

# Biofilmüberwachung in Verdunstungskühlanlagen

**DIE GEFAHR IM KEIM ERSTICKEN** | Die lückenlose Überwachung und Dokumentation des mikrobiologischen Zustandes einer Verdunstungskühlanlage sowie die Verpflichtung zur Anzeige der Anlage und Meldung bei Überschreitung der Legionellen-Konzentration – das sind die Kernstücke der 42. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV). Durch eine Onlineüberwachung der Biofilmbildung wird der mikrobiologische Zustand kontinuierlich dokumentiert. So können Aufbau und tendenzielle Erhöhung des Biofilms der Anlage erkannt und geeignete Maßnahmen zur sofortigen Bekämpfung drohender Grenzwertüberschreitung rechtzeitig eingeleitet werden.

„**FÜNF TOTE**, 59 Schwerkranke: Wer ist schuld am Legionellen-Ausbruch Ende 2009 in Ulm?“, schreibt das Schwäbische Tagblatt in einem Artikel am 16. Juli 2013. Nicht nur zu dieser Frage, sondern auch zu den Todes- und Krankheitsfällen sollte es nicht mehr kommen. Das ist die Intention des Gesetzgebers mit der Verabschiedung der neuen 42. BImSchV, die am 19. August 2017 in Kraft getreten ist. Die Verordnung nimmt auch Brauereien als Betreiber von Verdunstungskühlanlagen in die Pflicht und stellt weitreichende Anforderungen für das ordnungsgemäße Betreiben von Kühltürmen.

Dadurch rücken die Verdunstungskühlanlagen, die bis vor kurzem fast von alleine im Hintergrund gelaufen sind, in den Mittelpunkt. Durch die zwingende Umsetzung der Verordnung ergibt sich ein Katalog von

sowohl dringlich als auch langfristig durchzuführenden Maßnahmen, „um sicherzustellen, dass (...) die Vermehrung von Mikroorganismen und (...) eine Freisetzung mikroorganismenhaltiger Aerosole in die Umgebungsluft weitgehend vermieden wird.“

Noch bevor die Verordnung in Kraft trat, haben die Tensid-Chemie GmbH, Muggensturm, und die Onvida GmbH, Gelsenkirchen, mit einer Brauerei ein gemeinsames Projekt mit dem Ziel initiiert, einen eigenen Maßnahmenkatalog zur Minimierung der mikrobiologischen Gefahr in der

am Standort betriebenen Verdunstungskühlanlage zu erarbeiten.

## ■ Projektskizzierung

Auch Nichtmikrobiologen wissen schon, dass die maßgebliche Vermehrung von Mikroorganismen, darunter auch von Legionellen, im Biofilm stattfindet. Wer den Biofilm in seiner Verdunstungskühlanlage im Griff hat, hat auch die Legionellen im Wasser im Griff. Aus diesem Grund setzt die Brauerei im Projekt auf eine kontinuierliche Biofilmüberwachung als eine der präventiven Maßnahmen für die mikrobiologische Kontrolle ihres Kühlwasserkreislaufs.

Das im Februar 2017 gestartete und noch laufende Projekt hat folgende Schwerpunkte:

- Überwachung des mikrobiologischen Status der Oberflächen im Kühlwasserkreislauf durch Online-Monitoring des Biofilms mit den Biofilmsensoren der Firma Onvida;
- Umstellung der Wasserbehandlung auf die Behandlungskemikalien der Firma Tensid-Chemie;
- Optimierung der Kühlwasserbehandlung anhand der gemessenen Biofilmentwicklung;
- Erstellung der in der 42. BImSchV vorgeschriebenen Gefährdungsbeurteilung

**Autoren:** Stefan Loch-Ahring, Tensid-Chemie GmbH, Muggensturm; Dr. Adriana Tamachkiarow, Onvida GmbH, Gelsenkirchen

**Abb. 1**  
Messsystem mit Biofilmsensor zur Online-Biofilmüberwachung





Abb. 2  
PVC-Adapter mit  
Messsonde in der Was-  
serrücklaufleitung

auf der Basis der Tensid-Risikobewer-  
tung für offene Kühlwassersysteme (TC-  
Aqualytik®);

- Erarbeitung von standortspezifischen  
Handlungsvorschriften (Regelwerk) für  
reguläre und akute Betriebszustände der  
Verdunstungskühlanlage.

**Biofilmmessung online**

Die Online-Biofilmmessung und die Wirk-  
samkeitsüberwachung der Wasserbe-  
handlung werden mit dem Biofilmsensor  
onvi-Control® realisiert. Die Messung fin-  
det online, in situ, kontinuierlich und oh-  
ne Probenahme statt (Abb. 1). Die robuste  
Messsonde wird dauerhaft, bündig mit der  
Oberfläche, auf der der Biofilm wächst, in-  
stalliert und denselben mikrobiologischen  
Bedingungen bzw. Reinigungen und Des-  
infektion wie die Oberflächen der Anlage  
ausgesetzt. Die Messmethode gewährleis-  
tet, dass nur der Biofilm auf der Oberfläche  
gemessen und der Einfluss der Wasserphase  
eliminiert wird. Das Messergebnis ist ein  
Summenwert, der die Menge an Biofilm auf  
der Oberfläche als eine Matrix aus chemi-  
schen, physikalischen und mikrobiologi-  
schen Eigenschaften des Biofilms quanti-  
fiziert.

Die Empfindlichkeit des Gerätes kann  
anlagenspezifisch angepasst werden – ein  
steriles System bedarf höherer Empfind-  
lichkeit als ein offenes Wassersystem. Hier  
ist es wichtig zu betonen, dass mit dem ein-  
gesetzten Biofilmsensor ein quantitativer  
Nachweis von Biofilm, aber keine Identifi-  
zierung von einzelnen Mikroorganismen  
vorgenommen werden kann.

**Auswahl der Messpunkte**

Die Auswahl der Messpunkte berücksich-  
tigt die Besonderheiten der Verdunstungs-  
kühlanlage. Zum optimalen Monitoring der

Biofilmbildung werden zwei der genannten  
Biofilmsensoren installiert. Der erste Mess-  
punkt – als „Zulauf“ bezeichnet – befindet  
sich in der Wasserrücklaufleitung des größ-  
ten Kühlturmes zum Kühlwasserbecken.  
Das Wasser ist hier bereits abgekühlt, hat ei-  
nen hohen Eintrag von biologischen, anor-  
ganischen und organischen Partikeln nach  
dem Kontakt mit der Außenluft und der  
Restgehalt eines oxidativ wirkenden Biozids  
ist nach der Zehrung im gesamten System  
gering. Insgesamt wird erwartet, dass an  
dieser Messstelle ein hohes Biofilmbildungs-  
potenzial gemessen wird (Abb. 2).

Der zweite Messpunkt – als „Auslauf“ be-  
zeichnet – befindet sich in einer Leitung, die  
das abgekühlte und im Becken behandelte  
Wasser dem Produktionsprozess zuleitet.  
Die Biozidkonzentration ist hier in der Re-  
gel am höchsten, da die Bioziddosierung  
im Becken stattfindet. Die Menge toter Bio-  
masse im Becken (das Nährmedium für den

Biofilm) schwankt stark, bedingt durch den  
heterogenen Rücklauf der Kühltürme und  
der Biozidwirkung. Infolgedessen ist die Ein-  
schätzung des Biofilmbildungspotenzials in  
diesem Messpunkt schwierig.

Die Messwerte der beiden Sensoren wer-  
den auf dem lokalen Display grafisch dar-  
gestellt und zur Überwachung an die brauerei-  
eigene BDE übermittelt.

**Projektablauf**

Im Projektablauf sind zwei Phasen vorgese-  
hen. Erste Phase:

- Installation der Messgeräte und Ermitt-  
lung des aktuellen Biofilmniveaus im  
Kühlwasserkreislauf;
- Übergang zu den Wasserbehandlungs-  
chemikalien von Tensid-Chemie und  
Beobachtung der Auswirkung auf dem  
Biofilm;
- Optimierung des Behandlungsregimes  
hinsichtlich Art, Konzentration und Do-  
sierungszeitpunkt der Chemikalien, um  
den Biofilm stabil und stets unter einer  
als ungefährlich ermittelten Grenze zu  
halten. Die Minimierung des Biozidein-  
satzes ist ein weiteres Ziel;
- Erstellung der in der 42. BImSchV vor-  
geschriebenen Gefährdungsbeurteilung  
der Anlage.

Zweite Phase:

- Erarbeitung des standortspezifischen  
Regelwerkes mit Handlungsvorschriften  
für einen routinemäßigen Betrieb der  
Anlage und für eventuell auftretende  
Ausnahmesituationen.

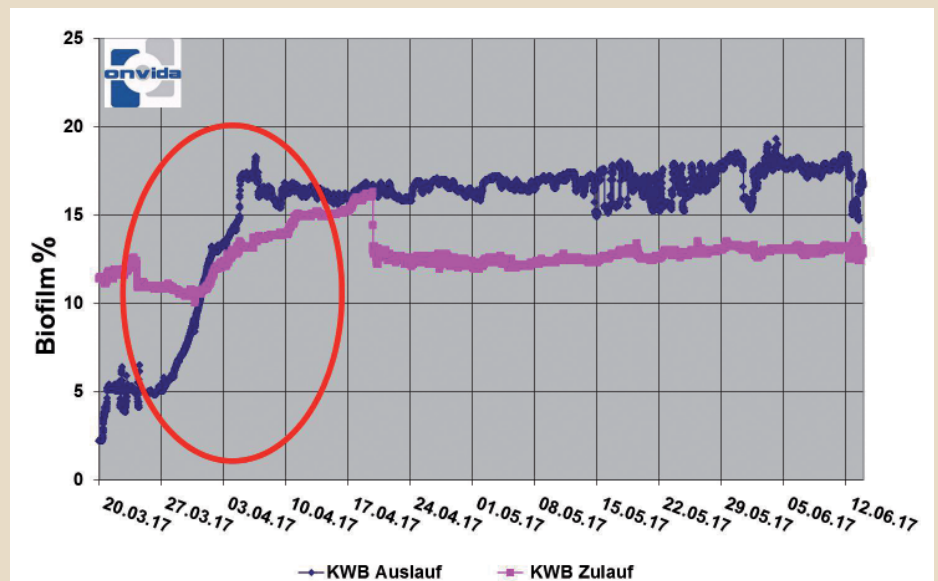


Abb. 3 Biofilmbildung im Verdunstungskondensator bedingt durch den Anstieg der Umgebungs-  
temperatur

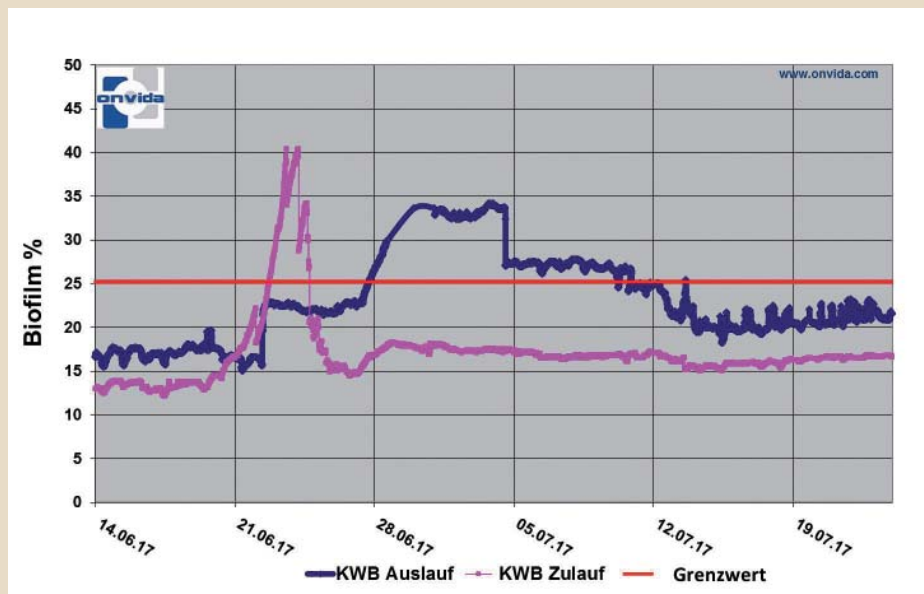


Abb. 4 Biofilmüberwachung in der Verdunstungskühlanlage mit Biofilmgrenzwert

Den Handlungsvorschriften wird eine umfassende Analyse aller (über alle Jahreszeiten) erfassten Messdaten, Wasserbehandlungsprotokolle und relevanten Betriebsdaten sowie Wetterdaten zugrunde gelegt.

Die Biofilmsensoren wurden am 27. Februar 2017 in Betrieb genommen. Anschließend sollte der aktuelle Biofilmzustand aufgenommen werden, während das Kühlwasser weiter mit einer täglichen Stoßdosierung mit Chlordioxid behandelt wurde. Fünf Wochen (bis zum 26. März 2017) nach der Installation befand sich der Biofilm an beiden Messstellen immer noch in der Anhaftungsphase – ein Zustand, bei dem die Mikroorganismen aus dem Wasser die

Oberflächen konditionieren und nur leicht besiedeln. Leichte tägliche Schwankungen von zwei bis fünf Prozent wurden beim Auslauf gemessen, allerdings ohne irreversible Zunahme von Biomasse. Nach einer leichten Wachstumsphase blieb der Biofilm am Messpunkt Zulauf auf etwa zehn bis 13 Prozent, während der Biofilm im Auslaufbereich nur fünf Prozent erreichte (Abb. 3).

Die internen und externen mikrobiologischen Wasserproben zeigten eine sehr niedrige Keimbelastung, spezifische Keime wie *Pseudomonas aeruginosa* und *Legionella* wurden nicht nachgewiesen. Anhand der niedrigen Keimbelastung und der niedrigen Außentemperaturen konnte die schwache Biofilmentwicklung erklärt werden – be-

kanntermaßen drosseln niedrige Wintertemperaturen das Biofilmwachstum in offenen Kühlwassersystemen. Die wärmeren Frühlingsmonate bringen auch den Biofilm in Bewegung.

Eine Akkumulation von Keimen im Biofilm wurde schlagartig am 27. März 2017 beim Auslauf und am 31. März 2017 beim Zulauf messbar, nach einem Anstieg der Lufttemperatur um ca. 10 °C für vier Tage.

Der Biofilm im Kühlwasserbecken (Auslauf) wuchs von fünf auf 18 Prozent innerhalb von Tagen (Abb. 3). Der Biofilm auf den Oberflächen des Verdunstungskühlers (Zulauf) folgte mit einem Anstieg von etwa sechs Prozent. Die routinemäßigen mikrobiologischen Wasserproben zeigten während dieser Biofilmentwicklung keine Auffälligkeiten. Diese Situation zeigt sehr deutlich die Biofilmproblematik, vor der jeder Betreiber von Kühlanlagen steht. Der Biofilm gerät aus einem meist nicht offensichtlichen oder erkennbaren Grund aus dem Gleichgewicht der etablierten Plateauphase und entwickelt sich in kürzester Zeit. Die Keimzahl im Biofilm steigt exponentiell, die mikrobiologischen Wasserproben erfassen diesen Anstieg nicht, weil während einer exponentiellen Wachstumsphase der Biofilm kaum Keime ins Wasser abgibt. Die schon latent vorhandene Kontamination wird durch mikrobiologische Wasserproben nicht erkannt.

Mithilfe der Online-Biofilmüberwachung wurde diese Situation in der Projektbrauerei rechtzeitig erkannt und durch die am 6. April 2017 erfolgte Umstellung der Behandlungskemikalien angehalten. Da-



bei wurde das Kühlwasser mit einem speziellen Biozidprodukt, mit Weicogard®-T 910, einem oxidativ wirkenden Biozid, und dem Konditionierungsmittel Weicogard®-C 103 behandelt.

Mit der neuen Kühlwasserbehandlung stabilisierte sich der Biofilm im Kühlwasserbecken schon nach zwei Tagen auf einem Niveau von 16 bis 18 Prozent und er stieg auch nicht mehr während der stets steigenden Außentemperaturen an. Der Biofilm im Verdunstungskühler stabilisierte sich etwa eine Woche später auf einem niedrigeren Niveau von ca. zwölf bis 13 Prozent.

Die intern entnommenen mikrobiologischen Wasserproben zeigten während der gesamten Zeit KBE/ml unter den Grenzwerten. Die Gefahr einer mikrobiologischen Kontamination des Kühlwassers mit Ausscheidung von keimbelasteten Aerosolen wurde durch die rechtzeitig erkannte Biofilmentwicklung und die Umstellung des Biozidproduktes und des Konditionierungsmittels eliminiert.

Die nachträgliche Analyse der Biofilmkurven half, ein besseres Verständnis für die ablaufenden Prozesse und die anlagenspezifische Dynamik der Biofilmbildung zu entwickeln. Es war überraschend zu sehen, dass der Biofilm im Beckenbereich schneller und deutlich heftiger auf die Temperaturerhöhung reagierte. Der Biofilm auf den Oberflächen des Verdunstungskühlers wuchs langsamer, reagierte aber auch deutlich später auf die Biozidbehandlung. Mit einer einfachen mathematischen Analyse der aufgenommenen Biofilmkurven – solche Methoden stehen im Excel zur Verfügung – ließen sich auch quantitative Kennzahlen für die Biofilmwachstumsrate ermitteln. Sie wurde im Kühlwasserbecken vom 27. bis 31. März 2017 auf 0,8 Prozent/Stunde kalkuliert. Prinzipiell gab dieser Wert Auskunft darüber, wie weit der Biofilm sich innerhalb einer bestimmten Zeit entwickeln würde, wenn diese Biofilmbildungsrate anhielte. Anhand dieser Information war man in der Lage, eine schnelle Änderung der Wasserbehandlung durchzuführen, um

kritischen Situationen vorzubeugen, die durch das Zeitraster der vorgeschriebenen Kontrolluntersuchungen für die Entnahme von mikrobiologischen Wasserproben nicht erkannt werden würden.

Die Gründe für einen Anstieg des Biofilmwachstums sind meistens nicht auf dem ersten Blick erkennbar, wie z. B. in der folgenden Situation. Am 19. Juni 2017 wurde zum ersten Mal eine tendenzielle Biofilmzunahme beim Zulauf – auf den Oberflächen des Verdunstungskühlers – beobachtet, die am 20. Juni 2017 auch beim Auslauf – Kühlwasserbecken – beobachtet wurde (Abb. 4).

In den folgenden Tagen stieg der Biofilmwert bis auf 40 Prozent beim Zulauf bzw. 36 Prozent beim Auslauf. Das ungewöhnlich starke Biofilmwachstum wurde mithilfe der Online-Biofilmüberwachung rechtzeitig erkannt und durch mehrere aufeinanderfolgende Biozidstöße mit anschließender Reinigung der Kühlwasserbecken und dem Austausch des Kühlwassers gebremst. Die parallel genommenen Proben zeigten zwar etwas erhöhte KBE/ml, aber keine Grenzwertüberschreitungen für allgemeine und spezifische Keime. Folgendes ist in diesem Fall passiert: Während eines routinemäßigen Updates der Steuerungssoftware wurde die Dosierungspumpe für die Bioziddosage eines Tagesstoßes ausgeschaltet. Dies allein wäre vertretbar, nicht aber, wenn gleichzeitig ein Starkregen bei deutlich angestiegener Lufttemperatur drei bis vier Tage lang anhält und eine große Fracht an Biomasse und Verschmutzungen über die Oberflächen des Verdunstungskühlers ins Kühlwasserbecken einspült. Ohne Biofilmmonitoring hätte diese Situation im schlimmsten Fall zu einer Legionellen-Kontamination im Kühlwasser führen können.

Im Laufe der ersten drei Projektmonate wurde anhand der Laborwerte und der Biofilmmesskurven ein Grenzwert von 20 bis 25 Prozent Biofilm für diese Verdunstungskühlanlage definiert. Wenn der Biofilm diesen Grenzwert erreicht und dauerhaft

überschreitet, werden zusätzliche, angepasste Wasserbehandlungsmaßnahmen im Regelwerk vorgeschrieben, auch wenn die Laborwerte unauffällig bleiben.

Mit der Durchführung der geplanten Gefährdungsbeurteilung im Juni 2017 wurde die erste Projektphase weitgehend abgeschlossen. Die zweite Projektphase, die weitere Optimierung der Behandlungsregime und die Erarbeitung des Regelwerkes mit Handlungsvorschriften, wird derzeit bearbeitet.

## ■ Zusammenfassung

Im Rahmen der Umstellung der Kühlwasserbehandlung auf Produkte von Tensid-Chemie installierte eine Brauerei an ihrem Standort zwei Online-Biofilmsensoren onvi-Control im Kühlwasserkreislauf. Die Biofilmwachstumskurve wurde in der betriebs-eigenen BDE aufgezeichnet und online beobachtet. Anhand der Messdaten und der Laborergebnisse von Kühlwasserproben wurde ein Grenzwert für den Biofilm definiert, bei dessen Überschreitung sofortige Maßnahmen zur Keimreduktion eingeleitet werden. In einem weiteren Schritt wird die Kühlwasserbehandlung hinsichtlich Art, Konzentration und Dosierungszeitpunkt der Chemikalien optimiert, um den Biofilm stabil und stets unter dem Grenzwert zu halten. Der erstellte Katalog mit Handlungsvorschriften basiert auf den Biofilm-, Betriebs- und Wetterdaten und ermöglicht eine schnelle Reaktion auf eventuell auftretende mikrobiologische Ausnahmesituationen. Mit der Biofilmerfassung online und den darauf basierenden, situationsangepassten Handlungsvorschriften ist die Brauerei auf die neuen, strengen Regelungen des Gesetzgebers für Verdunstungskühlanlagen vorbereitet. Sie kann jede tatsächlich entstehende Tendenz zur Vermehrung von Mikroorganismen im Kühlkreislauf auf diese Weise frühestmöglich erkennen und eliminieren. Damit ist die Gefahr der Ausscheidung von keimbelasteten Aerosolen in die Umgebungsluft weitgehend minimiert. ■