mit hohen Reinheitsanforderungen und in Krankenhäusern eingesetzt wird. Durch die feinen Poren der Ultrafiltrationsmembranen werden die Keime wie auch andere Feststoffe zurückgehalten. Allerdings wachsen die Keime nach einiger Zeit – Wochen oder Monate – durch die Membranen und es kommt zu einem unkontrollierbaren Keimdurchbruch. Das bedeutet, dass die teuren Ultrafiltrationsmembranen in vergleichsweise kurzen Zeiträumen gegen neue ausgetauscht werden müssen.

Elektrochemische Verfahren nutzen die Möglichkeit, über unlösliche Anoden Sauerstoffradikale (ROS) oder Chlorgas zu entwickeln, die die Keime oxidativ abtöten. Notwendige chemische Prozessstoffe wie Kühlschmiermittel, Emulgatoren, Härterepolymerer oder Korrosionsschutzmittel werden unerwünschterweise ebenfalls oxidativ zerstört, weshalb der Einsatz dieser Entkeimungstechnik auf Anwendungen beschränkt ist, in denen solche Prozessstoffe keine Rolle spielen. Die elektrochemischen Verfahren sind naturgemäß starke Energieverbraucher und daher auf kleinere Flüssigkeitsvolumen beschränkt. In der kathodischen Reaktion wird nicht nutzbarer Wasserstoff entwickelt, für dessen sichere Ableitung entsprechende Vorkehrungen zu treffen sind. Die ein-

gesetzten unlöslichen Spezialanoden sind teuer und besitzen eine begrenzte Lebensdauer.

Seit einigen Jahren ist mit der AGXX-Technologie eine völlig neue physikalische Entkeimungsmethode auf dem Markt. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine spezielle Oberflächenbeschichtung, die die in der Flüssigkeit enthaltenen Mikroorganismen bei Kontakt mit der AGXX-Oberfläche irreversibel zerstört. Die AGXX-Oberfläche wird auf Edelstahl-drahtgewebe aufgebracht und in Form von Raschig-Ringen in speziellen Reaktoren als Drop-In- oder als Bypass-Lösung in die Anlagen eingebracht. Die AGXX-Technologie erfüllt im Gegensatz zu allen anderen Entkeimungsmethoden alle Kriterien, die an eine nachhaltige Entkeimungslösung gestellt werden müssen. AGXX

- ist nicht umwelttoxisch (keine Abgabe von Schadstoffen oder Schwermetallen)
- ist langlebig
- stellt keine Gefahr für die Gesundheit der Mitarbeiter dar
- benötigt keine Maßnahmen für Arbeitsschutz, Transportschutz und Lagerung
- verbraucht keine Energie für die Entkeimung
- hat geringes Einsatzgewicht (wichtig in mobilen Systemen)
- ist flexibel einsetzbar durch modularen Aufbau
- enthält wiederverwertbare Wertstoffe

Im Folgenden soll auf diese neue Technologie näher eingegangen und Anwendungsbeispiele aufgezeigt werden.

3 Grundlagen der AGXX-Technologie

Das Design der AGXX-Beschichtung basiert auf einer Silberbasisbeschichtung, die auf einem beliebigen Grundkörper, zum Beispiel Edelstahldrahtnetzen, durch galvanische Metallabscheidung aufgebracht wird. Auf diese Basisbeschichtung erfolgt auf galvanischem Weg eine mikrostrukturierte, clusterförmige Abscheidung eines weiteren Edelmetalls.

Durch die Vielzahl der diskreten Cluster des zweiten Edelmetalls, fein verteilt über der Silberoberfläche, werden kleine mikrogalvanische Elemente erzeugt. Die Konditionierung der AGXX-Oberfläche mit einem Vitaminderivat erzeugt überraschender Weise stark ausgeprägte mikroelektrische Felder bei Kontakt der AGXX-Oberfläche mit Wasser oder Feuchtigkeit. Diese konnten mit der Electrostatic Force Microscopy (EFM) im Fraunhofer Institut in Pots-

dam/Golm (IBMT) nachgewiesen werden. Bei dieser Methode werden die durch die Cluster verursachten topographischen Unebenheiten elektronisch geglättet, so dass als Ergebnis die Potentialdifferenzen auf der Oberfläche sichtbar sind. Durch das mikroelektrische Feld wird die elektrisch geladene Keimmembran der Mikroorganismen beeinflusst, geschädigt oder zerstört.

Durch die Berührung der AGXX-Oberfläche mit Wasser oder Feuchtigkeit entstehen an den Mikrokathoden durch eine elektrochemisch-katalytische Reduktion von im Wasser gelösten Sauerstoff reaktive Sauerstoffspezies (ROS), die die Mikroorganismen oxidativ abtöten.

Bei der Berührung der Mikroben mit den Mikroanoden findet ein katalytisch unterstützter Redoxprozess statt, bei dem die Mikroorganismen oxidiert und damit ebenfalls zerstört werden. Die Mikroanode kehrt wieder in ihren Ausgangszustand zurück.

Der AGXX-Wirkmechanismus setzt sich also aus drei katalytisch unterstützten physikalischen Teilreaktionen zusammen:

- Ausbildung eines mikroelektrischen Feldes
- reduktive Entstehung von ROS (H_2O_2 und/oder reaktiven Sauerstoffspezies) an Mikrokathoden
- direkte Wechselwirkung der redox-aktiven Zentren an den Mikroanoden mit den Mikroorganismen

Alle drei Prozessschritte führen zu einer irreversiblen Keimabtötung, bei der die Keimmembranen zerstört werden, so dass eine Resistenzbildung wie bei den chemischen Desinfektionsmitteln nicht möglich ist.

Anders als bei klassischen Silber- oder Kupfertechnologien zur Mikrobenbekämpfung, hängt die AGXX-Entkeimungsmethode nicht von der Abgabe von Silber- oder Kupferionen ab.

Alle drei Effekte sind die Folge von physikalisch-katalytischen Prozessen, die an der AGXX-Oberfläche im Wechselspiel zwischen dem Lösungsmittel Wasser und den Mikroorganismen ablaufen. Die AGXX-Oberfläche verändert sich dabei nicht, was die hohe Langzeitbeständigkeit in der Praxis von nunmehr > 5 Jahren erklärt.

H_2O_2 und Sauerstoffradikale entstehen auch bei anderen physikalischen Verfahren in Wasser wie bei der UV-Strahlung oder der Elektrolyse mit unlöslichen dotierten Diamant-Anoden. Beim AGXX entstehen diese Sauerstoffspezies direkt an den zahllosen diskreten Mikrokathoden auf der AGXX-Oberfläche ohne Energieeinsatz wie er bei der UV-Einstrahlung oder der Elektrolyse notwendig ist.

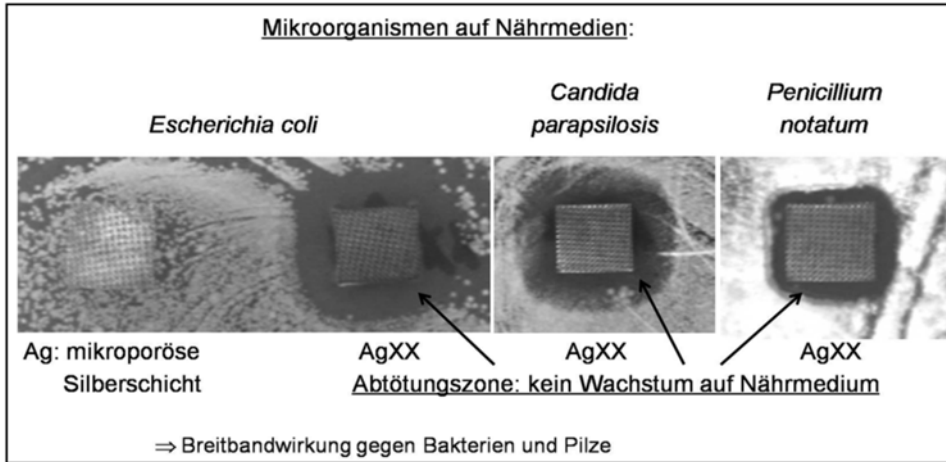


Abb. 6: Breitbandwirkung von AGXX-Drahtnetzabschnitten auf Nährmedium nach der Inkubation (10exp6/ml, 30°C, 36h); (links) im Vergleich ist eine mikroporöse Silberbeschichtung eines Drahtnetzes zu sehen, das die Keime nicht abtöten kann und vollständig überwachsen wird

In einem umfassenden Dossier zum AGXX-Wirkmechanismus, das für Zulassungsverfahren für medizintechnische Produkte erstellt worden ist, sind die AGXX-Oberflächen analysiert und ist der Wirkmechanismus experimentell wie auch theoretisch ausführlich dargelegt worden. Wichtige Ergebnisse sind in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut (IBMT) erarbeitet worden [5].

Die antimikrobielle Wirkung von AGXX ist an > 30 verschiedenen Keimen in unterschiedlichen Laboren erfolgreich erprobt worden, wobei AGXX gegen ein breites Spektrum verschiedener Bakterien, Hefen und Algen getestet wurde. In Voruntersuchungen für die AGXX-Tests auf der Internationalen Raumstation (ISS) wurden auch besonders problematische Keimsorten erfolgreich mit AGXX bekämpft. Legionellen wie auch die originalen EHEC-Erreger wurden von AGXX-Oberflächen sicher abgetötet. Bei unterschiedlichsten industriellen Anwendungen mit einem oft unbekanntem Spektrum an Mikroorganismen sind Prozesslösungen im mehrjährigen Einsatz erfolgreich mit AGXX-Systemen entkeimt worden.

Abbildung 6 gibt Beispiele für die keimabtötende Wirkung von AGXX auf Bakterien, Hefen und Schimmelpilze wieder. Das Bild zeigt kleine mit AGXX beschichtete Edelstahlnetzgewebe (MW 200µm), die auf einen Nährboden aufgebracht worden sind und mit *E. coli*-Bakterien, *Candida parapsilosis* (Hefepilz) und *Penicillium notatum* (Schimmelpilz) besprüht und dann inkubiert worden

sind. Zum Vergleich wurde ein Edelstahlnetz nur mit mikroporösem Silber (große Oberfläche) beschichtet und mit *E. coli*-Bakterien beaufschlagt. Das Ergebnis nach erfolgter Inkubation zeigt deutlich anhand der Hemmhofausbildung als Maßstab für die antimikrobielle Aktivität, dass AGXX alle drei Keimarten erfolgreich abtötet. Bereits dieser einfache Versuch macht deutlich, dass das AGXX eine Breitbandwirkung zur Abtötung von Keimen besitzt. Dieses Beispiel zeigt allerdings auch ein weiteres: Das mit *E. coli*-Bakterien beimpfte mikroporös silberbeschichtete Edelstahldrahtnetz besitzt bei weitem keine auch nur annähernd mit AGXX vergleichbare antimikrobielle Wirkung.

In der Abbildung 7a sind Hefepilze in den Kontakt mit AGXX-Pulver gebracht worden. Nach 15 min. sind alle Hefepilze im Umfeld von ca. 50µm um das AGXX-Pulver durch den Farbstoff Methylenblau eingefärbt. Die Einfärbung zeigt, dass die Hefepilze abgetötet sind, denn der Farbstoff kann nur in die Zelle gelangen, wenn die Zellen abgetötet sind. Da der Färbvorgang einige Zeit in Anspruch nimmt, sind die Hefezellen in weniger als 15 min. abgetötet worden. Im Gegensatz dazu sind durch Nano-Silber (Abb. 7b) selbst nach 60 min. keine Keime abgetötet worden. Die einzelnen toten Hefepilze sind bereits von Versuchsbeginn an abgetötet gewesen und zeigen lediglich an, dass in dieser wässrigen Lösung der Farbstoff für die abgetöteten Keime auch enthalten war.

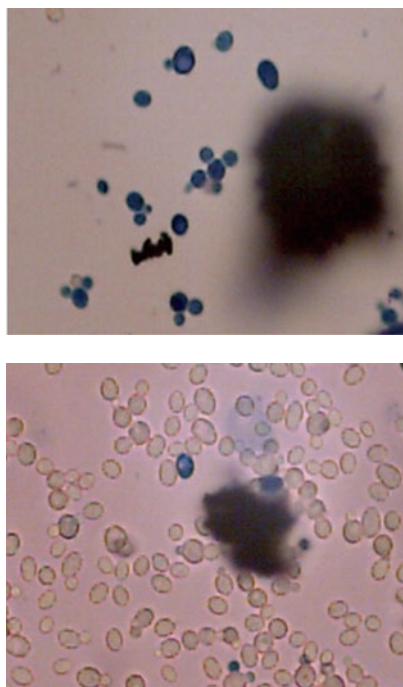


Abb. 7: (a) abgetötete Hefepilze um AGXX-Pulver; (b) Hefepilze um Nano-Silber

AGXX kann, wie der Praxiseinsatz gezeigt hat, die keimzerstörende Wirkung auch bei Langzeitanwendungen entfalten, sowohl in komplexen Kühlschmier-

mitteln, in denen z. T., neben Ölbestandteilen, bis zu 30 weitere chemische Substanzen enthalten sind, als auch in Brauchwasser mit korrosionsschützenden Zusätzen.

Ein einfacher Versuch wie das Eintauchen einer AGXX- und einer Silberoberfläche in eine K_2S -Lösung und anschließender *E.-coli*-Belastung und Inkubation, demonstriert sehr deutlich den Unterschied zwischen einer oligodynamischen (klassischen) Silbertechnologie und der AGXX-Technik. Wie in *Abbildung 8* zu sehen, ist selbst bei einer 2-stündigen Behandlung in einer 1%-igen K_2S -Lösung die antimikrobielle Wirkung von AGXX nicht beeinträchtigt. Silber ist dagegen bereits nach einer 5-minütigen K_2S -Behandlung mikrobiologisch unwirksam.

Freie Silberflächenanteile auf der AGXX-Oberfläche werden in der K_2S -Tauchbehandlung sehr schnell eine Ag_2S -Schicht auf der AGXX-Oberfläche ausbilden. Aufgrund des sehr niedrigen Löslichkeitsprodukts von Ag_2S von $5,5 \times 10^{-51} \text{ mol}^2/\text{L}^3$ ist praktisch keine messbare Abgabe von Silberionen in die Lösung möglich, die für die Keimabtötung in Betracht zu ziehen wäre.

Ein Versuch in nativem Urin, der zahlreiche Komplexe bildende Proteine und Chloride enthält, zeigt ebenfalls, dass die antimikrobielle Wirkung der AGXX-Oberfläche nicht auf eine Abgabe von Silberionen zurückzuführen ist.

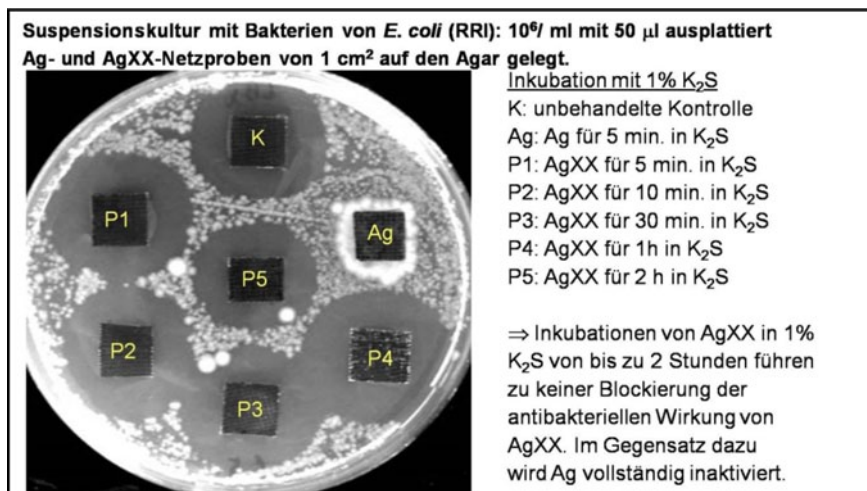


Abb. 8: Mit K_2S behandelte AGXX-Drahtnetze für unterschiedliche Inkubationszeiten, die sich selbst nach 2 h Expositionszeit in 1%iger K_2S (P5) nicht von der nicht mit K_2S behandelten AGXX-Probe unterscheidet (K); die mit Silber beschichtete Probe (Ag) ist bereits nach einer 5-minütigen Behandlung in 1%iger K_2S mikrobiologisch unwirksam

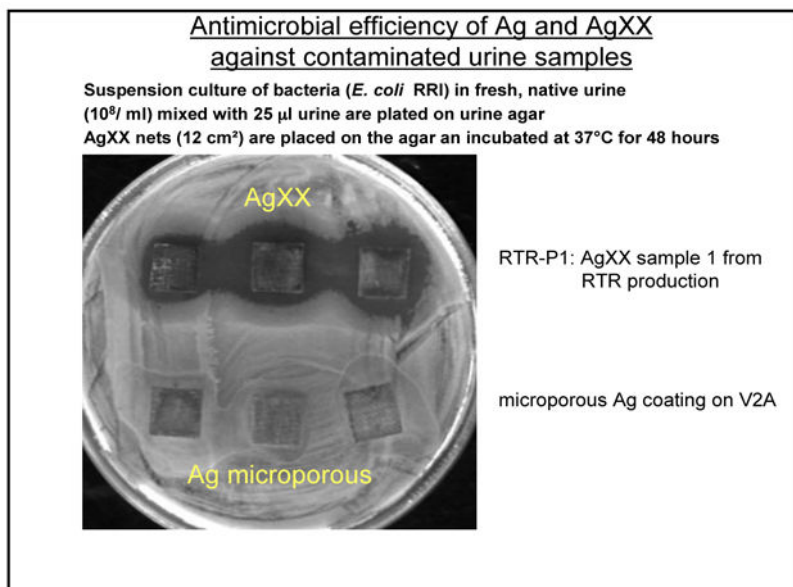


Abb. 9: AGXX-Wirksamkeit im nativen Urin gegen *E. coli*-Bakterien im Vergleich zu Silber

In *Abbildung 9* ist das Ergebnis eines Keimabtötungsversuches wiedergegeben, das die Wirksamkeit von AGXX in nativem Urin in Anwesenheit von *E. coli*-Bakterien nach der Inkubation demonstriert. Im Gegensatz zur AGXX-Beschichtung versagt eine Silberbeschichtung aufgrund der Komplexbildung und damit Immobilisierung der freien Silberionen, wodurch die bakterizide Wirkung von Silber verhindert wird.

4 AGXX-Technische Module und Systeme

Alle AGXX-Systeme sind modular aufgebaut. Die schüttfähigen AGXX-Raschig-Ringe (*Abb. 10a*) sind praktisch in jede Gebindeform zu bringen (*Abb. 10b bis 10g*). Die Raschigringform ist eine klassische Form, die in der chemischen Verfahrenstechnik gebräuchlich ist, da sie in besonders effektiver Weise eine große Oberfläche mit kleinem Raumbedarf verbindet.

Als Drahtgewebe eignen sich die AGXX-Raschig-Ringe auch hervorragend als Filter, insbesondere, da Keime offensichtlich bevorzugt an der Gewebeoberfläche adsorbiert werden (*Abb. 11*).

Die AGXX-Raschig-Ringe können in flexibler Form (*Abb. 10b*), in starren Kunststoffkörben (*Abb. 10c bis 10e*), in Edelstahlkästen mit einstellbarem Deckel (*Abb. 10g*) oder in modifizierten Filtergehäu-

sen (*Abb. 10f*) in der benötigten Menge eingesetzt werden. In speziellen Fällen werden die Kunststoffkörbe nur teilweise gefüllt, um bei kleinen benötigten AGXX-Mengen eine große Anströmungsfläche für die Keimabtötung zu erzielen (*Abb. 10d*).

Mit diesen Einzelmodulen können AGXX-Systemlösungen für den Kundenbedarf massgeschneidert werden, wobei grundsätzlich drei Varianten zu unterscheiden sind:

- Drop-In-Lösungen, bei denen die AGXX-Module direkt in die zu entkeimende Lösung eingesetzt werden
- Bypass-Lösungen, bei denen ein Teilstrom der Lösung über die AGXX-Module gelenkt werden
- Rohrleitungsintegration, wobei in Rohrleitungen an ausgewählten Stellen AGXX-Module insbesondere zur Bekämpfung von Biofilmen eingefügt werden

In den *Abbildungen 12a bis 12c* sind Beispiele für Drop-In-Lösungen zu sehen, wie sie beispielsweise für die Entkeimung in Kühlwasser oder Kühlschmiermitteln verwendet werden.

Drop-In-Lösungen können direkt und ohne größeren Aufwand in die bestehenden technischen Anlagen integriert werden. Das ist besonders bei großen Flüssigkeitsvolumen und bei geringem Platzangebot von Vorteil.



(10a)



(10b)



(10c)



(10d)



(10e)



(10f)



(10g)

Abb. 10: AGXX-Systeme: (a) Raschig-Ringe; (b) Reuse; (c)–(e) Siebkörbe; (f) Mikrobenfilter; (g) Siebkasten

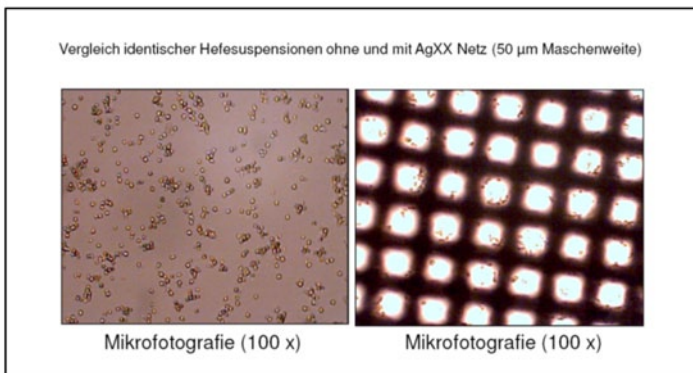
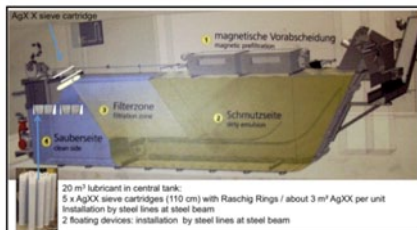


Abb. 11: Bevorzugte Anlagerung von Hefepilzen an den Maschen der AGXX-Oberfläche



(12a)



(12b)



(12c)

Abb. 12: Drop-In-Lösungen: Kühlschmiermittellösungen (a) und (b); Kühlwasser (c)

Die Vorteile der Bypass-Lösungen liegen in einer Zwangsführung der zu entkeimenden Lösung, die die Keime direkt an die AGXX-Oberfläche zwingt. Außerdem kann über die dazu notwendige Umwälzpumpe die Strömungsgeschwindigkeit und damit die



Abb. 13: Bypass-Lösung in Form eines druckbelastbaren Reaktors

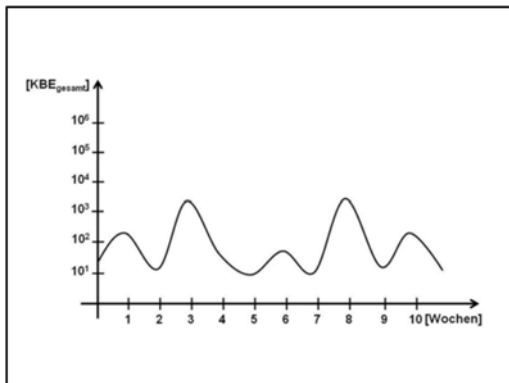


Abb. 14: Schematischer Keimzahlverlauf bei Produktionsunterbrechungen (Keimanstieg bei Anlagenstopp, Wochenenden oder Feiertagen)

Aufenthaltszeit der Keime an den AGXX-Raschig-Ringen gesteuert werden (Abb. 13). Werden die Pumpen einer Anlage abgestellt, kann die Entkeimung mit AGXX nicht effizient arbeiten, da zu wenig der verkeimten Flüssigkeit an die AGXX-Oberfläche gelangt.

In Abbildung 14 ist anhand eines schematischen Keimzahlverlaufs dargestellt, wie sich die Keimzahl an Wochenenden oder Feiertagen bei abgestellten Pumpen erhöht, bis diese dann bei erneutem Produktionsstart wieder durch das AGXX reduziert wird. Je nach den Bedingungen während des Anlagenstillstandes kann sich die Keimzahl so erhöhen, dass eine gewisse Anlaufphase zur Reduktion der angewachsenen Keimzahl benötigt wird.

Für die AGXX-Bypass-Lösungen werden AGXX-Mikrobenfilter und AGXX-Module SKT überwiegend als Reaktionskaskaden eingesetzt (Abb. 15a bis 15c). Die Kaskadenlösung führt aufgrund längerer Einwirkzeiten zu einer sehr effizienten Keimabtötung. Die Mikrobenfilter können mobil oder fest installiert werden. Je nach Volumenströmen und Keimbelastungen werden die AGXX-Systeme in Reihe (Abb. 15a) und/oder parallel geschaltet (Abb. 15b). Ebenso wie bei klassischen Filtern kann die Belegung der AGXX-Oberflächen durch Schmutz und abgetötete Biomasse anhand des noch möglichen Durchflusses, unter Zuhilfenahme eines Manometers, bestimmt werden, um rechtzeitig eine Reinigung zu veranlassen (Abb. 15b oben rechts). Ein AGXX-Modul SKT wird mit AGXX-Siebkästen bestückt und ist insbesondere bei größeren Flüssigkeitsvolumina (> 5 m³) angebracht (Abb. 15 c).

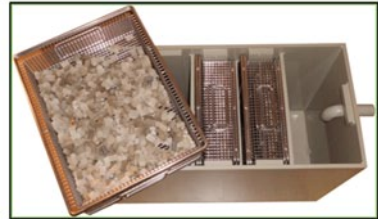
Rohrleitungen sind eine große Quelle für die Bildung von Biofilmen und der damit verbundenen ständigen Abgabe von Keimen an die Prozesslösungen. Häufig wird Frischwasser oder vollentsalztes Wasser (VE) über Rohrleitungen, die nicht selten > 100 m lang sind und teilweise über mehrere Stockwerke ver-



(15a)



(15b)



(15c)

Abb. 15: (a) mobile AGXX-Mikrobenfilter 10" (b) fest installierte AGXX-Mikrobenfilter 10" (c) AGXX-Modul SKT

laufen (Druckabfall und damit geringe Durchflussgeschwindigkeit in oberen Stockwerken), zum Prozesswasser nach Bedarf zudosiert. Da das zugeführte frische Wasser häufiger steht und in warmen Produktionsräumen aufgeheizt wird, sind gute Wachstumsbedingungen für Biofilme gegeben. Die Reinigung der Rohrleitungen mit Chemie ist nur bedingt erfolgreich, so dass im Hinblick auf die Keimbildung und -ausbreitung die Rohrleitungen als einer der größten Schwachpunkte jeder Fertigung anzusehen sind. Mit AGXX-Mikrobenfiltern, die in bestimmten Abständen in die Rohrleitung integriert werden, kann das Problem der Rohrverkeimung deutlich verringert werden. In *Abbildung 16* sind AGXX-Mikrobenfilter gezeigt, die in aus dem Keller kommenden VE-Rohrleitungen eingebunden sind. Ein letzter AGXX-Mikrobenfilter wird am besten unmittelbar vor der Einleitung in die Prozesswanne angebracht, um eine größtmögliche Keimfreiheit zu erzielen.



Abb. 16: Einbindung von AGXX-Mikrobenfiltern in VE-Wasserversorgungsleitungen

5 Schmutz- und AGXX-Mikrobenfilter sind als Einheit zu verstehen

AGXX ist eine oberflächenkatalytische Entkeimungslösung. Aus diesem Grund ist es für die Funk-

tionsweise wichtig, dass die AGXX-Raschig-Ringe nicht zu stark mit Schmutz belegt sind, denn die Blockierung der Oberfläche schränkt unnötig die aktive Entkeimungsfläche ein. Insofern werden die AGXX-Systeme nahezu immer in Kombination mit einem klassischen Schmutzfilter betrieben.

Bei Drop-In-Lösungen ist darauf zu achten, dass die AGXX-Module immer in der saubersten Zone der Anlage (häufig nach einem Filter) eingesetzt werden (*Abb. 12b*).

Bei AGXX-Bypass-Systemen ist die Kombination von Schmutz- und Mikrobenfilter vergleichsweise einfach zu realisieren.

Schmutz- und Mikrobenfilter sind als eine Einheit zu verstehen, um die bestmögliche Reinigung der wässrigen Prozesslösungen zu erreichen. In der Praxis hat diese Einsicht den Vorteil, dass Mitarbeiter, die für die Wartung der Schmutzfilter zuständig sind, angewiesen werden können, gleichzeitig mit der Reinigung der Schmutzfilter auch die Mikrobenfilter zu säubern. Bei den Schmutzfiltern müssen die Filterrückstände sowie Schmutzpartikel regelmäßig entfernt werden, die Mikrobenfiltern sind zusätzlich von der toten Biomasse zu reinigen. Keime in wässrigen Prozessflüssigkeiten sind in gleicher Weise wie Schmutz für den Fertigungsprozess qualitätsbestimmend, und darüber hinaus wesentlich stärker gesundheitsgefährdend als es der normalerweise anfallende Schmutz ist.

Die einfachste Kombination einer Schmutzfiltration mit den AGXX-Modulen ist bei Druckfiltern gegeben, bei denen flexible AGXX-Reusen zwischen die Filterkerzen gesteckt werden (*Abb. 17a*). Bei starker Schmutzbelastung wie beispielsweise in Härtereien, in denen prozessbedingt Zunder anfällt, werden AGXX-Module SKT in Kombination mit Magnetabscheidern (*Abb. 17c*) und Bandfiltern (*Abb. 17b* und *17c*) betrieben.



Abb. 17: Schmutzfilter + AGXX-Module: (a) Druckfilter/Filterkerzen, (b) und (c) AGXX-Module SKT + Magnet- und Bandfilter



Abb. 18: Kombination von AGXX + Ultra-Filtrationsmodul für Handbrausen

Feinstfiltertechniken wie Ultrafiltrationsmodule können mit AGXX-Modulen gekoppelt werden, um das Durchbrechen von Keimen durch die Ultrafiltrations-Membranen zu verhindern oder deutlich zu verzögern. In diesem Falle übernimmt das AGXX-Modul neben der Keimabtötung zusätzlich eine Sicherheitsaufgabe. Untersuchungen an der Universitätsklinik in Göttingen haben die Wirksamkeit der Kombinationslösung: AGXX-Modul plus Ultrafiltration eindrücklich belegt. Auf diese Weise können auch Legionellen in Handbrausen sicher zurückgehalten werden (Abb. 18).

Bei Anwendungen mit höchsten Reinheitsanforderungen ist es notwendig neben der Filtration vor dem

AGXX-Modul auch nach dem AGXX-Modul eine Feinstfiltration einzuschalten. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass keine Partikel der toten Biomasse, welche sich von den AGXX-Raschig-Ringen abgelöst haben, in die Prozesslösung gelangen (Abb. 19). Je nach Anwendung werden im nachgeschalteten Filter Filterkerzen mit Porenweiten von 10 µm bis 1 µm eingesetzt. Sind in den VE-Wasserkreisläufen Tenside enthalten, weil diese beispielsweise nicht durch eine Aktivkohlebehandlung regelmäßig entfernt werden, ist darauf zu achten, dass das noch mit Tensiden belastete VE-Wasser in der Fließspüle bei der Entkeimung über einen Bypass, aufgrund einer zu hohen Durchströmungsgeschwindigkeit durch die Feinstfilter, keinen Schaum bildet. Leicht flüchtige Tenside werden auch in einem Vakuumverdampfer nicht sicher zurückgehalten. Schaumbildung durch intensive Flüssigkeitsbewegung in Tensid-haltigem Wasser ist ein bekanntes und oft unerwünschtes Phänomen, das primär nichts mit der AGXX-Entkeimung zu tun hat.

Grundsätzlich gilt, dass Organik, sowohl in den Wasserkreisläufen als auch in den Rohrleitungen, „Futter“ für Keime ist, und so zu einer Vermehrung von Biofilmen und Keimwachstum beiträgt. Daher sollten auch aus der Sicht einer Keimvermeidung



Abb. 19: AGXX-Mikrobenfilter mit Vor- und Nachfilterung

organische Verunreinigungen in VE-Wasserkreisläufen so klein wie möglich gehalten werden.

6 AGXX-Modulreinigungen

Die Raschig-Ringe mit den AGXX-Beschichtungen töten nicht nur Keime ab, sondern sie filtern auch abgetötete Biomasse und Schmutz aus der Flüssigkeit heraus. Das ist ein durchaus erwünschter Effekt, denn die tote Biomasse muss aus dem Anlagensystem entfernt werden, da sie ansonsten als „Futter“ oder „Versteck“ für lebenden Keime dient. Was für große Mengen an toter Biomasse anfallen können, ist in *Abbildungen 20a* und *20b* zu sehen. Die beobachteten Mengen sind für viele Anlagenbetreiber häufig verblüffend groß. Oft wird dabei übersehen, dass die größtenteils mit Dip-Slides gemessenen KBE-Werte einer logarithmischen Skala folgen. Bei einer Reduzierung der Keimzahl um eine Einheit macht es einen großen Unterschied, ob die Keimzahl von 10×10^6 KBE/ml auf 10×10^5 KBE/ml oder von 10×10^4 KBE/ml auf 10×10^3 KBE/ml reduziert

wird. Im ersteren Fall ist die Keimzahl von 1 Mio. Keime pro Milliliter auf 100 000 Keime pro Milliliter gefallen, wobei 900 000 Keime pro Milliliter abgetötet worden sind. Im Falle einer Keimreduktion von 10 000 auf 1 000 Keime pro Milliliter sind lediglich 9 000 Keime pro Milliliter abgetötet worden, und entsprechend weniger tote Biomasse fällt an.

Je nach Belastung der wässrigen Lösungen mit Schmutz und Keimen sowie der gewählten Abstände zwischen den einzelnen Reinigungszyklen sind AGXX-Module und AGXX-Raschig-Ringe unterschiedlich stark mit Belägen versehen (*Abb. 21a* bis *21c*). Die Beläge in *Abbildung 21b* sind bereits viel zu lange nicht entfernt worden. Trotzdem waren die AGXX-Raschig-Ringe immer noch wirksam. Das liegt an der besonderen Form der AGXX-Raschig-Ringe. Bei der Rollenform schirmen die äußeren Raschig-Ringflächen die inneren Raschig-Ringflächen ab, so dass diese selbst bei starken äußeren Belägen immer noch eine Aktivität im Innenbereich zeigen.

Für die Reinigung der AGXX-Raschig-Ringe und der Module reicht meist das Abspülen mit einem Wasserstrahl aus, der jedoch nicht die AGXX-Oberflächenstruktur beschädigen sollte (*Abb. 22a, 22b*). Verschmutzte AGXX-Raschig-Ringe können auch in industriellen Geschirrpülmaschinen mit gebräuchlichen Waschmitteln gereinigt werden (*Abb. 22c, 22d*).



(20a)



(20b)



(21a)



(21b)



(21c)

Abb. 21: (a) tote Biomasse auf AGXX-Modul; (b) und (c) starke Beläge aus toter Biomasse und Schmutz auf AGXX-Raschig-Ringen

Abb. 20: (a) AGXX-Module mit toter Biomasse aus einem Luftwäscher; (b) tote Biomasse aus einer Metalldreherei



(22a)



(22b)



(22c)



(22d)



(22e)

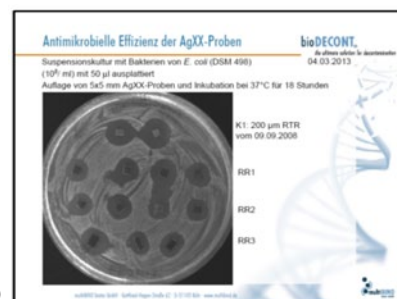


(22f)

Abb. 22: AGXX-Raschig-Ring-Reinigung: (a) und (b) mit Wasserstrahl; (c) und (d) in Waschmaschinen; (e) und (f) Reinigung mit Wasserstrahl und Netzmittel bei stark verschmutzten AGXX-Systemen



a



b

Abb. 23: (a) AGXX-Raschig-Ringe aus dem AGXX-Modul nach einer Reinigung, (b) Test der AGXX-Raschig-Ringe auf einem Nährmedium nach Inkubation zeigt eine noch vollständig erhaltene antimikrobielle Aktivität

Auch stark verschmutzte AGXX-Module, die nicht ordnungsgemäß (regelmäßig) gereinigt wurden, konnten mit Zusatz von Netzmitteln wieder tauglich gemacht werden (Abb. 22e, 22f).

Wie die Abbildungen 23a und 23b belegen, sind AGXX-Raschig-Ringe bei ordnungsgemäßer Behandlung und Reinigung auch nach einem fünfjährigen Industrieinsatz in Kühlwasser einer Kunststoffspritzerei immer noch antimikrobiell aktiv (Abb. 23b).

7 Zusammenfassung

Mit der Entwicklung der antimikrobiellen AGXX-Beschichtung steht eine neue Entkeimungs- und Desinfektionsmethode zur Verfügung, die wie kein anderes antimikrobielles Verfahren ein breites Anwendungsfeld von der Medizintechnik über den Einsatz in Konsumgütern bis zu industriellen Prozessen abdecken kann. Aufgrund seiner physikalisch-katalytischen Wirkungsweise erfüllt die AGXX-Technik alle Anforderungen an eine nachhaltige Technologie: AGXX-Oberflächen sind ungiftig, umweltverträglich, recycelbar, langlebig, von geringem Gewicht, einfach einsetzbar und sind ohne Energie zu betreiben.

AGXX hat sich im mehrjährigen Einsatz als eine erfolgreiche Alternative zu den toxischen Bioziden oder anderen physikalischen Verfahren bei der Kühlwasser-, Kühlschmiermittel-, Spülwasser- und VE-Wasser-Entkeimung in Kunststoffspritzereien, Metall- und Steinbearbeitungs-, Galvano- (Leiterplattenfertigung, Kunststoffbeschichtung), Lackier-, Härtere- und Lebensmittel-Betrieben bewährt. Die zu entkeimenden Flüssigkeitsvolumina, die bisher mit den AGXX-Systemen desinfiziert werden, reichen von einigen hundert Litern bis zu 140 m³ in Großanlagen. Neuerdings sind auch Anwendungen in der Landwirtschaft hinzu gekommen. In industriellen Prozesslösungen sind eine Vielzahl verschiedenster Mikroorganismen vorhanden, die häufig

ganz spezifisch für das „Biotop“ der jeweiligen Anlagen- und Fertigungstechnik sind. In der Praxis wird in der Regel lediglich zwischen Bakterien und Pilzen unterschieden (Dip-Slides). Auf Legionellen, Sporen, Algen oder multiresistente Keime wird nur in bestimmten Prozessen oder aus gegebenem Anlass geprüft. Daher müssen industriell eingesetzte Desinfektionsmethoden eine Breitbandwirkung und hohe Wirksamkeit aufweisen. Diese Eigenschaften sind durch die spezifische antimikrobielle Wirkungsweise von AGXX gegeben. AGXX-Systeme sind modular aufgebaut. Das kleinste Modul ist der AGXX-Raschigring, bei dem die antimikrobielle AGXX-Beschichtung auf Edelstahlrahtgewebe aufgebracht ist. Für den industriellen Einsatz von AGXX steht eine Vielzahl von Systemen für die Verwendung als Drop-In- oder Bypass-Lösung zur Verfügung. AGXX-Systeme sind am effektivsten in Kombination mit geeigneten Filtern zu betreiben. In Prozessen mit hohen Reinheitsanforderungen werden Filter vor und nach den AGXX-Systemen eingesetzt. Um für die jeweiligen Prozesse und Anlagen die richtigen Module auszuwählen, steht am Beginn eine Analyse der Fertigungsabläufe, die zusammen mit dem Kunden durchgeführt wird. Nicht selten ergeben sich bei der gemeinsamen Betrachtung der Anlagen und Prozesse Einsparungspotentiale, die primär nicht mit der Entkeimung im Zusammenhang stehen, aber aufgrund der Verwendung des Biozideinsatzes vorher nicht erkannt worden sind.

Literatur

- [1] ORISA Umweltconsulting GmbH: Verfahren der Wasseraufbereitung 2005–2025
- [2] Krankenhauskeime: Neue Oberflächenbeschichtungen als Lebensretter; Galvanotechnik 104, 8 (2013) 1567–1568
- [3] Biofilme (Wikipedia)
- [4] Flemming, H.C.: „Biofilme, Biofouling und mikrobielle Schädigungen von Werkstoffen; Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 129, Oldenburg Verlag, München (1994)
- [5] Dossier zum Mechanismus der antimikrobiellen Wirkung von AGXX-Beschichtungen; März, 2013

Brünierung

ZWEZ

Produkte für Chemie auf Metall

ZWEZ-CHEMIE GmbH · Schreinerweg 7 · 51789 Lindlar · Tel. (02266) 9001-0 · Fax -33 · www.zwez.de · info@zwez.de