

# UV-Desinfektion von Kühltürmen

## Zuverlässige Kontrolle von Legionellen und Biofilm für sicheren und effizienten Betrieb

Dipl.-Ing. Christian Gurrath, Dr.-Ing. Martin Sörensen

Die wachsende Verbreitung von Kühltürmen zur Abfuhr von Prozesswärme hat zu einem vermehrten Aufkommen von Verdachtsfällen geführt, in denen sich Krankheitserreger mutmaßlich durch Kühltürme vermehren und verbreiten konnten. Aktuellere Beispiele aus einer Reihe von Verdachtsfällen hierfür sind die wahrscheinlich durch Kühltürme verursachten Ausbrüche von Legionellose in Ulm (2010)<sup>1,2</sup> und in Warstein (2013)<sup>3</sup> wobei allein beim Krankheitsausbruch in Ulm 5 Tote und 65 Verletzte gezählt wurden. Hier wurde ein Legionellenbefall in Kühltürmen auf einem Gebäude entdeckt und anschließend ein wirksames Desinfektionssystem basierend auf der UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Technologie durch die a.c.k. aqua concept GmbH realisiert. Um dieser Entwicklung eines Anstiegs von Fällen Rechnung zu tragen, gilt seit Januar 2015 in Deutschland die

VDI-Richtlinie 2047 Blatt 2 für die Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen. Die Richtlinie gibt dem Betreiber Hinweise zum fachgerechten Betrieb und gilt für bestehende und neu zu errichtende Verdunstungskühlanlagen und -apparate. Hierbei gilt die grundsätzliche Pflicht des Betreibers, den sicheren Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Um industrielle Kühltürme effizient und sicher betreiben zu können, muss das verwendete Kreislaufwasser sachkundig konditioniert, desinfiziert und die Wasserqualität regelmäßig überprüft werden. Die Konditionierung/Desinfektion des Kreislaufwassers erfolgt derzeit überwiegend über die regelmäßige Dosierung von teilweise giftigen Chemikalien, die wiederum den Betrieb des Kühlturms negativ beeinflussen können (z. B. Korrosion durch Biozide).

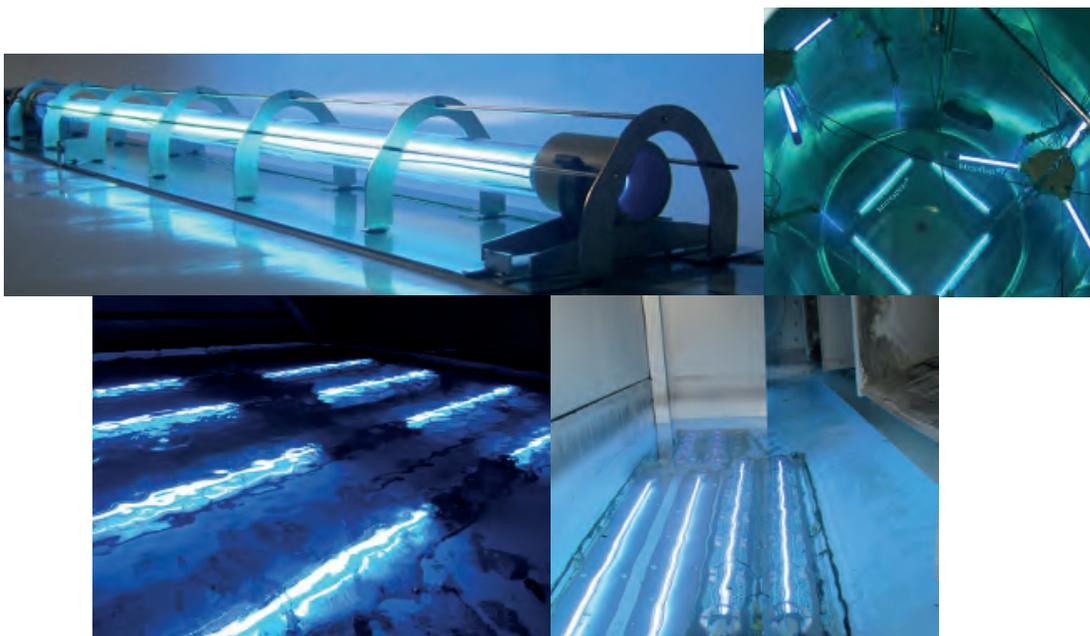


Abb. 1: In Kühltürmen installierte UV-Strahler vom Typ Microfloat® & Microspear®

Im Folgenden wird die generelle Funktionsweise von Kühltürmen beschrieben und die beim Betrieb zu beachtenden Parameter in Zusammenhang gesetzt. Das etablierte Vorgehen zur Kontrolle dieser Parameter wird beschrieben und

dessen Auswirkungen analysiert. Alternativ wird die von enviolet entwickelte Lösung für die Desinfektion und Stabilisierung von Kühltürmen auf Basis der UV-Desinfektion in Kombination mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vorgestellt. Die Vorteile des Verfahrens

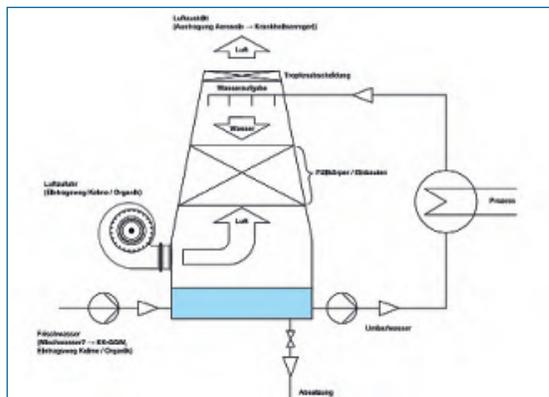
gegenüber der herkömmlichen Herangehensweise werden anhand der bestehenden Betriebsdaten (Gesamtkeimzahl, Legionellenwerte, Korrosionsgeschwindigkeit, Betriebskosten) von Kühltürmen dargestellt.

## GRUNDLAGEN KÜHLTURMBETRIEB

Bei Kühltürmen handelt es sich um halboffene Kühlsysteme, in denen der Kühleffekt durch die Verdunstung von Wasser realisiert wird.

Wie in **Abb. 2** dargestellt, strömen Luft und Wasser im Gegenstrom, dabei verdunstet ein Teil des Wassers, und die dem System entzogene Verdunstungsenthalpie sorgt für eine Abkühlung des im System verbleibenden Wassers.

Da im Kühlturm nur das reine Wasser verdunstet, kommt es



**Abb. 2:** Schematische Darstellung Kühlturm

zu einer stetigen Anreicherung der im Wasser gelösten Inhaltsstoffe, wie z. B. Salze (Eindickung), wodurch die Löslichkeitsgrenze der Salze ohne Gegenmaßnahmen überschritten wird; die Folge sind anorganische Ablagerungen im Kühlsystem (z. B. Kalk), die unter großem Aufwand wieder entfernt werden müssen.

$$\text{Eindickungsfaktor} = \frac{\text{Salzgehalt Umlaufwasser}}{\text{Salzgehalt Frischwasser}}$$

Um dies zu verhindern, muss regelmäßig ein Teil des Umlaufwassers abgeschlämmt werden, damit die Löslichkeitsgrenze der im Wasser gelösten Salze nicht überschritten wird. Dies geschieht in der Regel automatisiert über eine Leitfähigkeitsmessung. Je mehr Wasser jedoch abgeschlämmt wird, umso größer ist der Bedarf an Frischwasser, um das im System enthaltene Volumen (Umlaufwasser) konstant zu halten, wodurch die Betriebskosten des Kühlsystems zusätzlich ansteigen. **Abb. 3** bildet den Zusammenhang zwischen Eindickungsfaktor und benötigter Frischwassermenge ab. Man erkennt hier, dass die benötigte Frischwassermenge mit steigender Eindickung bei konstantem Umlaufwasservolumen sinkt. Erhöhung der Eindickung von 1,5 auf 3 reduziert die benötigte Frischwassermenge um die Hälfte. Da die Wasserkosten üblicherweise höher sind als die Kosten für Prozesschemikalien, können durch Erhöhung der Eindickung wesentliche Kostenersparnisse erzielt werden. Oberhalb der Eindickungszahl 4 werden die Einsparungen vernachlässigbar gering und andere sich überlagernde Effekte bewirken eine Verschlechterung der Systemeigenschaften.

Eine weitere Erhöhung des Eindickungsfaktors ist daher unüblich, zumal die Aufsalzung den Siedepunkt des Umlaufwassers erhöht und den Dampfdruck des

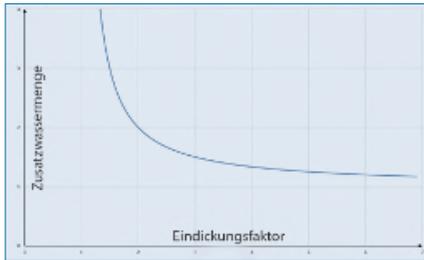


Abb. 3: benötigte Frischwassermenge bei steigender Eindickung (Umlaufwassermenge konstant)

Wassers bei gleicher Temperatur absinkt (ebullioskopischer Effekt), was zu weniger Verdunstung und damit zu einem Verlust von Kühlleistung führt.

### PROBLEMATIK MIKROORGANISMEN

Das salzangereicherte Umlaufwasser im Kühlturm bietet zusammen mit den

Parameter	Maßnahmenwert
Allgemeine Koloniezahl (GKZ)	~ 10000 KBE/ml (als Orientierungswert)
Legionella ssp.	100 KBE/100ml
Pseudomonas aeruginosa	100 KBE/100ml

Tab. 1: Maßnahmenwerte für standardmäßig untersuchte mikrobiologische Parameter gemäß VDI 2047 Blatt 2 (KBE = koloniebildende Einheiten)

in Kühltürmen üblichen Temperaturen von ca. 25 – 35°C ideale Bedingungen für die Vermehrung von Mikroorganismen wie z. B. Pseudomonas aeruginosa und Legionella spp. . Während des Betriebs werden laufend Keime aus der Luft (oder über das Frischwasser) in den Kühlturm eingeschleppt, was eine angemessene Desinfektion und Überwachung der Keimzahlen nötig macht. Die Bildung von Biofilmen (Fouling) an den mit dem Wasser in Kontakt stehenden Oberflächen stellt ein besonderes Problem dar, da dies sowohl Wärmeübergänge beeinträchtigt als auch Korrosion begünstigt und eine zusätzliche Verschlechterung der hygienischen Bedingungen im Kühlturm darstellt.

Durch den direkten Kontakt des Umlaufwassers mit der Luft, die anschließend in die Umgebung abgegeben wird, besteht bei Kühltürmen trotz Tropfenabschei-

dern immer die Gefahr, dass Tröpfchen von der Abluft mitgerissen werden und in Form eines Aerosols aus dem System getragen werden. Dadurch ergeben sich im Falle einer übermäßigen Verkeimung des Kühlturms gesundheitliche Risiken, da sich die keimbeladenen Aerosole ideal zur Verursachung von Infektionskrankheiten wie zum Beispiel der Legionellose eignen.

Die mikrobiologische Belastung des Systems wird hierbei von den für den Kühlturm geltenden Randbedingungen beeinflusst:

- ▶ Temperatur (→ Einfluss der Jahreszeit)
- ▶ Eintrag von Sedimentstoffen (Staub etc. → klimatischer Einfluss)
- ▶ Beschaffenheit des Frischwassers
- ▶ Nährstoffeintrag (z. B. Blütenpollen → Einfluss der Jahreszeit)

Daraus folgt, dass gleiche Kühltürme abhängig von den Randbedingungen Ihrer

Umgebung sehr unterschiedlich laufen und eine dementsprechend angepasste Konditionierung des Umlaufwassers benötigen. Je weiter nördlich gelegen beispielsweise ein Kühlturm geographisch gesehen liegt, desto weniger problematisch ist dessen Betrieb hinsichtlich der

turen. Auch gestaltet sich der Betrieb eines Kühlturms in einer Umgebung mit staubiger und schmutziger Luft problematischer als in einem Reinluftgebiet.

Um Veränderungen im System rechtzeitig erkennen zu können, sind regelmäßige Überprüfungen der Keimzahlen sowie der Nachweis von Legionella unerlässlich. Richtlinie VDI 2047 empfiehlt hierfür generell enge (z. B. monatliche) Kontrollintervalle.

In Tab. 1 sind die drei standardmäßig untersuchten Parameter zur Beurteilung der mikrobiologischen Belastung sowie die erste Schwelle der zugehörigen Maßnahmenwerte aufgeführt. Bei Überschreitung dieser ersten Schwellen werden von der Richtlinie VDI 2047 besondere Maßnahmen, wie z. B. verkürzte Kontrollintervalle oder eine gezielte Ursachenermittlung, gefordert. Die Überschreitung weiterer Schwellen zieht weitere Maßnahmen nach sich bis hin zur sofortigen Stilllegung der Anlage.

### PROBLEMATIK KALKABLAGERUNGEN

Um die Entstehung von ungewollten Kalkablagerungen und Korrosion in Kühltürmen zu verstehen, ist das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht (KK-GGW) von entscheidender Bedeutung und daher ein weiterer wichtiger Parameter für den Betrieb des Kühlturms.

Wie in Abb. 4 dargestellt, werden über den Kontakt mit Luft geringe Mengen Kohlenstoffdioxid in das Umlaufwasser des Kühlkreislaufes gelöst, wovon wiederum ein kleiner Teil weiter zu Kohlen-

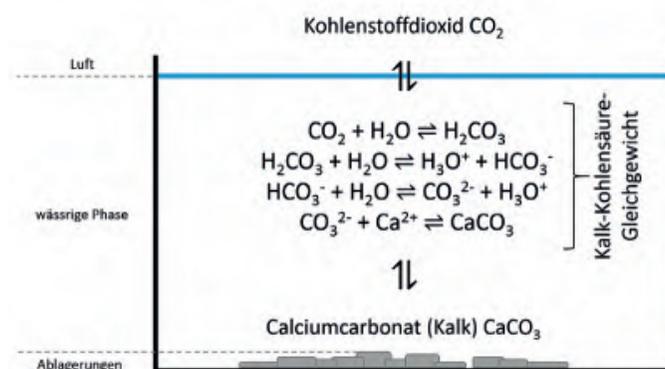


Abb. 4: schematische Darstellung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts

Mikroorganismen aufgrund der tendenziell niedrigeren Umgebungstempera-

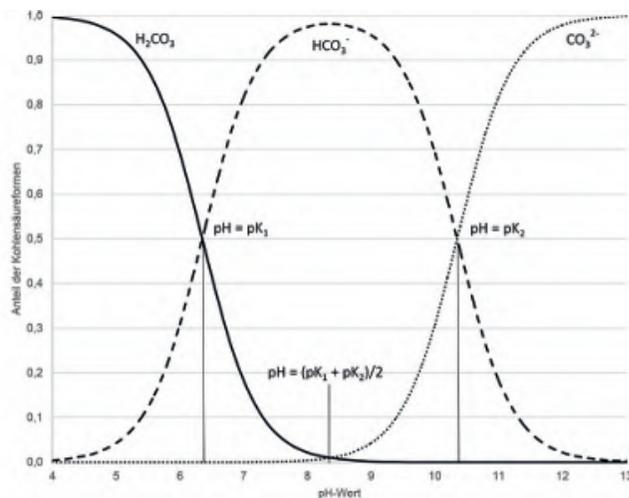
säure ( $H_2CO_3$ ) reagiert. Die Entstehung von Kalk hängt, wie in Abb. 4 und Abb. 5

veranschaulicht, über mehrere Dissoziationsstufen mit der im System gelösten Kohlensäure zusammen.<sup>5</sup>

Letztendlich spielt das KK-GGW die entscheidende Rolle bei der Frage, wie sich das Wasser gegenüber den mit ihm in Kontakt stehenden Werkstoffen verhält. Bei Anwesenheit einer kleinen Menge an Kohlensäure befindet sich das System

meiden, um den optimalen Betrieb des Kühlturms zu gewährleisten.

Da Kühltürme komplexe Systeme mit einer Vielzahl von möglichen Einflussgrößen (z. B. dem Frischwasser oder dem pH-Wert, siehe **Abb. 5**) sind, muss das KK-GGW im Einzelfall betrachtet und gesteuert werden. Speziell bei der Verwendung von Mischwasser aus mehre-



**Abb. 5:** Anteil der Kohlensäureformen in Abhängigkeit des pH-Wert

im Gleichgewicht. Herrscht im System ein Überschuss an Kohlensäure, verhält sich das Wasser kalkaggressiv/metallaggressiv, was zu Auflösungsprozessen bei zementgebundenen Werkstoffen und Korrosion bei Metallen führt. Ein Mangel an Kohlensäure im System führt hingegen zu einer Ausfällung von schwerlöslichem Kalk, was ebenfalls zu einer Beeinträchtigung des Kühlturbetriebs führen kann. Beide Zustände außerhalb des Gleichgewichts sind somit zu ver-

ren Quellen im Zulauf ist das KK-GGW im Auge zu behalten, da zwei Wässer, die für sich betrachtet im Gleichgewicht stehen, bei einer Vermischung eher selten im Gleichgewicht stehen und in Kühltürmen häufig Verschnitte aus demineralisiertem Wasser und Stadtwasser/Leitungswasser verwendet werden.

#### KÜHLTURMBETRIEB MIT UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Der am weitesten verbreitete Ansatz, das Umlaufwasser im Kühlturm zu kondi-

tionieren, ist die ausschließliche Zugabe von einer Reihe von teilweise giftigen Chemikalien, deren komplexes Zusammenspiel einen erheblichen Aufwand bedeutet. Durch konventionelle Biozide lässt sich die biologische Belastung unter Kontrolle halten, und auch Biofilme können auf diese Weise aufgelöst werden. Allerdings wird die Passivschicht der mit dem Wasser in Kontakt stehenden Werkstoffe hierbei angegriffen und macht den Werkstoff anfällig für Korrosion und einen erneuten biologische Befall. Daher müssen zusätzlich zum Biozid korrosionsmindernde Verbindungen mit in das System zugegeben werden, um dessen Nebeneffekte zu bekämpfen. Durch die nun zugegebenen Stoffe erfolgt üblicherweise eine – zusätzlich zu der von der Verdunstung verursachten – zusätzliche Aufsalzung des Kreislaufwassers, was wiederum den Einsatz von Härtestabilisatoren erfordert, um den Ausfall von mineralischen Ablagerungen zu verhindern. Viele der Chemikalien werden folglich überhaupt erst notwendig, um die negativen Auswirkungen einer anderen zugesetzten Chemikalie zu bekämpfen. Problematisch hierbei ist auch der Austrag der zugesetzten Chemikalien und ihrer Abbauprodukte (z. B. AOX, Phosphate) über das abgeschlammte Wasser, das einer nachträglichen Behandlung bedarf. Alternativ hierzu ist eine Kombination von UV-Bestrahlung und der Zugabe von restlos abbaubarem Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) eine umweltfreundliche, wirt-

**UV-Desinfektion für Kühltürme**

- Hochwertige Desinfektionssysteme Microfloat® und Microspear®
- Zuverlässiger Betrieb von Kühltürmen bei hoher Effizienz
- Sichere Kontrolle von Keimzahl und Legionellen
- Hohe Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit
- Verhinderung Verschlämmung und Kalkablagerungen

**enviolet**

enviolet GmbH · Schenkenburgstraße 18 · 76135 Karlsruhe · Germany  
+49 721 59721-0 www.enviolet.com

schaftliche und effektive Methode, um den optimalen Betrieb von Kühltürmen zu erreichen. Die enviolet GmbH konnte bereits einige hundert Kühltürme im industriellen Bereich erfolgreich mit ihren Systemen ausrüsten und blickt hier auf eine breite und positive Erfahrung zurück.<sup>6</sup>

Die Anwendbarkeit der UV-Desinfektion wird auch durch die zuvor erwähnte VDI-Richtlinie bestätigt, wobei deren Forderung nach UV-Sensoren in dieser Anwendung eine gewisse Praxisfremdheit offenbart. Enviolet hat alternative Lösungen entwickelt, da UV-Sensoren in Kühltürmen keine zuverlässigen Daten zur Überwachung liefern.

Für das enviolet-System besteht die folgende Zielsetzung:

- ▶ zuverlässiger Betrieb des Kühlturms bei hoher Effizienz,
- ▶ Die Werte für die Gesamtkeimzahl und die Legionellen sollte sich unterhalb der Maßnahmenwerte bewegen,
- ▶ Geringerer Kosten-/ Personalaufwand für eine Aufrechterhaltung des Betriebs,
- ▶ Der Kühlturm darf nicht verschlammten, verkalken oder korrodieren,
- ▶ Die Betriebsweise soll so umweltfreundlich wie möglich gestaltet sein.

Die Schritte zur Implementierung des Systems und das Erreichen der Zielsetzung werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

## INTEGRATION DER UV-STRAHLER

Unter Berücksichtigung der spektralen Eigenschaften des Systems ist die UV-Bestrahlung zur Abtötung von Mikroorganismen/Krankheitserregern hervorragend geeignet. Das zugrundeliegende Prinzip ist die Anfälligkeit des Erbmateri- als von Mikroorganismen gegenüber der von den Strahlern emittierten, hochenergetischen Strahlung.

Dabei können sich - anders als bei einer klassischen Zugabe von Bioziden - keinerlei Resistenzen bilden und die Entkeimung in der Umgebung der Strahler erfolgt ohne jegliche Zugabe von zusätzlichen Chemikalien. Da der Großteil des im Kühlturm zirkulierenden Umlaufwassers sich in der Regel die meiste Zeit in der Wanne bzw. in den Kreislauf integrier-

ten Pufferbehältern befindet, lässt sich durch eine Platzierung von UV-Strahlern an dieser Stelle eine effektive Keimkontrolle und zuverlässige Desinfektion für den größten Teil des Wassers umsetzen. Die Kühlturmwanne wird hierbei zu einem UV-Reaktor, in dem – durch die relativ hohen Verweilzeiten des Kreislaufwassers – eine sehr hohe und durchschlagende UV-Dosis appliziert werden kann.



Abb. 6: Beispielhaftes Halterungssystem für UV-Tauchstrahler in KTC-Tanks

Der erste Schritt zur Implementierung des Systems UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ist also die Bestückung der Kühlturmwanne beziehungsweise der Behälter in für die Versorgung des Systems mit Kreislaufwasser mit der passenden Anzahl rechtlich geschützter UV-Systeme vom Typ Microspear® & Microfloat®, wie in Abb. 1 dargestellt.

UV-Schwimmer Microfloat®, der in Kombination mit dem Microspear® modular zu einem maßgeschneiderten Gesamtsystem kombiniert werden kann. Durch die Platzierung des Schwimmers an der Wasseroberfläche wird neben der Desinfektion des Wassers auch gleichzeitig die Desinfektion der Luft über dem Wasserspiegel, sowie der feuchten Wände oberhalb des Wasserspiegels, sichergestellt. Die UV-Ausstattung für Kühltürme wird als Komplettsystem inklusive eines, nach industriellem Standard gefertigten, Schaltschranks geliefert. Die Funktionalität und Lebensdauer der Strahler kann über im Schaltschrank integrierte Systeme überwacht werden. Die hier verwendeten Systeme liefern weit zuverlässigere und für eine Überwachung besser geeignete Informationen als die von der VDI 2047 geforderten UV-Sensoren im Kühlturm.

Die Bestückung von Kühltürmen mit unterschiedlichsten Beckengrößen und Kühlleistung durch den modularen Aufbau und angepasster Halterungssysteme in der Regel problemlos möglich. Um die optimale Verteilung der Strahler in der Kühlturmwanne oder anderen in den Wasserkreislauf eingebundenen Be-

	Vorteile	Nachteile
UV	Resistenzbildung nicht möglich	keine Depotfunktion Anlagenteile die vom UV-Licht nicht abgedeckt sind werden nicht desinfiziert
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wirkt auch in den von der UV-Strahlung nicht abgedeckten Anlageteilen, Depotfunktion vorhanden	Resistenzbildung bei dauerhaft niedrigen Konzentrationen möglich (wie bei allen Desinfektionsmitteln); Aufbau von Katalase eher problematisch
UV/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	<b>Kombinationsverfahren</b> Synergie: Zersetzung von H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> zu Radikalen; alle Anlagenteile werden desinfiziert Risiko für Resistenzbildung durch Kombinationsverfahren fast vollständig ausgeschlossen Abbau von Organik (AOC); Substrat für Mikroorganismen wird entzogen; Entstehung kleiner organischer Carbonsäuren (mit geringerem AOC) Kleine organische Carbonsäuren wirken als natürliche Komplexbildner; dadurch Minimierung von Kalkablagerungen durch Komplexbildung und positiven Einfluss auf pH-Wert	

Tab. 2: technische Vor- und Nachteile UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; AOC = (von Mikroorganismen) Assimilierbarer Organischer Kohlenstoff

Die Anzahl und die Platzierung der Strahler werden individuell, abhängig von den jeweiligen Betriebsparametern des Kühlturms, angepasst. Ein besonderes Alleinstellungsmerkmal des Systems ist der

halten sicherzustellen, steht eine Reihe von rechtlich geschützten Systemen zur Auswahl:

- ▶ Grundplatten aus Edelstahl mit Schutzkäfig (s. Abb.1)

- ▶ Seilhaltungssysteme (Edelstahlseil, Anbringung Microfloat® und Microspear® durch Spezialhalterungen mit optimalen Wartungsmöglichkeiten)
- ▶ Halterungssysteme für KTC-Tanks und ähnliche (s. Abb. 6)
- ▶ Kundenspezifisch angepasste Systeme, die eine technische optimale Integration mit maximaler Funktion kombinieren

### KOMBINATION UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Eine UV-Bestrahlung allein ist jedoch nicht ausreichend für den zuverlässigen Betrieb des Kühlturms, da diese nicht al-

nicht abgedeckten Bereichen (Verrohrung, Wärmetauscher, sonstige Anlagenkomponenten). Gleichzeitig reagieren die Radikale mit der im System befindlichen Organik weiter, was zu einer Reduzierung des Assimilierbaren Organischen Kohlenstoffs (AOC), also des Nährstoffangebots für Mikroorganismen, führt.

### VORTEILE

In Tab. 2 sind Vor- und Nachteile der Behandlung mit UV sowie H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sowie die Auswirkungen einer kombinierten Anwendung aufgeführt. Hierbei wird sichtbar, wie sich die beiden Behand-

lungsschritte ergänzen und sich ein Kombinationsverfahren ergibt, welches sich ideal zur Kontrolle der Mikrobiologie in Kühltürmen eignet. Durch die Zugabe von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> erfolgt keine weitere Eindickung, und es findet kein Chemikalieneintrag in das abgeschlammte Umlaufwasser statt, was im Idealfall eine Versickerung des abgeschlammten Wassers ohne weitere Nachbehandlung ermöglicht. Die hierbei erzielte gute Wasserqualität ist nicht nur unter entsorgungs- und umwelttechnischen Gesichtspunkten, sondern auch für die Leistungsfähigkeit des Kühlturms von Vorteil. Durch die geringere Aufsalzung sinkt auch der Dampfdruck des Kreislaufwassers in geringerem Maße, was zu einer höheren Verdunstungsrate und damit zu einer höheren Kühlleistung führt (ebullioskopischer Effekt). Zum Ab-

### ÜBERSICHT & ERGEBNISSE

bau von Kalkablagerungen ist im Bedarfsfall als dritter Schritt die stoßweise Zudosierung spezieller, restlos abbaubarer und nicht korrosionsfördernder Konditioniermittel vorgesehen.

Die Kombination dieser drei Behandlungsschritte bildet ein ganzheitliches Konzept, das sowohl die zuvor besprochene Problematik der Mikroorganismen als auch der Kalkablagerungen abdeckt und sich bereits vielfach bewährt hat. Abb. 7 veranschaulicht beispielhaft die Integration der UV-Desinfektion in die Kühlturmwanne

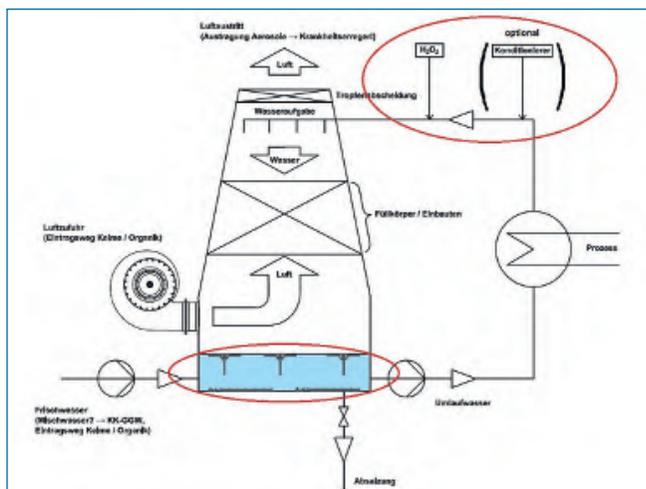


Abb. 7: Kühlturm schematische Darstellung mit integrierter UV-Desinfektion und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Dosierung

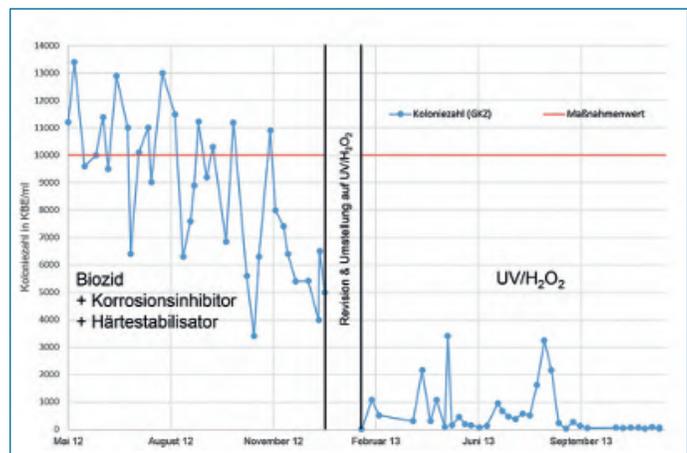


Abb. 8: Entwicklung der Gesamtkoloniezahl (GKZ) über ein Jahr, KBE/ml = Koloniebildende Einheiten pro ml (vor der Installation des UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Systems stark biologisch belasteter Kühlturm)

le Anlagenteile, Rohrleitungen und sonstigen Totvolumina im System erreicht und somit keine Depotfunktion bietet. Daher ist als zweiter Schritt eine Zudosierung von geringen Mengen restlos abbaubarem Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) vorgesehen. Dieses ist ein Desinfektionsmittel und ein schwaches Oxidationsmittel, welches abhängig von den Bedingungen auch reduzierend wirken kann. Unter dem Einfluss von UV-Strahlung zersetzt es sich zu zwei Hydroxyl-Radikalen, die als starkes Oxidationsmittel wirken, aber wie später gezeigt, im Hinblick auf Korrosion aufgrund ihrer Kurzlebigkeit als unproblematisch anzusehen sind: Die durch diese besondere Synergie entstehenden Hydroxylradikale sichern die Desinfektion sowie die Bekämpfung von Biofilmen in den von der UV-Strahlung

lungsschritte ergänzen und sich ein Kombinationsverfahren ergibt, welches sich ideal zur Kontrolle der Mikrobiologie in Kühltürmen eignet. Durch die Zugabe von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> erfolgt keine weitere Eindickung, und es findet kein Chemikalieneintrag in das abgeschlammte Umlaufwasser statt, was im Idealfall eine Versickerung des abgeschlammten Wassers ohne weitere Nachbehandlung ermöglicht. Die hierbei erzielte gute Wasserqualität ist nicht nur unter entsorgungs- und umwelttechnischen Gesichtspunkten, sondern auch für die Leistungsfähigkeit des Kühlturms von Vorteil. Durch die geringere Aufsalzung sinkt auch der Dampfdruck des Kreislaufwassers in geringerem Maße, was zu einer höheren Verdunstungsrate und damit zu einer höheren Kühlleistung führt (ebullioskopischer Effekt). Zum Ab-

sowie die H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Dosierung in das in Abb. 2 schematisch dargestellte System. Bei regelmäßigen Keimzahlkontrollen in einem biologisch generell stark belasteten Kühlturm konnten die in Abb. 8 gewonnenen Daten erhoben werden. Aufgrund der dauerhaft hohen Werte und regelmäßigen Überschreitungen der Maßnahmenwerte speziell in den Sommermonaten wurde der Betrieb von einer reinen Zugabe von Biozid / Härtestabilisator / Korrosionsinhibitor auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> umgestellt. Die gültigen Maßnahmenwerte konnten nach der Umstellung zuverlässig und deutlich auch während der wärmeren Monate gehalten werden. Die Keimzahlbestimmung (GKZ) erfolgte durch die Bebrütung von Wasserproben aus dem Kühlturm in einem Kulturmedium für 5 Tage bei 22°C.

Datum der Probenahme	Legionellenbelastung in KBE/100ml (Maßnahmenwert gemäß VDI 2047 Blatt 2 = 100 KBE/100ml)				
	Kühl-turm 1	Kühl-turm 2	Kühl-turm 3	Kühl-turm 4	Kühl-turm 5
29.05.2013	< 50	< 50		< 50	< 50
27.06.2013	< 50	< 50		< 50	
27.07.2013		< 50		< 50	< 50
22.08.2013	< 50	< 50		< 50	< 50
19.09.2013	< 50	< 50		< 50	< 50
20.12.2013	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
13.02.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
13.03.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
10.04.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
06.05.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
05.06.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
03.07.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
31.07.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
28.08.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
08.09.2014		< 50	< 50		
25.09.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
23.10.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
20.11.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
18.12.2014	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
15.01.2015	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
12.02.2015	< 10	< 50	< 50	< 50	< 50
10.03.2015	< 10	< 50	< 50	< 50	< 50
16.04.2015	< 50	< 50	< 10	< 50	< 50
20.05.2015	< 10		< 10	< 10	< 10
28.05.2015		< 10			
18.06.2015	< 10		< 10	< 10	< 10
23.06.2015	< 10				
09.07.2015	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
23.07.2015				< 10	< 10
29.07.2015				< 10	< 10
06.08.2015	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
10.09.2015	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
23.09.2015				< 10	< 10
08.10.2015	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
05.11.2015	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
10.12.2015	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

**Tab. 3:** Legionellenbelastung mehrerer von Chemie auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> umgestellter Kühltürme über mehrere Jahre, der farbliche Wechsel (blau hinterlegt = umgestiegen auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) markiert den Zeitpunkt der Umstellung auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KBE/100ml gemäß ISO 11731-2: 2004

In **Tab. 3** sind die Legionellenbelastungen von fünf schrittweise vom Einsatz reiner Chemie auf eine Behandlung mit UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> umgestellten Kühltürmen über einen Zeitraum von 2-3 Jahren dargestellt. Der farbliche Wechsel von weiß auf blau unterlegten Zellen markiert den Zeitpunkt der Umstellung. Wie aus den Daten ersichtlich, konnte Legionellenbelastung in allen Fällen zuverlässig unter den durch die VDI 2047 Blatt 2 festgelegten Maßnahmenwerten gehalten werden. Bei vier von fünf Kühltürmen ist nach der Umstellung von Chemie auf

UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eine mittelfristige deutliche Verbesserung der Legionellenbelastung erkennbar.

In **Tab. 4** sind die Korrosionsgeschwindigkeiten für den gleichen Werkstoff der bereits in **Tab. 3** besprochenen Kühltürme aufgeführt. Hierbei wird deutlich, dass auch ohne die Verwendung eines Korrosionsinhibitors die Korrosionsgeschwindigkeit im mit UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> betriebenen Kühlturm 1 gering gehalten werden konnte. Im Vergleich zu den für diese Zeiträume noch mit Chemie betriebenen Kühltürmen 2 bis 5 konnte in den meisten Fällen ein deutlich besseres Ergebnis erzielt werden.

Die Betriebskosten eines von reiner Chemie auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> umgestellten Kühlturms sind in **Tab. 5** zusammengestellt. In diesem Fall wurden die Kosten für die reine Konditionierung des Kühlkreislaufs (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + Stromverbrauch + UV-Strahler) gegenüber einer Behandlung mit Chemie um über 50% reduziert. Bei gleichbleibendem Konzentrationsfaktor erfolgt üblicherweise auch eine Reduzierung des Frischwasserverbrauchs. Zusätzlich entfallen in diesem Fall die Kosten für die Behandlung des Abschlammwassers vollständig, was eine zusätzliche erhebliche Einsparung bedeutet und einen umweltfreundlicheren und nachhaltigeren Betrieb des Kühlturms ermöglicht, wie es auch bei der Fa. Lemken GmbH & Co. KG (327 Mio. Euro Jahresumsatz 2015<sup>7</sup>) in Alpen erfolgreich umgesetzt werden konnte. Nach der Implementierung des UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - Systems konnte hier durch die gute Wasserqualität ohne Chemikalieneintrag eine Abführung des Abschlammwassers als Sickerwasser ermöglicht werden. Die in **Tab. 3, 5** und **6** dargestellten Daten zur Legionellenbelastung, der Korrosionsgeschwindigkeit und den Betriebskosten konnten aus mehreren, global verteilten auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> umgestellten Kühltürmen der SNF Floerger Gruppe gewonnen werden. SNF Floerger ist ein weltweit agierender Produzent von Chemieprodukten mit einem Jahresumsatz von über 2 Milliarden Euro (2015<sup>8</sup>), bei dem nach ersten erfolgreich umgestellten Kühltürmen schrittweise alle Kühltürme auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> umgerüstet werden konnten. Die in den zugehörigen Tabellen dargestellten guten Ergebnisse sprechen für sich und bestätigen die herausragenden Eigenschaften dieses Systems in der Praxis.

## ZUSAMMENFASSUNG

Speziell durch die VDI-Richtlinie 2047 Blatt 2 stehen Kühlturbetreiber verstärkt in der Pflicht einen sicheren und effizienten Betrieb ihrer Anlagen zu gewährleisten. Als Alternative zur allgemein verbreiteten Standardlösung - der Konditionierung des Kühlwasserkreislaufes mit reiner Chemie - bietet die UV-Desinfektion in Kombination mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eine in vielen Punkten vorteilhafte Lösung. Der Betrieb von Kühltürmen wird somit effizienter und umweltfreundlicher gestaltet.

	Zeitraum der Messung	Betriebsweise	Korrosionsgeschwindigkeit in Mikrometer/Jahr
Kühlturm 1	28.02.2014 – 09.07.2014	UV/ H2O2	1,9
Kühlturm 2	13.03.2014 – 03.07.2014	Biozid, Korrosionsinhibitor und Härtestabilisator	2,8
Kühlturm 3	28.02.2014 – 03.07.2014	Biozid, Korrosionsinhibitor und Härtestabilisator	7,2
Kühlturm 4	28.02.2014 – 09.07.2014	Biozid, Korrosionsinhibitor und Härtestabilisator	2,1
Kühlturm 5	28.02.2014 – 09.07.2014	Biozid, Korrosionsinhibitor und Härtestabilisator	0,4

Tab. 4: Korrosionsgeschwindigkeiten in den in Tabelle 3 aufgeführten Kühltürmen; gleicher Referenzwerkstoff in allen Kühltürmen; Ermittlung der Korrosionsgeschwindigkeit durch das Eintauchen von Teststreifen in das Kreislaufwasser

Die anfangs definierte Zielsetzung für das System konnte folgendermaßen umgesetzt werden:

- ▶ Zuverlässiger Betrieb des Kühlturms bei hoher Effizienz.
- ▶ Durch die Kombination UV+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ist keine Resistenzbildung möglich.
- ▶ Aus dem Betrieb mit UV+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> resultiert eine verbesserte Kühlleistung (ebullioskopischer Effekt).
- ▶ Die Werte für die Gesamtkeimzahl und die Legionellen sollte sich unterhalb der Maßnahmenwerte bewegen.
- ▶ Sowohl die Gesamtkeimzahl als auch die Legionellenwerte konnten zuverlässig gehalten oder gegenüber den Vergleichswerten der Chemiebehandlung gesenkt werden.
- ▶ Geringer Kosten-/ Personalaufwand für eine Aufrechterhaltung des Betriebs,
- ▶ Die Betriebskosten können durch die Umstellung auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> deutlich gesenkt werden.
- ▶ Der Kühlturm darf nicht verschlammten, verkalken oder korrodieren.

- ▶ Eine Verschlämung wird durch eine zuverlässige Desinfektion minimiert.
- ▶ Kalkablagerungen werden, falls notwendig, durch ein biologisch abbaubares Konditioniermittel entfernt.
- ▶ Die Korrosionswerte konnten ohne Korrosionsinhibitor auf sehr geringem Niveau gehalten werden.
- ▶ Die Betriebsweise soll so umweltfreundlich wie möglich gestaltet sein.
- ▶ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und Konditioniermittel sind restlos abbaubar. Eine Versickerung des Abschlammwassers ist in der Regel möglich.

Der Behandlungsansatz hat sich in einer Vielzahl von bereits ausgerüsteten Kühltürmen bewährt und kann auch zur Desinfektion von Klimakammern, Luftbefeuchtern oder Frischluftanlagen angepasst werden. Die dargestellten Resultate untermauern die offensichtlichen Vorteile und bestätigen die Effektivität des Behandlungsansatzes in der Praxis. Das UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-System kann in der Regel problemlos in bereits bestehende Anla-

	UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Biozid, Korrosionsinhibitor und Härtestabilisator
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	77,00 €	—
Biozid + Korrosionsinhibitor + Härtestabilisator	—	1439,00 €
Frischwasser	1750,00 €	1750,00 €
Strom	105,00 €	10,00 €
UV-Strahler	523,00 €	—
Behandlung des Abschlammwassers	—	1319,00 €
Betriebskosten (6 Monate)	2455,00 €	4508,00 €

Tab. 5: Vergleich der Betriebskosten desselben Kühlturms vor und nach der Umstellung von Chemie auf UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; jeweils über eine Betriebsdauer von 6 Monaten

gen integriert werden, wobei bereits existierende Komponenten, womöglich und sinnvoll weiterverwendet werden können. In Zeiten, in denen Unternehmen immer mehr Wert auf Prozessoptimierung und Kosteneffizienz bei gleichzeitiger Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit legen, bietet der vorgestellte Behandlungsansatz eine zukunftsfähige Alternative mit durchschlagenden Argumenten!

Autor:

Dipl.-Ing. Christian Gurrath,  
Sales Manager  
Dr. Martin Sörensen,  
Geschäftsführer  
enviolet GmbH, Karlsruhe  
Fotos/Grafiken: © enviolet  
www.enviolet.com

Literatur:

- 1 Baudzus, T. (2013). Großer Legionellen-Ausbruch geschah 2010 in Ulm - Parallelen in Warstein befürchtet. Von DerWesten.de: <http://www.derwesten.de/staedte/warstein/groesster-legionellen-ausbruch-geschah-2010-in-ulm-parallelen-in-warstein-befuerchtet-id8341306.html> abgerufen am 18.11.2016
- 2 Mayer, C. (2013). Schuldfrage der Legionellen-Epidemie 2010 weiter ungeklärt. Von Südwest Presse: [http://www.swp.de/ulm/lokales/ulm\\_neu\\_ulm/Schuldfrage-der-Legionellen-Epidemie-2010-weiter-ungeklaert;art1158544,2096272](http://www.swp.de/ulm/lokales/ulm_neu_ulm/Schuldfrage-der-Legionellen-Epidemie-2010-weiter-ungeklaert;art1158544,2096272) abgerufen am 18.11.2016
- 3 von Galen, M. (2015). Gutachten zu Legionellen in Warstein - "Mit Menschenleben taktiert man nicht". Von wdr.de: <http://www1.wdr.de/nachrichten/warstein-legionellen-102.html> abgerufen am 07.06.2016
- 4 VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. (2015) Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen, VDI-RICHTLINIEN, VDI 2047 Blatt 2: Beuth Verlag GmbH
- 5 Sontheimer, H., Spindler, P., Rohmann, U., (1980). Wasserchemie für Ingenieure, S. 203-205: ZfGW-Verlag GmbH.
- 6 Carbone, J., Peuters, J., (2007). UV-Desinfektion von Kühltürmen, Fachzeitschrift Galvanotechnik (Sonderdruck aus Heft 7, 2007): Eugen G. Leuze Verlag KG
- 7 LEMKEN GmbH & Co. KG. (2015). Geschäftsbericht 2015. Von lemken.com: abgerufen am 03.12.2016
- 8 SNF Floerger (2015). Key Figures, SNF Company profile 2015. Von snf-group.com/en: <http://www.snf-group.com/en/about-us/key-figures> abgerufen am 03.12.2016