



aquaEnergy

*Die Wirksamkeit der
Frequenztechnologie
zur Kontrolle von
Pseudomonas und
Biofilm.*

Eigenschaften von Pseudomonas aeruginosa und Biofilmbildung.

Pseudomonas aeruginosa ist ein gramnegatives, stäbchenförmiges Bakterium, das sich durch seine außergewöhnliche Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit auszeichnet. Es ist in feuchten Lebensräumen wie Böden, Gewässern und künstlichen Wassersystemen weit verbreitet. Diese Vielseitigkeit macht es nicht nur zu einem bedeutenden Krankheitserreger im medizinischen Bereich, sondern auch zu einer ernstzunehmenden Gefahr in industriellen Wassersystemen.

Eigenschaften und Wachstumsbedingungen

Pseudomonas aeruginosa ist strikt aerob und bevorzugt Temperaturen im Bereich von 20°C bis 37°C, was auch die typischen Bedingungen in vielen industriellen Systemen und medizinischen Einrichtungen umfasst. Seine Beweglichkeit verdankt das Bakterium seinen monotrichen Flagellen, die ihm eine schnelle Fortbewegung und Anheftung an Oberflächen ermöglichen. Besonders bemerkenswert ist seine Fähigkeit, eine Vielzahl von organischen Verbindungen zu metabolisieren. Diese Eigenschaft erlaubt es dem Bakterium, selbst unter extremen Bedingungen wie in destilliertem Wasser oder in Kontakt mit Desinfektionsmitteln zu überleben, solange organische Nährstoffe vorhanden sind.

Ein wesentlicher Überlebensmechanismus von P. aeruginosa ist die Biofilmbildung. Biofilme bestehen aus einer dichten, schützenden Schicht aus extrazellulärer Matrix, die die darin eingebetteten Bakterien vor Antibiotika und dem Immunsystem schützt. Dies erschwert die Behandlung von Infektionen und macht sie oft chronisch. Biofilme spielen eine zentrale Rolle in der Überlebensstrategie von P. aeruginosa und tragen wesentlich zu seiner Antibiotikaresistenz bei.

Wachstumsmechanismus

Der Wachstumszyklus von P. aeruginosa lässt sich in folgende Phasen unterteilen:

Anheftung:

Das Bakterium nutzt seine Flagellen, um sich an Oberflächen zu bewegen und sich dort festzusetzen. Diese Phase ist entscheidend für die Bildung von Biofilmen.

Biofilmbildung:

Nach der Anheftung wird eine Schleimschicht (bestehend aus Alginate) gebildet, die die Bakterien schützt und das Wachstum anderer Mikroorganismen fördert.

Exponentielle Vermehrung:

Unter optimalen Bedingungen vermehrt sich die Bakterienpopulation rasant, was zu Koloniezahlen von bis zu 10^8 Zellen pro 100 ml führen kann.

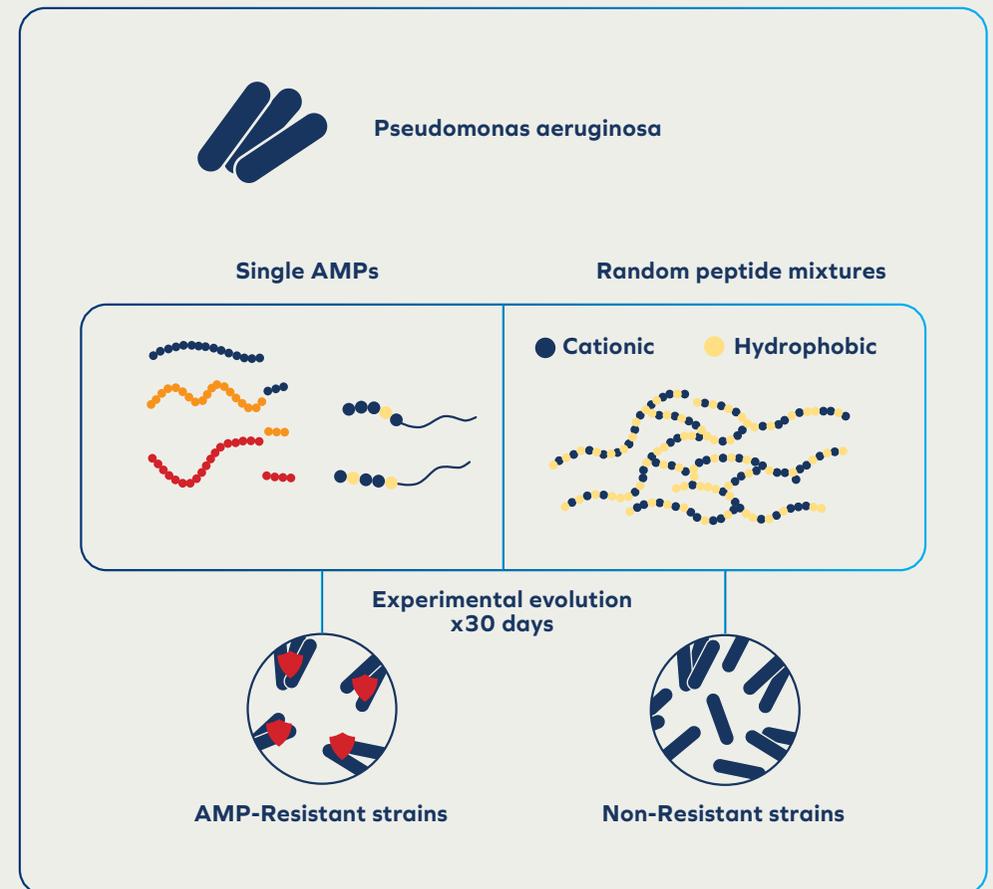
Industrielle Bedeutung und Gefahrenquellen

In industriellen Anwendungen stellt *Pseudomonas aeruginosa* eine erhebliche Gefahr dar, insbesondere in Prozess- und Trinkwassersystemen. Die Fähigkeit, Biofilme zu bilden, erhöht die Widerstandsfähigkeit der Bakterien gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen und macht sie schwer zu kontrollieren. Dies hat weitreichende Folgen für verschiedene Industriezweige:

- 1. Infektionsrisiken für Menschen:** In medizinischen Einrichtungen ist *P. aeruginosa* ein gefürchteter Erreger nosokomialer Infektionen. Besonders gefährdet sind immungeschwächte Patienten und solche mit chronischen Erkrankungen wie Mukoviszidose. Die Infektionen sind oft schwer zu behandeln und können lebensbedrohlich sein.
- 2. Korrosion von Rohrleitungen:** Die Bildung von Biofilmen kann die Integrität von wasserführenden Systemen beeinträchtigen. Mikroorganismen, die sich in den Biofilmen befinden, fördern die Korrosion von Metalloberflächen und verursachen so wirtschaftliche Schäden durch verstärkten Wartungsaufwand und Reparaturen.
- 3. Produktverunreinigungen:** In der Lebensmittel- und Pharmaindustrie kann die Anwesenheit von *P. aeruginosa* zu erheblichen Qualitätsproblemen führen. Kontaminationen wirken sich negativ auf die Produktsicherheit und -qualität aus, was zu Rückrufen und Imageschäden führen kann.

Schlussfolgerung und Kontrollstrategien

Um die Verbreitung und den Einfluss von *Pseudomonas aeruginosa* zu kontrollieren, bedarf es eines umfassenden Ansatzes, der verschiedene physikalische, chemische und organisatorische Maßnahmen kombiniert. Die Herausforderung besteht vor allem in der effektiven Bekämpfung von Biofilmen, da diese die Resistenz der Bakterien gegenüber konventionellen Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen erhöhen. Der Einsatz von innovativen Technologien wie frequenzbasierter Impulstechnologie kann eine vielversprechende Lösung darstellen, um Biofilme zu destabilisieren und die bakterielle Besiedlung zu minimieren.



*Die aquaEnergy Studie
in Zusammenarbeit mit
dem Leibniz-Institut.*

Abschlussbericht

**Analyse der antimikrobiellen Wirksamkeit eines
physikalischen Verfahrens
(7630/23 – PL)**

Projektlaufzeit: 01.02. - 31.10.2024

Bericht erstellt vom:

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP)
Felix-Hausdorff-Straße 2
17489 Greifswald

Bericht erstellt für:

AQUAENERGY GmbH
Geschäftsführung: Frau Heike Schneider-Jenchen
Pfaffensee 3
91301 Forchheim

Greifswald, 30.10.2024



Dr. Hahn - Projektleiterin



Prof. Dr. Weltmann - Forschungsbereichsleiter

Effizienz der Frequenztechnologie bei der Kontrolle von Pseudomonas aeruginosa in industriellen Wasserkreisläufen.

Die Kontrolle von **Pseudomonas aeruginosa** und den durch diese Bakterien gebildeten Biofilmen stellt eine **bedeutende Herausforderung in der industriellen Wasseraufbereitung** dar. Dieses hochresistente, gramnegative Bakterium ist bekannt für seine außergewöhnliche Anpassungsfähigkeit, die ihm das Überleben unter verschiedenen Umweltbedingungen ermöglicht. In wasserführenden Systemen, wie Kühltürmen und geschlossenen Wasserkreisläufen, führt die Präsenz von Pseudomonas aeruginosa zu **Problemen wie einer verringerten Effizienz von Wärmeaustauschprozessen, verstärkter Korrosion von Rohrleitungen und potenziellen Gesundheitsrisiken**, insbesondere für immungeschwächte Personen.

Ein besonders problematischer Aspekt von P. aeruginosa ist seine Fähigkeit, hartnäckige Biofilme zu bilden. Diese Biofilme bestehen aus einer komplexen extrazellulären Matrix, die die Bakterien schützt und ihnen erlaubt, sich gegenüber antimikrobiellen Mitteln und mechanischen Reinigungsprozessen zu behaupten. Traditionelle chemische Bekämpfungsmaßnahmen, wie der Einsatz von Bioziden, sind zwar weit verbreitet, gehen jedoch mit Nachteilen einher: Neben möglichen Umweltbelastungen und der Entstehung resistenter Stämme sind sie kostenintensiv und erfordern eine kontinuierliche Überwachung.

In diesem Kontext hat sich die Frequenztechnologie als eine vielversprechende, chemiefreie Alternative zur Kontrolle von Bakterien und Biofilmen herausgestellt. Diese Technologie arbeitet mit elektromagnetischen Impulsen, die in die bakterielle Struktur und Kommunikation eingreifen. Ein wesentlicher Mechanismus ist die Beeinflussung des Quorum Sensing, des Prozesses, den Bakterien nutzen, um ihre Populationsdichte zu messen und die Bildung von Biofilmen zu koordinieren. Durch die Störung dieses Prozesses wird die Fähigkeit von Pseudomonas, Biofilme zu bilden und sich zu vermehren, signifikant eingeschränkt. Zudem wirken die Impulse destabilisierend auf bestehende Biofilme, was ihre Entfernung erleichtert.

Eine kürzlich **von aquaEnergy wissenschaftliche Studie** in Zusammenarbeit mit dem **Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP)** hat die Wirksamkeit der Frequenztechnologie eindrucksvoll bestätigt.

Die Ergebnisse sowie die Praxisbeispiele belegen wiederholt, dass die Behandlung von wasserführenden Kühlsystemen mit Frequenztechnologie zu einer **Reduzierung von Pseudomonas aeruginosa um 99,9%** führt.

Die vorliegende Studie beschreibt die Anwendung der Frequenztechnologie zur Kontrolle von Pseudomonas aeruginosa und der Reduzierung von Biofilmen in industriellen Wassersystemen. Besonderes Augenmerk wird auf die Mechanismen der Technologie, ihre Vorteile gegenüber herkömmlichen chemischen Methoden und die Herausforderungen bei ihrer Implementierung gelegt. Die vielversprechenden Resultate der Kooperation mit dem Leibniz-Institut demonstrieren, dass diese chemiefreie Methode nicht nur zur Verbesserung der Betriebseffizienz beiträgt, sondern auch die Umweltbelastung reduziert und die Betriebskosten langfristig senkt.

Pseudomonas aeruginosa

Tab. 7 Ergebnisse der Lebendzellzahlbestimmung gegenüber *Pseudomonas aeruginosa*

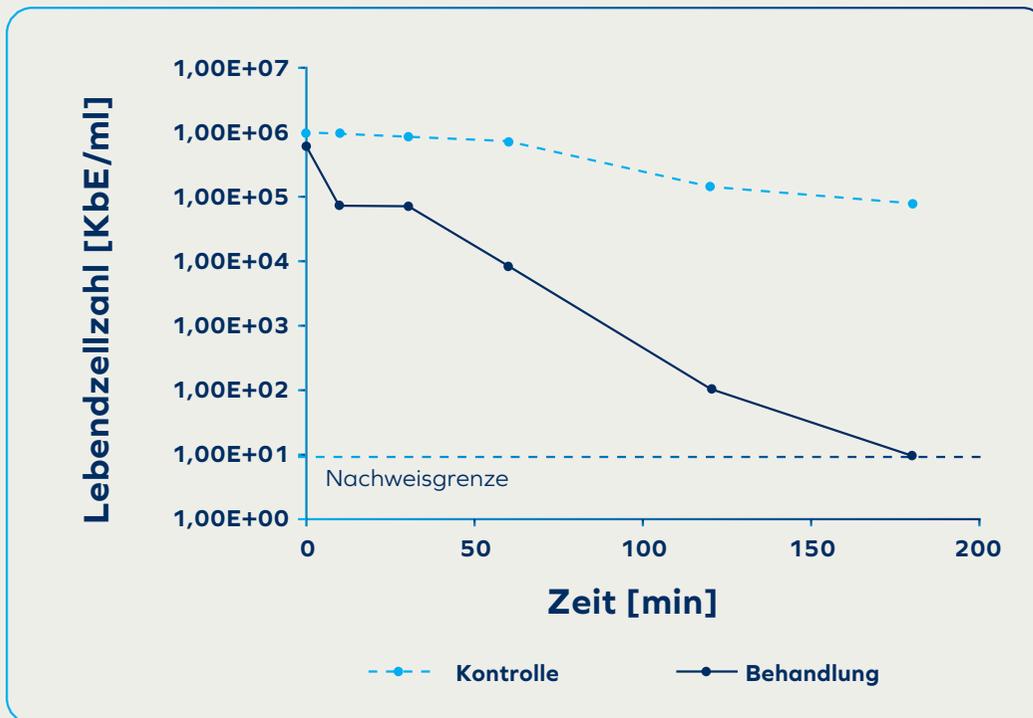
DSM 50071 / ATCC 10145 für den behandelten und nicht-behandelten Kreislauf einschließlich Reduktionsfaktor (der auch um den Reduktionsfaktor der Kontrolle korrigiert wurde) und Reduktion der Lebendzellzahl [%] (erster Versuch)

	Kontrolle		Behandlung				
Zeitl [min]	Lebendzellzahl [KbE/ml]	\log_{10} [KbE/ml]	Lebendzellzahl [KbE/ml]	\log_{10} [KbE/ml]		Reduktionsfaktor $\log_{10} (N_R)$	Reduktion Lebendzellzahl [%]
0	2,86E+05	5,46	4,56E+05	5,66	(N_0)		
10	5,08E+05	5,71	4,05E+05	5,61		0,05	11,19
30	3,84E+05	5,58	2,87E+05	5,46		0,20	36,98
60	3,85E+05	5,59	4,33E+03	3,64		2,02	99,05
120	2,10E+05	5,32	8,80E+01	1,94		3,71	99,98
180	9,68E+04	4,99	1,00E+01	1,00	(N_S)	4,66	99,9978
						4,19 korrigiert	

Nachweisgrenze: 10KbE/ml

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP)
Studie 2023 / 2024

2fach wiederholter Nachweis



Das Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP) ist europaweit die größte außeruniversitäre Forschungseinrichtung zu Niedertemperaturplasmen und zählt zu den modernsten Institutionen auf diesem Gebiet weltweit. Wir betreiben Forschung und Entwicklung VON DER IDEE ZUM PROTOTYP.

Bekämpfungsstrategien: Von klassischen Methoden zur Frequenztechnologie.

Traditionell wurden Biozide und chemische Behandlungen eingesetzt, um Pseudomonas in wasserführenden Systemen zu kontrollieren. Diese Ansätze können jedoch Resistenzen fördern und bergen Umweltprobleme. Neben der Optimierung der Wasserparameter, wie Temperatur und pH-Wert, sind mechanische Reinigungen und regelmäßige Inspektionen wesentliche Maßnahmen zur Verhinderung von Biofilmwachstum.

Die Frequenztechnologie bietet hier eine umweltfreundliche Alternative. Sie arbeitet durch die Erzeugung elektromagnetischer Impulse, die den Quorum-Sensing-Mechanismus der Bakterien stören. Dadurch wird die Kommunikation innerhalb der Bakteriengemeinschaften unterbrochen, was die Bildung und Stabilität von Biofilmen erheblich schwächt. Im Gegensatz zu chemischen Bioziden hinterlässt die Frequenztechnologie keine Rückstände und erfordert keine wiederholte Anwendung toxischer Substanzen.

Ergebnisse aus Studien und Anwendungen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass Pseudomonas in industriellen Kühlsystemen und Prozesswassersystemen weit verbreitet ist, insbesondere bei unzureichender Wartung und ungünstigen Wasserbedingungen. Die Fähigkeit zur Biofilmbildung führt zu einer signifikanten Korrosionsrate und Beeinträchtigung der Effizienz von Kühltürmen und wasserführenden Leitungen.

Forschungen bestätigen, dass frequenzbasierte Impulstechnologien die Bildung von Biofilmen stören und somit das Wachstum von Pseudomonas effektiv hemmen. Diese Technologie unterstützt zudem die Reduzierung von Ablagerungen und die Verbesserung der Wasserqualität, was insgesamt zu einer gesteigerten Betriebseffizienz führt.

Die BTGA-Regel

BTGA

Im April 2023 wurde die BTGA-Regel 3.003 durch die Richtlinie VDI/BTGA 6044 ersetzt. Diese neue Richtlinie erweitert die Vorgaben und Empfehlungen zum Vermeiden von Schäden in Kaltwasser- und Kühlkreisläufen mit Temperaturen von -20 °C bis 40 °C. Sie basiert auf der BTGA-Regel 3.003 und ist ein gemeinsames Projekt des VDI und des Bundesindustrieverbands Technische Gebäudeausrüstung (BTGA).

CCI Dialog

Die VDI/BTGA 6044 enthält detaillierte Anforderungen an die Wasserqualität, um mikrobiologische Belastungen, einschließlich Pseudomonas, zu minimieren. Sie betont die Bedeutung regelmäßiger Inspektionen und Wartungen sowie die Kontrolle von Wasserparametern wie pH-Wert und Leitfähigkeit. Zudem werden Maßnahmen zur Vermeidung von Biofilmbildung und zur Sicherstellung der Trinkwasserhygiene beschrieben.

BTGA-Regel vom VDI

Die neue BTGA-Regel vom VDI (Verein Deutscher Ingenieure) wurde eingeführt, um den Umgang mit Pseudomonas aeruginosa in technischen Systemen besser zu regulieren. Diese Regel zielt darauf ab, die Risiken durch diese Bakterien in Prozesswasser zu minimieren und Standards für Hygiene und Desinfektion festzulegen. Die Aufnahme dieser Regel ist eine Reaktion auf die zunehmenden Herausforderungen im Management von Wasserqualität und der Bekämpfung von multi-resistenten Keimen.

Die BTGA-Regel

Auswirkungen auf die Industrie

Die Präsenz von *Pseudomonas aeruginosa* hat weitreichende Auswirkungen auf verschiedene Industrien:

- **Gesundheitswesen:** Hohe Infektionsraten führen zu längeren Krankenhausaufenthalten und erhöhten Behandlungskosten.
- **Lebensmittelindustrie:** Kontamination kann Produktqualität beeinträchtigen und Rückrufe verursachen.
- **Pharmazeutische Industrie:** Reinräume müssen strengen Kontrollen unterzogen werden, um das Risiko einer Kontamination zu minimieren.

Fazit

Die Kontrolle von *Pseudomonas aeruginosa* ist entscheidend für den Schutz der öffentlichen Gesundheit sowie für die Aufrechterhaltung der Qualität in industriellen Prozessen. Durch die Implementierung strenger Richtlinien wie der BTGA-Regel können Unternehmen effektive Maßnahmen zur Risikominderung ergreifen. *Pseudomonas aeruginosa*

Die aquaEnergy GmbH entwickelt und produziert seit 16 Jahren Lösungen, die nicht nur industrielle Produktionsprozesse optimieren, sondern auch zur Schonung der Umwelt beitragen.

Unser Ziel ist es, die unbestrittene, nachhaltige Lösung für jeden Wasserkreislauf zu werden. Unsere physikalische und kontinuierliche Wasserbehandlung entfernt Ablagerungen wie Biofilm oder Korrosion in offenen und geschlossenen Wasserkreisläufen wie Kühltürmen, Werkzeugkühlungen oder Heizsystemen. Dazu nutzen wir die innovative Frequenz-Impulstechnologie, die wir in Kooperationen mit Universitäten und Instituten beständig weiterentwickeln.

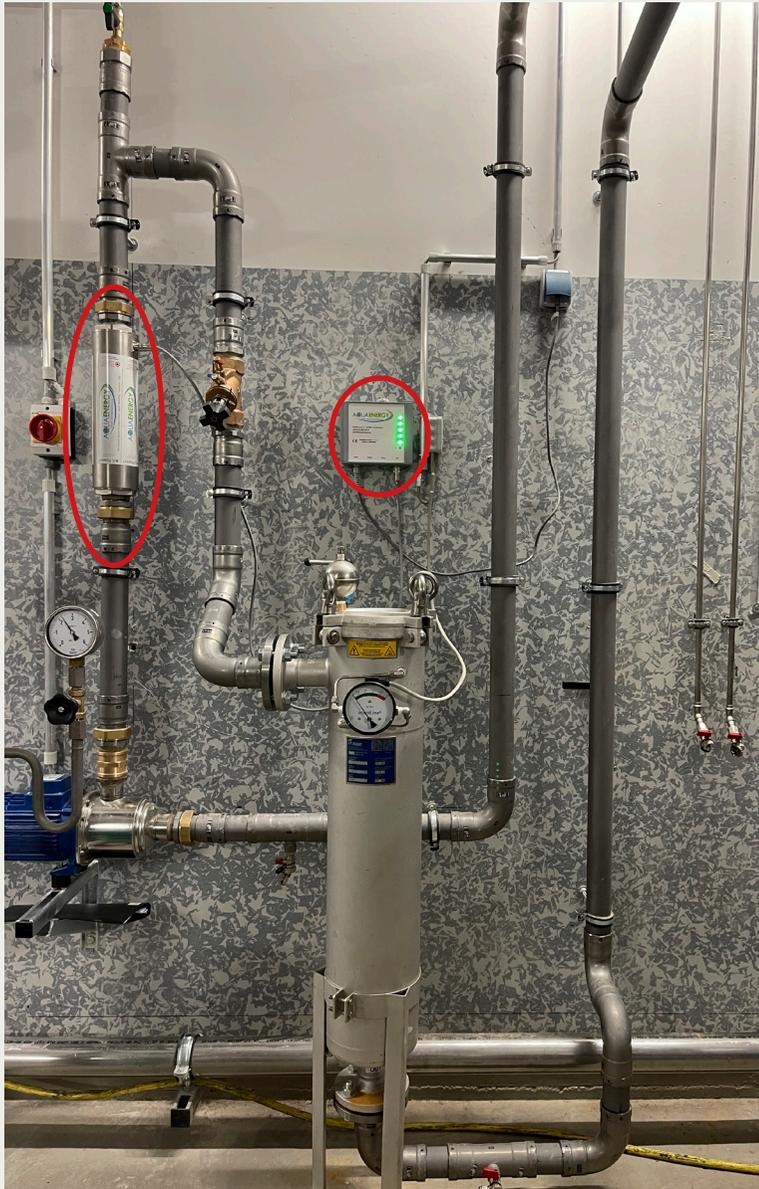
Durch den Verzicht auf schädliche Chemikalien schützt die aquaEnergy-Technologie sowohl die Umwelt als auch die Gesundheit der Mitarbeitenden, reduziert den Wartungsaufwand Ihrer Anlagen und sorgt für den uneingeschränkten Flow in Ihren Produktionsprozessen.

- 100+ erfolgreiche Installationen in Europa
- aktuelle größte behandelte Wasservolumen in einer Anlage = 2.000m
- Lösungen für 10+ Industrien
- über 1 Millionen Liter Wasser jährlich gespart
- bis zu 30% höhere Effizienz



MADE IN GERMANY







aquaEnergy beseitigt effektiv Biofilme, Korrosions- und Kalkablagerungen sowie Algen in Wassersystemen. Wir sind der verlässlicher Partner für eine nachhaltige Wasseraufbereitung. aquaEnergy ist nicht nur effektiv und chemiefrei, sondern optimiert Prozesse, schont die Umwelt und spart Kosten. aquaEnergy bedeutet Innovation statt Chemie.



MADE IN GERMANY



aquaEnergy GmbH | Pfaffensee 3 | 91301 Forchheim | +49 9191 / 960 910 0 | +49 151 / 614 800-44 |

www.aquaenergy.de | jetzt@aquaenergy.de