

**Untersuchung
zur mikrobiologischen Belastung
von Verdunstungskühlanlagen
in Bayern**

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Eggenreuther Weg 43
91058 Erlangen

Telefon: 09131 764-0

Telefax: 09131 764-102

Internet: www.lgl.bayern.de

E-Mail: poststelle@lgl.bayern.de

Fotos: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

Druck: Print Com oHG, Erlangen

Stand: 30. November 2007

© Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, alle Rechte vorbehalten

Autorinnen und Autoren des Berichts:

Ludwig Fembacher

Dr. Verena Lehner-Reindl

Dr. Jürgen Billing

Dr. Peter Schindler

Prof. Dr. Christiane Höller

Bei fachlichen Fragen wenden Sie sich bitte an:

Ludwig Fembacher

Telefon: 089 31560-152

E-Mail: ludwig.fembacher@lgl.bayern.de

ISBN 978-3-939652-23-6 Print Ausgabe

ISBN 978-3-939652-24-3 Online Ausgabe

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt.

Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden.

Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung.

Unter Tel. 0180 1 201010 (3,9 Cent pro Minute aus dem deutschen Festnetz; abweichende Preise aus Mobilfunknetzen) oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Vorwort

Das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) hat als zentrale Landesstelle für Bayern im Jahr 2004 eine Untersuchung der mikrobiologischen Belastung von Verdunstungsrückkühlanlagen durchgeführt. Die Relevanz dieser Wasser führenden Systeme als potentielle Übertragungsquelle für Legionellen ist bekannt, ebenso die dadurch möglichen lokal/regional begrenzten Legionellose-Ausbrüche. Solche werden auch wiederholt in benachbarten Ländern registriert. In Deutschland waren in der Vergangenheit zwar keine derart charakteristischen Geschehnisse feststellbar, aktuelle Erkenntnisse zum hygienischen Zustand dieser Anlagen lagen jedoch nicht vor. Deshalb initiierte das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz eine vorbeugende Untersuchung dieser Anlagen, um Risiken und möglichen Handlungsbedarf aus infektionspräventiver Sicht erkennen zu können, und beauftragte das LGL mit der Durchführung.

Wir bedanken uns bei allen Beteiligten für die Mitwirkung in dieser Studie, insbesondere bei:

den teilnehmenden Gesundheitsämtern für ihre mühevollen Arbeit beim Recherchieren nach Kühlturbetreibern, für die Probenahme und das Bearbeiten der Erhebungsbögen sowie

den Betreibern der Verdunstungskühlanlagen, die die Probennahmen ermöglicht und das Ausfüllen der Erhebungsbögen unterstützt haben.



Prof. Dr. Volker Hingst

Präsident des Bayerischen Landesamts

für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Summary	5
1. Einleitung	7
1.1 Ausgangslage	7
1.2 Grundlagen der Verdunstungsrückkühlung.....	8
1.3 Rechtliche und normative Voraussetzungen in Deutschland	10
1.4 Empfehlungen zum hygienisch sicheren Betrieb von Verdunstungskühlanlagen	10
2. Material und Methoden	11
2.1 Datenerhebung	11
2.2 Statistik.....	12
3. Ergebnisse und Diskussion	15
3.1 Darstellende Auswertung der Daten	15
3.1.1 Branchen der teilnehmenden Einrichtungen	16
3.1.2 Bauarten und Baujahre der Kühltürme.....	17
3.1.3 Betriebscharakteristik.....	18
3.1.4 Montagedaten	19
3.1.5 Koloniezahlkonzentrationen	20
3.1.6 Maßnahmen zur Kontrolle der Wasserqualität.....	22
3.2 Auswertung von Zusammenhängen und Beziehungen in den Daten	24
3.2.1 Inkubationstemperaturen der aeroben Koloniezahlen	24
3.2.2 Probenahmetemperatur und Koloniezahlanalysen	25
3.2.3 Aerobe Koloniezahlen, <i>Legionella</i> spp. und <i>P. aeruginosa</i>	26
3.2.4 <i>Legionella</i> spp. und <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	28
3.2.5 Einflüsse von Vorbeuge- und Hygienemaßnahmen auf mikrobiologische Parameter	29
4. Schlussfolgerungen.....	31
Anhang	32
Glossar	32
Literaturverzeichnis.....	34

Zusammenfassung

Schlüsselwörter: Kühlturm, Verdunstungsrückkühlwerk, Kühlwasserqualität, Legionellen, *Pseudomonas aeruginosa*

Legionellen sind gram-negative, obligat-aerobe Keime. Ihr natürlicher Lebensraum sind Gewässer, man findet sie vor allem in Oberflächengewässern, wie Seen, Flüssen und Teichen, aber auch im Schlamm und feuchten Erdboden. Neben ihrem natürlichen Reservoir kommen Legionellen auch in Wasserleitungen und anderen wasserführenden Systemen vor. Legionellen wurden bei Wassertemperaturen zwischen 5 °C und 65 °C nachgewiesen, das Temperaturoptimum für ihre Vermehrung liegt zwischen 35 °C und 45 °C.

Erkrankungen durch Legionellen werden unter dem Begriff „Legionellose“ zusammengefasst. Legionellosen sind in Deutschland meldepflichtig gemäß Infektionsschutzgesetz. Man unterscheidet zwei Hauptformen, die eigentliche „Legionärskrankheit“ und das „Pontiac-Fieber“. Der überwiegende Anteil der Legionellosen in Deutschland wird sporadisch und ambulant erworben, aktuell stehen etwa $\frac{1}{4}$ aller gemeldeten Legionellosen in Zusammenhang mit einem Krankenhausaufenthalt. Es wird eine hohe Dunkelziffer nicht gemeldeter Infektionen vermutet.

Bei der Legionärskrankheit handelt es sich um eine Lungenentzündung, gekennzeichnet durch einen schweren Krankheitsverlauf mit zahlreichen Begleitsymptomen und einer Sterblichkeitsrate von 10-20%. Im Gegensatz dazu verläuft das Pontiac-Fieber eher milde und zeigt die Symptomatik eines grippalen Infektes ohne Lungenbeteiligung, welcher rasch und ohne Folgen ausheilt.

Die Übertragung der Legionellen erfolgt durch die Inhalation oder Mikroaspiration erregertiger, lungengängiger Aerosole, eine direkte Übertragung von Mensch zu Mensch ist nicht bekannt. Daher stellen gerade Warm- und Kaltwassersysteme (z.B. Duschen, Whirlpools), Luftbefeuchter, Klimaanlageanlagen und auch Kühltürme eine Quelle für Legionellen-Infektionen dar. Das Risiko eine Infektion durch Legionellen zu erwerben, die aus einem Kühlturm austreten, setzt sich aus der Verkettung zahlreicher Risikofaktoren zusammen. Einer davon ist das Vorhandensein von Legionellen im Kühlwasser des Kühlturmes, was mikrobiologisch untersucht werden kann. Weitere Faktoren sind zum Beispiel die Intensität der Entstehung, des Austritts und der Verbreitung der Aerosole, deren Stabilität in der Atmosphäre und meteorologische Gegebenheiten. Schließlich ist es Voraussetzung für eine Infektion, dass ein Mensch mit der individuellen Disposition, eine Legionelleninfektion zu entwickeln, das infektiöse Aerosol einatmet.

Verdunstungskühlanlagen (Synonyme: Kühltürme, Verdunstungsrückkühlwerke) sind technische Apparate, in denen einem Fluid durch Verdunstung von Wasser Wärme entzogen und der Umwelt zugeführt wird. Wasser, das im Prozessfeld oder in einer Kälte-/ Klimaanlage zu Kühlzwecken dient, wird im Gegenstrom zu angesaugter oder eingeblassener Luft versprüht. Die Verdunstungsenergie wird der Umgebung und somit auch dem Kühlwasser entzogen, was sich als Absenkung der Kühlwassertemperatur äußert.

Trotz des Einbaus spezieller Tropfenabscheider kann nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass Aerosole mit in die Umgebungsluft gelangen. Aufgrund idealer Bedingungen für Mikroorganismen im Sprühwasserkreislauf (Temperaturverhältnisse, Nährstoffangebot, Bewuchsflächen) können die Wassertröpfchen auch Bakterien wie z.B. Legionellen enthalten, die im Falle des Einatmens Ursache für Infektionskrankheiten sein können. Die mikrobiologische Kühlwasserqualität ist daher entscheidend für den sicheren Betrieb derartiger Anlagen.

Ziel der im Jahr 2004 mit der Unterstützung zahlreicher Gesundheitsämter durchgeführten Erhebung war, die Hygienesituation von Verdunstungskühlanlagen in Bayern zu ermitteln.

Zwischen Juli und November 2004 wurden 238 Proben aus 199 Einrichtungen analysiert. Die Mehrzahl der untersuchten Kühltürme wies, gemessen anhand der mikrobiologischen Qualität der Kühlwasserproben, einen annehmbaren hygienischen Zustand auf (ca. 75% der Proben $\leq 10^4$ KBE/ml aerobe Keimzahlen; 87% der Proben negativer Legionellen-Befund; 95% der Proben $\leq 10^3$ KBE/100ml Legionellen). Ein funktionaler Zusammenhang von Legionellen-Konzentration und korrespondierender aerober Koloniezahl in den Proben war nicht erkennbar; die Tendenz einer geringeren mittleren aeroben Koloniezahl in Proben mit Legionellen-Nachweis gegenüber negativen Proben war nicht signifikant.

Einen jeweils schwachen Trend zu höheren Koloniezahlen bei zunehmender Probenahmetemperatur zeigten die Daten der Legionellen- und der Pseudomonas-Analysen. Die niedrige mittlere Proben temperatur von 22 ± 6 °C ist möglicherweise der Hauptgrund für die geringe Legionellen-Prävalenz in dieser Studie.

Trotz der erfreulich geringen Anzahl positiver Legionellen-Proben, sollte wegen der bekanntermaßen diskontinuierlichen Keimkonzentration von Legionellen in Kühlwasserproben besonderes Augenmerk schon bei der Planung auf konstruktive Faktoren als auch auf betriebliche Faktoren gelegt werden. Regelmäßige Legionellen-Analysen sind sinnvoll, um dauerhaft ungünstige Betriebsbedingungen aufzudecken. Eine Forderung nach Legionellen-freien Kühltürmen gilt allerdings als weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll und auch bezüglich der Senkung des tatsächlichen Infektionsrisikos aufgrund der komplexen Zusammenhänge als nicht evident.

Über einen ebenfalls von den Gesundheitsämtern bearbeiteten Fragebogen wurden Informationen zu den beprobten Verdunstungskühlanlagen erhoben. Besonderes Interesse galt dabei den betrieblichen Vorbeuge- und Hygienemaßnahmen wie Wartung, Reinigung, Kontrolle der Kühlwasserqualität und Durchführung mikrobiologischer Untersuchungen. Zwei Effekte waren erkennbar: Die Anwendung von Korrosionsschutzmittel führte häufiger zu höheren Koloniezahlen. Dies könnte an dem durch Korrosionsschutzmittelzugabe erhöhten Nährstoffangebot für die Mikroorganismen gelegen haben. Bei kontinuierlicher Biozidanwendung wurden seltener hohe Koloniezahlwerte nachgewiesen als ohne oder mit stoßweißer Biozidanwendung. Es ist also vor allem das „wie“ von Bedeutung, was wirkungsvolle Vorbeugemaßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Bioaerosole aus Verdunstungskühlanlagen betrifft.

Summary

Key words: cooling tower, evaporative cooling system, cooling water quality, legionella, *Pseudomonas aeruginosa*

Legionella are gram-negative, obligatory aerobic bacteria. They are common in aquatic environments particularly found in surface waters like lakes, rivers or ponds, but also in sludge and moist soil. In addition to their natural reservoir legionella occur also in water installation systems and other aquiferous systems. Their optimum growth temperature is between 35 °C and 45 °C although they have been found in water at temperatures between 5 °C and 65 °C.

Illnesses through legionella are summarized under the term "legionellosis". There is an obligation to report them in the German Protection against Infection Act. The two most common types of legionellosis are the Legionnaires' disease and the Pontiac fever. The predominant part of the legionellosis cases in Germany are acquired sporadically and in the out-patient setting. Currently about a quarter of all legionellosis cases reported are associated with hospitalisation. It is supposed that a high number of cases are unreported.

Legionnaires' disease is an acute infection of the lower respiratory tract. This pneumonia is characteristically a severe disease with numerous accompanying symptoms and a mortality rate of 10-20%. By contrast Pontiac fever is milder with a rapid recovery and symptoms like those of a common cold without pulmonary involvement.

Transmission of legionella is caused by inhalation or microaspiration of aerosol particles containing the organism, a direct transfer from human to human is not known. Therefore hot and cold water systems (e.g. showers, whirlpools), humidifiers, air-conditioning equipment and also cooling towers represent a source for legionella infection. The risk of an infection by legionella, which are spread by a cooling tower, consists of the combination of numerous risk circumstances. One which can be microbiologically examined is the presence of legionella in the cooling water of the cooling tower. Further risk factors for example are the intensity of formation, the emission and the spreading of aerosols, their stability in the atmosphere and meteorological conditions. To acquire a legionella infection it is finally necessary that predisposed humans inhale the infective aerosol.

Evaporative cooling systems (synonym: cooling towers) are technical apparatus in which heat is rejected from a fluid by evaporation of water and transferred to the atmospheric environment. Water used for cooling in a process plant or a chiller/ air-conditioning system is sprayed into the return current of aspirated or blown in air. The evaporation enthalpy is withdrawn from the environment and thus also the cooling water, which results in a decrease of the cooling water temperature.

The release of aerosol particles into the ambient air cannot be excluded completely in spite of the installation of specific drift eliminators. Due to ideal conditions for micro-organisms in the spraying water cycle (temperature, nutrient concentration, growth surfaces), the water droplets also can contain bacteria like legionella. In the case of inhalation they can be the

reason for infectious diseases. Therefore the microbiological quality of cooling water is essential for the safe operation of such plants.

The aim of this study, which was carried out in 2004 with the help of numerous public health offices, was to investigate the hygienic situation of evaporative cooling systems in Bavaria.

Between July and November 2004 238 samples from 199 facilities were analyzed. According to the microbiological quality of the samples of cooling water the majority of the examined cooling towers showed an acceptable hygienic condition (approx. 75% of the samples $\leq 10^4$ cfu/ml colonies heterotrophic plate count (HPC); 87% of the samples no legionella detectable, 95% of the samples $\leq 10^3$ cfu/100ml legionella). A correlation of the legionella concentration and corresponding HPC could not be detected. The tendency of smaller mean HPC in samples positive for legionella in contrast to legionella-negative samples was not significant.

The samples positive for legionella or pseudomonas showed with increasing cooling water temperature a slight tendency towards higher bacterial concentrations. The low mean sampling temperature of 22 ± 6 °C is possibly the reason for the small legionella prevalence in this study.

Despite the low amount of samples positive for legionella, special attention should be paid to constructive factors when planning cooling towers as also to operational factors, because legionella typically occur discontinuously in cooling water samples. Regular legionella analyses are advisable in order to uncover constant unfavourable operating conditions. A demand for legionella free cooling towers, however, is considered as neither economically nor ecologically reasonable. Above that due to the complex mechanisms there exists no evidence that legionella-free cooling towers reduce the actual infection risk.

Information about the tested cooling towers was collected via a questionnaire by the public health authorities. Special focus was laid on the operational preventive and hygiene measures such as maintenance, cleaning, control of the cooling water quality and performance of microbiological investigations. Two effects could be observed: The utilization of corrosion inhibitors led more frequently to higher colony counts. This might have been due to an increase of the nutrient concentration for the micro-organisms through the addition of a corrosion inhibitor. When biocides were applied continuously, high HPC were detected more seldom than when biocides were applied discontinuously or not at all. Therefore the "how" is particularly important to ensure effective preventive measures to protect against dangers through bio-aerosols originating from cooling towers.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Ende 2003, Anfang 2004 kam es in der nordfranzösischen Region Pas-de-Calais zu einer auffälligen Häufung von durch Legionellen verursachten Pneumonien (**Abbildung 1.1**). Insgesamt wurden zwischen dem 5.11.2003 und 22.01.2004 86 durch *Legionella pneumophila* Serotyp 1 verursachte Fälle von Legionellose beobachtet. Die Patienten hatten sich vor dem Auftreten der ersten Symptome, zumindest im Zeitraum von 10 Tagen davor, in der Region um Lens, innerhalb eines 12 km Radius um die mutmaßliche Quelle der Infektionen aufgehalten. Siebzehn (20%) Patienten verstarben. Der Altersmedian war 75, die Spannweite reichte von 32 bis 92 Jahren. [1]

Als Auslöser der Erkrankungen wurde die Übertragung von Legionellen durch Aerosole aus dem Kühlturm einer benachbarten Raffinerie (Fa. Noroxo in der Stadt Harnes) vermutet. Untersuchungen von Patientenmaterial und dem hochkontaminierten Kühlwasser (identischer Legionellen-Serotyp) sowie epidemiologische Befragungen bestätigten diesen Verdacht. Als Beispiel für die sehr gute Verbreitungsmöglichkeit von Legionellen über die Luft durch Verdriftung und Schwadenausbreitung kann hierbei die Tatsache angesehen werden, dass noch in 200 m Entfernung zu einem kontaminierten, injektionsbelüfteten Abwasserteich Legionellen in einer Konzentration von 330 koloniebildenden Einheiten je Kubikmeter (KBE/m³) gemessen wurden. Nach Abstellen der Injektionsbelüftungsturbinen wurden keine Legionellen mehr nachgewiesen. Es wurde vermutet, dass das Kühlsystem der Industrieanlage ausgehend von diesem Abwasserteich durch lokale Aerosolverdriftung kontaminiert wurde.

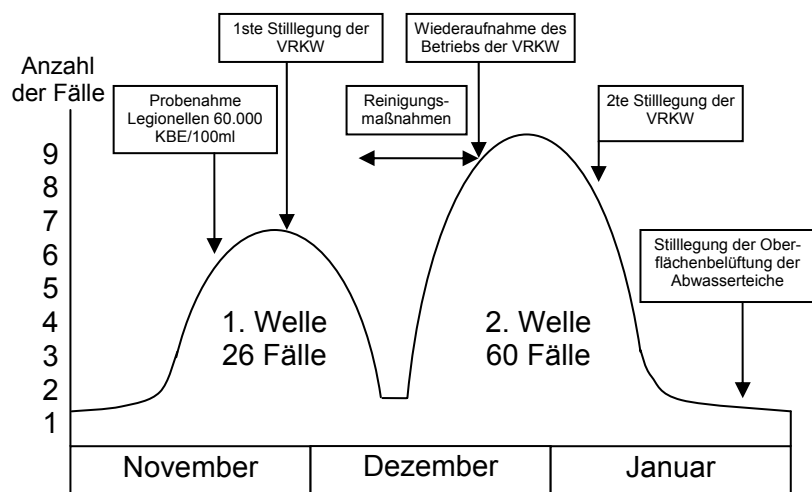


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung des Ausbruchsgeschehens 2003/2004 in der Region Pas-de-Calais in Frankreich [1]

Das Kühlsystem der betroffenen Anlage war mit einem offenen Verdunstungsrückkühlwerk ausgestattet. Gemeinsames Merkmal solcher Anlagen ist der große Wasserkreislauf, der hygienisch schwer kontrollierbar ist. In der Fa. Noroxo zirkulierten beispielsweise 1.200 m³ in Rohrleitungen von mehreren Kilometern Länge.

Der zeitliche Verlauf der Fallzahlen zeigte zwei Ausbruchswellen, was auf eine interessante Weise begründet wurde (**Abbildung 1.1**): [1]

- Ende Oktober wurde aufgrund einer durch Eigenuntersuchung festgestellten hohen Legionellen-Verkeimung (70.000 KBE/100ml) eine Online-Desinfektion (d.h. Biozidzugabe im laufenden Betrieb) durchgeführt. Eine hohe, erst Ende November festgestellte, Rekontamination der Kühlkreisläufe (60.000 KBE/100ml) war vermutlich Ursache der ersten Aus-

bruchswelle. Die Anlage wurde vorübergehend stillgelegt, systemische Reinigung und Desinfektion wurden angeordnet.

- Die zweite Ausbruchswelle stand im Zusammenhang mit der Durchführung der Hochdruckreinigung des Systems und der Wiederaufnahme des Betriebs. Durch die Hochdruckreinigung und den Betrieb der Ventilatoren wurden kontaminierte Biofilmpartikel und Aerosole in der Umgebung verteilt.

Interessant daran ist, dass offensichtlich durch Fehler bei der Reinigung eine zweite, heftigere Ausbruchswelle als die erste, ausgelöst wurde. Die Rekontamination nach der Online-Desinfektion kann dadurch begründet werden, dass durch die durchgeführten Maßnahmen keine ausreichende Keimreduktion in Biofilmen, Toträumen und Stagnationsleitungen erzielt wurde. Außerdem kam es zu einem erneuten massiven Keimeintrag aus den Abwasserteichen.

Häufigster Auslöser weiterer in der Literatur dokumentierter Legionellen-Epidemien waren meist Legionellen-kontaminierte Aerosole, z.B. aus Klimaanlage und Whirlpools. Zweck der im Jahr 2004 durchgeführten Studie war, die Beurteilung der hygienischen Situation von Verdunstungsrückkühlanlagen (VRKW) in Bayern zu ermöglichen.

1.2 Grundlagen der Verdunstungsrückkühlung

Verdunstungskühlanlagen (Synonyme: Kühltürme, Verdunstungsrückkühlwerke) sind Anlagen in denen einer Flüssigkeit durch Verdunstung von Wasser Wärme entzogen und der Umgebungsluft zugeführt wird. Sie dienen der effizienten Abgabe überschüssiger, nicht verwertbarer Wärme an die Umwelt. Die **Abbildung 1.2** zeigt eine Schemazeichnung eines typischen Industriekühlturms. Wasser, das im Prozessfeld oder in einer Kälte-/ Klimaanlage zu Kühlzwecken dient, wird im Gegenstrom zu angesaugter oder eingeblasener Luft versprüht und für eine große Verdunstungsfläche über Füllkörper geleitet. Die Verdunstungsenergie - Wassermoleküle müssen die Phasengrenzfläche flüssig/gasförmig überwinden - wird der Umgebung und somit auch dem Kühlwasser entzogen. Das äußert sich in einer Absenkung der Kühlwassertemperatur. Durch die Verdunstung von einem Liter Wasser (bei 30 °C) könnten 6 Liter Wasser von 100 °C auf 10 °C abgekühlt werden.

Da der Tröpfchenauswurf auch nicht durch technische Maßnahmen, wie durch den Einbau spezieller Tropfenabscheider, ausgeschlossen werden kann und diese Tröpfchen all jene auch im Kühlwasser gelösten oder suspendierten Stoffe und damit auch Bakterien enthalten, ist die mikrobiologische Kühlwasserqualität für ein Infektionsrisiko in der Umgebung eines VRKW entscheidend. Regelmäßige Reinigungs- und Wartungsmaßnahmen sowie abgestimmte Vorbeugemaßnahmen – Speisewasseraufbereitung, Härtestabilisierung, Korrosi-

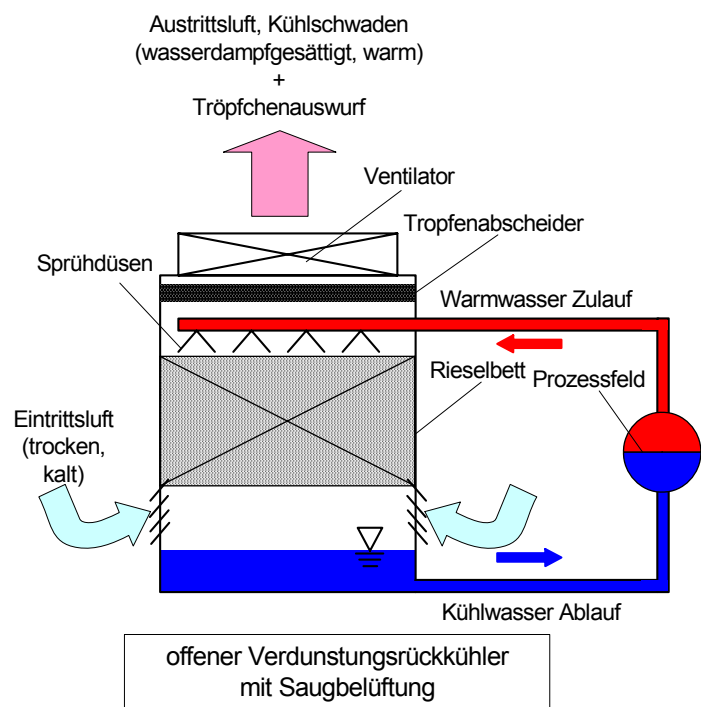


Abbildung 1.2: Offenes Verdunstungsrückkühlwerk

onsschutz und Biozidanwendung – zur Kontrolle der Kühlwasserqualität sind gleichermaßen Voraussetzung für sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der Verdunstungskühlanlagen.

Typisches Verdunstungsrückkühlwerk für Industrie und Klimatechnik: Verdunstung 1% und Sprühverlust durch Tröpfchenauswurf 0,001-0,2% vom Wasserdurchsatz (typischer Wasserdurchsatz 100 bis 1.000 m³/h).

Häufig wird im Zusammenhang mit Verdunstungsrückkühlanlagen von „offenen“ und „geschlossenen“ Rückkühlwerken gesprochen. Diese Klassifikation bezieht sich auf den Kälte-trägerkreislauf. Der Kälte-träger in einem offenen Verdunstungsrückkühlwerk ist zugleich die zur Verdunstung versprühte Flüssigkeit, in der Regel Wasser (**Abbildung 1.2**). Charakteristisch dafür sind hohe Kühlwasservolumina, die in langen Rohrleitungen außerhalb des Apparates zirkulieren. In einem geschlossenen Rückkühlwerk strömt der Kälte-träger in einem geschlossenen Kreislauf und tritt nicht mit der Umgebung in Kontakt. Wärmeaufnahme und anschließende Rückkühlung des Kälte-trägers, häufig stabilisiertes Wasser, geschieht über Wärmetauscher z.B. Rohrschlangen, Lamellen (vgl. Autokühler, Kühlschränke). Trocken-rückkühlwerke haben generell einen geschlossenen Kälte-trägerkreislauf, der am Lamellen-kühler Wärme an die Umgebungsluft abgibt. Geschlossene Verdunstungsrückkühlwerke haben darüber hinaus einen apparateinternen Kühlwasserkreislauf/ Sprühkreislauf. Es wird Wasser zur Verdunstung auf dem Wärmetauscher versprüht. Das nicht verdunstete Wasser wird in einer Sammelwanne aufgefangen und mit der Sprühwasserpumpe erneut versprüht. Daher können sowohl offene als auch geschlossene Verdunstungsrückkühlwerke die Grundvoraussetzungen einer möglichen Gefährdungsentstehung erfüllen:

- ✓ Mikrobiologische Kontamination des Wassers (Mikroorganismeneintrag und -vermehrung)
- ✓ Zerstäubung bzw. Aerosolbildung, Tröpfchenauswurf
- ✓ Kontakt zur Umwelt, in die Umgebungsluft und mögliche Verdriftung der Emissionen

Entscheidend für den sicheren Betrieb jedes Verdunstungsrückkühlwerkes, unabhängig ob „geschlossen“ oder „offen“, ist daher die mikrobiologische Kühlwasserqualität. Unbestrittener Vorteil der „geschlossenen“ Systeme ist allerdings die bessere Kontrollierbarkeit des Kühlwassers durch geringeres Kühlwasservolumen und kürzere, kaum verzweigte Rohrleitungen für den Kühlwasserstrom.

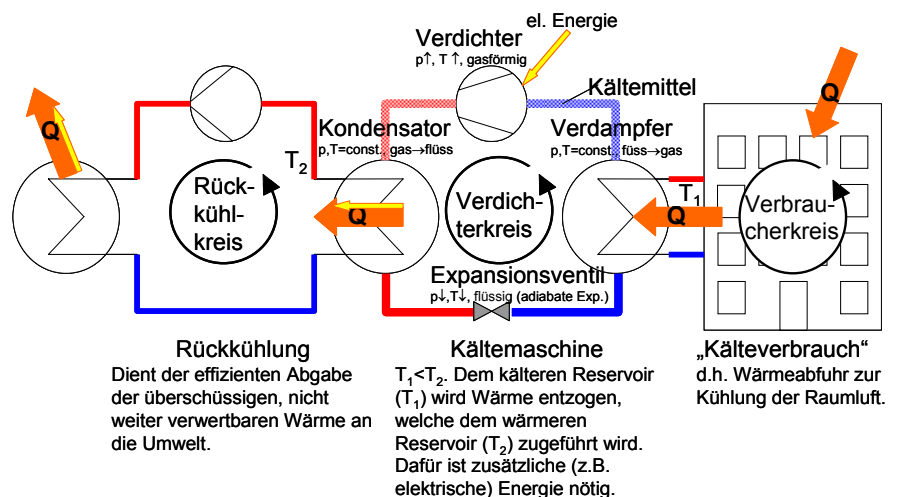


Abbildung 1.3: Wärmeströme (Q) in einer typischen Klimaanlage

Typische Anwendung eines Verdunstungsrückkühlwerkes ist die Abfuhr der Kondensationswärme einer Kältemaschine als Komponente einer Klimaanlage an die Umwelt (**Abbildung 1.3**).

1.3 Rechtliche und normative Voraussetzungen in Deutschland

Kühltürme sind in Deutschland gemäß Immissionsschutzgesetz (BImSchG) weder melde- noch genehmigungspflichtig. Kühltürme mit einem Kühlwasserdurchsatz von 10.000 Kubikmetern oder mehr je Stunde waren früher genehmigungsbedürftig im Sinne des BImSchG. Seit 3. August 2001 ist diese im Anhang der Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) 4 (Spalte 1 Ziffer 1.7) verankerte Regelung aufgehoben [2].

Die Technische Regel VDI 6022 [3] führt Anforderungen an Planung, Herstellung, Errichtung, Betrieb und Instandhaltung von Kühltürmen auf. Bezüglich der Anforderungen an die Kühlwasserqualität wird auf die VDI 3803 verwiesen und für den Parameter Gesamtkoloniezahl die Unterschreitung von 10.000 KBE/ml sowie für *Legionella* spp. < 1.000 KBE/100ml empfohlen. Des Weiteren wird empfohlen, das Reinigungsintervall auf die örtlichen Gegebenheiten abzustimmen, jedoch mindestens zweimal im Jahr die Reinigung und Entleerung des gesamten Systems durchzuführen. In der Technischen Regel VDI 3803 werden außerdem Anforderungen an chemisch-physikalische Kühlwasserparameter (Umlaufwasser und Zusatzwasser) genannt [4].

Der VDMA-Fachverband Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate veröffentlichte im Mai 2005 das VDMA-Einheitsblatt 24649 „Hinweise und Empfehlungen zum wirksamen und sicheren Betrieb von Verdunstungskühlanlagen“ [5]. Darin werden Grundlagen hygienischer Belange beim Betrieb von Verdunstungskühlanlagen aufgezeigt.

1.4 Empfehlungen zum hygienisch sicheren Betrieb von Verdunstungskühlanlagen

Es existieren bislang keine Studien, die evidenzbasierte Angaben zu einer maximal tolerierbaren Legionellen-Konzentration geben, bei denen Kühltürme sicher betrieben werden können. Dennoch werden anhand einer Literaturrecherche und aufgrund der Erfahrungen der Autoren in DUBROU et al [6] folgende konzentrationsabhängige Korrekturmaßnahmen vorgeschlagen:

- $\geq 10^2$ bis $< 10^4$ KBE/100ml: Maßnahmen zur Reduktion der Legionellenkonzentration unter 10^2 KBE/100ml ergreifen
- $\geq 10^4$ KBE/100ml: Abschalten, reinigen und desinfizieren

Weitere Vorschläge für koloniezahlabhängige Maßnahmenprogramme finden sich in zahlreichen Empfehlungen [5, 7-11].

Dabei ist zu beachten, dass das Ergebnis von Legionellen-Untersuchungen stark schwanken kann. Der fehlende Nachweis von Legionellen sollte nicht Anlass zur unüberlegten Abschaffung von Vorbeugemaßnahmen sein. Hauptreservoir der Legionellen ist nicht das Kühlwasser, aus dem die Proben entnommen werden, sondern der Biofilm und die darin enthaltenen Protozoen. Die Wasserkonzentration resultiert aus einem Abrißvorgang von Biofilmpartikeln oder Freisetzung von einzelnen Bakterien in die Flüssigkeit. Dies ist mehr oder weniger zufälligen Einflüssen wie z.B. der Lyse kontaminierter Protozoen unterworfen. Eine Vermehrung von Legionellen im Labormodell von Trinkwassersystemen wurde bislang ausschließlich in Verbindung mit Protozoen, deren Nahrungsgrundlage der Biofilm ist, erreicht. [12]

2. Material und Methoden

2.1 Datenerhebung

Die zwei grundlegenden Bestandteile der vorliegenden Untersuchung waren die mikrobiologischen Analysen der Wasserproben aus den Kühltürmen und die Informationsbeschaffung zu den Anlagen über einen Erhebungsbogen.

Gesundheitsämter:

- Standorte und bereitwillige Betreiber recherchieren
- Fragebogen mit Betreiber bearbeiten und Probenahme aus dem Sprühwasser- (geschlossenes VRKW) bzw. Kühlwasserkreislauf (offenes VRKW)

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit:

- Mikrobiologische Analyse der Wasserproben in den Wasserlaboren an den Standorten Nord- und Südbayern

Als erstes mussten Betreiber von Kühltürmen auffindig gemacht werden, da für Verdunstungskühlanlagen auf keine Melde- oder Genehmigungsregister zurückgegriffen werden konnte. Die teilnehmenden Gesundheitsämter hatten daher teils aufwendige Recherchen und Anfragen durchzuführen. Die Betreiber nahmen freiwillig teil und sie konnten auf Wunsch auch anonym bleiben.

Mikrobiologische Analyse der Kühlwasserproben aus den Kühltürmen

In den Wasserproben wurden die mikrobiologischen Parameter aerobe Koloniezahl nach Trinkwasser-Verordnung alte Fassung (TrinkwV a.F.) und die Konzentration von Legionellen sowie *Pseudomonas aeruginosa* untersucht (**Tabelle 2-1**). Bei positiven Legionellen-Befunden wurde eine Serotypisierung durchgeführt. Die aerobe Koloniezahl ist ein Summenparameter der mikrobiologischen Kühlwasserqualität. *P. aeruginosa* wurde bestimmt, da es ein typischer Nasskeim ist, der extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) bildet und dadurch Biofilme aufbauen kann.

Tabelle 2-1: Mikrobiologische Analysen in den Wasserproben aus Verdunstungsrückkühlwerken

Parameter	Einheit	Methode
Koloniezahl als Maß der aeroben Gesamtkeimzahl [13]	KBE/ml	<u>Plattengussverfahren:</u> 1 ml der Wasserprobe und dekadischer Verdünnungen wurden mit ca. 15 ml DEV-Agar (1% Pepton aus Fleischextrakt, 1% Fleischextrakt, 0,5% NaCl, 1,8% Agar) von 45-48 °C übergossen und durch Achterschleifen vermischt. Nach Bebrütung bei 20±2 °C bzw. 36±1 °C über 44±4 Stunden erfolgte die Auszählung bei 6 – 8facher Lupenvergrößerung.
<i>Legionella</i> spp. [14]	KBE/100ml	<u>GVPC-Selektivnährböden:</u> BCYE-Agar (Buffered Carcoal Yeast Extract) mit α-Wachstumssupplement (Eisenpyrophosphat, Cystein-Hydrochlorid, α-Ketoglutarat) und GVPC Selektivsupplement (Glycin, Vancomycin, Polymycin, Cycloheximid). <u>Direktansatz:</u> 0,1 und 0,5 ml der Wasserprobe wurden je auf eine GVPC-Platte ausplattiert <u>Membranfiltration:</u> 100 ml der Wasserprobe wurden über Cellulosenitrat-Membranfilter mit einer Porenweite von 0,45 µm filtriert. Der Filter wurde dann mit 20 ml eines 0,2 mol/l HCl/KCl-Säurepuffers pH 2,22 überschichtet. Nach 5 min Einwirkzeit wurde abgesaugt und mit 10 ml sterilem Aqua dest. nachgespült. Der Filter wurde dann auf eine GVPC-Platte gelegt und 5-10 Tage bei 37 °C bebrütet. <u>Verdächtige Kolonien</u> (grau, gelb, weiß, -dichtes Zentrum, hellerer Rand) wurden auf Columbia-Agar-Basis bzw. Blutagar-Basis mit Schafblut überimpft und 48 h bei 37 °C bebrütet: Wachstum auf unselektivem Agar: Negativer Befund; 0 KBE/100ml Kein Wachstum auf unselektivem Agar: Positiver Befund; auszählen der positiven Kolonien auf der GVPC-Platte. <u>Serotypisierung:</u> Latex-Test, Fa. Oxoid
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> [15]	KBE/100ml	<u>Membranfiltermethode:</u> 100 ml der Wasserprobe wurden durch Cellulosenitrat-Membranfilter mit einer Porenweite von 0,45 µm filtriert. Die Filter wurden auf Ceftrimid-Agar-Platten gelegt und zur Bebrütung bei 36±2 °C für 44±4 h inkubiert. Die Quantifizierung erfolgte durch Auszählung biochemisch identifizierter Kolonien (NH ₃ -Bildung aus Acetamid, Oxidase positiv, Fluoreszenz auf King-F-Agar).

Erhebung von Informationen zu den Verdunstungskühlanlagen

Zur Erhebung diente ein Fragebogen, in dem Angaben zu den folgenden Punkten abgefragt wurden:

1. Angaben zum Betreiber (optional)
2. Bauart und Anzahl der Verdunstungskühlanlagen
3. Betriebsdaten
4. Montagedaten
5. Bisheriges mikrobiologisches Monitoring
6. Wartung, Reinigung und Desinfektion

Technische Daten der Verdunstungsrückkühlwerke wurden nicht erhoben.

2.2 Statistik

■ Box-Plot und Perzentilen

Die Messwerte werden der Größe nach sortiert. Durch die Aufteilung in 4 gleich große Teile erhält man daraus die Lokalisationsmaße Minimum, unteres Quartil Q₁, Median Q₂, oberes Quartil Q₃ und Maximum. Damit lässt sich ein Boxplot zeichnen. Die Boxbreite ist der Quartilsabstand Q₁-Q₃ und stellt ein Dispersionsmaß dar, durch das 50% der Messwerte repräsentiert werden.

Perzentilen sind Werte einer Stichprobenverteilung, deren Wahrscheinlichkeit in Prozent angibt, dass ein Messwert kleiner als der Wert der Perzentilen ist. Die 25%, 50% und 75% Perzentilen entsprechen den Quartilen Q_1 , Q_2 und Q_3 .

■ Koloniezahlklassen und Logarithmierung der Koloniezahlen

Keimzahlen und gemessene Koloniezahlen werden häufig in logarithmischen Klassen betrachtet; Beispiel: Reduktion der Keimzahl durch ein Desinfektionsverfahren um 5-log-Stufen bedeutet, dass durch die Anwendung des Verfahrens nur noch das 1/100.000-te der ursprünglichen Kolonisation zu erwarten ist. Allgemein können biologische Erscheinungen häufig logarithmisch normalverteilt approximiert werden. Begründet wird dies durch die multiplikative Überlagerung zahlreicher Einzeleffekte, die zusammen den Gesamteffekt ausmachen [16].

Zur Darstellung von Häufigkeitsverteilungen wurden die Koloniezahlen x_i dieser Studie den logarithmischen Klassen ≤ 1 , >1 bis 10, >10 bis 100, >100 bis 1000 KBE, usw. zugeordnet. Diese Zuordnung entspricht der Zuordnung der Logarithmen der Koloniezahlen $\log_{10}(x_i)$ zu den Klassen ≤ 0 , >0 bis 1, >1 bis 2, >2 bis 3, usw.. Befunde mit aeroben Koloniezahlen $x_i = 0$ KBE/ml, d.h. nicht nachweisbar in 1 ml, für die gilt $\log_{10}0 = \emptyset$, wurden der untersten Klasse (≤ 1 KBE/ml) zugeordnet. Bei Häufigkeitsbetrachtungen der Koloniezahlen von Legionellen und *Pseudomonas aeruginosa* wurden ausschließlich die Proben ausgewertet, deren Befunde nicht negativ waren, d.h. $x_i > 0$ KBE/100ml. Die unterste Klassenbreite der Koloniezahlen im Histogramm wurde mit ≥ 1 bis 10 KBE/100ml festgelegt.

■ Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung

Der K-S-Test ist ein statistischer Test für die Güte der Anpassung. Damit wird die Anpassung einer beobachteten an eine theoretisch erwartete Verteilung überprüft. Der Test wurde in dieser Studie unter anderem eingesetzt, um festzustellen, ob den aeroben Koloniezahlen die logarithmische Normalverteilung zugrunde gelegt werden kann.

■ Regression

Durch Regression wird einer beobachteten Punktwolke (Messwerte im Koordinatensystem) eine Regressionsgleichung angepasst. Als Gleichung wurde die Gerade mit

$$Y = a + bX$$

angesetzt. Achsabschnitt a und Steigung b der Geraden werden durch Minimierung der Restquadratsumme $\sum(Y-X_i)^2$ ermittelt. Die Regressionsgerade veranschaulicht mögliche lineare Abhängigkeiten der Messwerte.

■ Varianzanalyse

Die Varianzanalyse dient zur quantitativen Untersuchung von Einflussgrößen auf Zielgrößen. In dieser Studie wurde untersucht, ob Legionellen- oder *Pseudomonas aeruginosa*-Befunde in Proben, verglichen mit Proben in denen weder *Legionella* noch *Pseudomonas aeruginosa* nachweisbar war, Einfluss auf die aerobe Koloniezahl haben. Die Varianzanalyse ist ein multipler Mittelwertvergleich.

■ Bedingte Wahrscheinlichkeiten und Risikofaktor

Untersucht wurde ob der Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* und der von Legionellen zusammenhängt, daher ob z.B. bei positivem *Pseudomonas aeruginosa*-Befund mit höherer Wahrscheinlichkeit als bei negativem Befund auch Legionellen in der Probe zu erwarten sind.

Beispiel für bedingte Wahrscheinlichkeit: $P(B | A) = \frac{P(B \cap A)}{P(A)}$

- $P(B|A)$ ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis B (positiver Legionellen-Befund) eintritt, wenn das Ereignis A (positiver *Pseudomonas aeruginosa*-Befund) bereits eingetreten ist.
- $P(B \cap A)$ ist die Wahrscheinlichkeit dass in einer Probe gleichzeitig Legionellen und *Pseudomonas aeruginosa* nachgewiesen werden.
- $P(A)$ ist die Wahrscheinlichkeit des Nachweises von *Pseudomonas aeruginosa* in einer Probe.

Zuschreibbares Risiko	Relatives Risiko	Chancen-Verhältnis (Odds-Ratio)
$\delta = P(B A) - P(B \bar{A})$	$\psi = \frac{P(B A)}{P(B \bar{A})}$	$\omega = \frac{P(B A)}{P(\bar{B} A)} \cdot \frac{P(B \bar{A})}{P(\bar{B} \bar{A})}$

Gilt $\delta > 0$, $\psi > 1$ und $\omega > 1$, dann ist in epidemiologischen Studien der betreffende Faktor als Risikofaktor nachgewiesen. Ein Vertrauensbereich von ψ bzw. ω , der den Wert 1 ausschließt, weist ein statistisch signifikantes relatives Risiko bzw. Chancen-Verhältnis nach.

■ Chiquadrat-Test (χ^2 -Test)

Zur Prüfung von Häufigkeiten auf Unabhängigkeit bei zweifacher Klassifikation diene der χ^2 -Test. Die Proben wurden dazu dem Merkmal 1 (Klasse von Koloniezahlen) und entsprechend der Angaben im Erhebungsbogen dem Merkmal 2 (Durchführung - ja/nein – einer bestimmten Vorbeugemaßnahme) zugeordnet. Durch Berechnung des P-Wertes der χ^2 -Testgröße lassen sich signifikante Einflüsse von Vorbeugemaßnahmen auf die Kühlwasserqualität ermitteln. Das Signifikanzniveau war 5%.

Anmerkung: Die Mehrfachtestung am Datenbestand wurde nicht korrigiert (z.B. Bonferroni-Korrektur), sodass die signifikanten Resultate lediglich als formalisierte Datenbeschreibung aufzufassen sind, streng genommen aber nicht als statistisch signifikant angesehen werden dürfen [16].

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Darstellende Auswertung der Daten

Einen Überblick der wesentlichen Ergebnisse und Eckdaten der Studie zeigt **Tabelle 3-1**. Insgesamt wurden zwischen Juli und November 2004 238 Proben analysiert, die aus 199 Einrichtungen stammten.

In 12,6% der Proben wurden Legionellen nachgewiesen, in 35,7% der Proben waren *Pseudomonas aeruginosa* vorhanden.

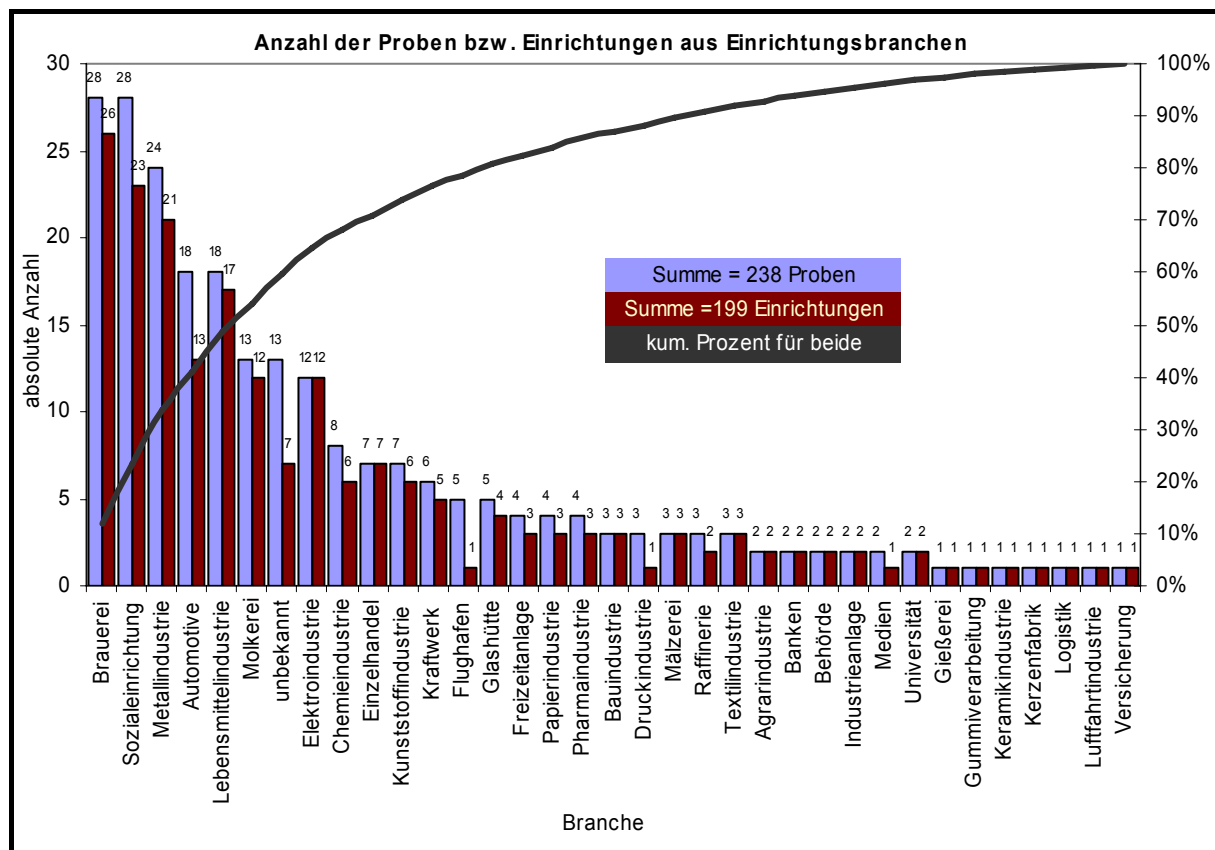
Tabelle 3-1: Wesentliche Eckdaten der Studie

	100 %	N	Prozent
Anzahl der Proben		238	
-Erlangen (Regierungsbezirke Nord)		116	
-Oberschleißheim (Regierungsbezirke Süd)		122	
Anzahl der Einrichtungen		199	
Anzahl der Erhebungsbögen		205	
Anzahl Gesundheitsämter mit Proben	76	50	66%
Anzahl GAs: keine VRKW recherchierbar oder alle Betreiber verweigerten Teilnahme	76	5	7%
Teilnehmende GAs insgesamt	76	55	72%
Legionella spp. positive Proben	238	30	13%
davon <i>Legionella pneumophila</i>	30	24	80%
Serotyp 1	30	15	50%
Serotypen 2 bis 14	30	9	30%
Nicht serotypisierbar	30	6	20%
P. aeruginosa positive Proben	238	85	36%

Die durchschnittliche Prävalenz Legionellen-positiver Wasserproben aus Untersuchungen in verschiedenen Ländern beträgt ca. 50% (8,5-73%) aller Wasserproben aus Kühltürmen [17]. Damit liegt das Ergebnis dieser Studie mit 13% am unteren Rand der Spannweite. Einen wichtigen Hinweis zur Kontinuität von Legionellen-Konzentrationen im Kühlwasser gibt eine Studie von Bentham [18]. Demnach sind suspendierte Legionellen-Konzentrationen extremen, kurzzeitigen Schwankungen ausgesetzt. Schwankungen über vier log-Stufen, bei einem Median unter der Nachweisgrenze (d.h. mehr Proben mit negativem als mit positivem Befund), in einem Zeitraum von vier Monaten waren nicht selten. Nur bei wöchentlicher Probenahmefrequenz korrelierten die Proben bei 60% der beprobten Kühltürme. Im Laufe eines Jahres ist es daher sehr wahrscheinlich, dass auch die beprobten Kühltürme mit negativem Befund in einer einzelnen Probe, Legionellen in nachweisbaren Konzentrationen in anderen Proben enthalten. Maßnahmen zur Kontrolle der mikrobiologischen Kühlwasserqualität dürfen daher nicht unüberlegt aufgrund negativer Legionellen-Befunde abgeschafft werden. Eine Begründung für die hohe Unsicherheit im Nachweis suspendierter Legionellen liegt in deren Physiologie und Ökologie. Legionellen sind auf essentielle Aminosäuren angewiesen, die sie nur intrazellulär in höheren Lebewesen erhalten, die wiederum auf Biofilme angewiesen sind. Suspendierte Legionellen (z.B. im Kühlwasser) sind eine Folge der Freisetzung von Legionellen aus Wuchsbelägen, zum Beispiel bei der Lyse parasitierter Amöben. [12]

3.1.1 Branchen der teilnehmenden Einrichtungen

In **Abbildung 3.1** ist die Anzahl der Einrichtungen und Proben abhängig von den Branchen der Betreiber dargestellt. Unter dem Begriff „Sozialeinrichtungen“ wurden Krankenhäuser (N=20), Rehabilitationszentren und Behindertenbetreuungszentren zusammengefasst; am häufigsten stammten Proben aus diesen Einrichtungen und aus Brauereien. Der mit „unbekannt“ bezeichneten Klasse wurden Einrichtungen zugeordnet, bei denen die Einrichtungsart nicht angegeben wurde. Hierzu ist anzumerken, dass den Gesundheitsämtern als Hilfe zum Auffinden von Kühlturbetreibern typische Betreiber wie Krankenhäuser, Brauereien, Molke-reien etc. vorgeschlagen wurden. Nahe liegend war für die Gesundheitsämter die Kontaktierung von Krankenhäusern.



Branchen	Proben	Einricht.	Branchen	Proben	Einricht.	Branchen	Proben	Einricht.
Agrarindustrie	2	2	Gießerei	1	1	Metallindustrie	24	21
Automobilindustrie	18	13	Glashütte	5	4	Molkerei	13	12
Banken	2	2	Gummiverarbeitung	1	1	Papierindustrie	4	3
Bauindustrie	3	3	Industrieanlage	2	2	Pharmaindustrie	4	3
Behörde	2	2	Keramikindustrie	1	1	Raffinerie	3	2
Brauerei	28	26	Kerzenfabrik	1	1	Sozialeinrichtung	28	23
Chemieindustrie	8	6	Kraftwerk	6	5	Textilindustrie	3	3
Druckindustrie	3	1	Kunststoffindustrie	7	6	Unbekannt	13	7
Einzelhandel	7	7	Lebensmittelindustrie	18	17	Universität	2	2
Elektroindustrie	12	12	Logistik	1	1	Versicherung	1	1
Flughafen	5	1	Luftfahrtindustrie	1	1			
Freizeitanlage	4	3	Mälzerei	3	3			

Abbildung 3.1: Anzahl der Proben und Anzahl der Einrichtungen unterschiedlicher Branchen. Tabelle in alphabetischer Reihenfolge.

Die Stratifizierung der Probenanzahl bei Einrichtungsarten mit mehr als 10 Proben durch die Anzahl der Proben in den jeweiligen Koloniezahlklassen der aeroben Koloniezahl bei 20 °C zeigte keine wesentlichen Unterschiede zwischen diesen Einrichtungsarten. Es ließ sich daher weder eine besonders „gute“ noch eine besonders „schlechte“ Branche identifizieren.

3.1.2 Bauarten und Baujahre der Kühltürme

Abbildung 3.2 zeigt eine Aufstellung der Bauarten der Rückkühlwerke in den Einrichtungen und die Summe der Anzahl dieser Anlagen. Aufgrund der meist nicht auf den ersten Blick erkennbaren Bauart-Zugehörigkeit sind allerdings einige Fehlklassifizierungen möglich. Auf eine prozentuale Häufigkeitsverteilung und die Untersuchung der Abhängigkeit der Keimzahlbelastung von der Bauart wurde deshalb verzichtet.

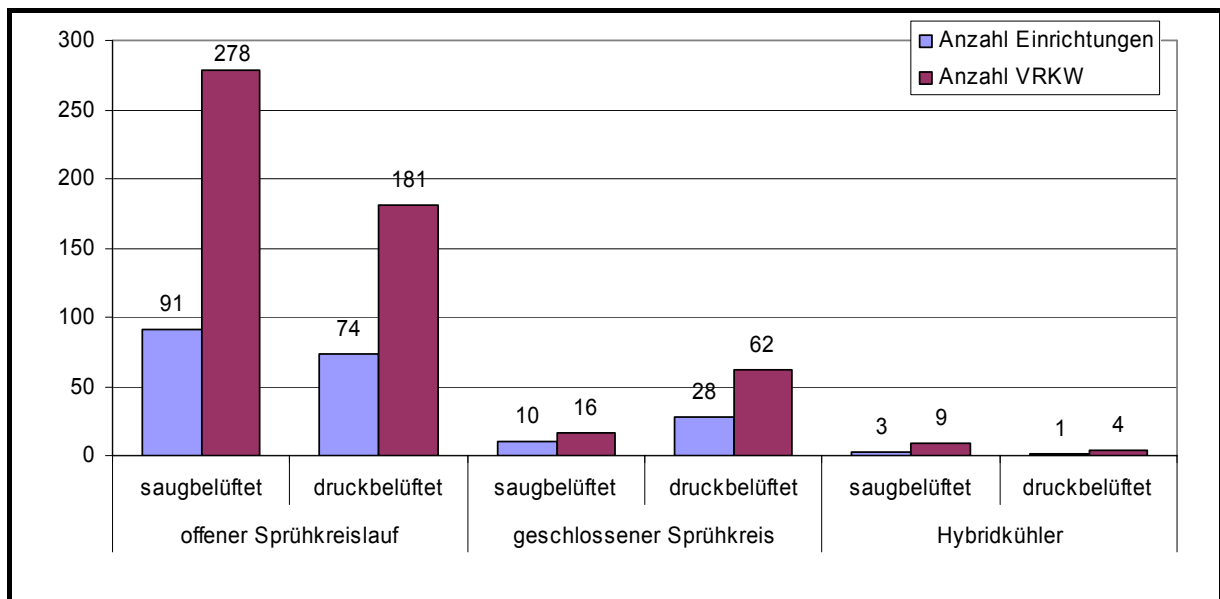


Abbildung 3.2: Angaben in den Erhebungsbögen zur Bauart der Kühltürme

Eine prozentuale Häufigkeitsverteilung der Baujahre der Verdunstungskühlanlagen ist in **Abbildung 3.3** dargestellt. Sie enthält Informationen über das Alter der im Einsatz befindlichen Verdunstungskühlanlagen und dadurch auch indirekt über Investitionen in die betriebliche Infrastruktur.

Grundsätzlich lassen sich ältere Anlagen ebenso hygienisch sicher betreiben wie neuere. Einige hygienisch relevante Aspekte lassen sich dennoch auf das Anlagenalter zurückführen:

- Je länger eine Anlage ungepflegt und nicht ausreichend gewartet betrieben wird, desto wahrscheinlicher sind starke Verunreinigungen, Ablagerungen und Materialschäden, welche eine mikrobielle Kontamination begünstigen.
- Ungünstige konstruktive Ausführungen sind bei älteren Anlagen wahrscheinlicher, da deren Hygienerelevanz und die daraus resultierende Notwendigkeit der Einhaltung günstiger Konstruktionskriterien noch nicht bekannt waren.
- Anlagen mit großen Leistungsreserven, früher häufig üblich, sind kritisch zu betrachten, da Leistungseinbußen durch starke Verunreinigungen nicht bemerkt werden, sodass möglicherweise kein Anlass zur Reinigung und Wartung festgestellt wird. Diese Maßnahmen sind allerdings für die mikrobiologische Betriebssicherheit erforderlich.

Zusammenhänge zwischen dem Baujahr und der beobachteten Bakterienkonzentration wurden nicht festgestellt. Dies liegt möglicherweise daran, dass die Pflege der älteren Anlagen mit vergleichbarer Sorgfalt wie die der neuen Anlagen erfolgt.

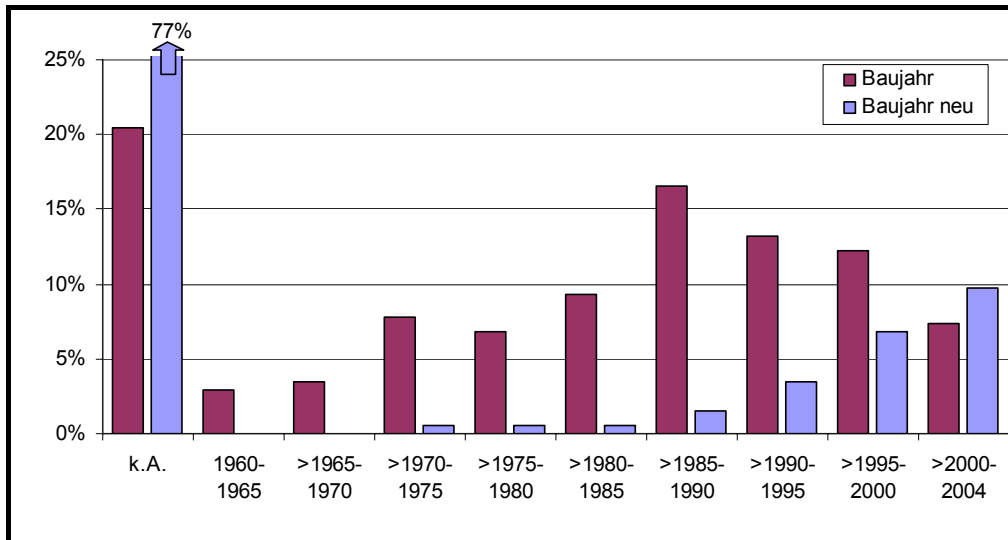


Abbildung 3.3: Angaben zum Anlagenbaujahr bezogen auf 205 Erhebungsbögen. „Baujahr neu“ ist das Baujahr der neuesten Anlage

3.1.3 Betriebscharakteristik

Die Betriebscharakteristik der Kühltürme wurde im Erhebungsbogen über die Betriebsdauer und die Betriebsart abgefragt (**Abbildung 3.4**). Saisonaler Betrieb bietet sich dann an, wenn besonders hohe Kühllasten in begrenzten Zeiträumen, z.B. während der warmen Sommermonate, benötigt werden. Im Dauerbetrieb wird die Kühlleistung des Kühlturms das ganze Jahr benötigt. Daneben kann ein Kühlturm, unabhängig vom Zeitpunkt des Kühlbedarfs, zur Grund- oder zur Spitzenlastabdeckung eingesetzt werden. Ein modernes Konzept in der Kühltechnik ist beispielsweise, Trockenkühler zur Grundlastabdeckung einzusetzen und nur bei Spitzenlasten, wenn der Kühlbedarf besonders hoch ist oder die Kühlleistung der Trockenkühlanlage zu gering ist, einen Verdunstungskühlanlage zuzuschalten.

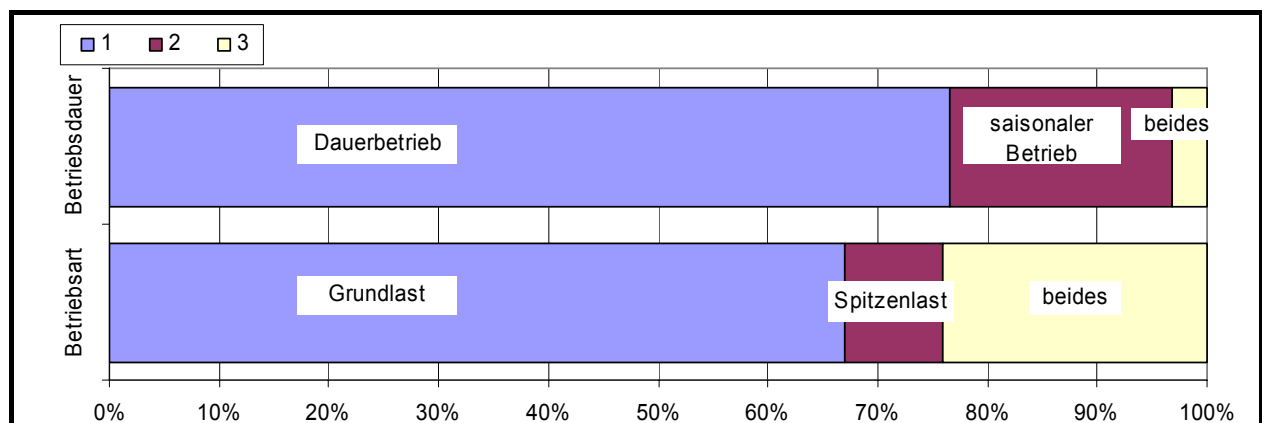


Abbildung 3.4: Betriebsdauer: (1) Dauerbetrieb; (2) Saisonbetrieb; (3) beides (N= 192)
Betriebsart: (1) Grundlastbetrieb; (2) Spitzenlastbetrieb; (3) beides (N= 170)

Abwechselnde Unterbrechungen und Wiederaufnahmen des Betriebs werden, abhängig von den Intervallauern, aus hygienischen Gesichtspunkten besonders kritisch eingeschätzt. Eine Auswirkung von Betriebsart oder Betriebsdauer auf die Keimbelastung des Kühlwassers war jedoch nicht feststellbar.

Die Betriebscharakteristik eines Kühlturms soll bei den notwendigen Maßnahmen und Zeitabständen der Reinigung, Wartung und Instandhaltung berücksichtigt werden. Es ist Teil der Aufgaben einer Risikoanalyse, die individuellen Bedingungen und Risiken einer Anlage zu erkennen, um darauf mit angemessenen Vorbeugemaßnahmen reagieren zu können.

17 Fragebögen enthielten Angaben zu den Betriebsstunden. Der Median war 3000 h/a, d.h. etwa vier Monate. Die Werte lagen zwischen 250 und 8760 (d.h. Dauerbetrieb) h/a.

3.1.4 Montagedaten

Die Montageeigenschaften einer Anlage sind, wie auch die Betriebscharakteristika, in der individuellen Risikoanalyse einer Verdunstungskühlanlage zu berücksichtigen. Montageort und Standortbedingungen, charakterisiert unter anderem durch den Nährstoffeintrag und die vorherrschenden meteorologischen Bedingungen, können maßgeblichen Einfluss auf die Voraussetzungen zu einem hygienisch sicheren Betrieb haben. Eine weitere Standortbedingung ist das geographische Umfeld der Anlage mit potentiellen Erregerempfängern.

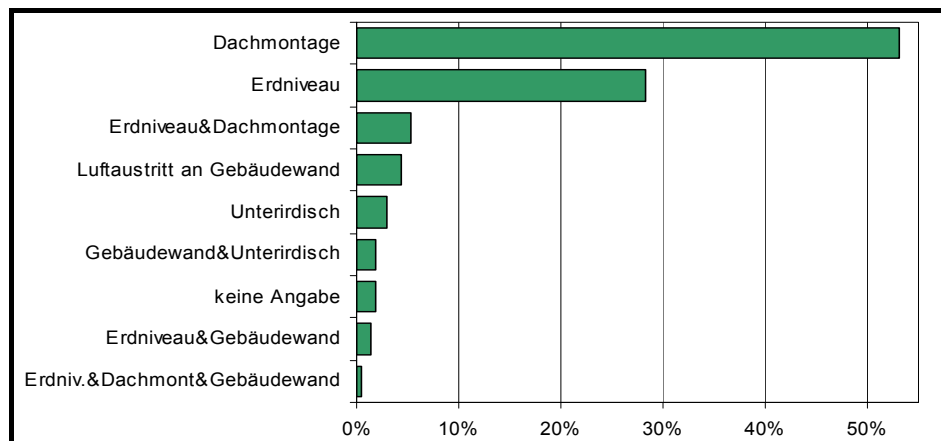


Abbildung 3.5: Prozentualer Anteil der Montagearten sortiert nach Häufigkeiten (N= 205)

Der Ort des Luftauslasses, in Zusammenarbeit mit lokalen Luftströmungen und daraus folgender Verdriftung, beeinflusst die im Umfeld zu erwartenden Immissionsraten der Kühlturmmissionen und sollte daher ebenfalls in einer Risikobewertung berücksichtigt werden. Die Ergebnisse zum Montageort sind in **Abbildung 3.5** dargestellt. Dachmontage ist der deutlich häufigste Montageort, gefolgt von ebenerdiger Aufstellung. Die unterirdische Montage, z.B. in der Tiefgarage oder in der Technikzentrale im Untergeschoss, in Verbindung mit meist ebenerdigem Luftauslass, ist eher eine Ausnahme.

Kriterien zum sicheren Betrieb eines Kühlturms sind auch die Höhe und Richtung des Luftauslasses. **Abbildung 3.6** gibt die Perzentilen der Luftaustrittshöhen und zeigt den zugehörigen Box-Plot. Hinter dem Ausreißer (*) verbirgt sich, mit einer Kaminkronenhöhe von 143 m, der einzige in dieser Untersuchung beprobte Naturzugkühlturm eines Großkraftwerkes. Da die Dachmontage bei den Montagearten überwiegt, richtet sich die Verteilung der Luftaustrittshöhen weitgehend nach den typischen Gebäudehöhen. Die 10%-Perzentile bei 3,0 m besagt zum Beispiel, dass 10% der in der Studie erhobenen Kühltürme eine Luftaus-

trittshöhe von $\leq 3,0$ m haben. 50% der Kühltürme liegen zwischen der 25 und 75%-Perzentile und haben damit eine Luftaustrittshöhe zwischen 5 und 15 Meter. Dies entspricht genau der Box im Diagramm.

Perzentile (%)	5	10	25	50	75	90	95
Luftaustrittshöhe (m)	0,85	3,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00

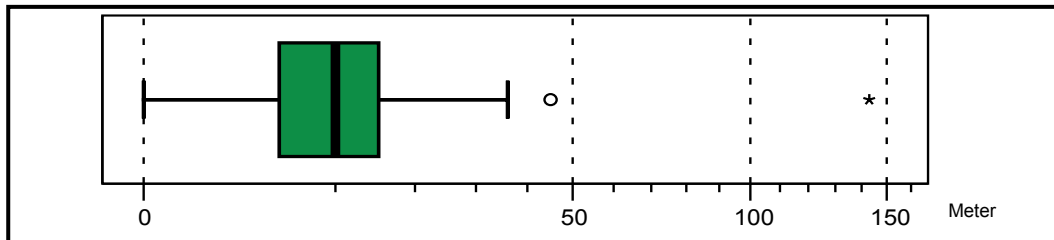


Abbildung 3.6: Perzentilen der Luftaustrittshöhe und Box-Plot der exponentiell skalierten Luftaustrittshöhe in Meter; Exponent 0,5 (N= 196)

3.1.5 Koloniezahlkonzentrationen

Die Box-Plots der logarithmierten Koloniebildenden Einheiten der mikrobiologischen Analyseergebnisse der Sprühwasserproben aus den Verdunstungskühlanlagen sind in der **Abbildung 3.7** dargestellt, die Perzentilen in **Tabelle 3-2**. Die Daten der Koloniezahlen von *Legionella* spp. und *Pseudomonas aeruginosa* sind nur für die Proben berechnet, deren Analyseergebnisse positiv waren. Eine auffällig schmale dritte Quantile hat die Box der Legionellen-KBE. Ein Viertel der positiven Proben liegt demnach um 10^3 KBE/100ml.

Tabelle 3-2: Perzentilen der logarithmierten Koloniebildenden Einheiten

Perzentile (%)	5	10	25	50	75	90	95
KBE20°C (logKBE/ml)	0,30	1,06	2,34	3,21	4,00	4,78	5,17
KBE36°C (logKBE/ml)	0,78	1,59	2,57	3,34	4,14	5,02	5,18
<i>L. spp.</i> (KBE>0) (logKBE/100ml)	0,39	0,73	1,63	2,95	3,30	4,27	5,37
<i>P.a.</i> (KBE>0) (logKBE/100ml)	0,04	0,04	1,00	1,84	2,70	3,45	4,18

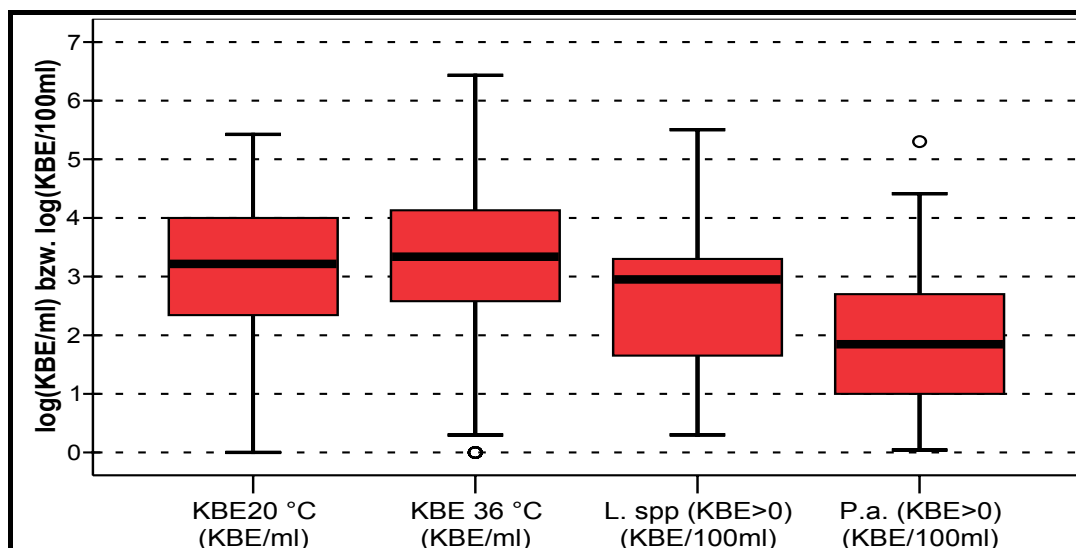


Abbildung 3.7: Box-Plots der logarithmierten Koloniebildenden Einheiten.

Einen Eindruck über die den Koloniezahlen zugrunde liegenden Verteilungsfunktionen gewinnt man anhand von **Abbildung 3.8** und **Abbildung 3.9**. Sinnvolle Histogramme ließen sich erst nach Logarithmierung der Koloniezahlen bzw. entsprechender Auslegung der Klassenbreiten erstellen.

Die Histogramme der aeroben Koloniezahlen haben Ähnlichkeit mit einer Normalverteilungsfunktion. Es wurde daher eine logarithmisch zur Basis zehn normalverteilte Verteilungsfunktion angenommen (Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung, Ablehnung der Nullhypothese auf Normalverteilung jeweils mit dem P-Wert=0,32 > $\alpha=0,05$ nicht signifikant).

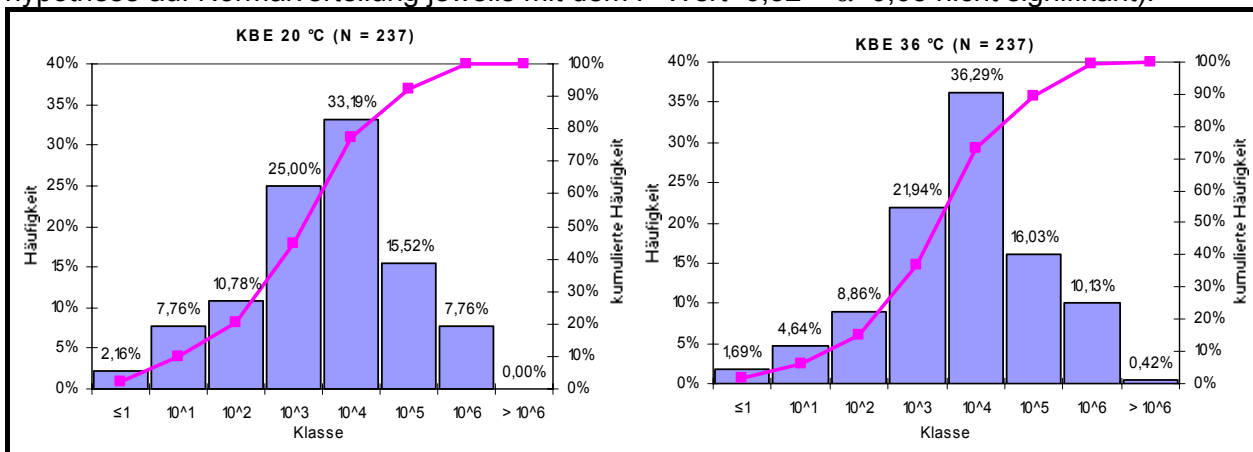


Abbildung 3.8: Histogramme und kumulierte Häufigkeiten der in Logarithmen zur Basis zehn skalierten Klassen Koloniebildender Einheiten (KBE) für aerobe Koloniezahlen in KBE/ml.

Tabelle 3-3: Angaben zur approximierten Normalverteilungsfunktionen der aeroben Koloniezahlen

Verteilungsparameter	$\log_{10}(\text{KBE/ml})$	$\log_{10}(\text{KBE/ml})$
	20 °C	36 °C
Mittelwert	3,08	3,29
Varianz (σ^2)	1,75	1,61
P($X \leq 0$) für die Normalverteilungsfunktion; Realisationen kleiner 0 sind in einer tatsächlich normalverteilten Grundgesamtheit unabhängig vom Erwartungswert möglich. In der logarithmierten Normalverteilung repräsentieren sie die Werte der Variablen zwischen 0 und 1. In dieser Studie wären das Werte < 1 KBE/ml, die nicht nachweisbar waren.	1%	0,5%
Anzahl Proben mit dem Befund „nicht nachweisbar in 1 ml“	5	4

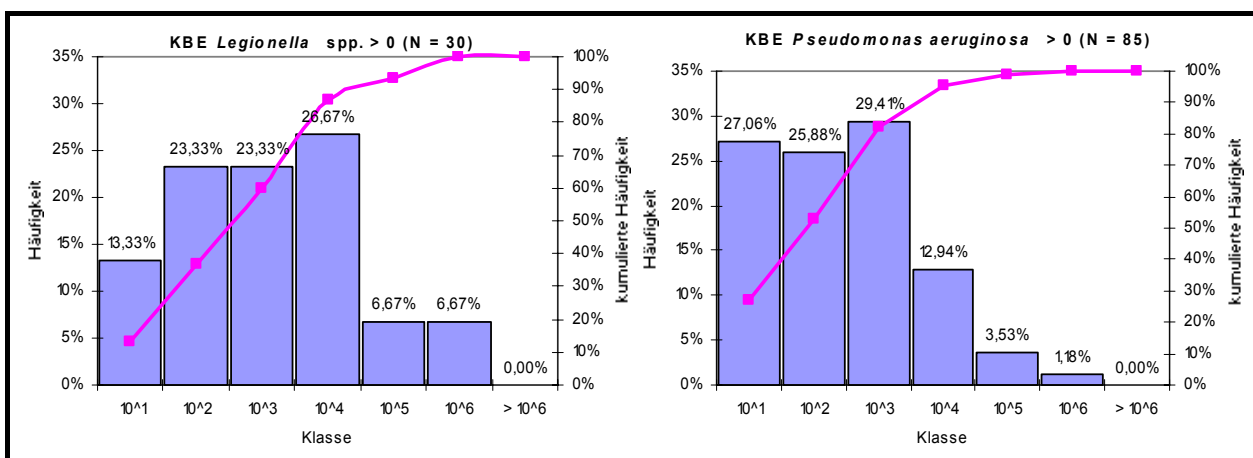


Abbildung 3.9: Histogramme und kumulierte Häufigkeiten der in Logarithmen zur Basis zehn skalierten Klassen Koloniebildender Einheiten (KBE). *Legionella* spp. und *P. aeruginosa* in KBE/100ml.

Abbildung 3.9 zeigt die Häufigkeitsverteilungen für *Legionella* spp. und *Pseudomonas aeruginosa* für Proben mit positivem Befund. Hier ist die Approximation der Häufigkeitsverteilungen durch die Normalverteilung nicht sinnvoll.

Die Legionellen-Serotypisierungs-Ergebnisse sind in **Abbildung 3.10** enthalten. Bei hohen und höchsten Koloniezahldichten ist vor allem die Gattung *L. pneumophila* vertreten.

Ein interessantes Einzelbeispiel der Legionellen-Koloniezahlen und ein deutliches Beispiel für die nicht auszuschließende spontane hohe Legionellen-Verkeimung zeigte eine Probe aus einer neuen Anlage (Bj. 2004) ca. 4 Monate nach Inbetriebnahme. Darin wurden, trotz Vorbeugemaßnahmen, bei geringen aeroben Koloniezahlen (< 1000 KBE/ml), 19.000 KBE/100ml Legionellen nachgewiesen.

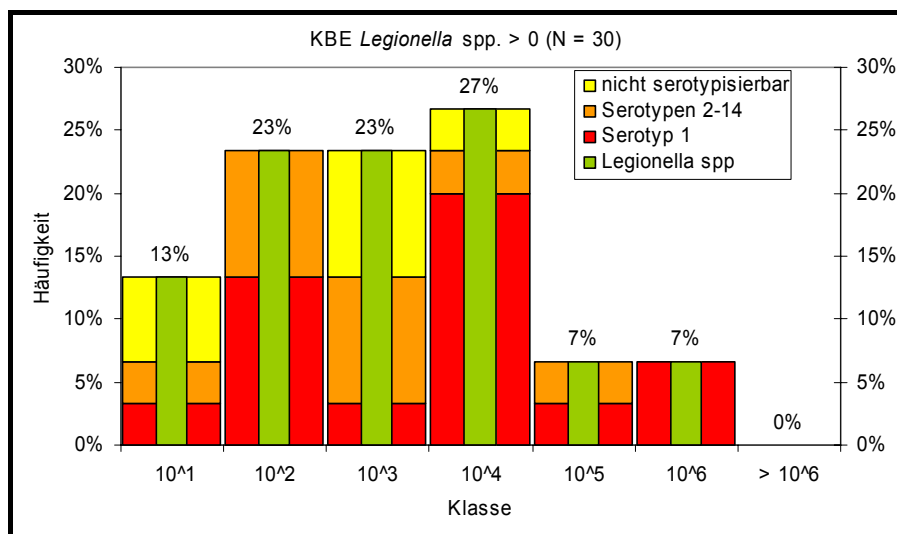


Abbildung 3.10: Stratifizierung der Proben in den Koloniezahlklassen durch die Ergebnisse der Legionellen-Serotypisierungen

3.1.6 Maßnahmen zur Kontrolle der Wasserqualität

In **Abbildung 3.11** sind Angaben zu wesentlichen Vorbeugemaßnahmen zusammengefasst. Zu erwarten war, dass die Mehrzahl der Betreiber Reinigungsarbeiten am Kühlturm durchführen, da diese zum Erhalt der Funktionsfähigkeit der Anlagen notwendig sind und durch die Hersteller der Kühltürme in einem Wartungsbuch empfohlen werden. Auffällig ist, dass ein Großteil der Kühltürme mit aufbereitetem Speisewasser und / oder Härtestabilisierung und / oder Korrosionsschutz betrieben werden. Auch immerhin knapp $\frac{2}{3}$ der Anlagenbetreiber gaben den Einsatz von Bioziden in deren Kühltürmen an. Mikrobiologische Untersuchungen führen nur knapp $\frac{1}{3}$ der Anlagenbetreiber durch und auch nur $\frac{1}{3}$ davon regelmäßig. Lediglich gut $\frac{1}{4}$ der Betreiber gaben an, wie empfohlen mindestens 2mal jährlich Reinigungsmaßnahmen am Kühlturm durchzuführen.

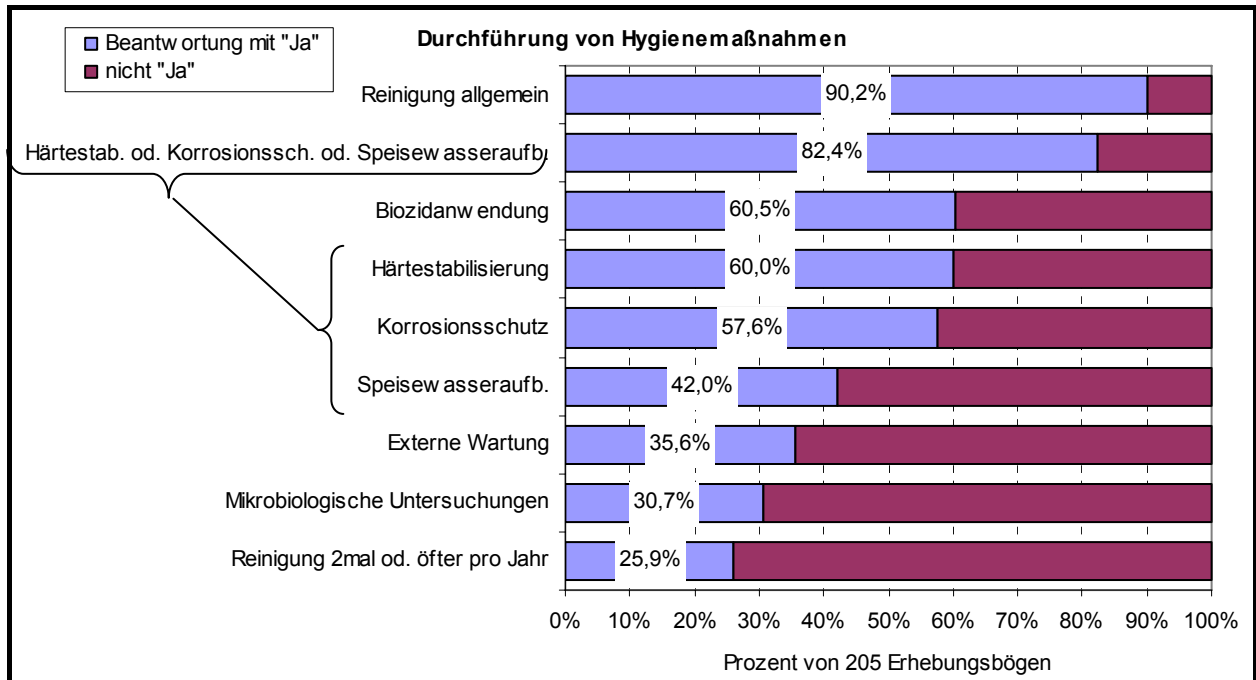


Abbildung 3.11: Unterschiedliche Hygienemaßnahmen für Verdunstungskühlanlagen sortiert nach relativer Häufigkeit.

Eine genauere Aufstellung der Art der Biozidanwendung zeigt **Abbildung 3.12**. „Keine Angabe“ bedeutet, dass unter der Rubrik Biozidanwendung bzw. Desinfektion im Fragebogen nichts ausgefüllt wurde.

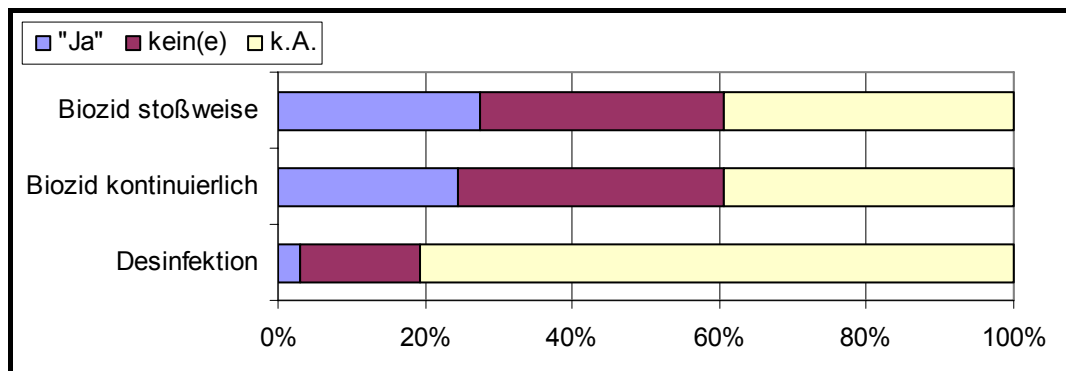


Abbildung 3.12: Angaben zur diskontinuierlichen (stoßweisen), kontinuierlichen Biozidanwendung und zur Desinfektion (N = 205).

Desinfektionsmaßnahmen sind von den üblichen Reinigungsmaßnahmen und dem vorbeugenden Biozideinsatz zu unterscheiden. Durchführung von Desinfektionen wird nur von 6% der Einrichtungen angegeben. Ausdrücklich keine Desinfektionsmaßnahmen durchzuführen gaben 15% an. Die übrigen 78% machten keine Angaben dazu. 26% derer, die keine Angabe zur Desinfektion machten, beauftragen jedoch externe Wartungsunternehmen. Abhängig vom Umfang des Wartungsvertrages ist es denkbar, dass im Rahmen der Wartungsmaßnahmen eine Systemdesinfektion durchgeführt wird.

Eine genauere Auswertung der Angaben zu den Reinigungsintervallen gibt das Diagramm in **Abbildung 3.13**. Auffällig ist, dass über 2% der Betreiber angaben, keine Reinigungsmaßnahmen durchzuführen.

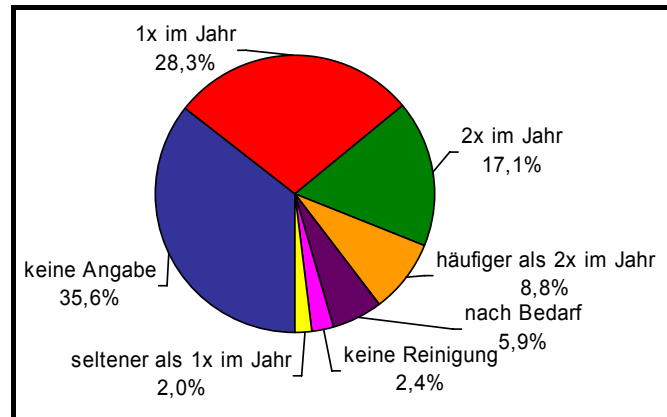


Abbildung 3.13: Relative Häufigkeiten der Angaben zum Reinigungsintervall (N = 205).

3.2 Auswertung von Zusammenhängen und Beziehungen in den Daten

3.2.1 Inkubationstemperaturen der aeroben Koloniezahlen

In der **Abbildung 3.14** sind die logarithmierten aeroben Koloniezahlen nach TrinkwV a.F. bei 20 °C und 36 °C in einem Diagramm gegeneinander aufgetragen. Durch blaue Dreiecke und rote Quadrate werden die Proben mit kleiner und größer gleich 25 °C Probenahmetemperatur unterschieden.

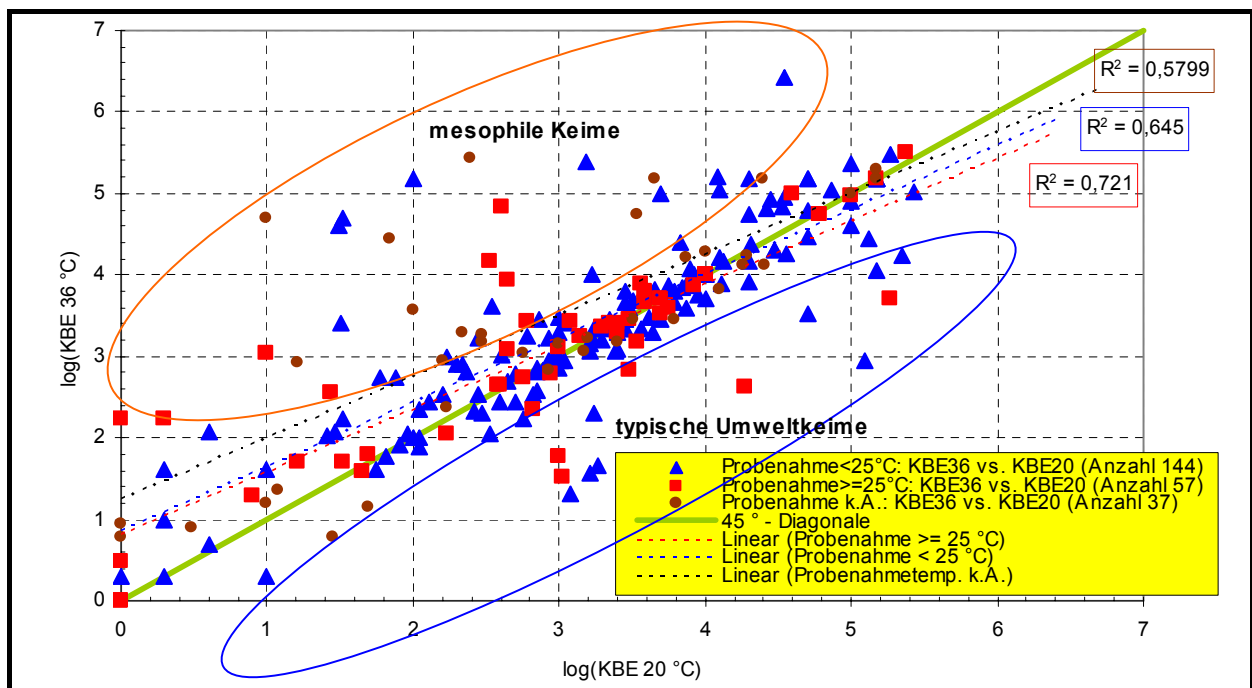


Abbildung 3.14: Gegenüberstellung der logarithmierten aeroben Koloniezahlen bei 20 und 36 °C Inkubationstemperatur. Die Daten wurden abhängig von der Probenahmetemperatur in drei Klassen eingeteilt (siehe Legende).

Liegen die Punkte auf oder in der Nähe der Diagonalen, dann waren die Koloniezahlen bei 20 und 36 °C Inkubationstemperatur etwa gleich groß. Für Punkte oberhalb der Diagonalen gilt, dass bei 36 °C eine höhere Koloniedichte gemessen wurde als bei 20 °C. Die Mehrheit

der kultivierbaren Mikroorganismen aus diesen Proben waren eher mesophile Mikroorganismen. Typische, langsam wachsende Umweltkeime überwogen möglicherweise in den Proben, deren Punkte im Diagramm unterhalb der Diagonalen liegen.

3.2.2 Probenahmetemperatur und Koloniezahlenanalysen

In **Abbildung 3.15** sind die Analyseergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen in Abhängigkeit von der Probenahmetemperatur dargestellt. Die Probenahmetemperatur hat einen Mittelwert von 22,03 °C (N = 201; Median = 21,15 °C; 95%-CI [9,57; 34,50]) und ist approximativ normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung, Ablehnung der Nullhypothese auf Normalverteilung mit P-Wert=0,069 auf dem $\alpha=0,05$ Level ist nicht signifikant). Die Wahrscheinlichkeit für Kühlwassertemperaturen größer z.B. 30 °C beträgt nur 10%. Einen Trend zur positiven Abhängigkeit von der Temperatur zeigen die Legionellen- und die *Pseudomonas*-Koloniezahlen.

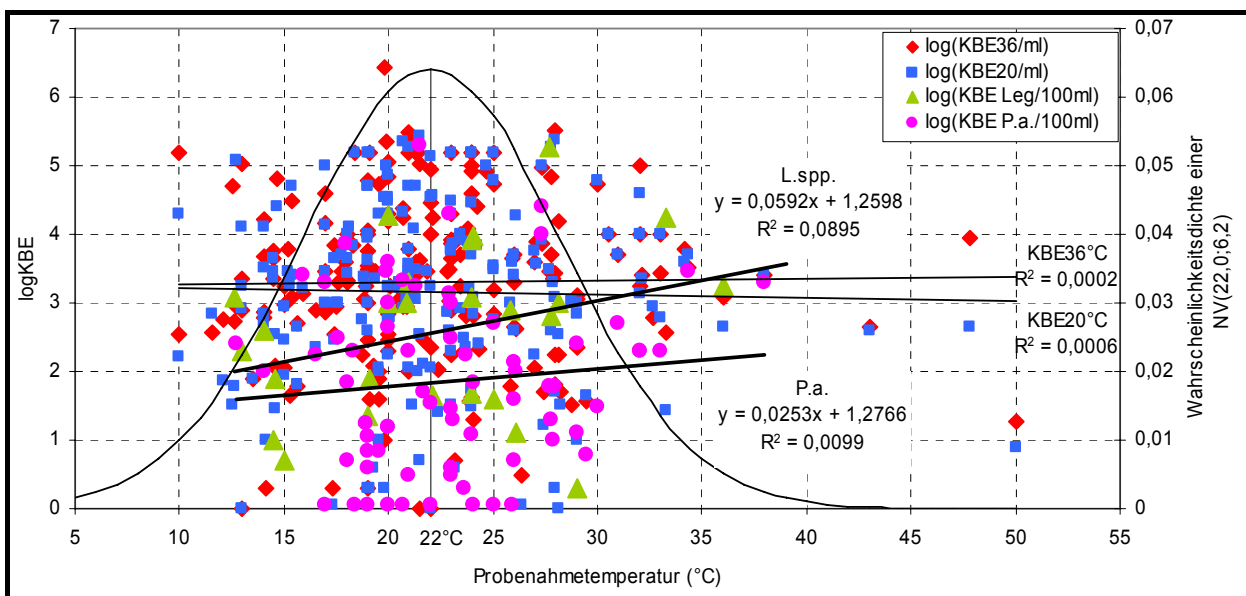


Abbildung 3.15: Logarithmierte Koloniezahlen über der Probenahmetemperatur mit Regressionsgeraden. Approximierte Normalverteilungskurve der Probenahmetemperaturen.

Die niedrige mittlere Kühlwassertemperatur ist möglicherweise der Hauptgrund für die geringe Legionellen-Prävalenz von 13% in den untersuchten Kühlwasserproben. Die Kühlwassertemperatur ist ein Schlüsselparameter für das Risiko einer Legionellen-Besiedelung [19, 20]. Empfohlen werden möglichst geringe Kühlwassertemperaturen. Probenahmestelle war überwiegend die Abtropfwanne, sodass die mittlere Probenahmetemperatur als Maß der Austrittstemperatur angesehen werden kann. Die Wachstumsrate der Legionellen unter 25 °C ist, verglichen mit der am Temperaturoptimum zwischen 35 und 45 °C, stark vermindert. Die Durchschnittstemperatur der Kühlwasserproben lag ohne Legionellen-Nachweis bei 22,0 °C mit Legionellen-Nachweis bei 22,3 °C. Im Gegensatz zu anderen Studien [20] unterscheiden sich die Temperaturen nicht wesentlich.

In **Abbildung 3.16** ist eine Häufigkeitsverteilung der Probenahmetemperaturen dargestellt. Außerdem enthält das Diagramm die prozentualen Anteile der Proben mit positivem Legionellen-Befund in den jeweiligen Temperaturbereichen. Der Kurve der kumulierten Häufigkeit von Proben mit positivem Legionellen-Befund kann entnommen werden, dass 70% der positiven Proben eine Probenahmetemperatur von ≤ 25 °C hatten. Durch die verschiedene Anzahl an Proben in den Temperaturbereichen gibt diese Kurve allerdings ein verzerrtes Bild. Die Kurve der kumulierten Häufigkeiten gewichtet anhand der Probenanzahl innerhalb der

Gruppen ist dagegen eine Prognose für den Kurvenverlauf kumulierter Häufigkeiten positiver Proben, wenn in allen Temperaturbereichen gleich viele Proben vorhanden wären, d.h. temperaturstandardisierte Häufigkeitsraten. Diesem Verlauf kann entnommen werden, dass eine positive Probe mit ca. 50%-iger Wahrscheinlichkeit eine Kühlwassertemperatur >30 °C hätte.

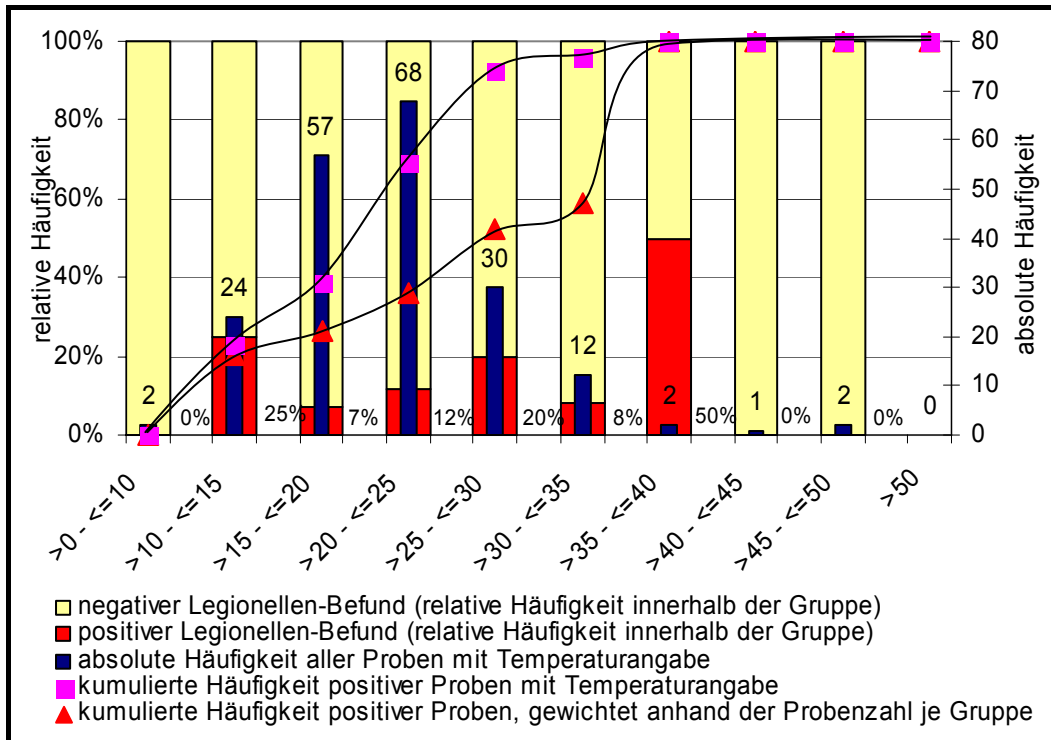


Abbildung 3.16: Häufigkeitsverteilung der Probenahmetemperaturen (N = 198); Anteile von Proben mit positivem (N=26) und negativem (N=172) Legionellen-Befund in Abhängigkeit von der Probenahmetemperatur

Unerwartet hoch ist der Anteil positiver Proben im Temperaturbereich zwischen >10 und ≤15 °C verglichen mit dem Anteil positiver Proben in den Bereichen höherer Kühlwassertemperatur. Eine mögliche Begründung dafür ist, dass die Kühlwassertemperaturen kurzzeitigen Schwankungen ausgesetzt sind, als die Legionellen-Konzentration. Das Kühlwasser kann möglicherweise über Nacht abgekühlt sein, sodass wenn am Morgen die Probenahme war, eine niedrige Temperatur gemessen wurde. Die Temperaturmessung war dann aber nicht repräsentativ für den Kühlturbetrieb. Auch der lange Zeitraum der Studie über verschiedene Witterungsperioden könnte sich auf die Repräsentativität der Temperaturmessungen ausgewirkt haben.

Der zu erwartende Trend einer Zunahme positiver Proben mit höheren Kühlwassertemperaturen (Bereiche 15-20, 20-25 und 25-30 °C), ist im Bereich 30 bis 35 °C unterbrochen. Die Anteile positiver Legionellen-Befunde für Kühlwassertemperaturen >35 °C sind aufgrund geringer Probenzahl innerhalb dieser Gruppe nicht repräsentativ.

3.2.3 Aerobe Koloniezahlen, *Legionella* spp. und *P. aeruginosa*

Ein sehr interessanter und praktischer Aspekt der Koloniezahlbestimmungen wäre, Abhängigkeiten zwischen aeroben Koloniezahlen und Legionellen-Koloniezahlen in Kühlwasserproben zu erkennen. Dadurch hätte man eine einfache und günstige Möglichkeit zum Abschätzen des Risikos einer Legionellen-Verkeimung. **Abbildung 3.17** enthält die Ergebnisse der Legionellen- und *P. aeruginosa*-Analysen aufgetragen gegen die aerobe Koloniezahl bei 20 °C in der jeweiligen Probe.

Ein leichter Trend ist zwischen *P.aeruginosa* und aeroben Koloniezahlen erkennbar. Ein funktionaler Zusammenhang lässt sich jedoch nicht ableiten. Die Legionellen-KBE sind ohne wesentlichen Trend über alle Log-Stufen der aeroben Koloniezahlen verteilt. Wesentliche Erkenntnis ist allerdings, dass bei niedrigen aeroben Koloniezahlen (<10.000 KBE/ml) nicht automatisch auch das Legionellen-Risiko gering ist.

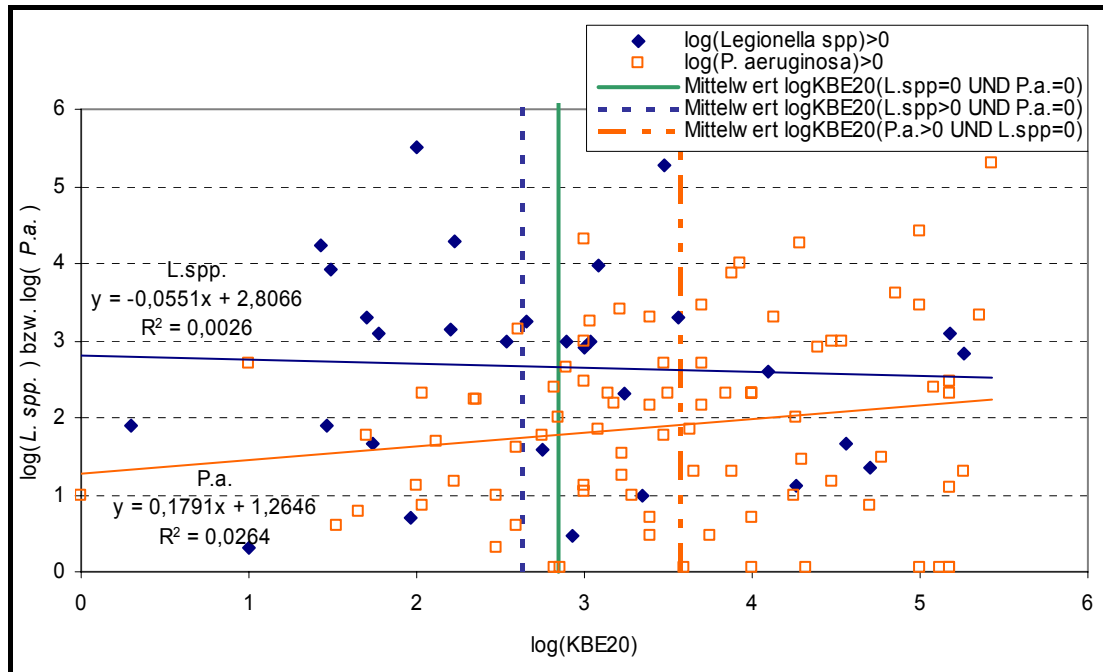


Abbildung 3.17: Logarithmierte Koloniezahlen von *Legionella* spp. und *P. aeruginosa* (jew. >0 KBE/100ml) über der korrespondierenden aeroben Koloniezahl der Probe bei 20 °C. Die vertikalen Linien sind die Mittelwerte der logarithmierten aeroben Koloniezahlen der Proben für die die formulierten Bedingungen zutreffen.

Ferner sind in **Abbildung 3.17** drei arithmetische Gruppen-Mittelwerte der logarithmierten aeroben Koloniezahlen bei 20 °C durch vertikale Linien dargestellt.

- Gruppe 0: *L. spp.* und *P. a.* beide > 0 (nicht im Diagramm eingezeichnet)
- Gruppe 1: *L. spp.* und *P. a.* beide gleich 0 (grüne, durchgezogene Vertikale)
- Gruppe 2: *L. spp.* > 0 und *P. a.* = 0 (blaue, einfach gestrichelte Vertikale)
- Gruppe 3: *P. a.* > 0 und *L. spp.* = 0 (orange, mehrfach gestrichelte Vertikale)

Die deskriptive Statistik der aeroben Koloniezahlen ist in **Tabelle 3-4** aufgeführt. Es wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse (Faktor 1: Inkubationstemperatur, Faktor 2: Gruppe) durchgeführt. Eine Abhängigkeit der Koloniezahlen von der Inkubationstemperatur war statistisch nicht nachweisbar. Ein signifikanter Unterschied wurde jedoch zwischen den vier Gruppen festgestellt. Einzeltests ergaben, dass die Mittelwertdifferenzen zwischen den Gruppen 1 und 3 sowie 2 und 3 signifikant sind. Das heißt, dass die Mittelwerte der logarithmierten aeroben Koloniezahlen größer sind, wenn *P. aeruginosa* in der Probe positiv ist oder anders ausgedrückt, *P. aeruginosa* kann mit höherer Wahrscheinlichkeit in mikrobiologisch stärker verunreinigtem Kühlwasser nachgewiesen werden oder umgekehrt, in stärker kontaminiertem Kühlwasser ist die Wahrscheinlichkeit höher auch noch *P. aeruginosa* nachweisen zu können.

Die negative Mittelwertdifferenz der Proben, in denen *L. spp.* nachgewiesen wurde, gegenüber denen, die frei von Legionellen und *P. aeruginosa* sind, ist dagegen nicht signifikant. Es kann daher auf Basis dieser Daten nicht behauptet werden, dass positive Legionellen-

Befunde im Mittel mit geringeren aeroben Koloniezahlen zusammenhängen oder bei niedrigeren aeroben Koloniezahlen das Legionellen-Risiko signifikant höher wäre.

Tabelle 3-4: Deskriptive Statistik der Koloniezahlbestimmung bei 20 °C und 36 °C für die vier Gruppen der Proben. Grau hinterlegte Mittelwerte sind als Vertikalen im obigen Diagramm eingezeichnet.

Inkubations-temperatur	Gruppe	Mittelwert (logKBE)	Standardabweichung (logKBE)	N
20 °C	0	3,50	1,18	8
	1	2,83	1,39	128
	2	2,64	1,24	23
	3	3,57	1,10	78
	Gesamt	3,08	1,32	237
36 °C	0	3,15	0,99	8
	1	3,17	1,43	128
	2	3,06	1,09	23
	3	3,57	1,01	78
	Gesamt	3,29	1,27	237
Gesamt	0	3,33	1,07	16
	1	3,00	1,41	256
	2	2,85	1,17	46
	3	3,57	1,05	156
	Gesamt	3,18	1,30	474

Diese Feststellungen stehen im Einklang mit wesentlichen Charakteristiken der Mikroorganismen: *Pseudomonas aeruginosa* ist ein typisches aerobes Umweltbakterium und daher häufig Teil der Gesamtheit der aeroben Mikroorganismen sowohl im flüssigen Medium als auch im Biofilm. Daher hat es einen proportionalen Trend zum Summenparameter der aeroben Koloniezahlen. Die Mittelwertsdifferenz ist darauf zurückzuführen, dass bei geringen aeroben Koloniezahlen, die Koloniezahlen von *P. aeruginosa* unter der Nachweisgrenze liegen und keine Kolonien bestimmbar waren.

Trotz ubiquitären Vorkommens der Legionellen in Oberflächenwasser und feuchtem Boden besteht scheinbar kein Zusammenhang mit dem Summenparameter suspendierter aerober Mikroorganismen. Die Gründe für den fehlenden Zusammenhang liegen in der besonderen Physiologie (essentielle Aminosäuren) und Ökologie (möglicherweise obligat endoparasitäre Vermehrung in Protozoen) der Legionellen [12, 21]. Der fehlende Zusammenhang deckt sich auch mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen in der Literatur [22]. Allerdings wurden, entgegen dem Trend in **Abbildung 3.17**, in Whirlpools auch Korrelationen positiver Legionellen-Proben mit hohen Koloniezahlwerten festgestellt [23].

3.2.4 *Legionella* spp. und *Pseudomonas aeruginosa*

Die durchgeführten mikrobiologischen Analysen der Kühlwasserproben ermöglichten eine Gegenüberstellung von Legionellen- und *Pseudomonas*-Koloniezahlen. In **Abbildung 3.18** sind die 7 Proben mit gleichzeitigem Nachweis von *Legionella* spp. und *P. aeruginosa* aufgetragen.

Bei den Proben scheinen die Legionellen-Koloniezahlen im Mittel größer als die *P. aeruginosa*-Koloniezahlen.

Durch die Tabelle der bedingten Wahrscheinlichkeiten (**Tabelle 3-5**) werden die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Kombinationen des qualitativen Nachweises von Legionellen und *Pseudomonas aeruginosa* in den Proben übersichtlich dargestellt.

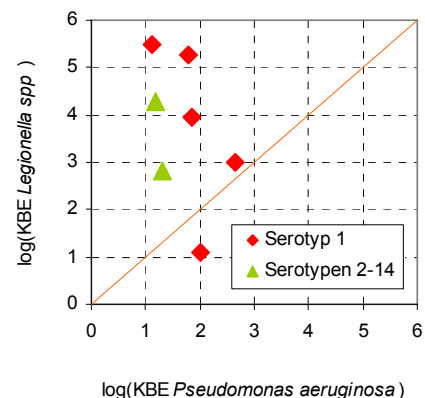


Abbildung 3.18: *Legionella*- und *P. aeruginosa*-Koloniezahlen gleichzeitig verschieden von Null (\log_{10} KBE/100ml).

Tabelle 3-5: Tabelle der bedingten Wahrscheinlichkeiten

<i>L. spp.</i>	$P(B) = 0,13$	$P(\bar{B}) = 0,87$
<i>P.a.</i>		
$P(A) = 0,36$	$P(B A) = \frac{7}{238} = 0,08$ 0,3571	$P(\bar{B} A) = \frac{78}{238} = 0,92$ 0,3571
$P(\bar{A}) = 0,64$	$P(B \bar{A}) = \frac{23}{238} = 0,15$ 0,6429	$P(\bar{B} \bar{A}) = \frac{130}{238} = 0,85$ 0,6429

$$\Rightarrow \hat{\delta} = P(B | A) - P(B | \bar{A}) = -0,07; \hat{\psi} = \frac{P(B | A)}{P(B | \bar{A})} = 0,55; \hat{\omega} = \frac{\frac{P(B|A)}{P(\bar{B}|A)}}{\frac{P(B|\bar{A})}{P(\bar{B}|\bar{A})}} = 0,51 \rightarrow 95\%CI[0,21;1,22]$$

Stochastisch steht daher fest, dass bei einem positivem Nachweis von *P. aeruginosa* die Wahrscheinlichkeit, auch noch Legionellen in der Probe nachzuweisen, etwa halb so groß war (ca. 8%) wie die Wahrscheinlichkeit, keine Legionellen nachzuweisen (ca. 15%). Die stochastische Wahrscheinlichkeit, keine Legionellen in der Probe nachzuweisen, war nahezu unabhängig vom *P. aeruginosa*-Nachweis und betrug 92% bzw. 85% (Verhältnis der Wahrscheinlichkeiten ca. 1).

3.2.5 Einflüsse von Vorbeuge- und Hygienemaßnahmen auf mikrobiologische Parameter

Von besonderem Interesse ist, ob und - wenn ja - in welchem Ausmaß Einflüsse von Hygiene- und Vorbeugemaßnahmen auf Koloniezahlnachweise zu erwarten sind.

Zahlreiche Merkmale, die im Erhebungsbogen abgefragt wurden, wurden mittels χ^2 -Test auf mögliche signifikante Beeinflussung der Koloniezahlergebnisse geprüft. In **Tabelle 3-6** und **Tabelle 3-7** sind als Beispiele zwei Mehrfeldtafeln dargestellt.

Der Einfluss der Reinigungsintervalle ist auf dem 5%-Niveau nicht signifikant ($P=0,77$). Der Einsatz von Korrosionsschutz führt zu einem signifikanten Testergebnis ($P=0,04$). In diesen Proben kommt es häufiger zu höherem Koloniezahlnachweis als in den Proben ohne Korrosionsschutzmittel-Anwendung.

Tabelle 3-6: Vierfeldtafel und Auswertung mittels χ^2 -Test: Reinigungsintervalle

Intervall der Reinigung (jährlich)				
KBE/ml 20 °C	1mal, seltener, gar nicht	2mal, 3mal, häufiger	Zeilensumme	
0 bis $<10^4$	36	24	78	$\chi^2 = 0,083$ P = 0,774
10^4 bis 10^7	42	31	55	
Spaltensumme	60	73	133	

Tabelle 3-7: Vierfeldtafel und Auswertung mittels χ^2 -Test: Korrosionsschutzmittel im Kühlwasser

Korrosionsschutz				
KBE/ml 20 °C	Nein	Ja	Zeilensumme	
0 bis $<10^4$	49	53	102	$\chi^2 = 4,207$ P = 0,040
10^4 bis 10^7	44	83	127	
Spaltensumme	93	136	229	

Die Verwendung von Korrosionsschutzmittel, häufig Poly-Phosphor-Verbindungen, kann dazu führen, dass sich erhöhte Koloniezahlen im Kühlwasser bilden. Das kann auf den erhöhten Nährstoffgehalt im Kühlwasser zurückgeführt werden. Noch deutlicher zeigte sich dieser

Effekt dort, wo zwar Korrosionsschutzmittel eingesetzt wurde, aber keine Biozidbehandlung erfolgte.

Die folgenden Diagramme zeigen die Auswertung der Art der Biozidapplikation. Mit $P=0,95$ hat die stoßweise, diskontinuierliche Biozidanwendung keinen signifikanten Effekt auf dem 5% Niveau auf die Koloniezahlen.

Zu einen formal signifikanten Effekt ($P=0,02$) führt dagegen die kontinuierliche Biozidanwendung. Im rechten Diagramm der **Abbildung 3.19** ist der Effekt der kontinuierlichen Biozidgabe dargestellt. Bei mittleren Koloniezahlen (>100 bis ≤ 10.000) wurde anteilmäßig seltener kontinuierlich Biozid beigegeben als bei niedrigen Koloniezahlen. Wird in einem Verdunstungskühlturm Biozid kontinuierlich eingesetzt, ist die Wahrscheinlichkeit geringer, dass dort mittlere oder höhere Koloniezahlen nachgewiesen werden. Der Effekt ist bei höheren Koloniezahlen allerdings schwächer ausgeprägt.

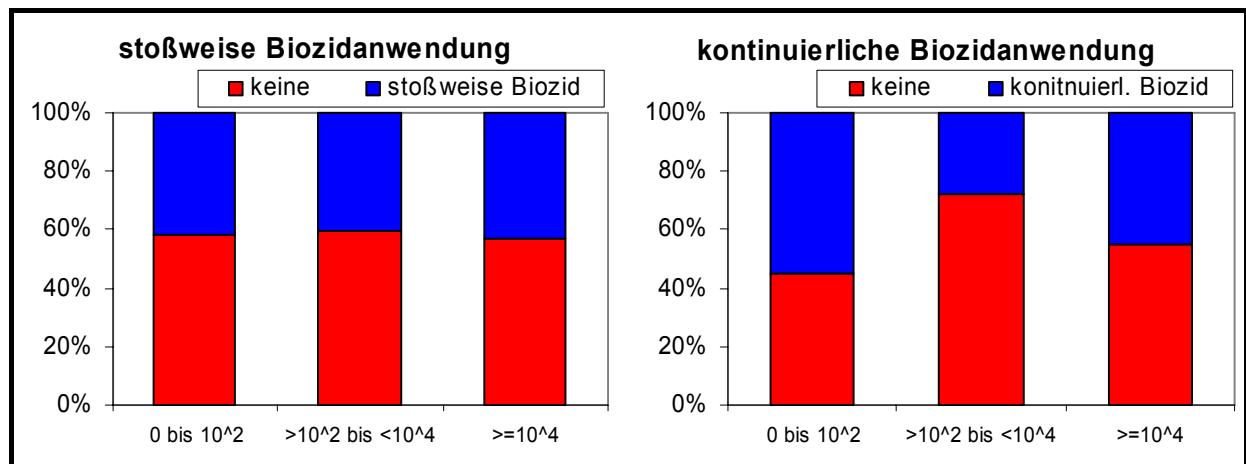


Abbildung 3.19: Koloniezahlen bei Kühltürmen mit stoßweiser und kontinuierlicher Biozidanwendung

Mögliche Gründe für den nicht nachweisbaren Effekt der stoßweisen Biozidanwendung sind, dass diese überwiegend fehlerhaft betrieben wird oder tatsächlich geringere Erfolgsaussicht hinsichtlich dauerhafter Keimzahlreduktion besteht. Das CTI (Cooling Technology Institute) empfiehlt die kontinuierliche Biozidanwendung mit halogenhaltigen Bioziden der stoßweisen Routinebehandlung vorzuziehen [8].

Die entsprechenden Gegenüberstellungen mit Legionellen-Koloniezahlen ließen keinen Effekt erkennen.

Es waren ebenfalls keine weiteren Effekte durch andere Vorbeugemaßnahmen auf die Koloniezahlen erkennbar. Eine mögliche Schlussfolgerung der nicht konsequenten Verringerung von aeroben Koloniezahlen durch Vorbeugemaßnahmen ist uneinheitliche Qualität bei der Durchführung der Maßnahmen und unterschiedliches Wissen darüber [6]. Auch die Ursachenanalyse zur Legionellen-Epidemie in Nord-Pas-de-Calais (2003/2004) zeigte, dass Maßnahmen korrekt und mit großer Sorgfalt durchgeführt werden müssen. Andernfalls kann neben dem Ausbleiben positiver Effekte auf die Kühlwasserqualität, entgegen dem eigentlichen Ziel, eine höhere Infektionsgefahr in der Umgebung entstehen [1]. Ein Mindestverständnis über Zusammenhänge und Hygienebelange beim Betrieb von Verdunstungskühlanlagen ist daher dringend erforderlich.

4 Schlussfolgerungen

Aus den Daten der Studie und der durchgeführten Literaturrecherche können folgende Schlüsse gezogen werden:

Die Mehrzahl der untersuchten Kühltürme wies, gemessen anhand der mikrobiologischen Qualität der Kühlwasserproben, einen annehmbaren hygienischen Zustand auf (ca. 75% der Proben $\leq 10^4$ KBE/ml aerobe Keimzahlen; 87% der Proben negativer Legionellen-Befund; 95% der Proben $\leq 10^3$ KBE/100ml Legionellen).

Möglichst geringe Sprühwassertemperatur ist ein erstrebenswertes Ziel konstruktiver Präventionsmaßnahmen.

Eine verlässliche Prognose zum möglichen Nachweis von Legionellen in Kühltürmen anhand von Faktoren wie Reinigungs- oder Vorbeugemaßnahmen oder auch der aeroben Koloniezahlen ist nicht möglich. Umgekehrt bedeutet dies, dass die Durchführung von Wartungs-, Reinigungs- und Vorbeugemaßnahmen nicht Garant für einen Legionellen-freien Kühlturm sind. Die spezielle Physiologie und Ökologie der Legionellen liefert Begründungen für ihre Neigung zum spontanen Auftreten in hohen Keimkonzentrationen. Diese Gefahr besteht unabhängig von anderen, leichter zugänglichen mikrobiologischen Parametern und ist vielfach unabhängig vom Umfang der Vorbeugemaßnahmen.

- ➔ Maßnahmen müssen durchdacht, fundiert und koordiniert sein sowie nachvollziehbar dokumentiert werden
- ➔ Einhaltung der empfohlenen Werte der chemisch-physikalischen Parameter der Kühlwasserqualität sind Voraussetzung für den Erfolg der mikrobiologischen Kontrolle (Inaktivität von Bioziden bei pH-Abweichungen und Mineralkonzentrationen, etc.)
- ➔ Maßnahmen sollten hinsichtlich ihres Erfolges bezüglich der chemisch-physikalischen sowie der mikrobiologischen Kühlwasserqualität und der Oberflächenbesiedelung regelmäßig überprüft werden. Wesentliches Ziel sollte die Reduktion von Wuchsbelägen sein
- ➔ Regelmäßige Legionellen-Analysen sind sinnvoll, um dauerhaft ungünstige Betriebsbedingungen aufzudecken, eignen sich allerdings aufgrund hoher Unsicherheiten, Kosten und langer Analysedauer nicht für ein darauf basiertes Risikomanagement [18]

Bedeutende Schritte zur Schaffung einer fundierten Betriebssicherheit von Kühltürmen sind Information und Sensibilisierung der Betreiber und Verantwortlichen eines Kühlturms hinsichtlich hygienischer Relevanz der Anlagen [24] sowie möglicher Gefahren und Folgen durch Legionellen-kontaminierte Kühltürme.

In erster Linie ist es Aufgabe der Hersteller, die Hygienerelevanz ihrer Anlagen zu erläutern. Es genügt nicht, nur auf notwendige Wartungsmaßnahmen zum Erhalt von Funktion und Wirkungsgrad hinzuweisen. Die fachliche Kompetenz zur Planung von Vorbeugemaßnahmen und die Durchführung von Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen werden z.B. von Wasseraufbereitungsfirmen angeboten [7].

Sicherer Betrieb von Verdunstungskühlanlagen wird durch zahlreiche Maßnahmen zur Minimierung der Keimzahlen und Minimierung der Übertragungsraten erreicht. Eine Forderung nach Legionellen-freien Kühltürmen ist weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll und auch bezüglich der Senkung des tatsächlichen Infektionsrisikos aufgrund komplexer Zusammenhänge nicht evident [8, 11]. Zahlreiche konstruktive und betriebsbedingte Faktoren beeinflussen diese Zusammenhänge und bieten Möglichkeiten zur Kontrolle des Übertragungsrisikos.

Anhang

Glossar

Aerosol	Ein disperses System aus festen oder flüssigen Partikeln in gasförmigem Medium, ohne nennenswerte Sedimentationsgeschwindigkeit. Disperse Phase: Partikel; homogene Phase: Gas.
Biofilm	In eine schützende Schicht aus extrazellulären, polymeren Substanzen (EPS: Polysaccharide, Polypeptide) eingebettete Mikroorganismen.
Biozid	Ein Stoff, der in der Lage ist Leben abzutöten.
cooling tower	engl.: Kühlturm, i.d.R. offenes Verdunstungsrückkühlwerk
evaporative condenser	engl.: Verdunstungskondensator, i.d.R. geschlossenes Verdunstungsrückkühlwerk. Die Kondensation des Kältemittels einer Kältemaschine erfolgt in den Rohrschlangen des Kühlturms.
Fluid	Ein Stoff mit flüssigkeitsähnlichen Eigenschaften. Alle Gase und Flüssigkeiten sind Fluide. Gase und Flüssigkeiten werden zu Fluiden zusammengefasst, weil viele Eigenschaften von Gasen sich nur in ihrer Größenordnung (quantitativ), aber nicht grundsätzlich (qualitativ) von den Eigenschaften der Flüssigkeiten unterscheiden.
Hybridkühler	Kühlapparat, der im Trockenbetrieb (nur Ventilation) im Nassbetrieb und Mischbetrieb effizient betrieben werden kann. Hybridkühler sind generell geschlossene VRKW und haben Kälte-träger durchflossene Lamellenwärmetauscher, die von Luft umströmt werden und zusätzlich mit Sprühwasser zur adiabatischen Kühlung beaufschlagt werden können.
Kältemaschine	Erzeugung von Kälte durch Entzug von Wärme aus einem Reservoir mit niedrigerer Temperatur und Zufuhr der Wärme zum Reservoir mit höherer Temperatur. Ein links herum durchlaufener Carnot-Prozess; Kraftwärmemaschine KWM.
Kältemittel	Flüssigkeiten, die in einem Wärme-transportierenden System (z.B. Kältemaschine, Wärmepumpe), durch Verdampfen bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck, Wärme aufnehmen und durch Verflüssigen, bei höherer Temperatur und höherem Druck, Wärme abgeben. Z.B. NH ₃ , R22, R134a, R404A, R507
Kälte-träger	Stoff, der zur Aufnahme und zum Abtransport von Wärme eingesetzt wird z.B. Wasser, Ethylenglykol-Wasser-Gemische, Sole.
KBE	Koloniebildende Einheiten als Ergebnis der Koloniezahlbestimmung. Wird dem Begriff Keimzahlen vorgezogen, da aus der Anzahl der gewachsenen Kolonien nicht die tatsächliche Zahl an Keimen ableitbar ist.
Lamellenkühler	Vgl. Autokühler. Im L. verlaufen die Rohrschlangen mit dem Kälte-träger oder dem Kältemittel in einem speziellen Lamellenkorpus, wodurch eine effizientere Wärmeübertragung möglich ist. L. sind das wesentliche technologische Verfahren der Trockenkühlung, werden aber auch in Verdunstungskühlern eingesetzt.
Prozessfeld	Zusammenfassung der Verarbeitungsanlagen einer technischen Anlage.
Rieselbett; Riesel-film	Füllkörper, über die das Wasser als Wasserfilm mit großer Oberfläche nach unten rieselt. Die Gegenströmung von Luft begünstigt den Stofftransport flüssig zu gasförmig (Verdunstung) im Riesel-film.
Sprühverlust	Wasseraerosole und Wassertropfen, die aus dem Kühlturm austreten (nicht: kondensierter Wasserdampf der feuchten Austrittsluft).

Sprühverlust, relativer	Das als Tröpfchenauswurf aus dem Kühlturm austretende Wasser, bezogen auf den Sprühwasserkreislauf-Volumenstrom.
Sprühwasserkreislauf	Im Kreislauf geführtes Wasser, das im Rückkühlwerk versprüht wird. Durch die dabei entstehende große Oberfläche steigen die Menge des verdunsteten Wassers und damit die Wärmeabfuhr. Häufig auch nur Kühlwasser.
TAR	Tour Aéroréfrigérante (TAR) humide, franz.: Verdunstungskühlturm
Totvolumen; Totraum	Volumen in Rohrleitungen, das nicht vom Flüssigkeitsstrom durchströmt wird (tote Leitungsabschnitte; Gewinde, Ventile und Dichtungen u.a. haben Toträume).
Tropfenabscheider	Einrichtung um zu verhindern, dass Wassertropfen in die Austrittsluft des Kühlturms durchschlagen. Prallflächentropfenabscheidung nach dem Trägheitsprinzip, Drahtgestricktropfenabscheider
Volumenstrom	Volumen an transportiertem Medium pro Zeiteinheit

Literaturverzeichnis

1. Tran Minh Nhu Nguyen, et al., *A Community-Wide Outbreak of Legionnaires Disease Linked to Industrial Cooling Towers—How Far Can Contaminated Aerosols Spread?* The Journal of Infectious Diseases, 2006. **193**(1): p. 102-111.
2. BImSchV 4 1985 Anhang vom 23.02.1999: *Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Anhang.* BGBl, 1999
3. VDI 6022 Blatt 1: 2006-04: *Hygiene-Anforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte.* Beuth Verlag, 2006
4. VDI 3803: 2002-10: *Raumluftechnische Anlagen. Bauliche und technische Anforderungen.* Beuth Verlag, 2002
5. VDMA-Einheitsblatt 24649: 2005-05: *Hinweise und Empfehlungen zum wirksamen und sicheren Betrieb von Verdunstungskühlanlagen.* Beuth Verlag, 2005
6. S. Dubrou, et al., *Cooling Towers and Legionellosis: A Large Urban Area Experience*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 291-294.
7. ACOP L8: *Legionnaires' disease. The control of legionella bacteria in water systems.* HSE Books, 2000, ISBN 0-7176-1772-6
8. CTI Legionellosis Guideline: *Best Practices for Control of Legionella.* Cooling Technology Institute (CTI), 2000
9. EUROVENT 9/5 - 2000: *Empfehlungen zum wirksamen und sicheren Betrieb von Verdunstungskühlanlagen.* EUROVENT / CECOMAF, 2000
10. VDMA-Merkblatt: *Hinweise und Empfehlungen zum Betrieb und zur Wartung von Verdunstungskühlanlagen.* VDMA-Fachverband Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt, 2004
11. William. E. Pearson, *Legionella 2003: An Update and Statement by the Association of Water Technologies (AWT).* 2003.
12. B.S. Fields, *The Social Life of Legionellae*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 135-142.
13. TrinkwV 1986 Anlage 1 (zu § 14 Abs. 1) vom 5.12.1990: *Trinkwasserverordnung Anlage 1: Mikrobiologische Untersuchungen.* BGBl, 1990
14. Umweltbundesamt, *Nachweis von Legionellen in Trinkwasser und Badebeckenwasser.* Bundesgesundhbl, 2000. **43**(11): p. 911-915.
15. DIN EN 12780: 2002-07: *Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Zählung von Pseudomonas aeruginosa durch Membranfiltration.* Beuth Verlag, 2002
16. Lothar Sachs, *Angewandte Statistik. Anwendungen statistischer Methoden.* 9. Auflage 1999: Springer Verlag.
17. H.E. Müller, *Legionellen - ein aktuelles Problem der Sanitärhygiene* 2005, Renningen: Expert Verlag.
18. Richard Bentham, *Routine Sampling and Temporal Variation of Legionella Concentrations in Cooling Tower Water*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 321-324.
19. Clive Broadbent, *Australian Risk Management Approaches to Control of Legionella in Cooling Water Systems*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 371-375.
20. R. Schulze-Röbbecke, M. Richter, *Entstehung und Vermeidung von Legionelleninfektionen durch Kühltürme und Rückkühlwerke.* Gesundheits-Ingenieur, 1994. **115**(2): p. 71-77.
21. Tamera McNealy, et al., *Impact of Amoebae, Bacteria and Tetrahymena on Legionella pneumophila Multiplication and Distribution in an Aquatic Environment*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 170-175.
22. Zuhail Zybeck, Aysin Cotuk, *Relationship between Colonization of Building Water Systems by Legionella pneumophila and Environmental Factors*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 305-308.
23. Richard D. Miller, Anne D. Koebel, *Prevalence of Legionella in Whirlpool Spas: Correlation with Total Bacterial Numbers*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 275-294.
24. Sebastian Crespi, Juan Ferrer, *Educational Program for Prevention of Legionellosis in the Tourism Sector*, in *Legionella*, Marre, R., Hrsg. 2002, ASM Press. S. 425-428.



91058 **Erlangen**
Eggenreuther Weg 43
Telefon: 09131 764-0



85764 **Oberschleißheim**
Veterinärstraße 2
Telefon: 089 31560-0



97082 **Würzburg**
Luitpoldstraße 1
Telefon: 0931 41993-0



80538 **München**
Pfarrstraße 3
Telefon: 089 2184-0

www.lgl.bayern.de

**Bayerisches Landesamt für
Gesundheit und Lebensmittelsicherheit**
Eggenreuther Weg 43, 91058 Erlangen

Telefon: 09131 764-0
Telefax: 09131 764-102

E-Mail: poststelle@lgl.bayern.de
Internet: www.lgl.bayern.de

Druck: Print Com, Erlangen

ISBN 978-3-939652-23-6 Print Ausgabe
ISBN 978-3-939652-24-3 Online Ausgabe