

Aus dem Institut für Hygiene und Umweltmedizin  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. habil. Axel Kramer)  
der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

**Untersuchung der Effektivität des Acti-Des-blue-Verfahrens zur Sanierung  
des kontaminierten Wasserreservoirs von Zahnarztstühlen**

Inaugural Dissertation  
zur  
Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Zahnmedizin  
(Dr. med. dent.)  
der  
Universitätsmedizin  
der  
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Greifswald

2011

vorgelegt von: Kathleen Demond

geb. am: 25. 04. 1979

in: Demmin

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer  
1. Gutachter: Prof. Dr. A. Kramer  
2. Gutachter: Prof. Dr. Th. Eickmann  
Tag der Disputation: 21.03.2012  
Ort, Raum: Greifswald, W.-Rathenau-Str. 42a ; Hörsaal der Zahnklinik

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
d	Tag
DIN	Deutsches Institut für Normung
DVGW	Deutscher Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.
Fa.	Firma
h	Stunde
ISO	International Organisation for Standardization
ITS	Intensivstation
KbE	Koloniebildende Einheiten
L. pneumophila	Legionella pneumophila
min	Minute
mVh	Millivoltstunde
MW	Mittelwert
P. aeruginosa	Pseudomonas aeruginosa
pH	pondus hydrogenii (negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration)
s. o.	siehe oben
sog.	sogenannte
spp.	species
Stabwin	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UV-Bestrahlung	Ultraviolette Bestrahlung
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
WSP	Wassersicherheitsplan

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1 Einleitung und Problemstellung</b> .....	<b>5</b>
1.1 Problemstellung .....	5
1.2 Literaturüberblick zur mikrobiellen Kontamination des wasserführenden Systems zahnärztlicher Behandlungseinheiten.....	7
1.3 Ursachen der Kontamination und Möglichkeiten zur Reduzierung der Kontamination wasserführender Systeme .....	9
1.4 Beschreibung des Acti-Des-blue-Verfahrens als empfohlene Sanierungsmaßnahme .....	15
<b>2 Eigene Untersuchungen</b> .....	<b>18</b>
2.1 Methode.....	18
2.1.1 Aufbau der zahnärztlichen Behandlungseinheit.....	18
2.1.2 Probennahme .....	19
2.1.3 Probenverarbeitung.....	20
2.2 Ergebnisse.....	25
2.2.1 Gesamtkoloniezahl.....	25
2.2.2 Schimmelpilze .....	32
2.2.3 Legionella pneumophila .....	39
2.2.4 Pseudomonas aeruginosa.....	39
2.2.5 Redoxpotentiale und pH-Werte .....	40
2.3 Diskussion .....	42
2.3.1 Methode.....	42
2.3.2 Ergebnisse .....	43
2.4 Weiterführende Gedanken und Schlussfolgerungen .....	59
<b>3 Zusammenfassung</b> .....	<b>60</b>
<b>4 Summary</b> .....	<b>63</b>
<b>5 Literatur</b> .....	<b>65</b>
<b>6 Anhang</b> .....	<b>70</b>
Tabellen 1-12	
Eidesstattliche Erklärung	
Lebenslauf	
Danksagung	

## 1 Einleitung und Problemstellung

### 1.1 Problemstellung

Unverzichtbarer Bestandteil jeder zahnärztlichen Einheit ist die Wasserkühlung. Ohne ausreichende Kühlung können beim Präparieren der Zähne mit dem hochtourigen Mikromotor und der Turbine schnell sehr hohe Temperaturen erreicht werden, wodurch es zu irreversiblen Schädigungen an den Zahnhart- und Zahnweichgeweben kommen kann.

Das zur Kühlung verwendete Wasser stagniert über längere Zeit in den zuführenden Leitungen, besonders über Nacht und an den Nichtarbeitstagen (z. B. Wochenende, Feiertage). Insbesondere während der Stagnation können sich im wasserführenden System zahnärztlicher Behandlungseinheiten aus dem zentralen Trinkwassernetz eingebrachte Mikroorganismen an den inneren Wandungen der zahnärztlichen Behandlungseinheit anhaften, dort vermehren und einen Biofilm bilden. In diesem Biofilm kann eine massenhafte Vermehrung der Mikroorganismen in Perioden der Wasserstagnation mit teilweiser Ablösung des Biofilms bei erneuter Inbetriebnahme zu einer zum Teil massiven Kontamination des Kühlwassers führen, die für zahnärztliche Patienten, aber auch für das Behandlungsteam, ein Infektionsrisiko darstellt. Zu diesen Mikroorganismen gehören besonders die *Legionellen*, aber auch *Pseudomonaden spp.*, *gramnegative Nonfermenter*, *atypische Mykobakterien* und ggf. *Schimmelpilze* [1, 2, 3]. Als Folge gibt es eine Reihe von Publikationen über Befunde zur Kontamination der wasserführenden Systeme [1, 7-17, 19, 20].

Die Übertragung der Erreger kann indirekt oder direkt erfolgen. Im Vordergrund steht die inhalative Aufnahme der Erreger durch Aerosolbildung an den Hand- und Winkelstücken, Turbinen sowie an der Absauganlage. Hier bildet sich ein Aerosol, das von den Patienten und auch vom Personal eingeatmet wird. Des Weiteren können die Erreger indirekt von kontaminierten Medizinprodukten, zahntechnischen Materialien und kontaminierten Kontaktflächen (z. B. Schwebetische, Lampengriffe, Funktionstasten usw.) übertragen werden. Der direkte Übertragungsweg kann von Patient zu Personal, von Personal zu Patient oder/ und von Patient zu Patient erfolgen [4].

Ein weiteres kritisches Erregerreservoir sind Duschen. Deswegen wurde im Klinikum der Universitätsmedizin Greifswald ein Wassersicherheitsplan entwickelt, der dafür sorgt, dass die Risiken richtig eingeschätzt werden und bei Zwischenfällen sofort

eingegriffen werden kann. Damit konnte z. B. das Auftreten der nosokomialen Legionärskrankheit seit dem Jahr 2000 unterbunden werden [5].

Oft lassen sich bei der zahnmedizinischen Arbeit Mikroläsionen der Mundschleimhaut nicht vermeiden. Somit ist nicht auszuschließen, dass Infektionen bzw. Wundheilungsstörungen durch stark kontaminierten Kühlschpray [6] oder sogar das Eindringen von Mikroorganismen in die Blutbahn des Patienten bei chirurgischen Eingriffen hervorgerufen werden können. Daher forderten die Center for Disease Control and Prevention [7] schon 1993, bei chirurgischen Eingriffen auf die Wasserkühlung über die zahnmedizinische Einheit zu verzichten und stattdessen steriles Wasser oder sterile NaCl-Lösung einzusetzen.

Da Patienten bei jeder Behandlung beim Ausspülen der Mundhöhle einige Milliliter Wasser verschlucken, kann es hierbei ebenfalls zu einer Infektion kommen [8]. Gegebenenfalls kommt es nur zu einer Kolonisation, die immer dann kritisch werden kann, wenn der Patient in seiner Immunabwehr beeinträchtigt wird, an einer Virusgruppe mit nachfolgender Gefährdung durch eine bakterielle Superinfektion erkrankt oder eine Antibiotikatherapie notwendig wird, die zu einer Reduktion der vor Fremdbesiedelung schützenden physiologischen Mikroflora führt, so dass sich kolonisierende Erreger vermehren und pathogenetische Bedeutung erlangen können [1].

Bei der hygienisch-mikrobiologischen Überprüfung der zahnärztlichen Behandlungseinheiten in der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Greifswald (vor dem Umzug in den Neubau) wurde eine stark erhöhte mikrobielle Belastung auffällig, so dass das Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Universitätsmedizin Greifswald nach einer passenden und wirksamen Methode suchen musste, um die Erregerbelastung zu verringern und die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) einzuhalten. Im Rahmen der vorliegenden Promotion wurde daher ein handelsübliches Sanierungsverfahren auf seine Effektivität geprüft, das als „optimale umweltfreundliche Hygienelösung“ beworben wird (<http://www.actides.de/>) und auf der sog. potentialkontrollierten anodischen Oxidation beruht. Dabei wurde die Dekontaminationsleistung im realen Praxisbetrieb über einen repräsentativen Zeitraum untersucht.

## **1.2 Literaturüberblick zur mikrobiellen Kontamination des wasserführenden Systems zahnärztlicher Behandlungseinheiten**

Den ersten Nachweis, dass das Behandlungswasser aus den Mikromotoren und den Turbinen stark kontaminiert ist, erbrachten Blake [9] sowie Grün und Crott [10]. Von da an war es möglich, gezielt Gegenmaßnahmen zu treffen.

1967 zeigte Engelhardt [11] auf, dass die Erregerzahlen vor allem durch lange Stagnationsphasen auf ein hohes Niveau stiegen, dieses aber nach Inbetriebnahme der Dentaleinheit wieder abnahm. 1978 stellte Koch [12] fest, dass das Wasser besonders am Morgen vor Inbetriebnahme besonders stark kontaminiert ist. Eine weitere Erhöhung der Kontamination gehe von längeren Stagnationsphasen aus, wie z. B. am Wochenende und an Feiertagen.

1977 stellten Hetzheim und Ritz [13] durch längeres Ablufen des Wassers eine Abnahme der Erregerzahlen um 97-99 % fest, wobei jedoch die übrigen 1-3 % noch immer die in der TrinkwV geforderten Richtwerte weit überschritten.

Gross et al. [14] sowie Forsina et al. [15] kamen im Ergebnis ihrer Untersuchungen zu der Erkenntnis, dass ein einfaches Spülen der Leitungen nicht ausreicht, um die geforderten Werte zu erreichen. Sie bekamen zwar eine Reduktion der Erregerzahlen auf bis zu 99,2%, aber die in der TrinkwV geforderten 100 KbE/ml wurden trotzdem um ein Vielfaches überschritten. Deshalb wiesen sie darauf hin, dass die gewünschte Reduktion der Erregerbelastung in Dentaleinheiten nur durch geeignete Desinfektionsmaßnahmen zu erzielen ist. Weitere Publikationen [16, 17] zeigten, dass hohe Erregerbelastungen in zahnärztlichen Behandlungseinheiten unabhängig von der Region, der Klinik und der niedergelassenen Praxis ein Problem sind. Einige Autoren [18-21] sahen in dem zugeführten Wasser die Ursache der Biofilmbildung. Das Kühlwasser stammt in Deutschland aus dem Hausinstallationssystem und gelangt über ein verzweigtes Schlauchsystem innerhalb der Behandlungsstühle zu den Arbeitsinstrumenten des Zahnarztes. Zu diesen gehören das Ultraschallgerät, die Luft-Wasser-Spritze auf Zahnarzt- und Helferinnenseite sowie die Turbinen und Winkelstücke. Konstruktionsbedingt können sie eine Schwachstelle in der „Hygienekette“ darstellen.

Blume und Schmidt [22] nahmen 298 Wasserproben an 62 Dentaleinheiten. 84 % der Proben entsprachen den geforderten Werten der Trinkwasserverordnung. In 13,4 %

der Proben fanden sie *P. aeruginosa*. Einmal konnten sie *L. pneumophila* im Wasser nachweisen.

Schon 1981 wiesen Exner und Kocikowski [1] in 20 Zahnarztpraxen im Wasser von Dentaleinheiten eine massive Pseudomonaskontamination nach. Nur 6 % der Patienten zeigten vor der Behandlung den Erreger *P. aeruginosa* in der Mundhöhle. Nach der zahnärztlichen Behandlung konnte der Erreger bei 42 % der Patienten isoliert werden

Filter und Auffangsiebe, die das Eindringen von größeren Partikeln und Schwebstoffen in die Einheiten unterbinden sollen, bieten zusätzliche Retentionsflächen für Bakterien und unterstützen deren Vermehrung [23].

Stampi [24] zeigte 1996 auf, dass enthärtetes Wasser, das zusätzlich in einer Dentaleinheit erwärmt wird, ein besonders hohes Wachstum von *P. aeruginosa* aufweist.

Die entscheidende Ursache für die Kontamination zahnmedizinischer Behandlungseinheiten ist die Biofilmbildung an den inneren Wandungen der wasserführenden Schläuche. Exner et al. [25] sowie Barbeau et al. [26] untersuchten extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) und deren Einfluss auf die Biofilme. Die Wirkung von Desinfektionsmitteln wird durch die extrazellulären polymeren Substanzen erschwert, da diese die Mikroorganismen schützend umgeben. 2001 stellten Smith et al. [27] fest, dass es einen Unterschied zwischen Bakterien gibt, die sich frei im Wasser bewegen können (planktonisches Vorkommen) und denen, die sich in einem Biofilm befinden. Die Konzentration von Chlor muss 100 bis 1000mal höher sein, um Mikroorganismen in Biofilmen zu inaktivieren.

Viele Turbinen und Winkelstücke sind noch mit einem Rücksaugventil ausgestattet, das dafür sorgt, dass es nicht zum Nachtropfen kommt, wenn sich das Präparationsinstrument (Schleifer, Bohrer) nicht mehr dreht. Dabei wird eine gewisse Menge Wasser in das Winkelstück zurückgesaugt. Durch diesen Mechanismus kann es zu einer ungewollten Übertragung auf den nachfolgenden Patienten kommen [28]. Gräf und Vollmuth [29] wiesen 1977 im Modellversuch eine innere Kontamination von Turbinen durch diesen Rücksaugmechanismus nach. Heute wird deshalb ein Rücksaughemmventil gefordert, was trotzdem den Reflux nicht komplett unterbindet. In einer chinesischen Publikation von 2001 [30] wurde die Kontamination der Hand- und



Winkelstücke mit dem Resultat untersucht, dass es trotz Rücksaugventil zu einer Kreuzkontamination zwischen Patienten kommen kann. Die Bakterienkonzentration ist dabei der wichtigste Faktor.

Brandt [31] untersuchte 1994 fabrikneue Dentaleinheiten und konnte nachweisen, dass in diesen Einheiten bereits eine Erregerbelastung von bis zu  $10^5$  KbE/ml zu finden war. Weiterhin stellte er fest, dass das Wasser aus Behandlungseinheiten ohne Dekontaminationsanlage nur selten den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entsprach.

Eine zusätzliche Kontaminationsgefahr der Dentaleinheiten geht von eingedrungenen Erregern durch Reparatur- und Wartungsarbeiten aus. 1983 bemerkten Prickler und Przyborowski [32] einen plötzlichen Erregeranstieg an einer Dentaleinheit nach Durchführung einer Reparatur. 1988 stellten Becker und Finkensieper [33] eine sprunghafte Erhöhung der Erregerzahlen direkt nach dem Einbau einer Dekontaminationssanlage fest. Diese erklärten sie mit einer Kontamination über die Hände der Monteure. Hiermit bestätigt sich die These von Exner und Kocikowski [1] von 1981, die ebenfalls die Kontamination durch Reparaturarbeiten am wasserführenden System in Erwägung zogen. Allerdings ist die Quelle der ansteigenden Kontamination nach Reparatur mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Mobilisierung von Biofilmpaquen zu vermuten.

### **1.3 Ursachen der Kontamination und Möglichkeiten zur Reduzierung der Kontamination wasserführender Systeme**

Nach dem heutigen Wissensstand können Krankheitserreger auf drei Wegen in das wasserführende System zahnmedizinischer Einheiten eindringen. Es kann zu Infiltration von Erregern über das Leitungsnetz kommen. Dem wird durch die Trinkwasserüberwachung begegnet. Werden dem Gesundheitsamt Werte bekannt, die Grenzwerte überschreiten und eine Gefährdung der Öffentlichkeit nach sich ziehen, wird die betroffene Wasserversorgung bis auf weiteres gesperrt. Sobald Sanierungsmaßnahmen durchgeführt worden sind, untersucht das Gesundheitsamt in Intervallen das Wasser, um die Einhaltung der Grenzwerte zu überwachen. Da jedoch bis 100 KbE/ml apathogener Mikroorganismen im Trinkwasser zulässig sind, bilden sie den Startpunkt der Biofilmbildung.

Es kann ferner zu retrograder Kontamination kommen. Durch die Rücksaugventiltechnik, die ein Nachtropfen der Handstücke und der Turbine

verhindern und gleichzeitig vor dem Erkalten des vorgewärmten Wassers schützen soll, kann es zu einer Kontamination mit der Mundflora der Patienten kommen. Es entsteht ein leichter Unterdruck, durch den Flüssigkeit aus der Patientenmundhöhle eingesaugt wird und in der Folge eine ungewollte Übertragung auf den nächsten Patienten ermöglicht. Deswegen empfiehlt das Robert Koch-Institut, nach jedem Patienten die Leitungen für 20 s und vor Inbetriebnahme am Morgen und nach längeren Pausen für etwa 2 min durchzuspülen.

In einer Untersuchung von Exner et al. [1] waren an zwei Einheiten, die mit *P. aeruginosa* kontaminiert waren, erst nach Abfließen von 170 ml Kühlwasser die Pseudomonaden nicht mehr nachweisbar. Die gleiche Species konnte aber am nächsten Tag wieder in der bestehenden Anfangskoloniezahl in den Einheiten gefunden werden. Obwohl sich also eine Verminderung durch das Abfließen des Kühlwassers ergab, ist es keine sichere Methode zur Elimination von Krankheitserregern.

Schließlich können Krankheitserreger über den Techniker bei Wartungs- und Reparaturarbeiten in das System eingebracht werden. Es sollte daher bei Wartungsarbeiten auf strikte Hygiene geachtet werden. So ist es erforderlich, dass sich Techniker vor solchen Arbeiten die Hände desinfizieren und keimarme Einmalhandschuhe tragen.

Die Ursachen der Kontamination sind also vielfältig, wodurch die Gegenmaßnahmen zur Einhaltung der in der Trinkwasserversorgung festgelegten Mindestanforderungen beeinflusst werden.

Nach der TrinkwV 2001 [34] zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen nur Aufbereitungsmittel verwendet werden, die vom Bundesministerium für Gesundheit in einer Liste im Gesundheitsblatt bekannt gemacht worden sind. Nach der Liste der Aufbereitungsmittel und Desinfektionsverfahren gemäß §11 der TrinkwasserV sind zur Desinfektion nur die UV-Bestrahlung und die Desinfektion mit Chlor bzw. mit Chlordioxid zugelassen.

Die Heißwasserversorgung des Krankenhauses kann bei Kontamination hoch geheizt werden, das Kaltwasser kann nur chemisch dekontaminiert oder steril filtriert werden. Die thermische Desinfektion erfolgt bei >73 °C für 10 min [53]. Der Vorteil dieser Bekämpfungsart ist ein sicheres Abtöten der Erreger, wobei keine Reaktionsprodukte

entstehen. Der Nachteil dieser Methode ist, dass es zu keiner Biofilmentfernung kommt und der Aufwand hoch ist.

Nach dem Kommentar von Henschel und Waider zum DVGW-Arbeitsblatt W551 [54] ist es erforderlich, dass Heizkessel eine Mindesttemperatur von  $\geq 60$  °C und Warmwasserzirkulationen  $\geq 55$  °C aufweisen. Bei diesen Temperaturen kommt es zu einer Legionellenminimierung, wobei aber nicht der Biofilm entfernt wird. In einer Studie von Kramer et al. [53] wurde untersucht, ob es bei diesen geforderten Temperaturen zu einer Legionelleneliminierung kommt. Die Labortests zeigten, dass *L. pneumophila* in Gegenwart von Amöben bessere Wachstumsbedingungen vorfanden als ohne Amöbenvorkommen. Die Legionellen konnten sich trotz gleicher Ausgangsbedingungen zu einer höheren Koloniezahl vermehren. Bei 64 °C/10 min, bei 65 °C/5 min und auch bei 71 °C/5 min war der Nachweis noch positiv, das heißt es waren noch nicht alle Legionellen abgetötet. Danach ist davon auszugehen, dass die im Kommentar von Henschel und Waider zum DVGW-Arbeitsblatt W551 [54] empfohlenen minimalen Desinfektionsparameter bei Kontamination mit intraamöbozytären *L. pneumophila* nicht ausreichen. In Speicher-Trinkwassererwärmern ist eine Temperatur von 60 °C/20 min zu wenig. Der Legionellentest bei den Laboruntersuchungen war bei dieser Temperatur positiv, aber bei 73 °C/10 min waren die Legionellen eliminiert. Im Praxistest wurden bei 65 °C/45 min (intra- und extraamöbozytär) alle *L. pneumophila* inaktiviert [53].

Bei der UV-Bestrahlung kommt keine Chemie zum Einsatz. Die Wirkung ist aber unsicher. Der Biofilm wird auch hier nicht entfernt und die Kosten sind hoch.

Bei der Chlorung/Anodischen Oxidation soll es bei einer Dauereinwirkung zu keiner oder zur verzögerten Biofilmneubildung kommen. Es entstehen dabei toxische Reaktionsprodukte. Ein weiterer Nachteil ist die nur ungenügende Wirkung auf den vorhandenen Biofilm und auf Protozoen [35].

Es gibt eine Reihe von Publikationen, die den Zusammenhang zwischen Trinkwasserkontamination und Erkrankungsrisiko in Krankenhäusern belegen. Van der Kooij et al. [36] fanden 2005 heraus, dass sich *L. pneumophila* im Biofilm der Leitungsnetze unabhängig vom Material der Rohre vermehren kann. Boccia et al. [37] fanden 2006 heraus, dass die Anzahl nosokomialer *L. pneumophila* Pneumonien mit der Kontamination und dem Kontaminationsgrad ( $< 10^2$  KbE/l) des Trinkwassers korreliert.

1985 untersuchten Fotos et al. [38] das zahnmedizinische Personal (n=270) auf Antikörper gegen Legionellen. Von diesen hatten *Legionella IgG* 20% und *Legionella IgM* 10% ausgebildet. Die Normalverteilung lag in der Bevölkerung für *Legionella IgG* bei 8% und für *Legionella IgM* bei 10 %. Auch aus dieser Studie geht hervor, dass aus präventiven Gründen das Wasser aus zahnärztlichen Behandlungseinheiten wegen seines engen Kontaktes mit Patienten und Personal den Anforderungen der TrinkwasserV [34] gerecht werden muss, dass heißt frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein. Dieses Erfordernis gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden und das Wasser für den menschlichen Gebrauch den Anforderungen der §§ 5 - 7 TrinkwasserV entspricht [34].

Es dürfen im Wasser von Dentaleinheiten die Erreger nicht in Konzentrationen vorhanden sein, bei denen es zu Schädigungen von Patienten und Personal kommen kann. Ebenso wenig dürfen die mikrobiologischen Richtwerte überschritten werden. Diese werden in koloniebildenden Einheiten (KbE) angegeben. Die Gesamtkoloniezahl darf bei 22 °C und bei 36 °C Bebrütung nicht den Richtwert von 100 KbE/ml überschreiten. Des Weiteren werden bei mikrobiologischen Untersuchungen routinemäßig *coliforme Bakterien*, *P. aeruginosa* und *Legionellen*, bei Trinkwassergewinnung aus Oberflächenwasser zusätzlich *C. perfringens* überprüft. In 100 ml Wasser dürfen sich keine *E. coli*, *Coliforme*, *Enterokokken* und *C. perfringens* befinden [34]. Dyck et al. [5] haben diese Forderung auf *P. aeruginosa* erweitert, um dem Vorsorgeprinzip Rechnung zu tragen.

Der kritische Wert für Legionellen liegt bei  $\geq 1$  KbE/100ml in Hochrisikobereichen (z. B. Onkologie, Neonatologie, Intensivmedizin), in den übrigen medizinischen Bereichen ist der Zielwert  $> 100$  KbE/100ml [39]. In der Studie von Dyck et al. [5] von 2007 werden noch niedrigere Grenzwerte empfohlen.

Im Rahmen eines in der Greifswalder Universitätsmedizin entwickelten und eingeführten Wassersicherheitsplans werden 3 Risikobereiche unterschieden. Der erste Risikobereich umfasst die Hochrisikopatienten, wie z. B. auf der Neonatologie, ITS oder immunsupprimierte Patienten. Hier findet ein ständiger Einsatz von Sterilfiltern und z. T. von selbstdesinfizierenden Siphons statt. Der zweite Risikobereich umfasst die Patienten mit einem moderaten Infektionsrisiko. Das sind z. B. internistische Patienten mit respiratorischen Erkrankungen oder Patienten im Neurorehabzentrum. Im dritten Risikobereich sind die Patienten zusammengefasst, die

ein Risiko vergleichbar der Normalbevölkerung tragen. Das sind z. B. Patienten der Gastroenterologie, Kardiologie oder auch Patienten von chirurgischen Stationen. Zielsetzung des Wassersicherheitsplans ist es, eine Infektionsprävention durch frühzeitige Risikoerkennung mit sofortiger Sanierung bei beginnender Kontamination zu betreiben. Hierfür wurden technische Präventionsmaßnahmen, Kontrollpunkte (CP) und kritische Kontrollpunkte (CCP) mit erweiterten Warn- und Grenzwerten nach der Zuordnung der Einrichtung bzw. Station zu den genannten Risikobereichen festgelegt. Die CP und CCP wurden gemäß dem HACCP- Konzept (hazard analysis and critical control points) entwickelt [40]. Es wurden Maßnahmen festgelegt, die bei Überschreitung der Grenzwerte oder im Fall einer Havarie ergriffen werden. Das Prinzip des Wassersicherheitsplans (WSP) unterliegt dem Leitsatz search and destroy. Als erste Maßnahme wurden in Hochrisikobereichen endständige Sterilfilter an Wasserauslässen und selbstdesinfizierende Siphons eingebaut. Des Weiteren wurden selten benutzte Auslässe identifiziert und eliminiert. Zusätzlich wurden vorhandene Totstrecken identifiziert und zurück gebaut. Mit diesen Maßnahmen wurde das Universitätsklinikum Greifswald seit 2000 frei von *Legionellen*, *Pseudomonas aeruginosa* und anderen Wasserpathogenen einschließlich *Schimmelpilzen* [5].

In Tab. 1 sind die Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit zu Grenz- und Höchstwerten zusammengefasst.

Tab. 1 Empfehlungen des Umweltbundesamtes zu hygienisch-mikrobiologischen Untersuchungen im Kaltwasser von Wasserversorgungsanlagen [41]

Art der Einrichtung, in der sich die Wasseranlage befindet	Ort der Entnahme	Grenzwert Koloniezahl bei 22 °C (KbE/ml)	Grenzwert Koloniezahl bei 36 °C (KbE/ml)	Grenzwert Coliforme (KbE/100ml)	Grenzwert <i>P. aeruginosa</i> (KbE/100ml)
Krankenhäuser sowie andere medizinische Einrichtungen und Pflegeeinrichtungen (entspr. 2.1 - 2.2)	Übergabestelle und peripher gelegene Entnahmestelle	100	100	0	0
Übrige Einrichtungen (entspr. 2.3 - 2.7)	Übergabestelle und peripher gelegene Entnahmestelle	100	100	0	-

In Tab. 2 sind die Warn-, Grenz-, Alarm- und Worst case Werte des WSP's der Universitätsmedizin Greifswald angegeben.

Tab. 2 Festlegung der Warn-, Grenz-, Alarm- und Worst case Werte für die 3 Risikobereiche (RB) im Universitätsklinikum Greifswald [5]

RB	Parameter	Warnwert*	Grenzwert	Alarmwert*	Worst case*	Bezugs- volumen
1 und 2	KBE 22 °C und 36 °C	80 - 100*	>100**	>200 - 500	>500	ml
	Coliforme, E. coli, Enterokokken		0**	1-10	>10	100 ml
	P. aeruginosa		0**	1-10	>10	
	Legionella spp. (Dusche, Wasserhahn)		0*	1-100	>100	
	Pilze		0 *	10-100	>100	
3	KBE 22 °C und 36 °C		>100**	>500	>1000	ml
	Coliforme, E.coli Enterokokken		0**	1-10	>10	100 ml
	P. aeruginosa		0**	1-50	>50	100 ml
	Legionella spp. (Dusche)		0*	>5-50	>50	100 ml
	Legionella spp. (Wasserhahn)		0*	>200	>500	100 ml

\*hauseigene Werte

\*\*Gesetz (2001) bzw. Trinkwasserverordnung (2004)

Es konnte nachgewiesen werden, dass es zu einem Zurückhalten von Erregern durch endständige Bakterienfilter kommt. Auf Intensivstationen wurde durch die Montage endständiger Sterilfilter eine signifikante Reduktion an Pseudomonas-Infektionen und -Kolonisationen erreicht [3, 42-44]. In Hochrisikobereichen gehören endständige Sterilfilter inzwischen zur Standardausrüstung für die Verhütung nosokomialer wasserübertragbarer Infektionen. Gemäß der Risikobereiche nach dem WSP in Greifswald wurden im Risikobereich 1 endständige Wasserfilter an den Wasserhähnen und den Duschen installiert. Daeschlein et al. [45] untersuchte diese endständigen Filter 2007. Sie kamen zum Einsatz an insgesamt 70 Wasserhähnen und 12 Duschen. Das gefilterte Wasser entsprach den WHO-Richtlinien [40] und der TrinkwV 2001 [34]. Die Standzeiten der Filter wurden je nach Station auf 4-8 Wochen festgelegt.

Dentaleinheiten sind dem Risikobereich mit nicht erhöhtem Infektionsrisiko zuzuordnen, sofern nicht immunsupprimierte Patienten behandelt werden oder es sich um eine Anwendung bei chirurgischen Eingriffen handelt.

#### **1.4 Beschreibung des Acti-Des-blue-Verfahrens als empfohlene Sanierungsmaßnahme**

Schon zu Beginn der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde verstärkt im Bereich der elektrochemischen Desinfektion geforscht. Die auf diese Weise hergestellte Desinfektionslösung wird als Anolyte bezeichnet. Es wurden drei Verfahren zur Herstellung von Desinfektionslösungen entwickelt: die anodische Oxidation (AO), die elektrochemische Aktivierung (ECA) und die Weiterentwicklung der ECA-Technologie als potentialkontrollierte anodische Oxidation (PAO = Acti Des blue).

Bei der anodischen Oxidation wird aus den Chlorid-Ionen, die im Trinkwasser enthalten sind oder die in Form von NaCl-Lösung zudosiert werden, durch die direkte Elektrolyse des Trinkwassers hypochlorige Säure (HClO) für die Desinfektion produziert. Dabei werden zwei oder mehrere Elektroden in das zu desinfizierende Wasser gebracht und mit Gleichspannung beaufschlagt. Eine Trennung der Anode und Kathode durch eine Membran findet hierbei nicht statt. Durch die an den Elektroden anliegende Spannung kommt es zur elektrolytischen Zersetzung des Wassers. An der Anode entsteht Sauerstoff, an der Kathode Wasserstoff. Durch die Anwesenheit von Chlorid-Ionen wird an der Anode außerdem Chlor ( $\text{Cl}_2$ ) erzeugt, das durch Hydrolyse zu hypochloriger Säure und Salzsäure umgesetzt wird. Die an der Kathode vorliegenden OH-Ionen bilden mit den Natrium-Ionen Natronlauge, die zu einer pH-Wert Erhöhung unmittelbar an der Kathode führt. Für die Anwendung der Elektroden sind in der Literatur und in Firmenunterlagen einige Varianten beschrieben. In der Praxis wird meist ein Elektrodenpaket aus einer größeren Anzahl von parallelen Platten verwendet. Die Elektroden werden direkt in die Rohrleitung oder in einen Bypass eingebaut. In älteren Publikationen wird die desinfizierende Wirkung der AO hauptsächlich auf die oxidative Zerstörung der entsprechenden Mikroorganismen an der Anode zurückgeführt. Diese Wirkungsweise ist jedoch fraglich. Heute hat sich die Auffassung durchgesetzt, dass die desinfizierende Wirkung zum größten Teil auf oxidierend wirkende Stoffe beruht, die an der Anode gebildet werden. Die Stoffe entstehen aus Chlorid-Ionen, die sich im Wasser befinden und sind Substanzen wie hypochlorige Säure und Hypochloritionen [46].

Bei der elektrochemischen Aktivierung wird die Anolyte durch eine überarbeitete Methode des Elektrolyse-Verfahrens mittels Diaphragmalyse hergestellt. In dem Elektrolyse-Reaktor befinden sich ein Kathoden- und ein Anodenraum, die räumlich durch eine Membran voneinander getrennt sind. Diese Membran verhindert ein Durchmischen der in den Räumen befindlichen Wasser-/Elektrolytlösung. Die eingesetzte Elektrolytlösung wird bei der ECA nur zu einem sehr geringen Anteil umgesetzt, um die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Lösung in vorteilhafter Weise zu verändern und insbesondere das Redoxpotential des mit dem Elektrolyt versetzten Wassers zu erhöhen. Dadurch wird die desinfizierende Wirkung erhalten. Von Vorteil ist die Gesundheits- und Umweltverträglichkeit der erzeugten Stoffe in deren jeweiligen Konzentrationen, die gemäß der deutschen Trinkwasserverordnung (TrinkwV) zugelassen sind. Nachteilig bei diesem Verfahren ist die mangelnde Qualitätskontrolle, da die für eine hinreichende Desinfektion erforderlichen, meist empirisch ermittelten Verfahrensparameter, wie z. B. Menge der zugesetzten Elektrolytlösung, eingestellte Elektrodenspannung etc., insbesondere Zusammensetzung des zu desinfizierenden Wassers, wie z. B. dessen Leitfähigkeit und dessen Redoxpotentials, nicht konstant zu halten sind. Es hat sich gezeigt, dass die hergestellten Lösungen in der Regel – teils hochgradig – mit unerwünschten Produkten verunreinigt sind. Hierbei entsteht praktisch ausschließlich Chlorgas, das den stechenden Geruch der elektrochemisch aktivierten Lösung verursacht. Aufgrund der Abhängigkeit der verschiedenen oben genannten Parameter kommt es zu einer stark schwankenden Zusammensetzung der erzeugten Lösung, für die man keine zuverlässigen Angaben hinsichtlich der Haltbarkeit und Lagerfähigkeit treffen kann. So kommt praktisch nur eine Produktion vor Ort in Frage. In der Praxis hat sich dieses Verfahren aufgrund seiner schlechten Handhabbarkeit bzw. der nur unzureichend möglichen Garantie einer hinreichenden Desinfektion am Markt daher nicht durchsetzen können [47].

Die elektrochemische Aktivierungstechnologie wurde weiter entwickelt, und es entstand die potential-kontrollierte anodische Oxidation (PAO = Acti Des blue). Diese Technik hat einige Vorteile, da eine Potentialkontrolle an der Anode möglich ist. Es wurde eine neu entwickelte Steuerungs- und Regelungssoftware eingesetzt, die auch eine integrierte Fehlererkennung beinhaltet. Durch eng gefasste Produktionsparameter (standardisiertes Produktionsmedium Sole) und durch die Präzision der Mess- und Regeltechnik wird eine gleich bleibend hohe Qualität der produzierten Desinfektionslösung gewährleistet. Es kommt zu einer Separierung der hergestellten Lösung und der entstandenen Abgase sowie zu einer Ausleitung bzw. Ausgasung der



Abfallstoffe. Bei der PAO werden durch ein kontrolliertes Redoxpotential Natriumhypochlorit und hypochlorige Säure gebildet. Um unerwünschte Reaktionsprodukte auszuschließen, wird der Herstellungsprozess von Acti Des blue jederzeit vollelektronisch überwacht und gesteuert. Das Ergebnis ist eine chlorarme Lösung, die industrielle Standards und Normen erfüllt [48].

Die Wirkungsweise des Acti Des blue beruht auf der elektrochemischen Aktivierung von NaCl-Lösung zu NaOCl und weiteren O-Radikalen mit vollautomatisierter Dosierung (Abb.1).

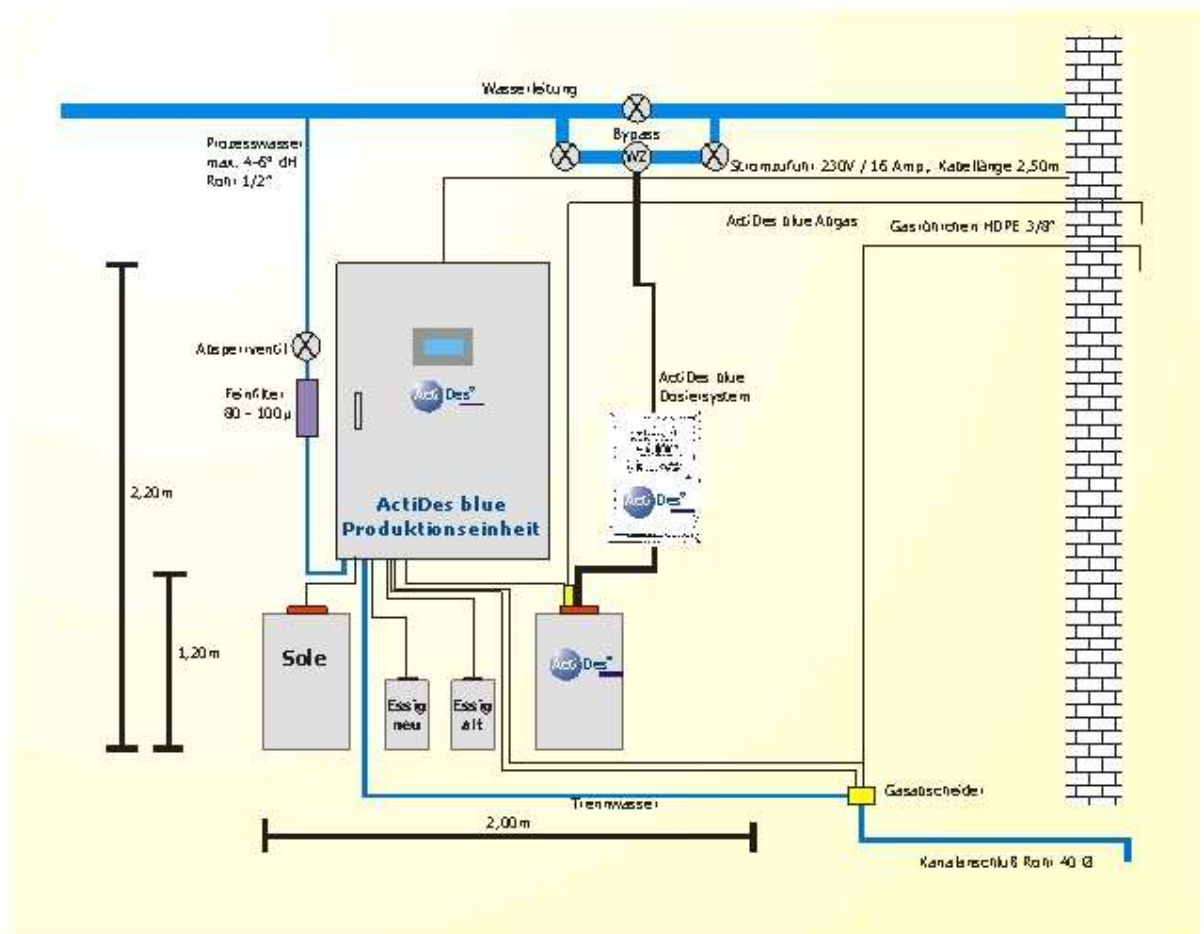


Abb.1 Skizze des Acti Des blue-Verfahrens gemäß Herstellerangaben

Laut Herstellerangaben ist eine Verdünnung von 1:400 geeignet, um zu einer effizienten Desinfektion zu gelangen. Aber auch Verdünnungen von 1:100 oder 1:200 können eingestellt werden. Dies hängt von dem jeweiligen Anwendungsfall ab. Die eingestellte Verdünnung beträgt bei der vorliegenden Studie 1:200 [48].

## **2 Eigene Untersuchungen**

### **2.1 Methode**

In der vorliegenden Arbeit wird die Effektivität des Acti Des blue-Verfahrens untersucht, die zur Sanierung des Wasserreservoirs von zahnärztlichen Behandlungseinheiten empfohlen wird. Im Rahmen dieser Studie wurden von sechs verschiedenen zahnärztlichen Behandlungseinheiten in der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald mindestens dreimal wöchentlich Wasserproben entnommen und diese mikrobiologisch auf ihren Kontaminationsgrad analysiert. Die Probennahmen erstreckten sich über zwei Semester mit den zugehörigen Semesterferien. In den Semesterferien sowie im darauf folgenden Semester wurde die Beprobung nur noch einmal wöchentlich durchgeführt. Beurteilt wurde die bakterielle Besiedlung des wasserführenden Systems hinsichtlich der Gesamtkoloniezahlen sowie das Vorkommen von *P. aeruginosa* und *L. pneumophila*. Darüber hinaus wurden *Schimmelpilze* erfasst. Ferner wurden das Redoxpotential und der pH-Wert gemessen.

Die Behandlungsstühle wurden über einen Wasserstrang versorgt, in dem das Acti Des blue eingebaut wurde. Die sechs Einheiten vom Typ KAVO Systematica 1060 TK befanden sich im Studentenkursraum. Eine siebte Einheit vom Typ KAVO Estetica 1042, die ebenfalls an den gleichen Wasserstrang angeschlossen war, wurde in einem separaten Behandlungszimmer genutzt.

#### **2.1.1 Aufbau der zahnärztlichen Behandlungseinheit**

Die zahnmedizinische Behandlungseinheit besitzt ein kompliziertes wasserführendes System, das entweder aus einem unabhängigen Wassertank versorgt wird oder wie in der Zahnklinik Greifswald an das öffentliche Trinkwassernetz angeschlossen ist. Verunreinigungen bzw. Schmutzpartikel im Leitungswasser werden durch vorgeschaltete Auffangsiebe und Filter zurückgehalten. Das System besteht nicht nur aus Metallrohren, sondern aus einer großen Anzahl von Kunststoffschläuchen und einer komplexen Ventiltechnik, wodurch die Wasserzufuhr geregelt wird. Durch Rückschlagventile soll ein unerwünschtes Nachtropfen des Wassers aus den verschiedenen Bedienelementen mit Wasserkühlung verhindert werden. Das gelingt durch geringfügiges Rücksaugen des Kühlwassers in die peripheren Leitungsabschnitte. Nach dem Wassereintritt in die zahnmedizinische Behandlungseinheit wird dem Wasser Oxygenal 6 zugesetzt und über einen Boiler erwärmt. Oxygenal 6 enthält Wasserstoffperoxid 6%, Silber, Phosphat, Weinsäure,

Zitronensäure und entionisiertes Wasser. Bei der Dauerdekontamination wird nach Herstellerangaben eine Verdünnung von 1:200 erreicht, d. h. Wasserstoffperoxid liegt in einer Endverdünnung von etwa 0,03% vor. Hierbei wird aus einem Vorratsbehälter das Oxygenal über eine Mikropumpe in einen Mischbehälter gepumpt. Aus diesem Mischbehälter wird das Wasser dem Multifunktionshandstück, den rotierenden Instrumenten und der Mundglasfüllung zugeführt. Die zu dosierende Menge an Oxygenal wird über einen Durchflussschalter geregelt. Während der gesamten Studie war das Oxygenal über diese Mikropumpe mit dem wasserführenden System der Behandlungseinheiten verbunden und aktiviert.

### **2.1.2 Probennahme**

Die Probennahmen erfolgten an allen 6 Behandlungseinheiten im Zeitraum 11.11.2005 bis zum 06.07.2006. Ab dem 15.12.2005 wurde das Acti Des blue-Verfahren in Betrieb genommen. Am Tag der Aktivierung wurde mit der Probennahme zur Effektivitätsbewertung des Acti Des blue-Verfahrens begonnen.

Vor Probennahme wurden eine hygienische Händedesinfektion durchgeführt oder keimarme Untersuchungshandschuhe angelegt. Die Studenten führten nach jeder Behandlung eine Wisch- und Sprühdeseinfektion durch, so dass alle Auslässe der Behandlungseinheit desinfiziert waren. Die Probennahme erfolgte immer morgens vor Arbeitsbeginn, das heißt ohne vorheriges Ablaufenlassen, mindestens dreimal wöchentlich. Im späteren Verlauf der Studie wurden die Wasserproben nur noch einmal wöchentlich entnommen.

Das entnommene Wasser wurde in sterilen Flaschen gesammelt, die vor Beginn der Entnahme außen mit desinfizierenden Tüchern abgewischt wurden. Das Wasser wurde aus den Schlauchkupplungen der zwei Mikromotore nach Entfernung der Winkelstücke, aus der Multifunktionsspritze auf der Zahnarztseite sowie auf der Helferinnenseite entnommen. Des Weiteren wurde auch das Wasser für die Mundglasfüllung gewonnen. Aus diesen verschiedenen Auslässen wurde eine Mischprobe aus dem gesammelten Wasser zur Bestimmung der Gesamtkoloniezahl und von Schimmelpilzen von insgesamt 250 ml pro Einheit hergestellt. Für die Untersuchung der Parameter auf Legionellen und Pseudomonaden wurde immer donnerstags eine Extraprobe von 1000 ml pro Behandlungsstuhl entnommen. Die Wassermenge wurde hierbei genauso gepoolt wie bei den 250 ml.

Einmal im Monat wurde eine Trinkwasserprobe von 1000ml aus dem Hausanschluss der Zahnklinik entnommen und analysiert.

In den Semesterferien vom 01.02.06 bis zum 03.04.06 wurden die Proben nur einmal wöchentlich entnommen. Auch hier wurde eine Mischprobe von 250 ml und von 1000ml pro Behandlungseinheit entnommen. Nach den Semesterferien wurden die Proben ebenfalls nur noch einmal wöchentlich entnommen. Diese Proben waren ebenfalls Mischproben.

Es wurden bei jeder Probennahme das Redoxpotential und der pH-Wert bestimmt. Die Redoxpotentiale und die pH-Werte wurden mittels eines pH-Meters gemessen, das von der Firma Acti Des zur Verfügung gestellt wurde. Das Gerät wurde nach Herstellerangaben kalibriert. Die Redoxpotentiale werden in mVH angegeben. Es wurden insgesamt drei Messungen vorgenommen. Die erste Messung erfolgte direkt nach der Wasserprobenentnahme in der Mischprobe. Eine weitere Messung wurde an einer Entnahmestelle vorgenommen, an der das Acti Des-Gerät nicht angeschlossen war. Im späteren Verlauf dieser Studie wurde zusätzlich ein Wasserhahn unmittelbar hinter das Acti Des Gerät eingebaut. Somit war es möglich, das Redoxpotential und den pH-Wert von der „Ausgabestelle“ mit der „Endstelle“ zu vergleichen. Diese Werte konnten dann mit denen von einem nicht angeschlossenen Zahnarztstuhl verglichen werden.

Acti Des blue wurde nach Herstellerangaben auf eine Verdünnung von 1:200 eingestellt. Die Einstellung des Geräts übernahm ein Techniker der Firma Acti Des. Die Analyse der Proben wurde direkt nach der Entnahme im Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Universität Greifswald durchgeführt. Die genaue Methode der Analyse wird in Abschnitt 2.1.3 erläutert.

Da im Verlauf der Studie die Werte von den angenommenen Werten abwichen, wurden die Wasserleitungen durch die Firma Acti Des mittels Hochchlorung gespült. Auch diese Arbeiten führte ein Spezialtechniker der Firma durch. Die erste Hochchlorung fand am 14.02.2006, die zweite am 31.05.2006 statt.

### **2.1.3 Probenverarbeitung**

Die Entnahme und das mikrobiologische Verfahren zur Untersuchung von Wasserproben ist in den folgenden DIN-Vorgaben beschrieben (DIN 38402-14 (1986), DIN 38411 (1983) [55, 56] und wurde von Pitten et al. [49] 2001 für Risikobereiche

modifiziert und für diese Studie übernommen. Das bedeutet, dass eine Probennahme zur Trinkwasserqualitätsbestimmung nach DIN-Vorgaben durch die baulichen Umstände einer zahnärztlichen Behandlungseinheit nicht entsprochen hätte. In dieser Studie wurden in Anlehnung an Pitten et al. [49] „Stagnationswasserproben“ entnommen, das heißt, dass unmittelbar nach dem Öffnen der Wasserauslässe 250 ml in sterilen Glasflaschen gesammelt wurden. Kunststoffgefäße sind ungeeignet, weil es beim Transport unter 6 °C zur Adhäsion von Bakterien an die Innenwand der Gefäße und dadurch zu falsch negativen Untersuchungsergebnissen kommen kann.

**Gesamtkoloniezahlbestimmung:** Die Bestimmung erfolgt gemäß Anlage 1 Nr. 5 TrinkwV 1990 mit dem Koch'schen Plattengussverfahren. Mit Hilfe von Caseinpepton-Sojamehlpepton-Agar (CSA) der Oxoid GmbH wurden die Gesamtkoloniezahlen bei 22 °C und bei 36 °C bestimmt. Im Verlauf der Studie wurde die Gesamtkoloniezahl nur noch bei 22°C bestimmt. Hierbei wurden jeweils 0,1ml und 1 ml jeder Wasserprobe unverdünnt auf die CSA-Platten aufgetragen, ausplattiert und  $68 \pm 4$  h, bzw.  $44 \pm 4$  h im Brutschrank (Typ: IM 600, Memmert GmbH) bebrütet. Die Kolonien wurden nach der Bebrütung mittels Zählgerät (Compeur de Colonies 50300, Fa. Bioblock Scientific, Abb.2) ausgezählt und aus den beiden Ansätzen der Mittelwert bestimmt (Auszählung mit 6-8facher Lupenvergrößerung).



Abb.2 Zählgerät Compeur de Colonies 50300 (Bioblock Scientific)

**Nachweis von *P. aeruginosa*:** Der Nachweis erfolgt mit dem Membranfiltrationsverfahren gemäß DIN EN 12780. Im Gegensatz zur

Gesamtkoloniezahl, die dreimal pro Woche bestimmt wurde, wurden die Wasserproben nur donnerstags auf *P. aeruginosa* untersucht. Das erfolgte bei 37 °C auf Cetrimid-Agar (Merck GmbH), wobei parallel 0,1 und 1ml unverdünnt aufgetragen, ausplattiert und 44 ± 4 h bebrütet wurden (Brutschrank Typ: IM 600, Memmert GmbH). Die Ansätze wurden analog wie bei der Gesamtkoloniezahlbestimmung ausgezählt. Alle blau-grünen Kolonien wurden als *P. aeruginosa* gezählt. Danach wurde der Membranfilter unter UV-Licht untersucht, alle nicht Pyocyanin-produzierenden fluoreszierenden Kolonien als verdächtige *P. aeruginosa* gezählt und nach Anzucht in Acetamid-Nährlösung bestätigt. Bei Nachweis von rotbraunen Kolonien ohne Fluoreszenz wurden diese als verdächtige *P. aeruginosa* gezählt und durch den Oxidase-Test, Acetamid-Nährlösung und Subkultur auf King's B Medium bestätigt. Zur Bestätigung wurden die Subkulturen der Kolonien von CN-Agar auf Nähragar angelegt und im Brutschrank bei 36 ± 2 °C für 22 ± 2 h bebrütet. Danach wurden mit dem Oxidase-Test die Kolonien auf der Nähragarplatte geprüft. Oxidase positiv spricht für Anwesenheit von *P. aeruginosa*. Die Kolonien auf King B Agar wurden subkultiviert und ebenfalls im Brutschrank bei 36 ± 2 °C bis zu 5 d bebrütet. Das Auftreten jeglicher Fluoreszenz unter UV-Licht wird als positiv bewertet.

Zur Prüfung auf Bildung von Ammoniak werden Subkulturen von der Nähragarplatte in ein Röhrchen mit Acetamid-Nährlösung angelegt und im Inkubationsschrank bei 36 ± 2 °C für 22 ± 2 h bebrütet. Es werden 1-2 Tropfen Nessler's Reagenz dazugegeben.

Kommt es zu einer Produktion von Ammoniak, wird dieser durch einen gelblich bis ziegelroten Farbstoff angezeigt. Das gilt als Bestätigung für *P. aeruginosa*. Die Auszählung aller Kolonien, die Pyocyanin bilden oder Oxidase-positiv sind sowie unter UV-Licht fluoreszieren und aus Acetamid Ammoniak bilden können, gelten als bestätigte *P. aeruginosa* (Tab.3).

Tab. 3 Erforderliche Bestätigungsschritte für auf CN-Agar gewachsene Kolonien (DIN EN 12780)

Beschreibung der Kolonien auf CN-Agar	Ammoniakbildung aus Acetamid	Oxidase-positiv	Fluoreszenz auf King B's Medium	Bestätigt als <i>P. aeruginosa</i>
Blaugrün	n.b.*	n.b.*	n.b.*	positiv
Fluoreszierend	+	n.b.*	n.b.*	positiv
Rötlich braun	+	+	+	positiv
Andersfarben	n.b.*	n.b.*	n.b.*	negativ

\*n.b. = nicht bestimmt

**Nachweis von *L. pneumophila*:** Da es in Deutschland derzeit kein genormtes Verfahren zum Legionellennachweis gibt, wurde ISO 11731 angewandt. In Deutschland wurde zur Vermeidung der unterschiedlichen Auslegung der Methode eine veränderte Nachweismethode für Legionellen in Trink- und Badebeckenwasser im Rahmen eines Ringversuchs getestet und zur Normung als ISO 11731 Teil 2 vorgeschlagen. Dieses Arbeitspapier liegt derzeit als Entwurf vor [50]. Die Untersuchung, Bestätigung und Differenzierung von Legionellen erfordert besondere mikrobiologische Erfahrungen seitens des untersuchenden Labors. Daher dürfen von nicht akkreditierten Laboren nur Eigenkontrollen durchgeführt werden.

Nach den Empfehlungen des Umweltbundesamtes werden mindestens 100 ml (hier wurden 1000 ml untersucht) Wasserprobe filtriert. Auf die Filter wird Säurepuffer (HCL/KCL-Puffer, pH 2,2) aufgetropft, der über 5 min einwirkt, bevor er über das Filter abgesaugt wird. Anschließend wird mit 10 ml sterilem destilliertem Wasser gespült. Die Filter werden auf Legionellen-Selektivagar (GVPC-Agar) aufgelegt und über 7 d unter mikroaerophilen Bedingungen (10% CO<sub>2</sub>-Anteil, z. B. im Kunststoffbeutel, der bei wenigen Agarplatten im Beutel eine Bewertung ohne Eröffnung erlaubt) bebrütet. Die Kulturen werden zunächst nach 48 h Bebrütung und danach täglich weiter visuell auf typisches Koloniewachstum untersucht. Verdächtige Kolonien werden auf Columbia-Blutagarplatten (5% Schafblutzusatz) subkultiviert und im Fall ausschließlichen Wachstums auf Legionellen-Selektivagar mit spezifischen Antiseren auf Objektträgern agglutiniert (Latexagglutinationstest). Die Ablesung erfolgt visuell. Neuerdings steht ein immunochromatischer Test zur Verfügung, der einfach abzulesen ist und deutlich sensitiver als die Latextests *L. pneumophila* sowie *Legionella spp.* nachweist [51]. Die Legionellen können auf Gattungs- sowie auf Speziesebene serologisch typisiert werden.

Auf jeden Fall sollte *L. pneumophila Serotyp 1* von den übrigen Serotypen und den seltener humanpathogenen „Umweltlegionellen“ (z. B. *L. micdadei*, *L. bozmannii*) abgegrenzt werden. Für Ausbruchuntersuchungen sollten die Stämme an ein Referenzzentrum verschickt werden, in dem Ausbruchstamm-Banken für vergleichende Untersuchungen zur Verfügung stehen. Für Legionellen existiert weltweit eine Ausbruchstammsurveillance mit Verfolgung einschlägiger regionaler und international „operierender“ Stämme einschließlich Informationsdienst (CAP-Net). Für Untersuchungen ohne Verdacht auf Ausbruch wird eine Artbestimmung bei der Routineüberwachung z. Z. als nicht erforderlich erachtet.

Nach der Entnahme der Wasserproben wurden diese umgehend im Institut für Hygiene und Umweltmedizin membranfiltriert. Hierzu wurde die zu analysierende Probe von 1000 ml nach Abflammen des Flaschenhalses in den Trichter der Vakuum-Filtriereinheit (Fa. Sartorius) gegeben und nach unten durch einen Polycarbonat-Membranfilter (Schleicher & Schnell GmbH, 0,2µm Porengröße, 50mm Durchmesser) abgesaugt (Abb. 3).

Nachdem das Wasser der Probe vollständig durchgelaufen war, wurde das Filter entfernt und in ein Zentrifugenröhrchen mit 2 ml Phosphatpuffer (Merck GmbH) gegeben. Das Filtrat wurde anschließend für 1 min in ein Ultraschallbad (Typ USR 32 H, Merck GmbH–Eurolab) gegeben.



Abb.3 Vakuum-Filtriereinheit mit Dreifachabsaugvorrichtung je Einheit mit 500 ml Aufsätzen (SM 16828, Sartorius)

Die ersten Proben des Filtrats von 0,1 und 1ml sind dann sofort auf MWY-Agar (Medium nach Wadowsky und Yee; Oxoid GmbH) ausgespatelt worden. Der restliche Teil wurde für 30 min in ein 50 °C warmes Wasserbad (Typ: 3043, Köllermann Labortechnik GmbH) gestellt und anschließend analog der ersten Proben auf MWY-Agar aufgetragen. Alle Proben wurden danach im Brutschrank (Cellstar, Queue Systems GmbH) bei 37 °C, 98% Luftfeuchtigkeit und 5 % CO<sub>2</sub> über 7 d inkubiert. Danach wurden die Platten ausgezählt und auf Blutagar (Mettler GmbH, s.o.) 2 d bebrütet. Bei Untersuchungen in Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen gelten die Angaben nach DVGW-Merkblatt W552 in Kombination mit ISO 11731 und DIN 19643. Grundsätzlich richten sich Probennahme und Transport der Probe zum Labor



nach DIN 38411 Teil 16. Zusätzlich ist bei Proben aus Trinkwassersystemen die DIN 38 402 Teil 14 und bei Probennahme von Schwimm- und Badebeckenwasser die DIN 38402 Teil 19 zu berücksichtigen [55, 56].

## 2.2 Ergebnisse

Bei der Analyse der Wasserproben wurden folgende Parameter untersucht:

- *Gesamtkoloniezahl (GKZ)*
- *Schimmelpilze*
- *L. pneumophila*
- *P. aeruginosa*.

Des Weiteren wurden das Redoxpotential und die pH-Werte bestimmt und dokumentiert.

### 2.2.1 Gesamtkoloniezahl

Nachfolgend ist die Dynamik der Gesamtkoloniezahlen über den gesamten Beprobungszeitraum in den Abb. 4 bis 9 zusammenfassend dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden im Anhang alle Gesamtkoloniezahlen der einzelnen Stühle aufgelistet (Tab.1 - 6).

Die folgenden Abb. zeigen in Diagrammform die erhaltenen Gesamtkoloniezahlen in KbE/ml. Jede Abb. ist dem jeweiligen Behandlungsstuhl zugeordnet. Die Zeit der Studie ist auf der X-Achse dokumentiert. Auf der Y-Achse befinden sich die KbE/ml. Die dunkelblauen Säulen verdeutlichen den Kontrollzeitraum, der Farbwechsel zu hellblau verdeutlicht die Applikationswochen mit Acti Des blue. Der Pfeil in den Abbildungen zeigt genau das Datum an, ab wann Acti Des blue aktiv wurde.

In Abb. 4 wird von Stuhl 1 die Gesamtkoloniezahl in KbE/ml über den gesamten Verlauf der Studie bei 22 °C dargestellt.

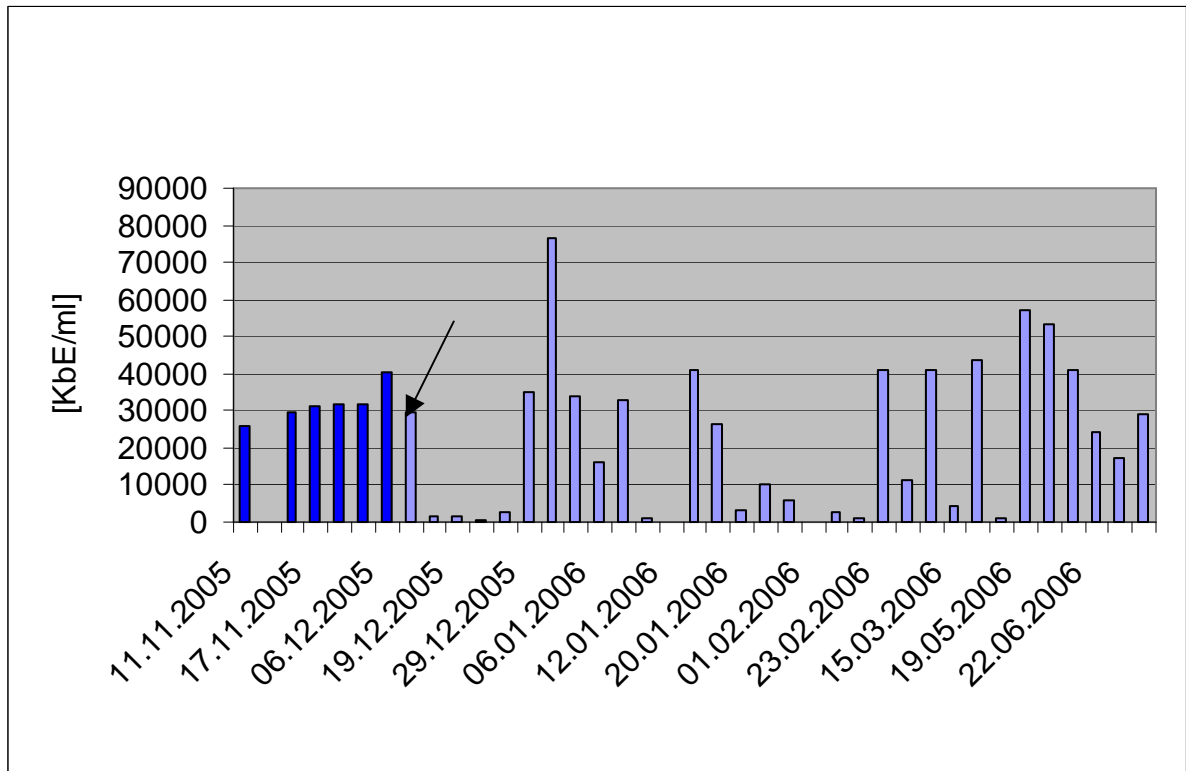


Abb.4 Gesamtkoloniezahl (KbE/ml) der Studie bei Behandlungsstuhl 1 (22 °C)

Ab dem 15.12.2005 war Acti Des blue im Einsatz. Im Diagramm ist gut erkennbar, dass es zu einem starken Abfall der Werte ab dem 19.12.2005 kam. Über die Weihnachtsfeiertage kam es jedoch zu einem starken Anstieg der Gesamtkoloniezahl. Das lässt sich auf die Stagnation in den Leitungen zurückführen. Die Werte blieben aber nicht auf einem Level, sondern unterlagen einer starken Dynamik.

In Abb. 5 wird Stuhl 2 mit seinen Gesamtkoloniezahlen (in KbE/ml) dargestellt. Die Werte beziehen sich auf den gesamten Verlauf der Studie. Die einzelnen Proben wurden bei 22 °C analysiert.

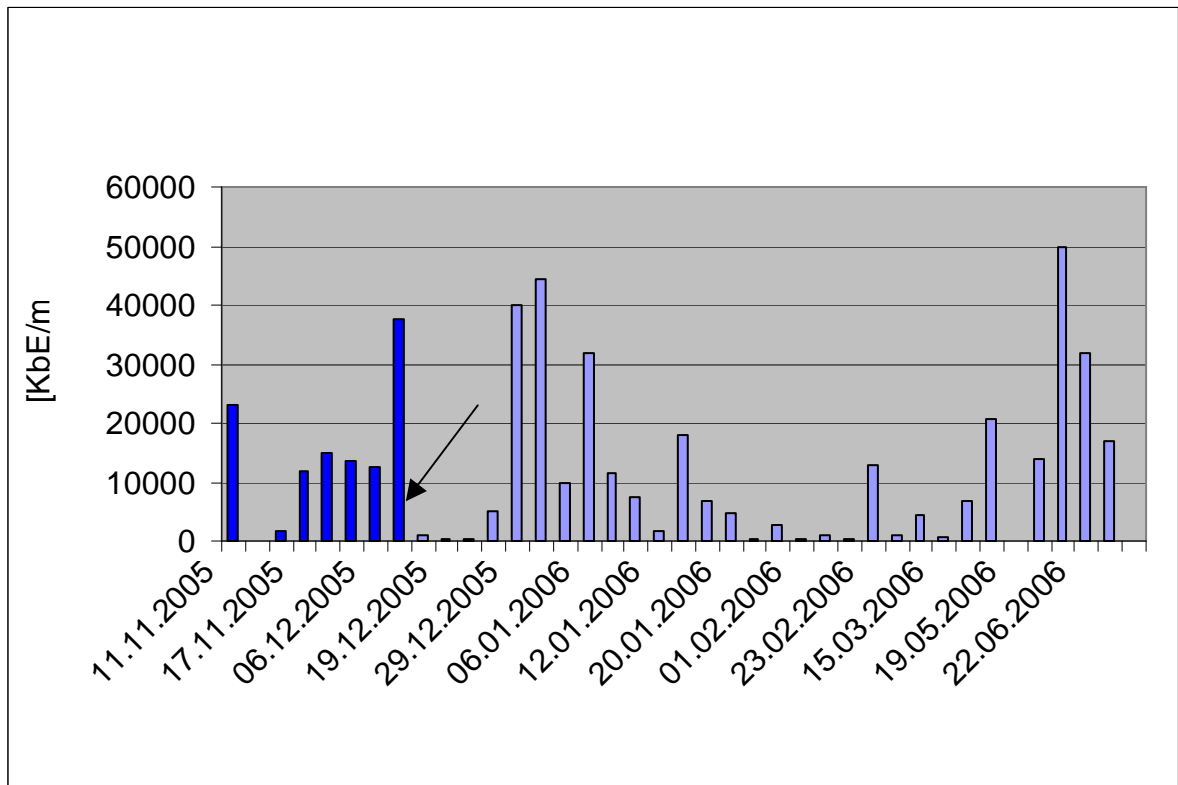


Abb.5 Gesamtkoloniezahl (KbE/ml) im Probennahmezeitraum bei Behandlungsstuhl 2 (22 °C)

Auch bei Stuhl 2 kam es zu einem starkem Abfall der Werte nach dem Einsatz von Acti Des blue am 15.12.2005. Die Werte stiegen aber über die Weihnachtsfeiertage wieder rapide an und sanken dann erst ganz langsam wieder. Bis Anfang Februar ging es stetig abwärts. Ab Ende März 2006 bis zum Ende der Studie im Juni 2006 stiegen die Werte wieder an.

Im nächsten Diagramm werden die Gesamtkoloniewerte in KbE/ml für Stuhl 3 aufgezeigt. Auch hierbei wurden die Proben bei 22 °C analysiert (Abb.6).

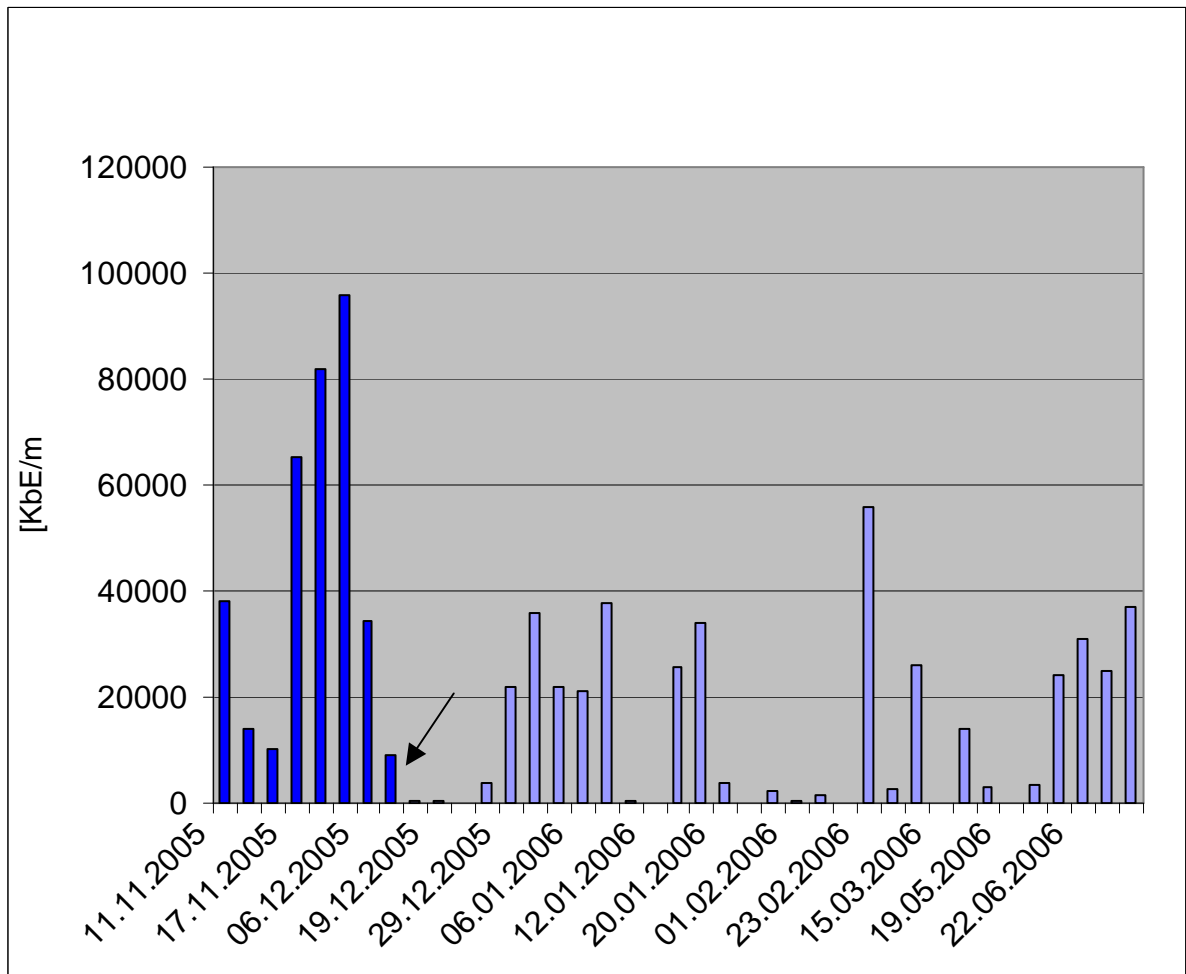


Abb.6 Gesamtkoloniezahl (KbE/ml) im Probenahmezeitraum bei Behandlungsstuhl 3 (22 °C)

Bei Stuhl 3 wurde in der Kontrollwoche vor dem Einsatz von Acti Des blue der höchste Wert gemessen. Am 5.12.2005 betrug die Gesamtkoloniezahl 95760 KbE/ml. Betrachtet man die gemessenen Werte in der Kontrollphase, fällt ein sehr hohes Messniveau auf. Die Werte liegen im Vergleich zu den anderen Werten im Kontrollzeitraum weit über den anderen Stühlen. Durch den Einsatz von Acti Des blue kam es zu einem starken Rückgang der Gesamtkoloniezahl. Ab dem Beginn der Weihnachtsfeiertage kann man auch hier einen Anstieg der Werte sehen, der sich auf die Stagnation zurückführen lässt.

Die Gesamtkoloniezahlen fielen während des Semesters wieder ab. Während der Semesterferien gab es einen leichten Anstieg, der aber mit dem Beginn des Semesters wieder zurückging. Zum Ende der Studie wurden die 20000 KbE/ml aber nicht mehr unterschritten.

In Abb. 7 werden die Gesamtkoloniezahlen in KbE/ml von Stuhl 4 angegeben. Auch hier wurden die Proben bei 22 °C analysiert.

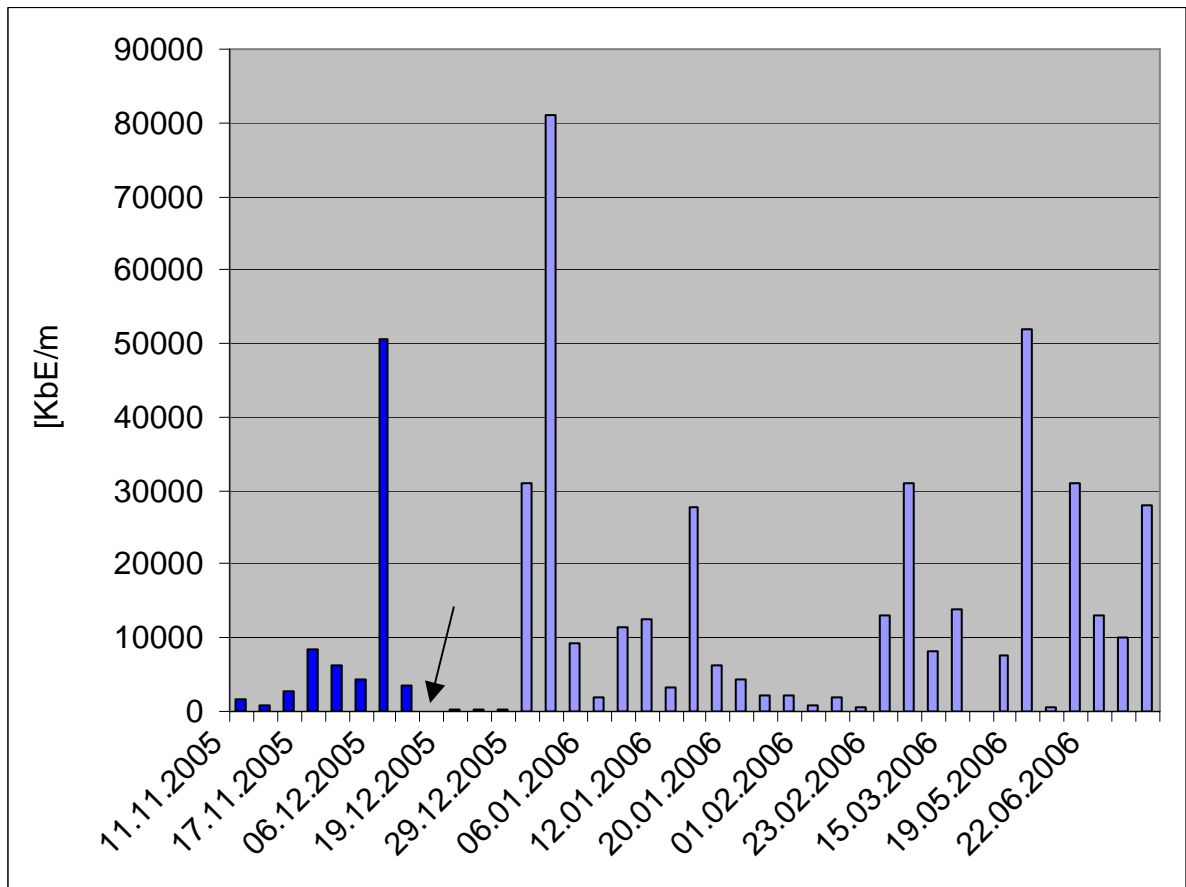


Abb.7 Gesamtkoloniezahl (KbE/ml) im Probennahmezeitraum bei Behandlungsstuhl 4 (22 °C)

Die gemessenen Werte lagen in der Kontrollwoche bei Stuhl 4 alle unter 10000 KbE/ml. Nur am 06.12.2005 betrug der Wert 50600 KbE/ml.

Ab dem Tag der Inbetriebnahme von Acti Des blue sanken die Werte in der ersten Woche unter 500 KbE/ml. Während der Weihnachtsstagnation stiegen die Messwerte wieder auf 31000 KbE/ml (29.12.2005) an. Der höchste Wert wurde am 02.01.2006 mit 80960 KbE/ml erreicht. Nach den Weihnachtsferien fielen die Messwerte dann wieder ab. Die Messwerte unterlagen aber keiner Konstanz, sondern schwankten stark. Am 06.01.2006 betrug der Messwert 1800 KbE/ml. Dieser Tag war ein Freitag. Über das Wochenende stieg die Gesamtkoloniezahl auf 11440 KbE/ml an (09.01.2006 = Montag). In der gleichen Woche kam es von Montag (09.01.2006) zum Dienstag (10.01.2006) nochmals zu einem Anstieg der Gesamtkoloniezahl um etwa 1000 KbE/ml auf 12480 KbE/ml. Am Donnerstag (12.01.2006) betrug der Messwert nur noch 3190 KbE/ml.

In der darauffolgenden Woche zeigten die Werte einen ähnlichen Verlauf. Am Montag war ein sehr hoher Messwert vorhanden, der aber innerhalb der Woche wieder abnahm.

Die Schwankungen blieben auch während der Semesterferien erhalten. Der niedrigste Wert lag am 14.02.2006 bei 650 KbE/ml. Der höchste Wert lag am 28.02.2006 bei 31000 KbE/ml. Zu Beginn des Sommersemesters, wurde ein Spitzenwert gemessen. Dieser lag am 07.04.2006 bei 390000 KbE/ml. Im restlichen Semester wurde nur am 08.06.2006 Trinkwasserniveau erreicht. Die Gesamtkoloniezahl betrug 24 KbE/ml.

In Abb. 8 werden die Gesamtkoloniezahlen in KbE/ml von Stuhl 5 angegeben. Auch hier wurden die Proben bei 22 °C analysiert.

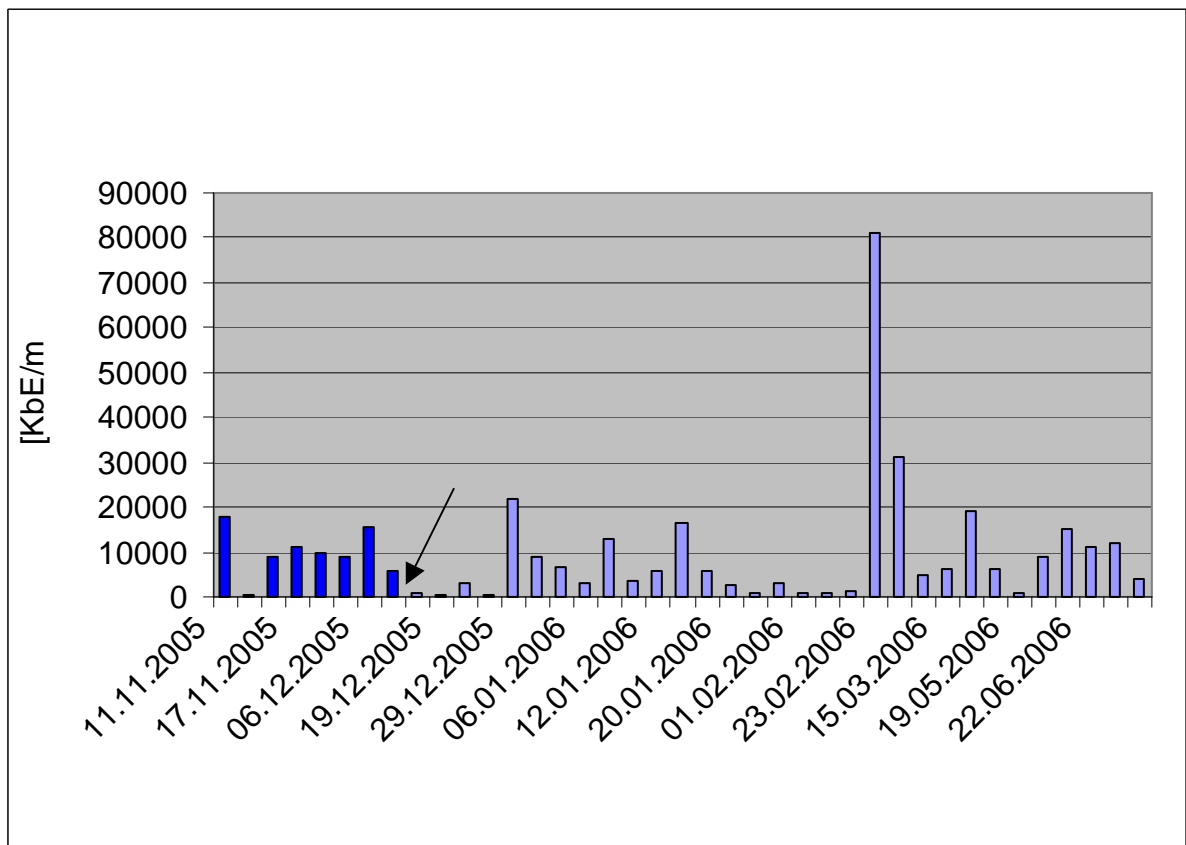


Abb.8 Gesamtkoloniezahl (KbE/ml) im Probennahmezeitraum bei Behandlungsstuhl 5 (22 °C)

An Behandlungsstuhl 5 wurde während der gesamten Kontrollzeit kein einziges Mal Trinkwasserniveau erreicht. Dieser Stuhl zeichnete sich aber durch seine relativ niedrigen Messwerte aus. An 31 Tagen wurden Wasserproben analysiert. Von diesen waren nur an 9 Tagen die Gesamtkoloniezahlen über 10000 KbE/ml.

Von diesen 9 Messwerten lagen 6 Werte unter 20000 KbE/ml. Nur 3 Messwerte überschritten die 20000 KbE/ml. Ein stark erhöhter Messwert wurde am 29.12.2005 ermittelt. Er betrug 22000 KbE/ml. Dies lässt sich durch die Weihnachtsstagnation erklären. Die beiden anderen stark erhöhten Werte wurden während der Wintersemesterferien ermittelt. Am 23.02.2006 wurden 81000 KbE/ml, am 28.02.2006 31000 KbE/ml gezählt. Während der gesamten Laufzeit dieser Studie lagen die gemessenen Werte nur zweimal nahe dem Bereich der TrinkwV. Am 08.06.2006 wurde in der zusätzlich gezogenen Probe, die bei 36 °C analysiert wurde, 72 KbE/ml gemessen. Bei 22 °C Analysetemperatur wurde das Trinkwasserniveau fast erreicht. Es lag am 07.02.2006 (Wintersemesterferien) bei 110 KbE/ml.

In Abb. 9 wird Stuhl 6 mit seinen Gesamtkoloniezahlen dargestellt. Die Werte beziehen sich auf den gesamten Verlauf der Studie. Die einzelnen Proben wurden bei 22 °C analysiert.

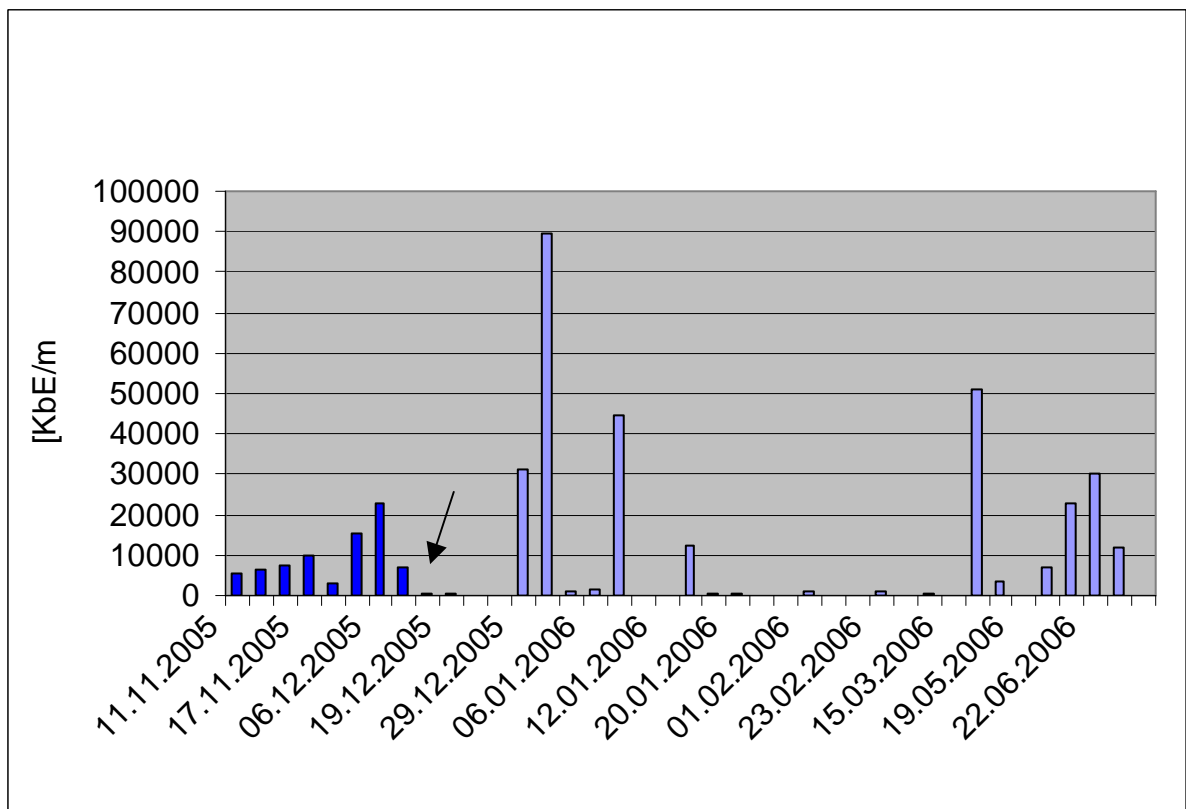


Abb.9 Gesamtkoloniezahl (KbE/ml) im Probennahmezeitraum bei Behandlungsstuhl 6 (22 °C)

An Stuhl 6 wurde in der Kontrollphase einmal Trinkwasserniveau erreicht. Am 17.11.2005 wurden in einer zusätzlichen Wasserprobe, die bei 36 °C analysiert wurde, 40 KbE/ml gemessen. Bei 22 °C waren die Gesamtkoloniezahlen deutlich über den Trinkwasserwerten. Nach dem Einsatz von Acti Des blue am 15.12.2005 sanken die Gesamtkoloniezahlen ab. Bei diesem Stuhl wurde insgesamt 6mal an 31 Proben Tagen das Niveau entsprechend der TrinkwV erreicht. Dreimal waren die Werte sehr dicht an der Trinkwassernorm (10.01.2006 103 KbE/ml; 28.02.2006 130 KbE/ml; 19.05.2006 110 KbE/ml). Ein Spitzenwert von 140000 KbE/ml wurde am 06.07.2006 gemessen. Insgesamt lässt sich aussagen, dass von 31 Proben 17 Wasserproben eine Gesamtkoloniezahl von unter 1000 KbE/ml aufwiesen.

### 2.2.2. Schimmelpilze

Zum Ende der ersten und in der zweiten Kontrollwoche fiel bei der Wasserprobenanalyse die starke Pilzbelastung auf. Nicht an allen Behandlungseinheiten war die Belastung gleich stark. In der nächsten Abbildung sind alle Schimmelpilzwerte von allen Behandlungsstühlen pro Tag zusammengefasst (Abb. 10). Durch den Pfeil wird die Aktivierung von Acti Des blue verdeutlicht.

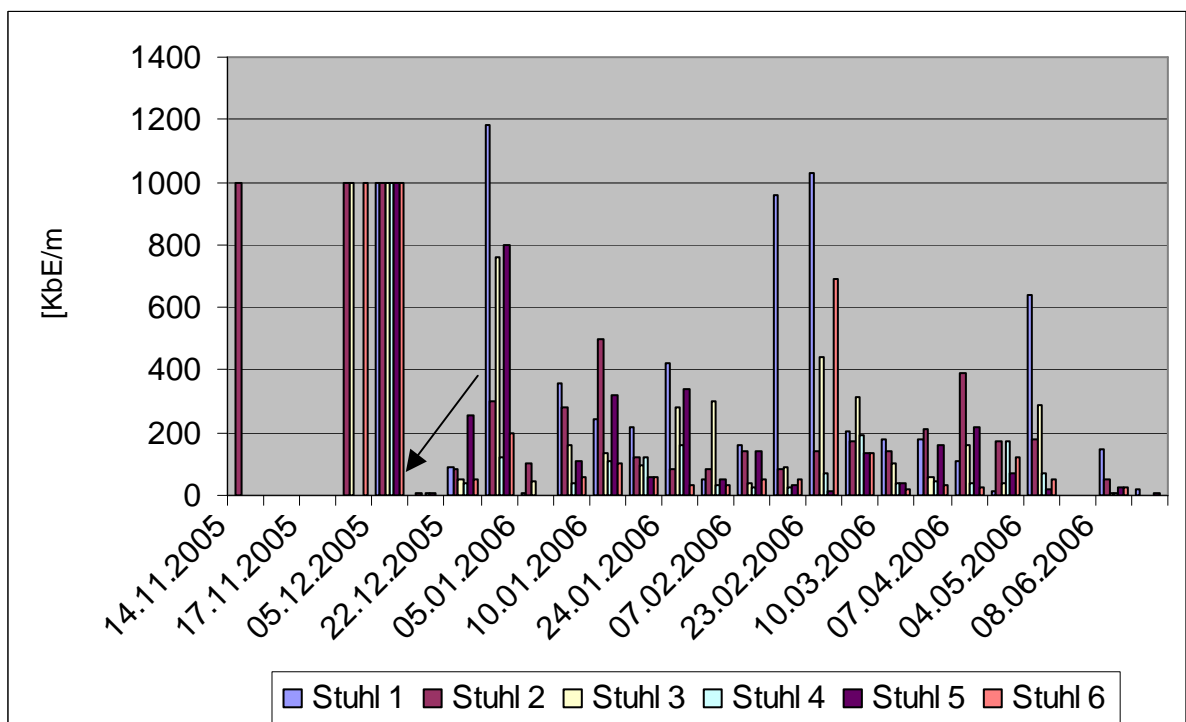


Abb. 10 Schimmelpilzbelastung (KbE/ml) an allen Behandlungseinheiten über den gesamten Studienzeitraum



Die Schimmelpilzbelastung war am 14.11.2005 (Montag) an Stuhl 2, am 18.11.2005 (Freitag) an Stuhl 2, 3 und 6, sowie am 05.12.2005 (Montag) an allen Stühlen so stark ausgebildet, dass ein Auszählen der Pilze nicht möglich war. Es waren weit über 1000 KbE/ml vorhanden. Zur besseren Darstellung wurden diese Werte mit 1000 KbE/ml in dem Diagramm wiedergegeben.

Das Aussehen der *Schimmelpilze* variierte stark. Es kamen weiße, graue, gelbgraue, lilabraune, rötliche, rosa, orange, grüne und schwarze *Schimmelpilze* vor. Es wurde keine Differenzierung vorgenommen. Im Übersichtsdiagramm stellt sich deutlich dar, dass die Belastung im Dezember am stärksten war. Die einzelnen Werte sind im Anhang in Tabellenform dargestellt (Tab. 7).

Da vom RKI bisher kein Grenzwert für die Schimmelpilzbelastung von Trinkwasser empfohlen worden ist, wurde im Rahmen dieser Studie ein Grenzwert von  $\leq 100$  KbE/ml festgelegt mit der Begründung, dass ein solcher Wert von  $\leq 100$  KbE/ml ein Merkmal für eine Biofilmbelastung ist.

In den nächsten Diagrammen werden die einzelnen Stühle mit der jeweiligen Schimmelpilzbelastung dargestellt.

An der ersten Behandlungseinheit war die Belastung mit *Schimmelpilzen* in den ersten Tagen dieser Studie während der Kontrollphase unerheblich (Abb.11). Die kritische Marke wurde am 05.12.2005 das erste Mal um das Zehnfache überschritten. Bis zu den Weihnachtsferien fiel der gemessene Wert unter den Grenzwert, stieg aber während der Ferien wieder auf 1180 KbE/ml an.

Von Januar 2006 bis Februar 2006 stellte sich eine Konstanz der Werte ein, die zwischen 200-400 KbE/ml lag. Ein starker Anstieg war Mitte der Wintersemesterferien zu verzeichnen. Dort stieg die Schimmelpilzbelastung des Trinkwassers wieder fast auf 1000 KbE/ml an. Diese hohen Werte ergeben sich wahrscheinlich dadurch, dass am 14.02.2006 eine große Spülung der Leitung mit Ablösung von Biofilm stattfand (Hochchlorung). An den darauf folgenden zwei Probetagen blieben die Werte in diesem Bereich, bevor sie sich dann um den Wert von 200 Pilzkolonien/ml einstellten. Die Werte sanken in der Folge unter den Grenzwert. Am 20.04.2006 waren nur 10 KbE/ml vorhanden. Bei der darauf folgenden Messung (04.05.2006) wurde aber wieder ein Spitzenwert von 640 KbE/ml festgestellt. Dieser Wert fiel innerhalb von zwei Wochen auf 2 KbE/ml ab (19.05.2006). Am 31.05.2006 fand die zweite Hochchlorung

der Wasserleitungen statt. Der nächste gemessene Schimmelpilzwert lag am 08.06.2006 bei 150 KbE/ml. Am letzten Probenstag (06.07.2006) wurden 2 KbE/ml nachgewiesen.

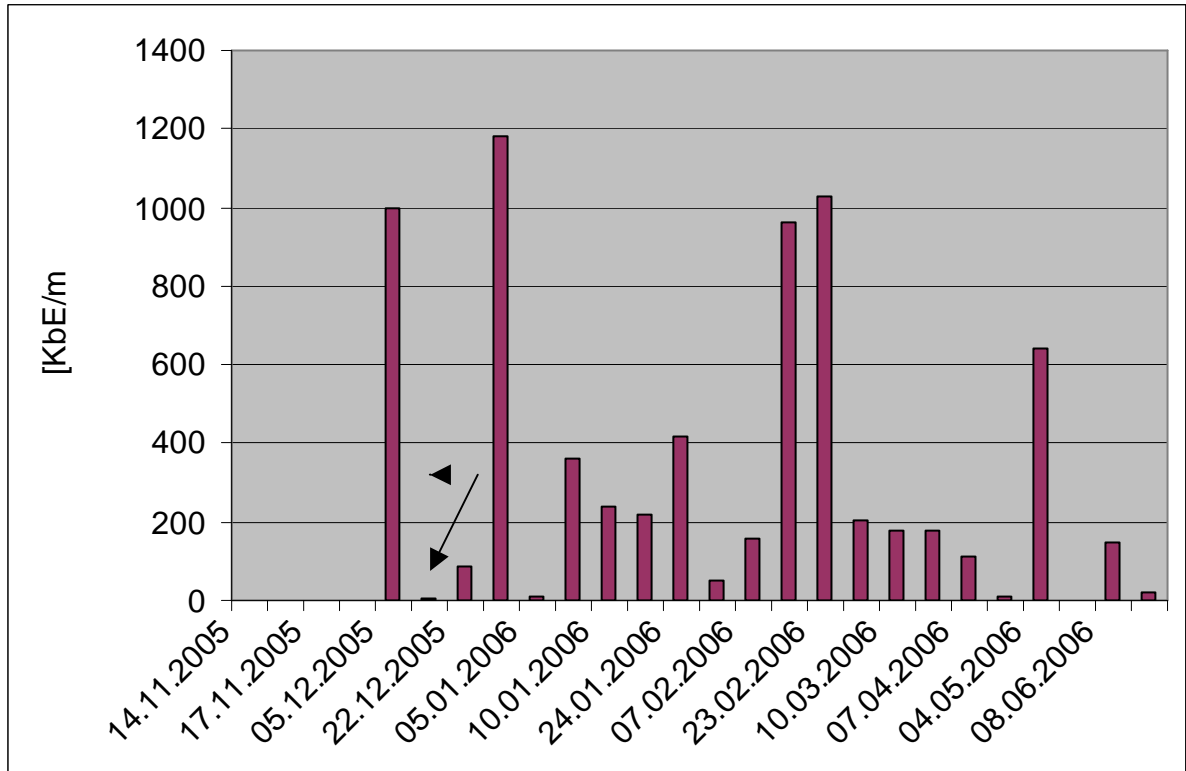


Abb. 11 Schimmelpilzbelastung [KbE/ml] an Stuhl 1 über den Gesamtzeitraum

An Behandlungsstuhl 2 wurden während der Kontrollphase, also ohne Inbetriebnahme von Acti Des blue, die höchsten Belastungswerte gemessen. Der Grenzwert von  $\leq 100$  Pilze/ml wurde hier dreimal um das Zehnfache überschritten. Zwischen diesen extrem hohen Werten lagen die festgestellten Schimmelpilzbelastungen weit unter dem Grenzwert. Am 14.11.2005 wurde weit über 1000 KbE/ml gemessen, nur einen Tag später sank der Wert auf 1,1 KbE/ml. Zwei Tage danach wurden nur noch 0,5 KbE/ml nachgewiesen. An diesen zwei Proben Tagen lag also keine Schimmelpilzbelastung vor. Nur einen Tag später am 18.11.2005 und auch am 05.12.2005 stieg die Kontamination wieder drastisch an. An diesen Proben Tagen wurden jeweils Werte von über 1000 KbE/ml nachgewiesen. Zehn Tage später (15.12.2005) sank die Belastung auf 5 KbE/ml ab. An diesem Tag wurde Acti Des blue in Betrieb genommen. Nach dem Einsatz von Acti Des blue pegelten sich die Werte unter 200 KbE/ml ein. Hierbei wurde kein plötzlicher Anstieg der Kontamination durch *Schimmelpilze* durch die erste Hochchlorung sichtbar wie bei Stuhl 1. Auch nach der zweiten Hochchlorung war kein Anstieg der *Schimmelpilze* zu verzeichnen. Die erhaltenen Werte lagen weit unter dem festgelegten Grenzwert.

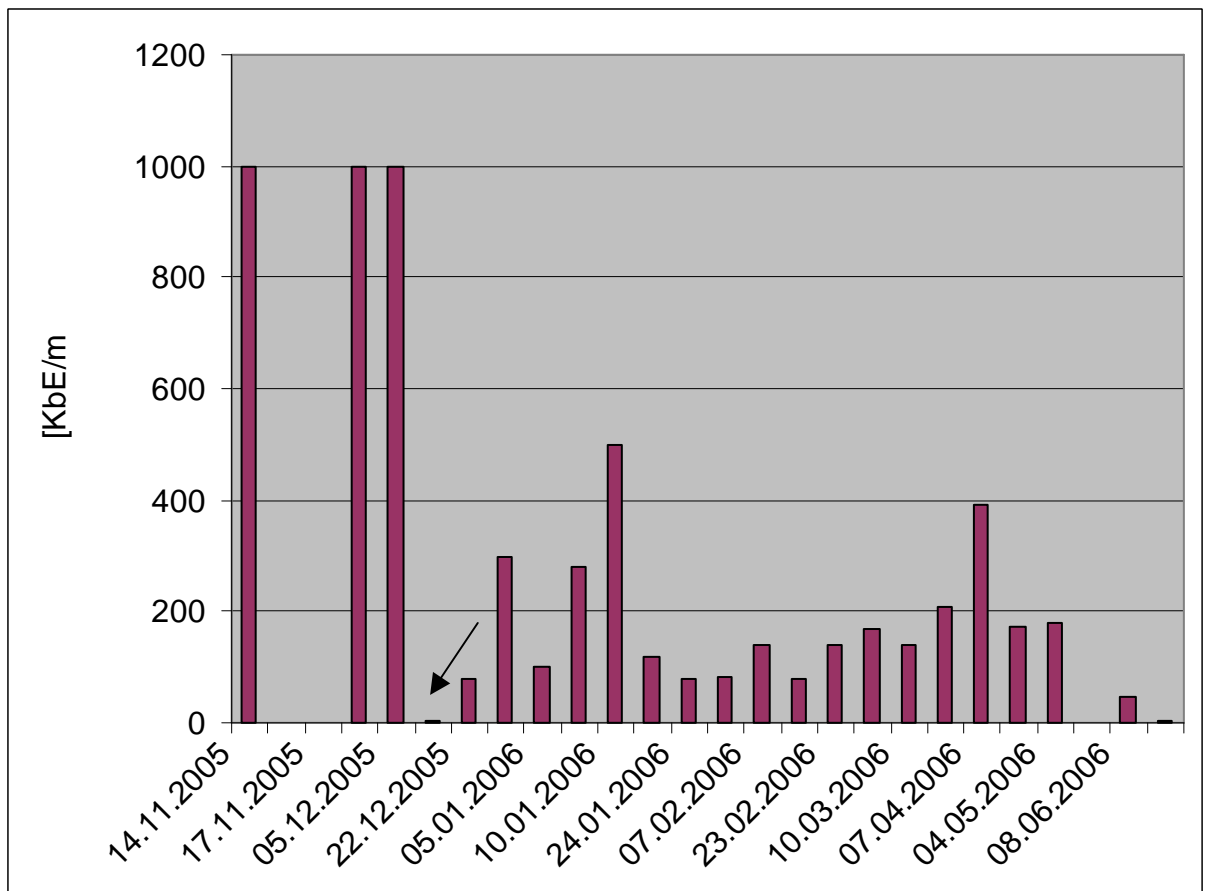


Abb. 12 Schimmelpilzbelastung (KbE/ml) an Stuhl 2 über den Gesamtzeitraum der Studie

An Behandlungsstuhl 3 wurde während der Kontrollphase die höchste Belastung mit zweimal 1000 KbE/ml gemessen (Abb. 13). An den anderen Probetagen lagen die analysierten Werte soweit unter dem Grenzwert, dass sie unerheblich sind. Praktisch war an diesen Tagen keine Schimmelpilzbelastung vorhanden.

Am Tag der Inbetriebnahme von Acti Des blue (15.12.2005) sank die Kontamination auf 1,7 KbE/ml ab. Die Schimmelpilzbelastung stieg am nächsten Probetag leicht auf 52 KbE/ml an. Über die Weihnachtsfeiertage stieg der Wert auf 760 KbE/ml an, fiel aber nach den Ferien wieder unter den Grenzwert. Die hohe Belastung kam durch die Stagnation in den Leitungen zustande. Im Januar 2006 lag die Schimmelpilzbelastung um den Grenzwert. Der Wert stieg zum Ende des Semesters wieder auf 300 KbE/ml an. Während den Wintersemesterferien fand am 14.02.2006 die erste Hochchlorung der Leitungen statt. Nach dieser Spülung lag die Schimmelpilzbelastung bei 440 KbE/ml. Dieser Wert sank aber nach und nach wieder ab.

Die Belastung reduzierte sich zum Ende des Sommersemesters auf 0 KbE/ml. Nach der zweiten Hochchlorung wurden am 08.06.2006 6 KbE/ml und am 06.07.2006 3 KbE/ml nachgewiesen.

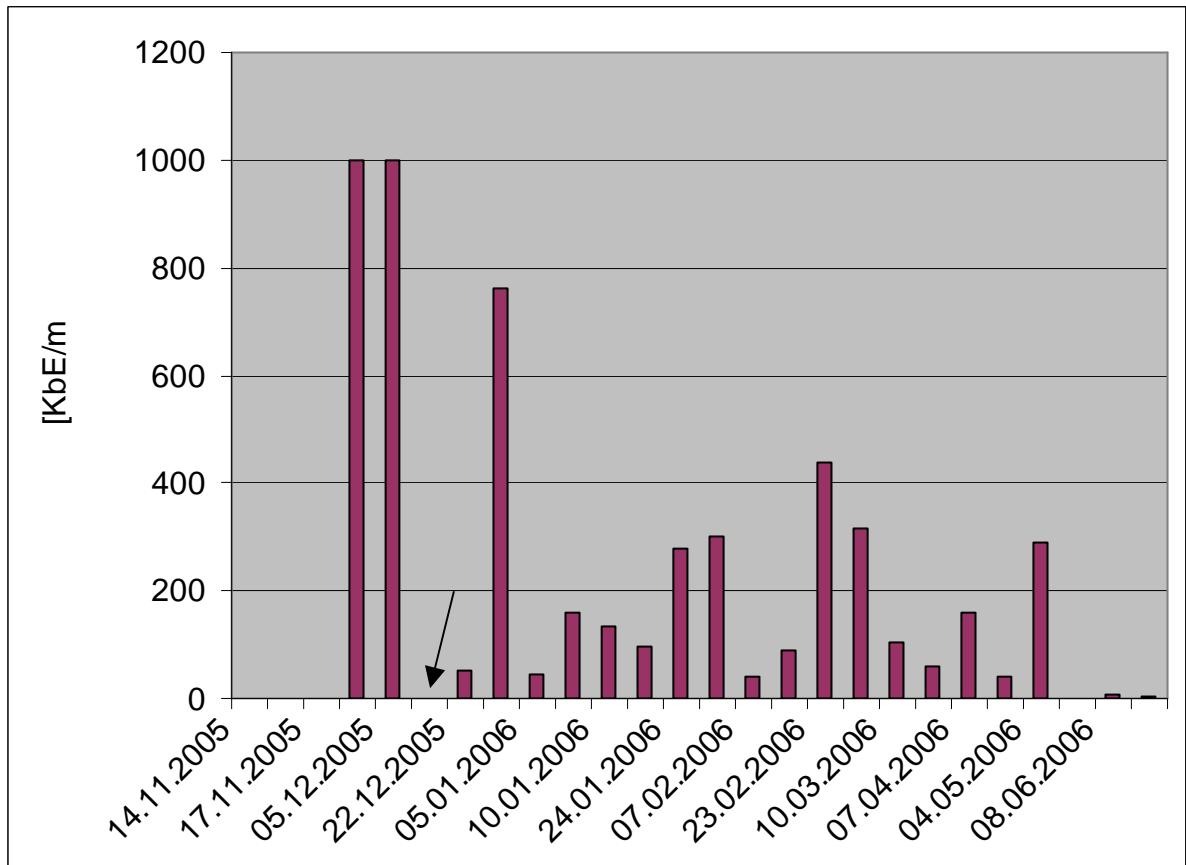


Abb. 13 Schimmelpilzbelastung (KbE/ml) an Stuhl 3 über den Gesamtzeitraum der Studie

Die Behandlungseinheit 4 ist neben Behandlungseinheit 6 die am wenigsten mit Pilzen belastete Einheit (Abb.14). Der Höchstwert, der am 05.12.2005 gemessen wurde, lag bei 1000 KbE/ml. Alle anderen Werte der Kontrollphase lagen bedeutend unter dem Schimmelpilzgrenzwert von 100 KbE/ml. Die Schimmelpilzbelastung lag vor der Inbetriebnahme von Acti Des blue nahezu bei 0 KbE/ml. Am Tag der Aktivierung des Systems (15.12.2005) wurde eine Kontamination von 7,6 KbE/ml festgestellt. Nach diesem Tag stieg die Belastung kontinuierlich an. Am 29.12.2005 lag der gemessene Wert leicht über dem Grenzwert (120 KbE/ml). Die Pilzbelastung sank aber schon am nächsten Probetag auf 0 KbE/ml. Die einzelnen Messwerte der folgenden Probetage lagen meist unter dem festgelegtem Grenzwert.

Ein leichter Anstieg war am 28.02.2006 und am 20.04.2006 festzustellen. An beiden Probetagen war eine Schimmelpilzbelastung von ca. 200 KbE/ml zu verzeichnen. Ab

dem 04.05.2006 lagen aber alle erhaltenen Messdaten unter dem Grenzwert von 100 KbE/ml. Die zweite Hochchlorung hat dieses Ergebnis nicht weiter beeinflusst.

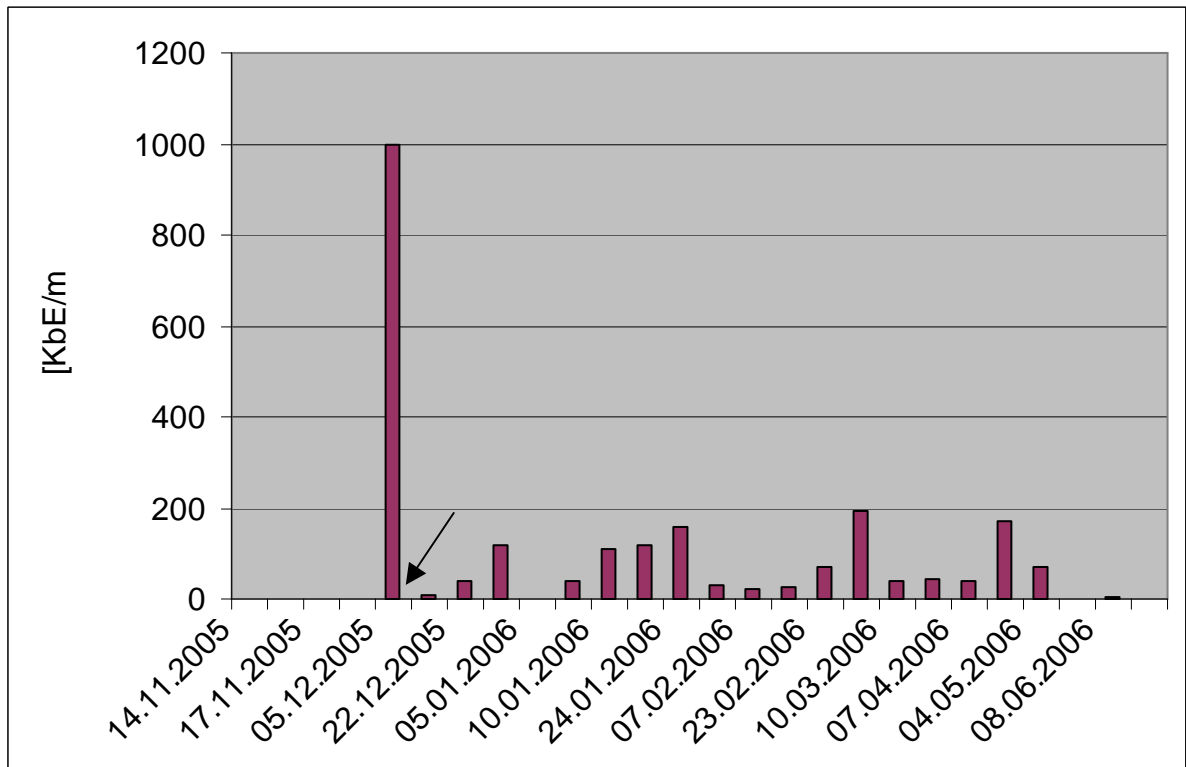


Abb. 14 Schimmelpilzbelastung (KbE/ml) an Stuhl 4 über Gesamtzeitraum der Studie

An Behandlungsstuhl 5 konnte während der Kontrollphase außer am 5.12.2005 fast keine Pilzbelastung nachgewiesen werden (Abb. 15). Die Schimmelpilzbelastung lag an diesem Tag bei 1000 KbE/ml. Am Aktivierungstag (15.12.2005) lag die Belastung bei 6 KbE/ml. Der Wert stieg am nächsten Probenstag auf 256 KbE/ml an. Auch an diesem Behandlungsstuhl war über die Weihnachtszeit die Kontamination mit *Schimmelpilzen* stark angestiegen bis auf 800 KbE/ml am 29.12.2005. Nach dem Jahreswechsel lag am 05.01.2006 keine Schimmelpilzbelastung vor, aber nur einen Tag später wurde eine Belastung gemessen, die mit 110 KbE/ml über dem Grenzwert lag (06.01.2006). Die folgenden Werte schwankten sehr. An einem Probenstag lag der Wert mit 56 KbE/ml weit unter unserem Grenzwert (17.01.2006). Eine Woche später war die Kontamination wieder auf 340 KbE/ml (24.01.2006) angestiegen. Am darauffolgenden Probenstag (01.02.2006) lag die Belastung wieder bei 50 KbE/ml. Die folgenden Werte lagen alle im Bereich des Grenzwerts. Einige überschritten ihn leicht, andere unterschritten ihn. Am 20.04.2006 wurden 220 KbE/ml gemessen. Das war der letzte erhöhte Wert. Von diesem Tag an lag die Schimmelpilzbelastung unter dem Grenzwert. Auch die zweite Hochchlorung änderte daran nichts.

Im Allgemeinen lässt sich nach dem Einsatz von Acti Des blue ein geringes Vorkommen von Schimmelpilzen festhalten.

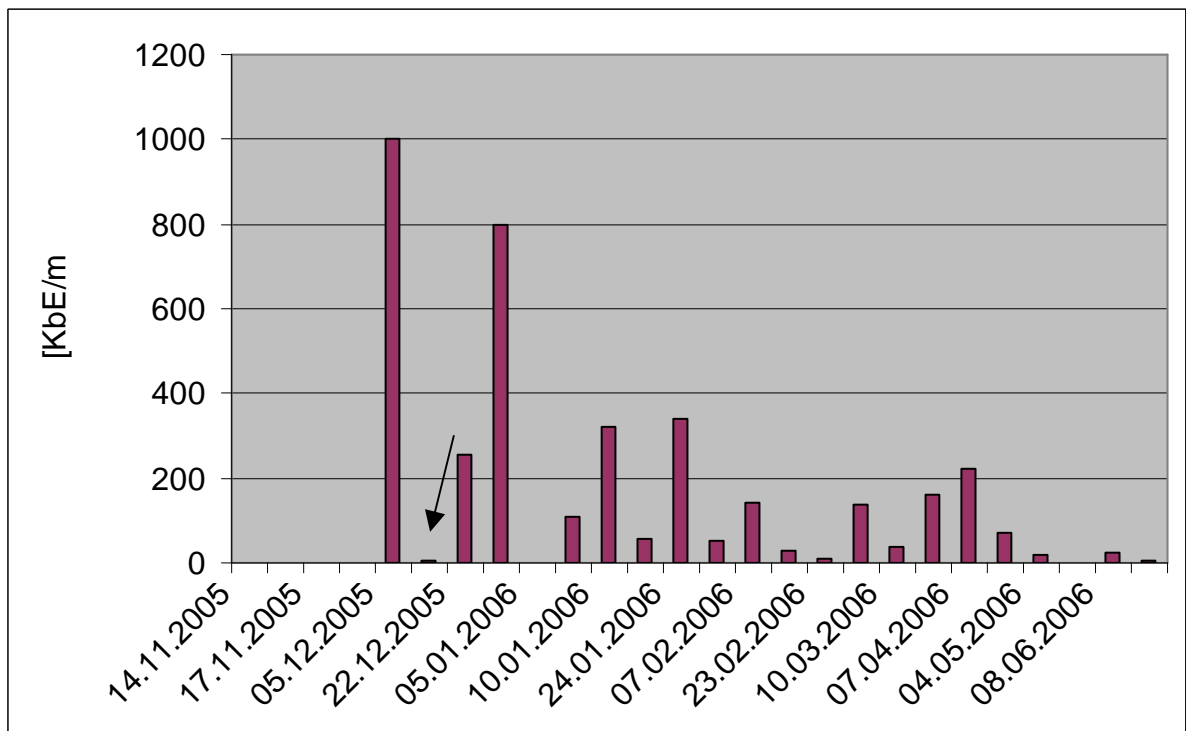


Abb. 15 Schimmelpilzbelastung (KbE/ml) an Stuhl 5 über Gesamtzeitraum der Studie

Der Behandlungsstuhl 6 war derjenige, an dem die geringste Belastung nachzuweisen war (Abb. 16). Von insgesamt 25 Probetagen wurde nur an 6 Tagen der Grenzwert von 100 KbE/ml überschritten. Zweimal betrug der Wert 1000 KbE/ml noch in Kontrollphase. An allen anderen Probetagen wurde max. 1 KbE/ml gemessen. Nach der Inbetriebnahme von Acti Des blue wurde ein erhöhter Wert am 29.12.2005 gemessen, dieser lag bei 200 KbE/ml. Nach den Weihnachtsferien sank die Belastung auf 0 KbE/ml ab. Bis zur ersten Spülung blieb der Wert unter dem Grenzwert. Die erste Spülung der Wasserleitungen fand am 14.02.2006 statt. Nach der Spülung betrug die Belastung 690 KbE/ml (23.02.2006). Dieser Wert fiel aber schon innerhalb einer Woche auf 136 KbE/ml ab (28.02.2006). Alle folgenden Werte lagen unter dem Grenzwert. Eine Ausnahme ist der 20.04.2006. An diesem Tag lag die Schimmelpilzbelastung bei 120 KbE/ml.

Am 19.05.2006 wurden keine *Schimmelpilze* nachgewiesen. Nach der zweiten Hochchlorung waren 26 KbE/ml am 08.06.2006 und 0 KbE/ml am 06.07.2006 nachgewiesen worden.

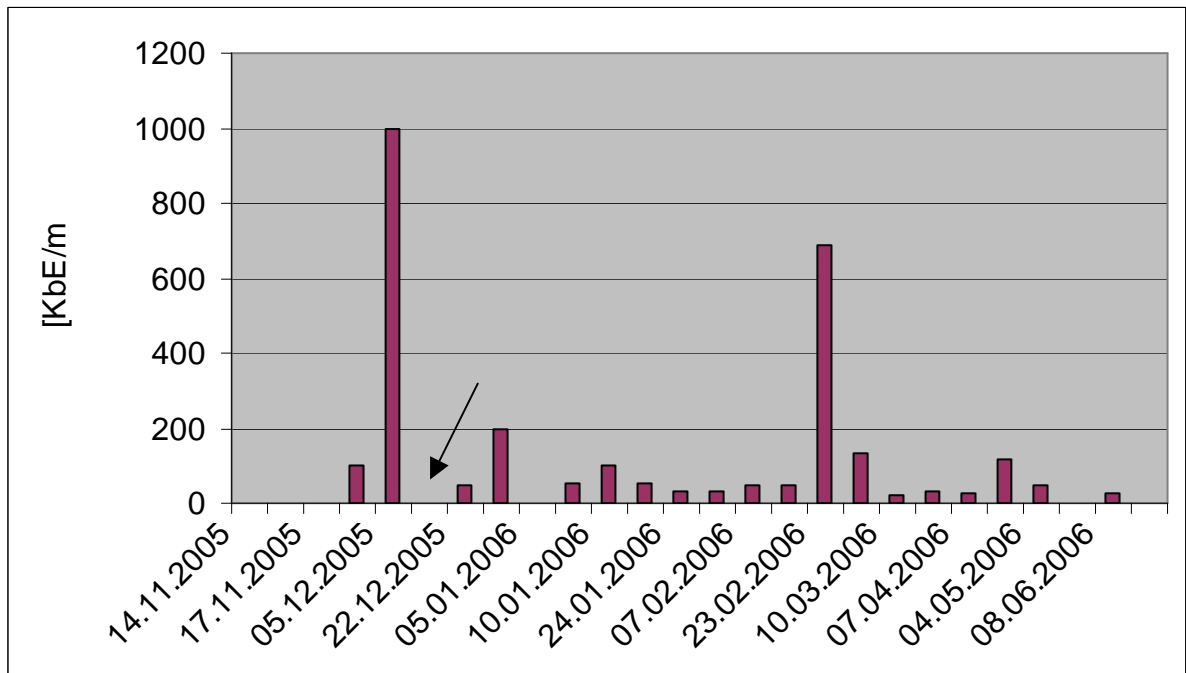


Abb. 16 Schimmelpilzbelastung (KbE/ml) an Stuhl 6 über Gesamtstudienzeitraum der Studie

### 2.2.3 Legionella pneumophila

Im gesamten Verlauf der Studie wurden weder in der Kontrollwoche, noch bei Einsatz des Acti-Des-blue-Verfahrens an Stuhl 1, 2, 3 und 6 *Legionella pneumophila* nachgewiesen.

An Behandlungsstuhl 4 konnten während der Kontrollwoche, am 15.11.2005, 50 KbE/1000ml *Legionella pneumophila* nachgewiesen werden. Auch nach der Inbetriebnahme von Acti Des blue waren am 22.12.2005 und am 05.01.2006 jeweils 5 KbE/1000ml nachweisbar.

An Behandlungsstuhl 5 wurden während der Kontrollwoche am 15.11.2005 110 KbE/1000ml nachgewiesen. Während des Einsatzes des Acti Des blue-Verfahrens konnten keine *Legionellen ssp.* dokumentiert werden.

Insgesamt ist die *Legionellen*-Belastung als gering einzuschätzen. Zum besseren Überblick dient Tab. 8, die sich im Anhang befindet.

### 2.2.4 Pseudomonas aeruginosa

Während der gesamten Studie (Kontrollzeitraum + Aktivierungszeitraum) wurden weder an Stuhl 2, noch an Stuhl 3 und 6 *Pseudomonas spp.* nachgewiesen.

In dem Kontrollzeitraum konnten lediglich an Stuhl 5 *Pseudomonaden*/100ml dokumentiert werden. Am 15.11.2005 wurde 1 KbE/100ml nachgewiesen. Drei Tage später (18.11.2005) wurden 10 KbE/100ml dokumentiert und am 08.12.2005 wurden 3 KbE/100ml nachgewiesen. Während des Einsatzes von Acti Des blue trat eine Pseudomonadenbelastung an Stuhl 1, 4 und 5 auf. Dabei ließ sich insgesamt die größte Belastung an Stuhl 5 feststellen (Tab. 9 im Anhang).

An Stuhl 1 wurden ausschließlich in den Semesterferien *Pseudomonas spp.* nachgewiesen, am 01.02.2006 waren es 0,2 KbE/100ml, am 14.02.2006 0,6 KbE/100ml.

An Stuhl 4 traten nur am 20.01.2006 *Pseudomonas spp.* auf (0,1 KbE/100ml).

An Stuhl 5 war die Kontamination am stärksten, aber bei dieser Behandlungseinheit wurden die erhöhten Werte aus den Kontrollwochen nicht erreicht. Am 05.01.2006 wurden 0,3 KbE/100ml nachgewiesen, am 12.01.2006 waren es 0,5 KbE/100ml. Am 20.01.2006 wiederholte sich der Messwert. In der Zeit der Semesterferien wurden im Februar 2006 fast bei jeder Probennahme *Pseudomonas spp.* nachgewiesen. Am 01.02.2006 waren es 0,7 KbE/100ml, am 07.02.2006 0,5 KbE/100ml. Eine Woche später (14.02.2006) wurden 1,4 KbE/100ml nachgewiesen und am 28.02.2006 belief es sich auf 6,7 KbE/100ml. Im März 2006 (10.03.2006) wurde nur ein Wert von 0,1 KbE/100ml nachgewiesen, welcher der letzte nachgewiesene Messwert bis zum Ende dieser Studie war.

Insgesamt lässt sich die Pseudomonadenbelastung als gering einschätzen. Der Grenzwert von 100 KbE/100ml wurde niemals überschritten. Die Belastung des Wassers mit *Pseudomonas spp.* war zum Ende dieser Studie nicht mehr vorhanden.

### **2.2.5 Redoxpotentiale und pH-Werte**

Die Redoxpotentiale werden in mVH angegeben. Während der Kontrollphase lag das Redoxpotential zwischen 450 mVH und 507 mVH (Abb. 17). Der Mittelwert der Kontrollphase lag bei 469,8 mVH.

In der Wirkphase überschritten die Werte des Redoxpotentials nicht 480 mVH. Die einzelnen Potentiale lagen im Bereich von ca. 460-470 mVH. Das niedrigste Redoxpotential wurde am 23.02.2006 gemessen. 9 Tage nach der ersten



Hochchlorung lag es bei 341 mVH. Das Potential stieg aber während der nächsten 5 Tage um knapp 100 mVH auf 437 mVH an.

Die folgenden Redoxpotentiale lagen im Bereich um 450 mVH. Die Schwankungen sind aber in dieser Phase stärker als zu Beginn der Studie. Nach der zweiten Hochchlorung wurde am 22.06.2006 ein Potential von 463 mVH gemessen. Es sank innerhalb der letzten zwei Studienwochen auf 432 mVH bzw. auf 428 mVH ab. Der Mittelwert des Redoxpotentials während der Wirkphase lag bei 453,54 mVH. Somit lag das Potential unter dem der Kontrollphase.

Zusätzlich wurde ab dem 12.01.2006 das Redoxpotential an einer Wasserleitung gemessen, an der nicht das Acti Des blue Gerät angeschlossen war. Diese Wasserleitungen verlaufen parallel zu der zu untersuchenden Wasserleitung. Hier lag der Mittelwert des Potentials bei 462,37 mVH. Nach der ersten Hochchlorung wurde ein Wasserhahn direkt hinter die Acti Des Anlage installiert. Ab dem 23.02.2006 wurde hier ebenfalls das Redoxpotential gemessen. Der Mittelwert lag bei 419,75 mVH.

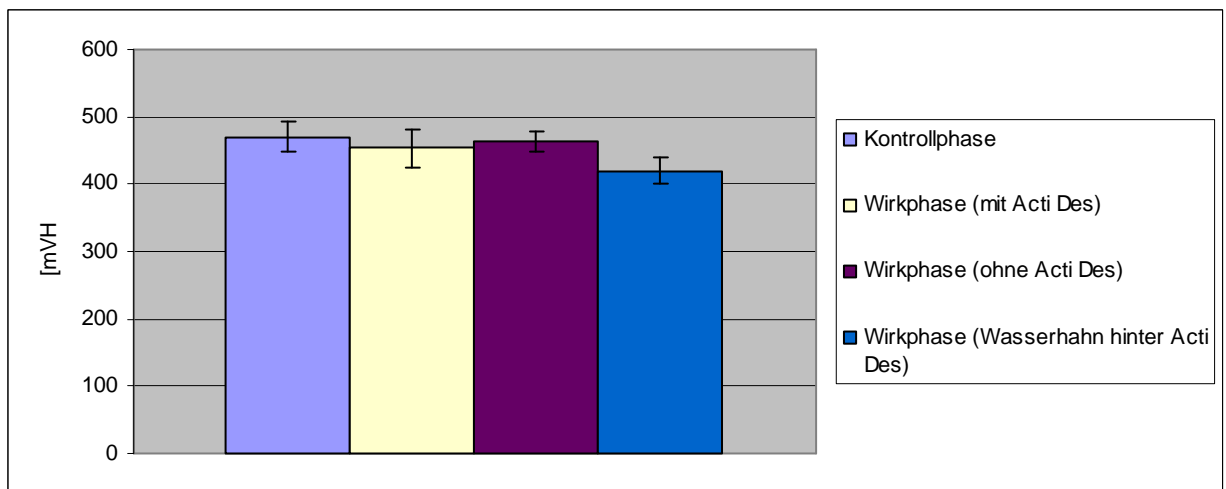


Abb. 17 Mittelwerte des Redoxpotentials in den einzelnen Probenphasen über den Verlauf der Studie

Der pH-Wert wurde danach gemessen. Die Proben waren dieselben, bei denen vorher das Redoxpotential gemessen wurde (Abb. 18). In der Kontrollphase lag der Mittelwert des pH-Werts bei 7,32. Während der Wirkphase fiel der Mittelwert dem Mittelwert der Kontrollphase gegenüber ab auf 7,24. Die Wasserproben von der nicht angeschlossenen Wasserleitung ergaben einen Mittelwert von 7,17. Fast genau der gleiche Mittelwert des pH-Werts wurde in der Wasserprobe, die aus dem Wasserhahn direkt hinter der Acti Des Anlage entnommen wurde, ermittelt. Dieser lag bei 7,18.

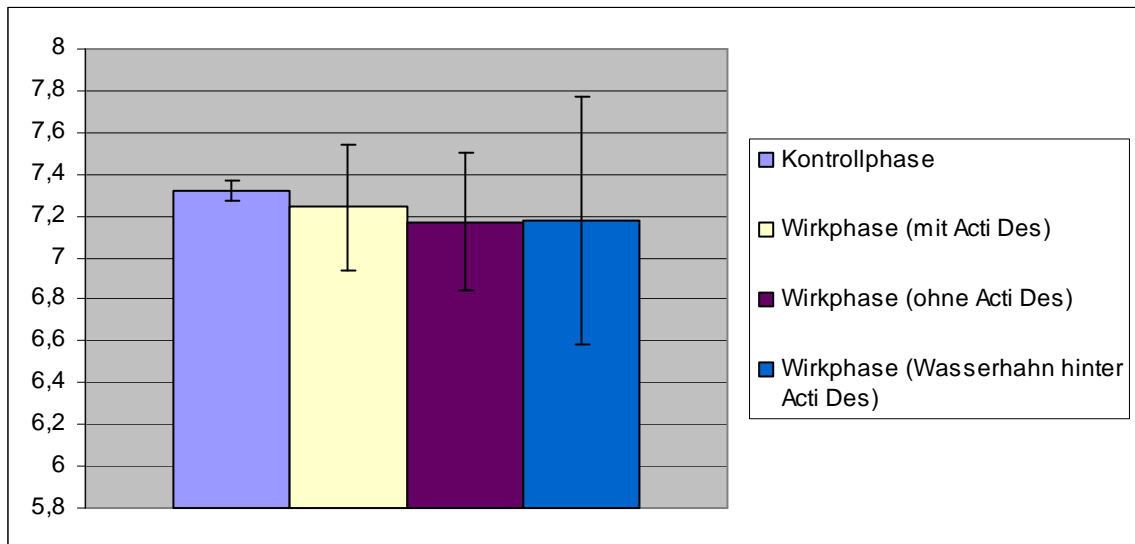


Abb. 18 Mittelwerte des pH-Wertes in der einzelnen Probephase über den Verlauf der Studie

Die einzelnen Redoxpotentiale und pH-Werte sind im Anhang dokumentiert (Tab. 10).

## 2.3 Diskussion

### 2.3.1 Methode

Die Studie wurde an sechs zahnärztlichen Behandlungseinheiten durchgeführt, die nur für die studentische Ausbildung zur Verfügung standen. Von Montag bis Freitag (ohne Mittwoch) wurde an diesen Stühlen den gesamten Tag gearbeitet. Die Behandlungsauslastung lässt sich aber nicht mit dem „normalen Betrieb“ in einer gewöhnlichen Zahnarztpraxis vergleichen. Der Patientendurchlauf in einer zahnärztlichen Praxis ist deutlich höher als im Studentenkurs der Universität. Während an einem Tag im Studentenkurs ca. 6 Patienten behandelt wurden, kann man in einer Praxis von ca. 30-35 Patienten pro Tag ausgehen. Dadurch ergibt sich, dass im Studentenkurs die Leitungen der wasserführenden Systeme weniger durchspült wurden als in einer normalen zahnärztlichen Praxis. Dadurch kann es schneller zu einer Biofilmentwicklung kommen.

Das Alter der Behandlungseinheiten spielte mit Sicherheit auch eine wichtige Rolle in dieser Studie. Die Behandlungseinheiten wurden ca. 1991-1992 in der prothetischen Abteilung der Universität in Betrieb genommen. Über diese lange Dauer konnten sich große Areale von Biofilm entwickeln. Mit verschiedenen Studien hatte man versucht, diesen Biofilm zu lösen, aber keiner dieser Lösungsansätze reichte aus, um das Biofilmproblem zu lösen. Die in dieser Studie durchgeführte Hochchlorungen der Leitungen hätte man auch zum Anfang der Studie durchführen müssen. Aber zu diesem Zeitpunkt waren wir uns des riesigen Ausmaßes der Gesamtkoloniezahl bzw.

des Biofilms noch nicht im Klaren. Unser Erachtens nach würden die Werten besser sein, wenn von Anfang an vor der ersten Inbetriebnahmen einer Behandlungsarbeit Acti Des blue an das wasserführende System der Dentaleinheit angeschlossen werden würde.

An dem Aufbau einer zahnärztlichen Behandlungseinheit wurde in der Studie nichts verändert. Die Probennahmen wurden im Verlauf dieser Arbeit an die Werte angepasst. Der Verarbeitung der Proben ist nach DIN 38402-14 und DIN 38411 [55, 56] beschrieben und wurde von Pitten et. al. für Risikobereiche modifiziert [49] und so in dieser Studie umgesetzt.

### **2.3.2 Ergebnisse**

#### ***Gesamtkoloniezahlen***

Die Gesamtkoloniezahlen lagen nur bei 13 von insgesamt 186 Wasserproben während der gesamten Studie im Normbereich für Trinkwasser. Bei 6 Wasserproben lagen die Einzelwerte unter 150 KbE/ml. Die einzelnen Tage dieser Studie wurden wöchentlich zusammengefasst (Abb. 20 - 26). Die einzelnen Werte sind im Anhang detailliert aufgeführt (Tab. 11). Im Vergleich dieser Werte ist insgesamt deutlich zu sehen, dass es im Verlauf einer Woche zu einer klaren Abnahme der Gesamtkoloniewerte gekommen ist, obwohl die vorhandenen Werte nur selten die Normwerte für Trinkwasser erreichten [27]. Kommt es allerdings zu einer kleineren Stagnationsphase, z. B. am Wochenende, an Feiertagen oder in den Semesterferien, steigen die Werte sofort wieder sprunghaft an.

In Abb. 19 werden die Mittelwerte der Gesamtkoloniezahlen von jedem einzelnen Tag mit dem nächsten Tag verglichen. Hierbei sind alle zahnärztlichen Behandlungseinheiten zusammengefasst. Die dunkelblauen Säulen zeigen den Verlauf vor der Aktivierung von Acti Des blue an. Der Pfeil zeigt die Inbetriebnahme des Geräts an. Durch diese Abbildung lässt sich ein wellenförmiger Verlauf der Gesamtkoloniezahlen erkennen. Den ersten Anstieg kann man mit der Stagnation über die Weihnachtsfeiertage in Zusammenhang bringen. Die Mittelwerte nehmen dann aber wieder kontinuierlich ab. Den nächsten Anstieg kann man nach dem 14.02.2006 sehen. An diesem Tag fand die erste Hochchlorung der Wasserleitungen statt. Es kam dabei zu einem Aufsprudeln des Wassers in den Leitungen; damit verbunden wurde der Biofilm an den inneren Wandungen abgelöst. Dadurch stiegen die Gesamtkoloniezahlen an. Dazu kam, dass zu dieser Zeit die Behandlungsstühle nicht in Betrieb waren (Semesterferien).

Mit dem Beginn des Sommersemesters fiel der Mittelwert der Gesamtkoloniezahlen wieder ab. Der höchste Mittelwert wurde am 07.04.2006 gemessen, dieser betrug 87450 KbE/ml. Am nächsten Probenstag (20.04.2006) wurde ein Mittelwert von 7092 KbE/ml ermittelt.

Am 31.05.2006 wurde die zweite Hochchlorung durchgeführt mit dem gleichen Resultat. Es kam auch hierbei zu einer Aufwirbelung in den Wasserleitungen und einer damit verbundenen Biofilmauflösung. Die Werte stiegen dementsprechend an.

Einen wellenförmigen Abfall kann man hier auch erkennen. Der höchste Wert dieser dritten Welle wurde am 15.06.2006 ermittelt. Dieser lag bei 30666,66 KbE/ml. In den nächsten zwei Wochen halbierte sich der Mittelwert dann auf 15500 KbE/ml (29.06.2006).

Am letzten Probenstag (06.07.2006) wurde aber erneut ein sehr hoher Mittelwert von 47600KbE/ml erreicht. Somit kündigte sich der Anstieg einer „neuen“ Welle an. Die Wellenabstände werden im Verlauf dieser Studie immer kleiner, obwohl Acti Des blue ständig in Betrieb war. Trotz der beiden Hochchlorungen konnte die Gesamtkoloniezahl nicht den geforderten Bereich der TrinkwV erreichen. Die Hochchlorungen sollten als „Neustart“ dienen. Der abgelöste Biofilm sollte durch Acti Des blue eliminiert werden. Dies geschah nicht. Die Sanierung der Wasserleitungen mittels Acti Des blue konnte also den geforderten Leistungen nicht entsprechen.

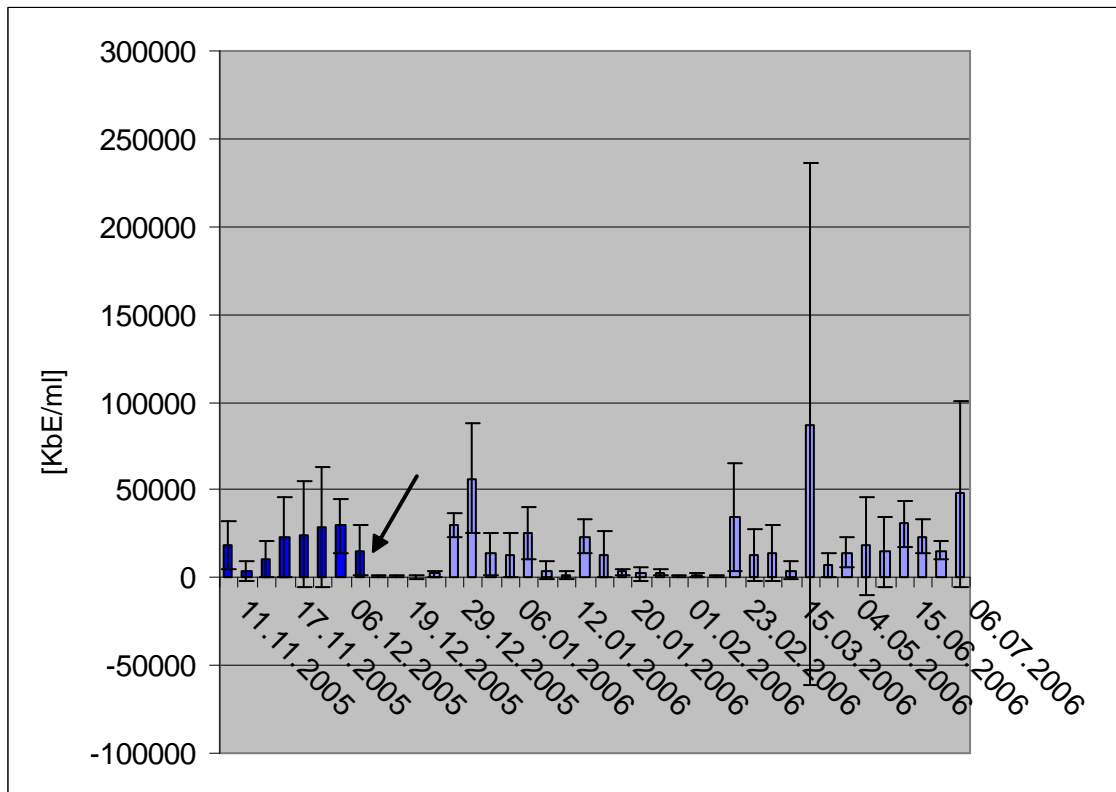


Abb. 19 Mittelwerte der Gesamtkoloniezahlen aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) pro Tag über den Gesamtstudienverlauf

In Abb. 20 werden die ersten Tage nach Inbetriebnahme von Acti Des blue miteinander verglichen. Diese Mittelwerte sind auf die erste Woche bezogen. Der Donnerstag nach der Inbetriebnahme wurde zu der ersten Woche gezählt. (Zeitraum vom 15.12.2005 bis 22.12.2005)

Die Mittelwerte unterliegen in den ersten fünf Tagen noch keinen starken Schwankungen. Aber ab dem 22.12.2005 steigt der Mittelwert ganz erheblich von 712,66 KbE/ml (20.12.2005) auf 2031,66 KbE/ml. Das könnte daran liegen, dass jetzt das ganze System die Strömungen und die Ablagerungen an den Innenwandungen der Wasserleitungen durcheinander gewirbelt hat. Zusätzlich lässt sich an diesem Tag der Anstieg noch auf eine Stagnation zurückführen, denn am 21.12.2005 fand keine Patientenbehandlung statt.

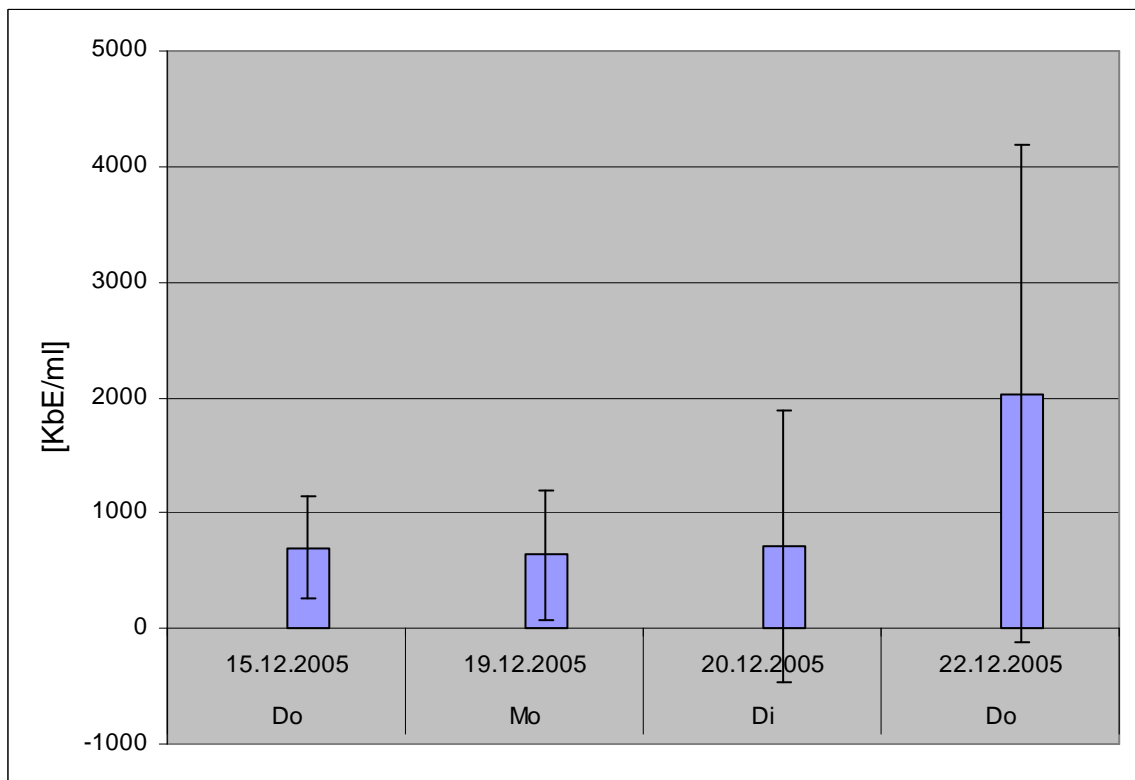


Abb. 20 Mittelwerte der GKZ aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) in der Zeit vom 15.12.2005 bis 22.12.2005

Den 29.12.2005 muss man einzeln betrachten. Zu dieser Zeit waren Weihnachtsferien. Die Behandlungsstühle unterlagen einer großen Stagnationsphase. An diesem Tag lag der Mittelwert bei 30166,66 KbE/ml. Die einzelnen Werte unterschritten die 22000 KbE/ml nicht. Der höchste Wert wurde an Behandlungsstuhl 2 ermittelt. Er lag bei 40000 KbE/ml. Die Weihnachtsferien endeten mit dem 01.01.2006.

Die folgende Abbildung (Abb. 21) zeigt die nächste Wirkwoche an, diese verlief vom 02.01.2006 bis zum 06.01.2006. Die Mittelwerte nahmen vom Anfang der Woche an stark ab. Die massiven Gesamtkoloniezahlen ergaben sich aus der langen Stagnationsphase über die Weihnachtsfeiertage. Von Donnerstag zu Freitag ist nur ein geringer Unterschied der Belastung festzustellen.

Betrachtet man die Einzelwerte der Stühle am Montag (Tab. 11 im Anhang), fällt eine hohe Anfangsbelastung auf. Zusätzlich sieht man an diesen Werten auch, dass die Stühle 1, 4 und 6 die höchste Belastung aufwiesen. In der ersten Woche waren es noch die Stühle 1, 2 und 5, die am stärksten kontaminiert waren. Die Mittelwerte unterschritten aber die 12000 KbE/ml nicht.

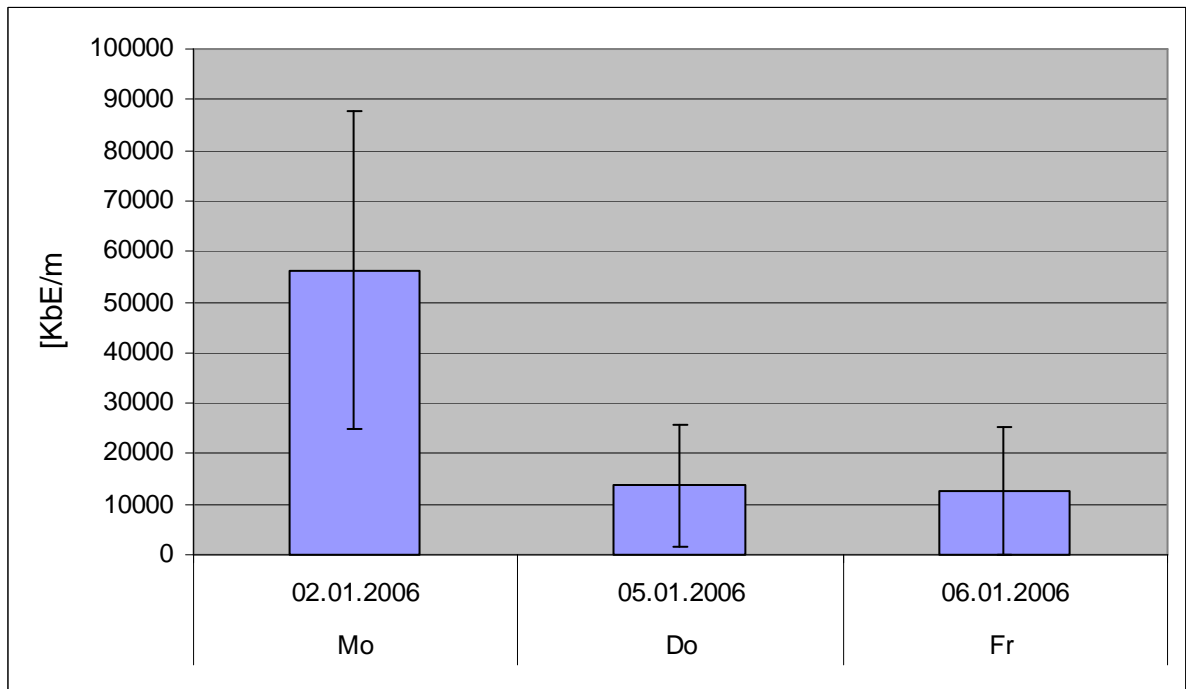


Abb. 21 Mittelwerte der GKZ aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) in der Zeit vom 02.01.2006 bis 06.01.2006

In der dritten Applikationswoche (09.01.2006 - 12.01.2006) zeigte sich derselbe Verlauf (Abb. 22). Am Montag wurde eine massive Keimbelastung ermittelt, die zum Ende der Woche wieder schnell und in hohem Maße abnahm. Außer an den Stühlen 4 und 5 war ein klarer Abwärtstrend erkennbar. Fast 3mal lagen die Einzelwerte im Bereich unter 100 KbE/ml.

Die höchste Kontamination zum Wochenanfang trat bei den Stühlen 1, 3 und 6 auf, wobei diese Stühle dann die geringste Belastung zum Ende der Woche aufwiesen. Die Mittelwerte dieser Woche verdeutlichen den Abwärtstrend noch mehr. Zu Wochenbeginn lag er bei 25093,33 KbE/ml. Nur einen Tag später sank der Mittelwert auf 4138,5 KbE/ml ab. Trotz des Stagnationstags, der vor dem letzten Beprobungstag dieser Woche lag, sank der Mittelwert am 12.01.2006 auf 1837,33 KbE/ml.

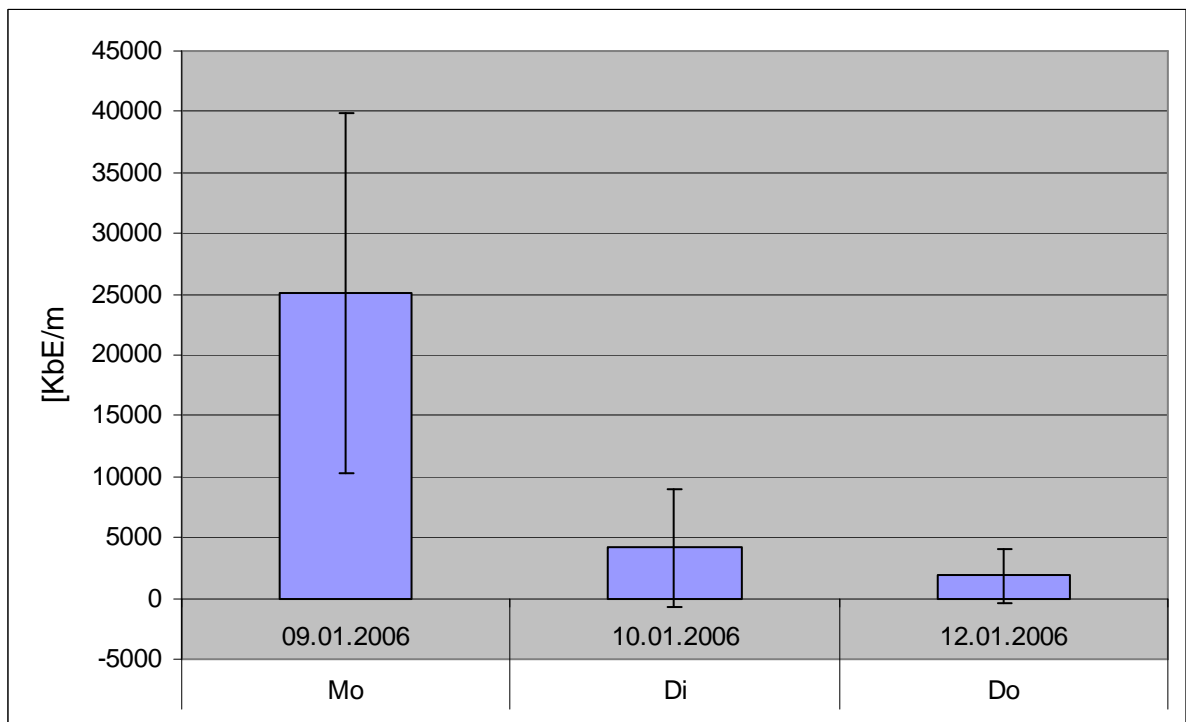


Abb. 22 Mittelwerte der GKZ aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) in der Zeit vom 09.01.2006 bis 12.01.2006

In der vierten Applikationswoche (16.01.2006 - 20.01.2006) wurde das Wasser aus den Behandlungseinheiten nicht am Donnerstag sondern erst am Freitag beprobt. In Abb. 23 sieht man deutlich die rasche Abnahme der Kontamination innerhalb der Woche.

An allen Stühlen in dieser Woche kann man einen drastischen Rückgang der bakteriellen Belastung sehen. Auch hier ist wieder Stuhl 1 derjenige, der die höchste Anfangsbelastung aufwies. In dieser Woche wurde aber nicht einmal das Trinkwasserniveau erreicht. Der niedrigste Wert wurde an Stuhl 6 erreicht. Dieser lag bei 420 KbE/ml, damit wurde der Normwert der TrinkwasserV immer noch um das Vierfache überschritten. Die Mittelwerte nahmen im Verlauf der Woche stark ab. Am 16.01.2006 lag der Mittelwert bei 23546,66 KbE/ml. Am nächsten Tag sank der Wert schon um ca. 10000 KbE/ml auf 13325 KbE/ml. Am 20.01.2006 betrug der Mittelwert nur noch 3153,33 KbE/ml.



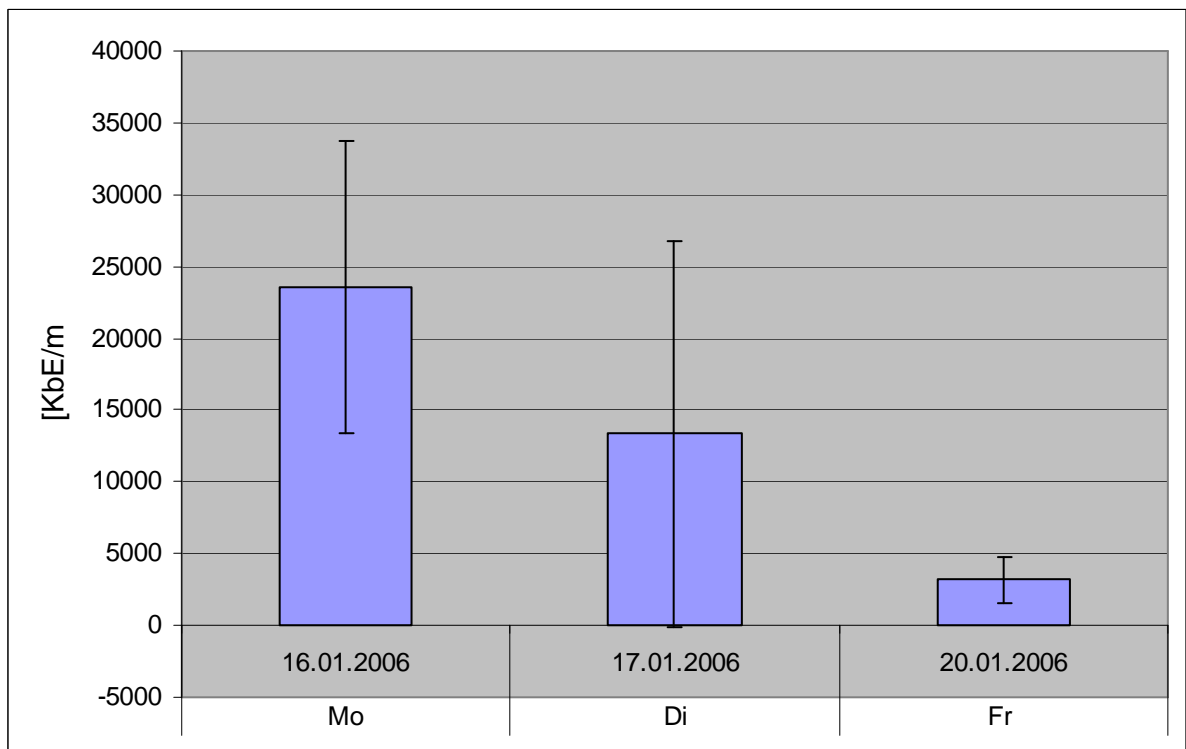


Abb. 23 Mittelwerte der GKZ aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) in der Zeit vom 16.01.2006 bis 20.01.2006

In der fünften Applikationswoche war zum ersten Mal die Kontamination des Behandlungswassers am Dienstag (24.01.2006) höher als am Montag (23.01.2006) (Abb. 24). An fast allen Stühlen war eine Verschlechterung festzustellen, die weit über das Doppelte hinausgeht.

Diese Woche war die letzte Woche des Semesters. Wahrscheinlich sind an den Stühlen nicht mehr so viele Patienten behandelt worden und die Wasserleitungen wurden demzufolge nicht mehr so gut durchgespült.

Am Montag wurde an Stuhl 3 und 6 Trinkwasserniveau erreicht. Stuhl 1 war der einzige in dieser Woche, bei dem sich die Gesamtkoloniezahl verkleinert hat. Die Belastung fiel von 10000 KbE/ml auf 5900 KbE/ml. An Stuhl 4 blieben sie ungefähr gleich. Betrachtet man die Mittelwerte, dann fällt auch hier eine Zunahme die Gesamtkoloniezahl auf. Der Mittelwert am Montag, dem 23.01.2006, betrug 2282 KbE/ml. Am Dienstag, dem 24.01.2006, lag der Mittelwert bei 2706,66 KbE/ml.

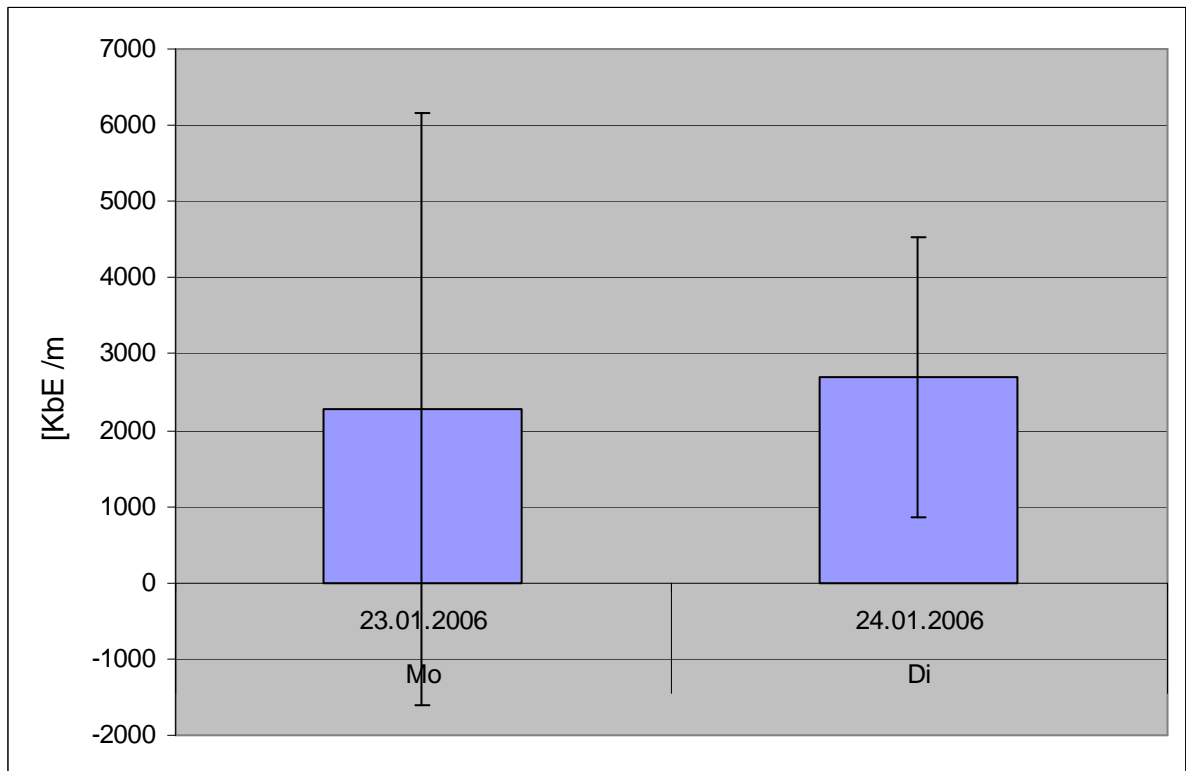


Abb. 24 Mittelwerte der GKZ aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) am 23.01.2006 und am 24.01.2006

In den Semesterferien wurden die Proben nur noch einmal in der Woche entnommen. In dieser Zeit wurden die Behandlungsstühle nicht benutzt. Der Hausmeister spülte einmal in der Woche alle Leitungen durch, in dem er für ca. 20 Minuten pro Behandlungsstuhl das Wasser aus allen Entnahmestellen laufen ließ. Da die Werte nicht den erhofften Rückgang der Kontamination des Wassers aufzeigten, wurde der Entschluss für die aufwendige Spülung aller Leitungen gefasst. Diese Hochchlorung wurde am 14.02.2006 durchgeführt. Die gemessenen Werte von diesem Tag wurden direkt vor der Hochchlorung erzielt. An Hand der Messwerte kann man erkennen, dass die Mittelwerte vor der Hochchlorung kleiner waren als nach der Hochchlorung (Abb. 25). Die einzelnen Messwerte verdeutlichen, dass die Werte wieder starken Schwankungen ausgesetzt sind. Während vor der Spülung die Mittelwerte zwischen 528,83 KbE/ml bis 1309,06 KbE/ml schwankten, befanden sich die Mittelwerte nach der Hochchlorung zwischen 34135 KbE/ml bis 4191 KbE/ml. Eine abfallende Tendenz ist aber nach der Hochchlorung zu erkennen.

Vor der Hochchlorung wurde 3mal Trinkwasserniveau erreicht, nach der Spülung nur 1mal. Betrachtet man die Einzelwerte insgesamt, erkennt man, dass Behandlungsstuhl 6 die besten Messwerte vorzuweisen hatte. An diesem Stuhl wurde insgesamt dreimal Trinkwasserniveau erreicht.

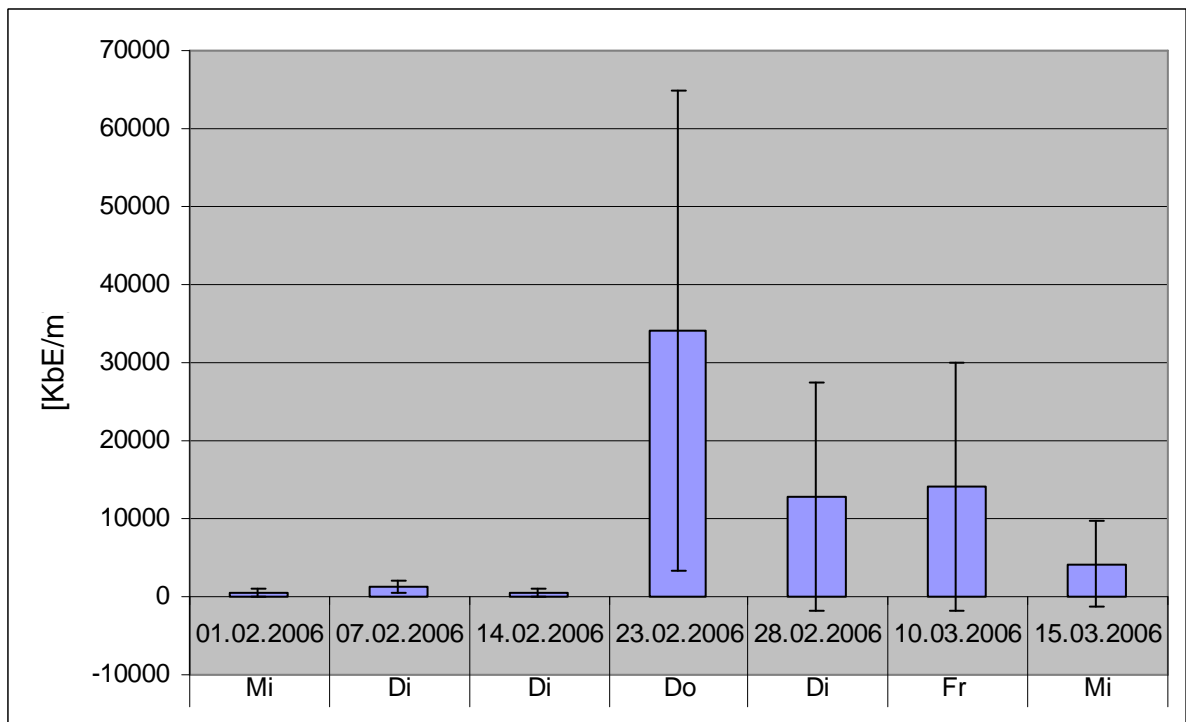


Abb. 25 Mittelwerte der GKZ aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) in der Zeit vom 01.02.2006 bis 15.03.2006 (Semesterferien)

In dem folgenden Sommersemester wurden nur noch wöchentlich Wasserproben entnommen. Diese Entnahmen wurden auch nur zum Ende der Wochen durchgeführt, da im letzten Semester dort anhaltend die niedrigsten Werte erreichen wurden. Die gemessenen Werte zeigen, dass die Mittelwerte nur einmal unter 10000 KbE/ml liegen (Abb. 26). Bei insgesamt 48 Wasserproben an 8 Probetagen wurde das geforderte Niveau von unter 100 KbE/ml nur dreimal erreicht.

Da sich anhand der ermittelten Werte im Verlauf des Semesters kein klarer Rückgang der Gesamtkoloniezahl darstellte, wurde in Absprache mit der Firma Acti Des eine erneute Spülung des gesamten Wasserleitungssystems durchgeführt. Diese Spülung fand am 31.05.2006 statt. Ein Servicetechniker führte die Hochchlorung der Leitungen sachgerecht durch. Die errechneten Mittelwerte nach der Spülung zeigen, dass auch hier keine deutliche Besserung des Gesamtzustands erreicht wurde. Der höchste Mittelwert wurde am 07.04.2006 mit 87450 KbE/ml bestimmt. In dieser Woche begann das Sommersemester. Der Biofilm in den Wasserleitungen wurde so stark abgelöst, dass es zu diesen hohen Messwerten kam.

Am 20.04.2006 lag der Mittelwert nur noch bei 7092 KbE/ml. Der gelöste Biofilm war aus dem System entfernt und die Messwerte sanken demzufolge. Aber der Biofilm bildete sich neu und am 19.05.2006 wurde ein Mittelwert von 18349,5 KbE/ml ermittelt.

Wie in Abb. 26 deutlich wird, kam es nach der Hochchlorung zu einem Rückgang der Gesamtkoloniezahl auf 14563,66 KbE/ml. Im System kam es dann zu der beabsichtigten Biofilmablösung und der Mittelwert stieg am 15.06.2006 auf 30666,66 KbE/ml an. Am 29.06.2006 war der Mittelwert auf 15500 KbE/ml gefallen.

Am letzten Probestag dieser Studie stieg die Gesamtkoloniezahl noch einmal erheblich an. Der Mittelwert lag am 06.07.2006 bei 47600 KbE/ml. Die Einzelwerte zeigen, dass der 19.05.2006 der Tag war, an dem die niedrigsten Messwerte erzielt werden konnten. An diesem Tag wurde fast dreimal Trinkwasserniveau erreicht.

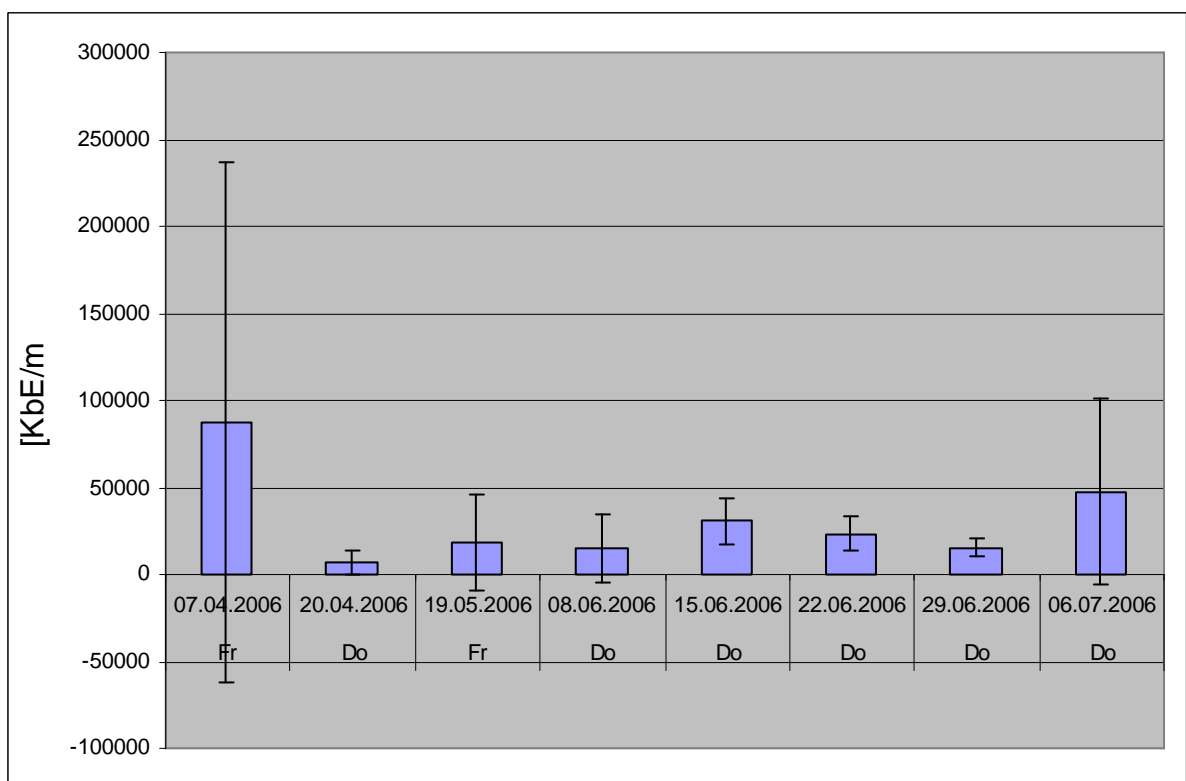


Abb. 26 Mittelwerte der GKZ aller Behandlungseinheiten (KbE/ml) in der Zeit vom 07.04.2006 bis 06.07.2006

Um die Messwerte genauer miteinander vergleichen und bewerten zu können, wurde für die statistische Beurteilung der Friedman-Test benutzt. Dieses Verfahren wird als non-parametrisches Verfahren bezeichnet. Der Friedman-Test arbeitet mit Rängen (Rangvarianzanalyse für abhängige Stichproben). Es wird überprüft, ob sich die zentrale Tendenz mehrerer aufeinander folgender Messungen signifikant unterscheidet

[52]. Der Vorteil des Friedmann-Tests besteht darin, dass die Messwerte nicht normalverteilt sein müssen und nur Ordinalskalenniveau erfordern. In der folgenden Tab. 4 werden die einzelnen Messzeitpunkte zusammengefasst.

Tab. 4 Einteilung der Messzeitpunkte in 4 Phasen mit der dazugehörigen Messanzahl im Verlauf dieser Zeiträume

zusammengefasste Messzeitpunkte	Zeitraum
Prä	11.11.2005 – 08.12.2005 (vor Acti Des-Einsatz)
Post 1	15.12.2005 – 07.02.2006 (nach Acti Des-Einsatz)
Post 2	14.02.2006 – 19.05.2006 (nach 1. Hochchlorung)
Post 3	08.06.2006 – 06.07.2006 (nach 2. Hochchlorung)

Die Unterschiede zwischen den Behandlungseinheiten sind nicht relevant (z. B. Reihenschaltung der Behandlungseinheiten). Es wird lediglich untersucht, ob sich die Messwerte der Stühle über die Messzeitpunkte hinweg unterscheiden. Um eine bessere Beurteilung hinsichtlich der Grenzwerte vornehmen zu können, wurden die Messwerte in Kategorien unterteilt (Tab. 5).

Tab. 5 Kategorien von 1-10

Kategorie	Gesamtkoloniezahl KbE/ml
1	0-100
2	100,01-500
3	500,01-1000
4	1000,01-5000
5	5000,01-10000
6	10000,01-20000
7	20000,01-40000
8	40000,01-60000
9	60000,01-100000
10	100000,01- höchster Wert

In diese einzelnen Kategorien können alle Messwerte der Studie aufgeteilt werden. Jedem Stuhl wird über die Messzeitpunkte hinweg ein Rangplatz zugeordnet. Unterscheiden sich die Messwerte nicht, ist die Zuordnung eines jeden Rangplatzes zu

jedem Messzeitpunkt für jeden Stuhl gleich wahrscheinlich, d. h. die Rangplätze der Stühle würden sich also zufällig über die Messzeitpunkte verteilen [52].

Die Nullhypothese beim Friedman-Test besagt, dass sich die zentralen Tendenzen nicht unterscheiden. Die Alternativhypothese besagt, dass sich mindestens zwei zentrale Tendenzen unterscheiden.

In Tabelle 6 werden die deskriptiven Statistiken (6a), die Ränge (6b) sowie der Friedman-Test (6c) dargestellt. Den einzelnen Messzeiträumen werden Mittelwerte und Standardabweichungen zugeordnet. Mit N wird die Anzahl der Stühle gekennzeichnet. Minimum und Maximum bezeichnen die Minimum- bzw. Maximummesswerte, die berücksichtigt wurden.

In Tab. 6b werden zu den Messzeitpunkten die mittleren Ränge festgelegt. In Tab 6c wird die Statistik für den Friedman-Test berechnet. Das Ergebnis des Friedman-Tests ist in der Zeile „Exakte Signifikanz“ abzulesen. Hierbei zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten bei den Gesamtkoloniezahlen, d. h. die Überschreitungswahrscheinlichkeit übersteigt mit einem Wert von 0,232 den Grenzwert von 0,05, ab dem von statistisch bedeutsamen Unterschieden gesprochen werden kann. Es gibt also keine systematische Zuordnung der Messwerte über die Messzeitpunkte. Die Rangplätze verteilen sich also zufällig über die Messzeitpunkte. Damit ist die Nullhypothese beizubehalten.

Tab. 6 Deskriptive Statistiken, Ränge und Friedman-Test

Tab. 6a **Deskriptive Statistiken**

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Prä_K	6	6,0000	1,26491	5,00	8,00
Post1_K	6	5,8333	40825	5,00	6,00
Post2_K	6	6,1667	1,16905	5,00	8,00
Post3_K	6	6,8333	75277	6,00	8,00

Tab. 6b **Ränge**

	Mittlerer Rang
Prä_K	2,25
Post1_K	2,00
Post2_K	2,42
Post3_K	3,33

Tab. 6c **Statistik für Friedman-Test**

N	6
Chi-Quadrat	4,380
df	3
Asymptotische Signifikanz	223
Exakte Signifikanz	232
Punkt- Wahrscheinlichkeit	012

### **Schimmelpilze**

Die Schimmelpilzbelastung der einzelnen Stühle war während dieser Studie sehr unterschiedlich. Die einzelnen Werte sind im Anhang (Tab. 7) aufgeführt. Der festgelegte Grenzwert betrug  $\leq 100$  KbE/ml. Bei insgesamt 156 Messungen wurde 64mal der Grenzwert überschritten. Mit die höchsten Einzelmesswerte wurden vor dem Einsatz von Acti Des blue dokumentiert. Aber auch noch danach wurden an einigen Behandlungseinheiten Werte von weit über 500 KbE/ml erreicht.

In Abb. 27 sind alle Mittelwerte mit den Standardabweichungen aller Stühle über den gesamten Verlauf der Studie zusammengefasst. Der Pfeil symbolisiert den Einsatz von Acti Des blue. Die genauen Daten der Mittelwerte sind im Anhang dokumentiert (Tab. 12). Deutlich zeigte sich am 5.12.2005 die Pilzbelastung durch einen sehr hohen Mittelwert von 1000 KbE/ml, der jedoch während der gesamten Studie nicht mehr erreicht wurde. Die meisten Mittelwerte lagen zwischen 0 - 300 KbE/ml. Viermal lagen

die Mittelwerte in einem Bereich von 300-1000 KbE/ml (am 18.11.2005, 05.12.2005, 29.12.2005, 23.02.2006).

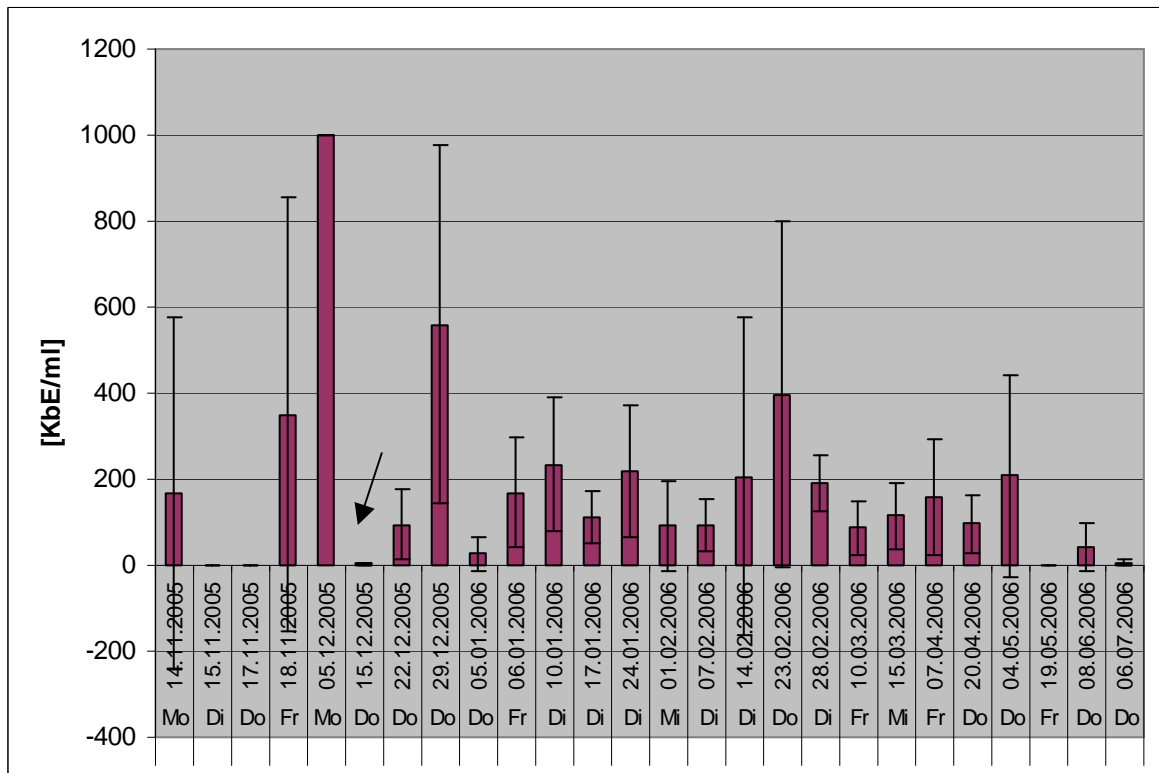


Abb. 27 Mittelwerte der Schimmelpilzbelastung in KbE/ml über gesamten Verlauf der Studie

Auch bei der Schimmelpilzbelastung lässt sich ein wellenförmiger Verlauf beobachten. In der Kontrollphase war der Wellenhöhepunkt am 5.12.2005 erreicht (Mittelwert 1000KbE/ml).

Danach wurde Acti Des blue in Betrieb genommen. Am 15.12.2005 wurde ein Mittelwert von 4,1 KbE/ml gemessen. Dieser stieg innerhalb von einer Woche auf 94,2 KbE/ml an. Nach Weihnachten 2005 wurde am 29. 12 2005 ein Mittelwert von 560 KbE/ml ermittelt. Das ließ sich auf die Stagnation über die Weihnachtsfeiertage zurückführen. Im Januar 2006 pegelten sich die MW zwischen 25 - 234 KbE/ml ein. Am 01.02.2006 und am 07.02.2006 wurde jeweils der Grenzwert eingehalten. Hier ergab sich ein Mittelwert von 91 bzw. 92 KbE/ml. Am 14.02.2006 fand aufgrund der starken Gesamtkoloniebelastung die erste Hochchlorung statt. Der an diesem Tag gemessene Mittelwert überstieg wieder den Grenzwert (206,3 KbE/ml). Bei der nächsten Messung war der Mittelwert schon auf das etwa Doppelte des letzten Wertes angestiegen. Hier lag der Mittelwert bei 396,7 KbE/ml. Das war wieder ein Wellenhöhepunkt. Die



nächsten Mittelwerte überstiegen die 200 KbE/ml nur einmal am 04.05.2006 mit 208 KbE/ml. Am 31.05.2006 wurde die zweite Hochchlorung durchgeführt. Die danach gemessenen Mittelwerte lagen deutlich unter dem Grenzwert von  $\leq 100$  KbE/ml.

Ähnlich wie bei der Gesamtkoloniebelastung verhält es sich bei der statistischen Auswertung der Schimmelpilzmessung. Auch hierbei wurde der Friedmann-Test benutzt, um bedeutsame Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten festzustellen. In Tab. 7 sind die einzelnen Messungen wieder in 4 Phasen eingeteilt worden.

Tab. 7 Einteilung der Messzeitpunkte in 4 Phasen mit der dazugehörigen Messanzahl im Verlauf dieser Zeiträume

zusammengefasste Messzeitpunkte	Zeitraum
Prä	11.11.2005 – 18.12.2005 (vor Acti Des-Einsatz)
Post 1	15.12.2005 – 07.02.2006 (nach Acti Des-Einsatz)
Post 2	14.02.2006 – 19.05.2006 (nach 1. Hochchlorung)
Post 3	08.06.2006 – 06.07.2006 (nach 2. Hochchlorung)

Auffallend ergibt sich aus dieser Tab., dass nicht so viele Messungen wie bei der Gesamtkoloniezahl vorhanden sind. Dies kam durch ein größeres Messintervall zustande.

Die Messungen vom 05.12.2005 wurden bei dieser statistischen Auswertung nicht berücksichtigt, da man, wie zuvor schon erläutert, keine genauen Werte ermitteln konnte aufgrund des massenhaften Auftretens von Schimmelpilzen. Die Auszählung war nicht möglich. Ein Höchstwert von 1000 KbE/ml wurde hier angegeben.

Wie die Gesamtkoloniezahl wurden auch die Schimmelpilzbelastung in Kategorien unterteilt, in die sich alle Messungen einsortieren ließen (Tab. 8).

Tab. 8 Kategorien 1-3

Kategorie	Schimmelpilze KbE/ml
1	0-100
2	100,01-500
3	500,01-1000

Nach der Kategorisierung erfolgte die Rangordnung. Die Rangplätze der Stühle verteilten sich zufällig über die Messzeitpunkte hinweg. Die Nullhypothese ging auch hierbei davon aus, dass sich die zentralen Tendenzen der Schimmelpilzmessung nicht unterscheiden. Die Alternativhypothese ging davon aus, dass sich mindestens zwei zentrale Tendenzen der Schimmelpilzmessungen unterschieden.

In den folgenden Tabellen sind die deskriptiven Statistiken, die Ränge und der Friedman-Test zusammengefasst (Tab. 9). In Tab. 9a werden den einzelnen Messzeiträumen Mittelwerte und ihre Standardabweichungen zugeordnet. Mit N wird die Anzahl der Stühle gekennzeichnet. Minimum und Maximum bezeichnen die Minimum- bzw. Maximummesswerte, die berücksichtigt wurden.

In Tab. 9b werden zu den Messzeitpunkten die mittleren Ränge festgelegt. In Tab. 9c wird die Statistik für den Friedman-Test berechnet. Das Ergebnis des Friedman-Tests ist in der Zeile „Exakte Signifikanz“ abzulesen. Auch bei der Schimmelpilzauswertung konnten keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten errechnet werden.

Tab. 9 Deskriptive Statistiken, Ränge und Friedman-Test

Tab. 9a **Deskriptive Statistiken**

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Prä_1k	6	1,6667	81650	1,00	3,00
Post_1k	6	1,6667	51640	1,00	2,00
Post_2k	6	1,6667	51640	1,00	2,00
Post_3k	6	1,0000	00000	1,00	1,00

Tab. 9b **Ränge**

	Mittlerer Rang
Prä_1k	2,75
Post_1k	2,83
Post_2k	2,83
Post_3k	1,58

Tab. 9c **Statistik für Friedman-Test**

N	6
Chi-Quadrat	6,568
df	3
Asymptotische Signifikanz	087
Exakte Signifikanz	090
Punkt- Wahrscheinlichkeit	017

## 2.4 Weiterführende Gedanken und Schlussfolgerungen

Durch die statistische Auswertung der Gesamtkoloniezahl und der Schimmelpilzbelastung der wasserführenden Systeme innerhalb der Behandlungseinheiten wird deutlich, dass es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Messzeitpunkten gab. Das bedeutet, dass sich die Werte der Kontrollphase statistisch nicht verändert haben im Vergleich zu den Werten der Wirkphase. Acti Des blue konnte während dieser Studie nicht dazu beitragen, dass die Gesamtkoloniezahl und die Schimmelpilzbelastung dauerhaft unter die geforderten Grenzwerte sanken. Die Biofilmbesiedelung der wasserführenden Leitungen konnte nicht beseitigt werden. Auch die zweimalig durchgeführten Hochchlorungen änderten nichts daran.

Damit ist das Verfahren unter den getesteten Bedingungen als nicht ausreichend wirksam anzusehen. Hierzu ist allerdings anzumerken, dass die Wirkbedingungen im Vergleich zu einer Dentaleinheit in der Niederlassung deutlich ungünstiger waren, weil die Behandlungstühle im Studentenkurs nur etwa 1/5 – 1/6 der Auslastung wie in der Niederlassung erreichen, wodurch die Durchspülung der Einheiten deutlich reduziert wird. Durch Semesterferien und Nichtnutzung jeweils mittwochs wird die Biofilmbildung zusätzlich begünstigt. Als Fazit lässt sich daher ableiten, dass das Acti-Des-blue-Verfahren bei starker Biofilmbildung und vergleichsweise geringer Nutzungsfrequenz der zahnärztlichen Behandlungseinheiten nicht in der Lage ist, die mikrobielle Belastung der Einheiten so weit zu reduzieren, dass die Anforderungen der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

### 3 Zusammenfassung

Diese Studie untersuchte die Effektivität des Acti-Des-blue-Verfahrens zur Sanierung des kontaminierten Wasserreservoirs von Zahnarztstühlen. Unverzichtbarer Bestandteil jeder zahnärztlichen Behandlungseinheit ist die Wasserkühlung. Hiermit sind aber unter Umständen Probleme verbunden, da es in Stagnationsphasen dazu kommen kann, dass sich Mikroorganismen an den inneren Wandungen der Behandlungseinheit anhaften, dort vermehren und ein Biofilmareal bilden. Durch die Ablösung von Biofilm kommt es zur Kontamination des Kühlwassers, das für die Patienten und das Zahnärzteteam ein Infektionsrisiko darstellt.

Während einer hygienisch-mikrobiologischen Überprüfung der Behandlungseinheiten in der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald (vor dem Umzug in den Neubau) wurden erhöhte Messwerte auffällig, so dass man sich darauf konzentriert hat, eine Sanierungsmöglichkeit der wasserführenden Systeme zu finden. Daraufhin wurde ein handelsübliches Sanierungsverfahren auf seine Effektivität untersucht, das als „optimale umweltfreundliche Hygienelösung“ beworben wird und auf der potentialkontrollierten anodischen Oxidation (PAO) beruht [48]. Vorteil dieser Methode ist die Potentialkontrolle an der Anode. Durch ein standardisiertes Produktionsmedium Sole und durch genaue Mess- und Regeltechnik soll eine konstant hohe Qualität der produzierten Desinfektionslösung gewährleistet werden. Bei dieser Methode wird durch ein kontrolliertes Redoxpotential Natriumhypochlorit und hypochlorige Säure gebildet. Das Ergebnis ist eine chlorarme Lösung, die in dieser Studie laut Herstellerangaben auf eine Verdünnung von 1:200 eingestellt wurde.

Das Gerät wurde an das wasserführende System der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald angeschlossen. Insgesamt 6 zahnärztliche Behandlungseinheiten vom Typ KAVO Systematica 1060 TK, die sich im Studentenkursraum befanden und eine siebte Einheit vom Typ KAVO Estetica 1042 wurden durch diesen Wasserstrang versorgt und sollten so saniert werden. In dieser Studie wurden Wasserproben entnommen, die mikrobiologisch untersucht worden sind hinsichtlich Gesamtkoloniezahl, Schimmelpilzbelastung, Vorkommen von *L. pneumophila* und *P. aeruginosa*. Darüber hinaus wurden das Redoxpotential und der pH-Wert gemessen.

Die Kontrollphase dieser Studie erstreckte sich für die Gesamtkoloniezahl vom 11.11.2005 bis zum 08.12.2005. In dieser Zeit wurden insgesamt 48 Wasserproben entnommen, wobei bei den Einzelwerten nur zweimal Trinkwasserniveau erreicht wurde. Die Mittelwerte von allen Behandlungseinheiten lagen zwischen 3633 KbE/ml am 14.11.2005 (Standardabweichung 5655 KbE/ml) und 29417 KbE/ml am 06.12.2005 (Standardabweichung 14962 KbE/ml). Die meisten Mittelwerte lagen bei ca. 25000 KbE/ml. Die genauen Werte sind im Anhang (Tab. 11) zu finden. Die Wirkphase dieser Studie erstreckte sich vom 15.12.2005 bis zum 06.07.2006. In dieser Zeit wurden an 6 Behandlungseinheiten insgesamt 186 Wasserproben entnommen. Bei 11 Wasserproben konnte Trinkwasserniveau nachgewiesen werden. Bei 6 Wasserproben wurde eine Gesamtkoloniezahl von unter 150 KbE/ml erreicht. Die Mittelwerte der Gesamtkoloniezahl für die Behandlungseinheiten während der Wirkphase von Acti-Des-blue lagen zwischen 529 KbE/ml am 14.02.2006 (Standardabweichung 452 KbE/ml) und 87450 KbE/ml am 07.04.2006 (Standardabweichung 149218 KbE/ml). In der statistischen Auswertung konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Kontrollphase und der Wirkphase aufgezeigt werden.

Während der Kontrollphase fiel eine Schimmelpilzbelastung der Wasserproben auf, so dass es erforderlich wurde, diese Werte zu dokumentieren. Der Zeitraum der Kontrollphase erstreckte sich vom 14.11.2005 bis zum 05.12.2005. In dieser Zeit wurden 30 Proben zur Schimmelpilzbelastung ausgewertet, von denen 10 100 KbE/ml überschritten. Die Mittelwerte der Schimmelpilzbelastung lagen zwischen 0,3 KbE/ml am 17.11.2005 (Standardabweichung 0,4 KbE/ml) und  $\geq 1000$  KbE/ml am 05.12.2005. Die genauen Werte sind im Anhang (Tab.12) angegeben. Die Auswertung der Schimmelpilzbelastung während der Wirkphase von Acti-Des-blue erstreckte sich über einen Zeitraum vom 15.12.2005 bis zum 06.07.2006. In dieser Zeit wurden insgesamt 126 Wasserproben ausgewertet. Bei 54 Proben wurde der Wert von 100 KbE/ml für die Schimmelpilzbelastung überschritten. Die Mittelwerte der *Schimmelpilze* im Wirkzeitraum differierten von 0,3 KbE/ml am 19.05.2006 (Standardabweichung 0,8 KbE/ml) bis 396 KbE/ml am 23.02.2006 (Standardabweichung 403 KbE/ml). Bei der statistischen Auswertung der Werte konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Phasen dieser Studie nachgewiesen werden.

Die *Legionella spp.*-Belastung der Behandlungsstühle während dieser Studie ist als gering einzuschätzen. In nur 4 von insgesamt 130 Wasserproben wurden *Legionella ssp.* nachgewiesen. Zweimal trat eine Belastung während der Kontrollphase auf, am 15.11.2005 an Stuhl 4 mit 50 KbE/1000ml und am gleichen Tag an Stuhl 5 mit 110

KbE/1000ml. Während der Wirkphase trat nur bei Stuhl 4 eine *Legionella spp.*-Belastung auf, am 22.12.2005 und am 05.01.2006 mit jeweils 5 KbE/1000ml. Die genauen Werte befinden sich im Anhang (Tab. 8).

Auch die *Pseudomonas aeruginosa*-Belastung wurde während der Kontrollphase (vom 11.11.2005-08.12.2005) und der Wirkphase (vom 15.12.2005-08.06.2006) beobachtet und als gering eingeschätzt. In der Kontrollphase wurden 31 Wasserproben entnommen, bei denen die Belastung zwischen 0-10 KbE/100ml schwankte. Drei Wasserproben wurden hierbei auffällig. Während der Wirkphase wurden insgesamt 97 Wasserproben mikrobiologisch untersucht. Insgesamt 11 Proben waren auffällig. Die Pseudomonadenbelastung schwankte zwischen 0-7 KbE/100 ml (Tab.9 Im Anhang).

Neben all diesen Parametern wurden das Redoxpotential und der pH-Wert bestimmt. Der Mittelwert der Kontrollphase für das Redoxpotential lag bei 469,8 mVH (Standardabweichung 22,7 mVH). Der während der gesamten Wirkphase gemessene Mittelwert für das Redoxpotential lag bei 453,5 mVH (Standardabweichung 28,2 mVH). Der Unterschied zwischen der Kontroll- und Wirkphase ist als nicht vorhanden anzusehen, da die Werte sich fast auf einem Niveau befanden. Es wurden vor der Studie eher niedrigere Werte für das Redoxpotential als während der Wirkphase erwartet.

Der Mittelwert des pH-Werts während der Kontrollphase lag bei 7,3 (Standardabweichung 0,05). Der Mittelwert während der Wirkphase lag bei 7,3 (Standardabweichung 0,3). Die genauen Werte sind im Anhang (Tab. 10) aufgelistet. Da es während der Aktivierung von Acti-Des-blue zur Entstehung von einer hypochlorigen Lösung kommt, wurde ein niedrigerer pH-Wert erwartet.

Damit erwies sich das Acti-Des-blue-Verfahren zur Sanierung des kontaminierten Wasserreservoirs zahnärztlicher Behandlungseinheiten als nicht ausreichend. Allerdings muss man die geringe Frequentierung der Behandlungseinheiten im Studentenkurs berücksichtigen, wie ebenfalls die sich daraus ergebenden Stagnationszeiten, die in einem normalen Praxisbetrieb erheblich weniger auftreten. Dennoch wurde vor der Studie von besseren Ergebnissen ausgegangen. Für das Problem der inhalativen Aufnahme von Erregern durch Aerosolbildung an den Hand- und Winkelstücken, Turbinen sowie Absauganlagen und dem damit verbundenen Risiko für Patient und Praxisteam hat man mit dieser Methode keine ausreichende Lösung gefunden.

#### 4 Summary

The aim of this study was to investigate the *ActiDes-blue* system regarding its efficacy towards the decontamination of reservoirs in dentistry. Water-cooling systems are indispensable devices in dental chair units. However, they possess the risk of biofilm formation at the inner wall of the objects during the stagnation phase. Detached biofilms contaminate the cooling water and put the health of patients as well as dentists and co-workers at risk. Here, microorganisms can be trapped in aerosol drops produced by turbines and suction systems and eventually are inhaled by or cross the oral mucosa of patients and staff.

At the original center of dental, oral and maxillary medicine (University of Greifswald) microbiological testing has revealed contaminations in water systems. To challenge this problem the *ActiDes-blue* device was chosen to treat the water supply of seven dental chair units (six KAVO *Systemica* 1060 TK, one KAVO *Estetica* 1042) using potential-controlled anodic oxidation (PAO). Here, sodium hypochlorite and hypochloric acid supposed to yield low redox potentials compromising microbial growth. The system possesses exact control and sensor measurement which is responsible for maintaining a high quality, low-chlorine solution (1:200). All chair units are frequented irregularly by student groups. Water samples were collected from the chairs in a control phase (no antimicrobial treatment) and decontamination phase (PAO device connected to the water supply). The samples were examined for numbers of general CFU, mold-encumbrance and existence of *Legionella pneumophila* and *Pseudomonas aeruginosa*. Additionally, redox potential and pH-value were monitored.

For general CFU determination 48 samples were collected during control phase of which only two reached drinking water quality. CFU per ml were about 25000 in average for all samples with a minimum of 3633 (SD 5655) and maximum of 29417 (SD 14962). Collection of 186 samples during the decontamination phase revealed only 11 having drinking water quality with six samples below 150 CFU per ml. CFU per ml counted during decontamination phase were between 529 (SD 452) and 87450 (SD 149218). Differences of both phases were not statistically significant. Thus, no reduction was measurable.

Mold-encumbrance was evaluated as well during control phase. Ten out of 30 samples exceeded 100 CFU per ml. Minimum CFU count was 0.3 (SD 0.4) per ml while maximum surpassed 1000 CFU per ml. During decontamination phase 56 out of 126 samples had CFU counts of 100 per ml or more with a minimum of 0.3 (SD 0.8) CFU

per ml and a maximum of 396 (SD 403) CFU per ml. No statistical significance could be shown between both phases underlining no antifungal activity of the device.

*Legionella spp.* was detected in 4 out of 130 samples during control phase (50 and 110 CFU per l) and decontamination phase (5 CFU per l each). Positive samples could also be collected for *pseudomonas aeruginosa*. In control phase, 31 samples were positive for the gram-negative bacteria (0-10 CFU per 100 ml) with three of them having critical high values. Decontamination phase showed 11 out of 97 samples positive (0-7 CFU per 100 ml). Numbers of both pathogenic organisms have been considered marginal and not critical. Nevertheless, applying the device to the water system did not lead to decreased bacterial growth.

The determination of the redox potential during control phase [469.8 mVH (SD 22.7)] and decontamination phase [453.5 mVH (SD 28.2)] revealed no statistically significant difference between the non-treated and treated samples. Also pH-values did not differ significantly during control phase [7.3 (SD 0.05)] and decontamination phase [7.3 (SD 0.3)] which both was unexpected. The lack of a lower redox potential and lower pH-value might account for the missing decontamination effect.

This study showed no beneficial effect of the *ActiDes-blue* system concerning antimicrobial efficacy towards common water pipe microorganisms and pathogens. The exact cause and explanation for this phenomenon might be a consequence of the experimental setting or a malfunction of the device used itself.



## 5 Literatur

1. Exner, M.; Haun, F.; Kocikowski, R.: Zahnärztliche Einheiten als Kontaminationsquelle für *Pseudomonas aeruginosa*. Dtsch. Zahnärztl. Z. 1981 ; 36(12): 819-824
2. Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert Koch-Institut: Anforderungen an die Hygiene in der Zahnmedizin. Bundesgesundheitsblatt 41 / 1998, Nr. 8, 363 – 369
3. Exner, M.; Kramer, A.; Lajoie L.; Gebel, J; Engelhardt, S; Hartemann, P.: Prevention and control of health care – associated waterborne infections in health care facilities. Am J Infect Control 2005; 33; 26 – 40
4. Zahnmedizinisches Vorlesungsskript von Prof. A. Kramer: Infektionsrisiken in der Zahnarztpraxis. Studiengang Zahnmedizin Jahrgang 2001
5. Dyck, A.; Exner, M.; Kramer A.: Experimental based experiences with the introduction of a water safety plan for a multi-located university clinic and its efficacy according to WHO recommendations. BMC Public Health 2007; 34:1-14
6. Schitzer, R.: Kontinuierliche Entkeimung des Wassers der zahnärztlichen Behandlungseinheit. Schweiz Mschr Zahnheilk 1983; 93(3): 163-172
7. Center for Disease Control and Prevention: Recommended infection – control practices for dentistry. Morb. Mortal. Wkly. Rep. 1993; 42(RR-8): 1-12
8. Prucha, J.; Tilkes, F.: Wasserversorgung der zahnärztlichen Behandlungseinheit. In: E. G. Beck, P. Schmidt (Hrsg) Hygiene in Krankenhaus und Praxis. Springer, Berlin, 1986, 155-157
9. Blake, G. C.: The incidence and control of bacterial infection in dental spray reservoirs. Br Dent J 1963; 115: 413 – 416
10. Grün, L.; Crott, K.: Über den Keimgehalt des Turbinensprays – Fahrbare Turbinen. Dtsch Zahnärztl Z 1969; 24(3): 189-193
11. Engelhardt, J. P.: Untersuchungen zur Frage hygienischer Maßnahmen im Rahmen der zahnärztlichen Tätigkeit. Dtsch Zahnärztl Z 1967; 22(12): 1497-1504
12. Koch, H.: Untersuchungen über den Keimgehalt des Kühlwassers eines zahnärztlichen Behandlungsgerätes. Zahnmed Diss; Mainz, 1978
13. Hetzheim, B.; Ritz, W.: Die Versorgungssysteme neuer zahnärztlicher Behandlungseinheiten unter hygienischen Gesichtspunkten. Zahnmed Diss; Lahn – Gießen, 1977
14. Gross, A.; Devine, M. J.; Cutright, D. E.: Microbial Contamination of dental units and ultrasonic scalers. J Periodontol 1976; 47(11): 670 – 673
15. Forsina, C.J.; Mathews, E.: How is your water? An interdisciplinary approach to management of biofilm in dental unit waterlines. Probe Sci J 1999; 33(3): 15-21

16. Furuhashi, M.; Miyamae, T.: Prevention of bacterial contamination of water in dental units. *J Hosp Infect* 1985; 6(1): 81-88
17. Beierle, J. W.: Dental operatory water lines. *Calif. Dent. Assoc. J.* 1993; 21(2): 13-15
18. Grabrysiak, N.: Mikrobielle Kontamination und Keimspektrum des Wassers alter und neuer Dentaleinheiten. *Zahnmed Diss*, Leipzig, 1996
19. Prevost, A. P.; Robert, M.; Charland, R.; Barbeau, J.: Doctor, would you drink water from your dental unit? *NY State Dent J* 1995; 61(10): 22-28
20. Shepherd, P. A.; Shojaei, M. A.; Eleazer, P. D.; Van Steward, A.; Staat, R.H.: Clearance of biofilms from dental unit waterlines through the use of hydroperoxide ion – phase transfer catalysts. *Quintessence Int* 2001; 32(10): 755-761
21. Thè, S.D.; Van't Hof, M. A.: Bacterial conditions of water in dental units. *J Dent Res.* 1975 ; 54(5):1064-1068
22. Blume, M.; Schmidt, H.: Keimbesiedlung zahnärztlicher Einheiten und bauartbedingte Unterschiede. *ZWR* 2000; 109(4):160-166
23. Birke, S.: Zur Frage der Kontamination wasserführender Aggregate in zahnärztlichen Behandlungseinheiten. *Zahnmed Diss*; Bonn, 1980
24. Stampi, S.; Zanetti, F.; De Luca, G.; Romano, G. ; Pistacchio, E.; Tonnelli, E.: Effect of water softening and heating on microbial contamination of dental unit systems. *Zbl Hyg* 1996; 198: 522-530
25. Exner, M.; Tuschewski, G.-J.; Haun, F.: Raserelektronische Darstellung der Wandbesiedlung wasserführender Kunststoffschläuche. *Zbl Bakt Hyg B* 1982; 176: 425-434
26. Barbeau, J.; Avezard, C.; Faucher, E.; Zalzal, S.; Prévost, A. P.: Biofilms in dental unit waterlines: ultrastructural and cytochemical analysis. *Cells Mat* 1997; 7(2): 135-146
27. Smith, A.J.; Bagg., J.; Hood, J.: Use of chlorine dioxide to disinfect dental unit waterlines. *J Hosp Infect* 2001; 49(4):285-288
28. Bierhenke, R.; Schmage, P.; Nergiz, I.; Platzer, U.: Verhinderung der Keimbesiedlung des Kühlwassersystems in zahnärztlichen Behandlungseinheiten. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000; Suppl: 10
29. Gräf, W.; Vollmuth, G.: Die konstruktionsbedingte Keimübertragung durch Inneninfektion von Dentalturbinen. *Zbl Bakt Hyg I B* 1997; 165: 444-457
30. Hu T.; Meng X.; Zuo Y.; Zhou X.: A study on bacterial contamination of dental handpieces. *J Stomatol* 2001;19(2): 93-94, 98
31. Brandt, J.: Untersuchungen zur Erstbesiedelung des Kühlwassers zahnärztlicher Behandlungseinheiten sowie zur Entkeimung durch Einsatz von Wasserstoffperoxid. *Zahnmed Diss*; Kiel, 1994

32. Prickler, H. ; Przyborowski, R.: Dekontamination von Tank und Leitungssystem zahnärztlicher Turbinen mit dem Präparat Trosilin flüssig kombi. Stomatol DDR 1983; 33(5): 365- 371
33. Becker, H.; Finkensieper, C.: Untersuchung zur Problematik der Keimbesiedlung wasserführender Aggregate in der zahnärztlichen Behandlungseinheit : Ein neues Verfahren. Zahnmed Diss; Gießen,1988
34. Trinkwasserversorgung: Trinkwasserversorgung vom 21. Mai 2001 ( BGBl. I S. 959), geändert durch Artikel 363 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
35. Kramer, A.; Sümnick, B.; Dyck, A.; Sümnick, K.; Daeschlein, G.; Beuge, J.; Fusch, Ch.; Dölken, G.; Krüger, W.; Wendt, M.; Gürtler, L.; Kühn, M.; Bartels, C.; Exner, M.: Wasserqualität verbessert und noch Kosten gespart. Einführung eines Wassersicherheitsplans im Universitätsklinikum Greifswald. Krankenhaus Umschau 2006; (12): 1122-1125
36. van der Kooij, D.; Veenendaal, H. R.; Scheffer, W. J.: Biofilm formation and multiplikation of Legionella in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polxethylene. Water Res 2005, 39(13): 2789-2798
37. Boccia, S.; Laurenti, P.; Borella, P.; Moscato, U.; Capalbo, G.; Cambieri, A.; Amore, R.; Quaranta, G.; Boninti, F.; Orsini, M.; Branca, G.; Fadda, G.; Romano-Spica, V.; Ricciardi, G.: Prospective 3-year surveillance for nosocomial and environmental Legionella pneumophila: implications for infection control. Infect Control Hosp Epidemiol 2006; 27(5): 459-465
38. Fotos, P. G.; Westfall, H. N.; Synder I. S.; Miller, R. W.; Mutchler, B. M.: Prevalence of Legionella-specific IgG and IgM antibody in a dental clinic population. J Dent Res 1985, 64(12): 1382-1385
39. Kramer, A.; Daeschlein, G.; Chergui, B.; Wagenvoort, H.: Hygiene – Prüfungswissen für Pflege- und Gesundheitsfachberufe. München, Elsevier; 2. Auflage 2005; 204-206
40. WHO: Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva 3rd edition, 2008, 1-515
41. N.N. (2006) Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit. Hygienisch–mikrobiologische Untersuchung im Kaltwasser von Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr. 2 Buchstabe c TrinkwV 2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit im Sinne des § 18 Abs. 1 TrinkwV 2001 bereitgestellt wird. Bundesgesundheitsbl 49: 693-696

42. Trautmann, M.; Royer, H.; Helm, E.; May, W.; Haller, M.: *Pseudomonas aeruginosa*: new insights into transmission pathways between hospital water and patients. *Filtration* 2004; Suppl 1: 63-70
43. Vianelli, N.; Giannini, M. B.; Quarti, C.; Bucci Sabattini, M. A.; Fiacchini, M.; de Vivo, A.; Graldi, P.; Galli, S.; Nanetti, A.; Baccarani, M.; Ricci, P.: Resolution of a *Pseudomonas aeruginosa* outbreak in a hematology unit with the use of disposable sterile water filters. *Haematologica* 2006; 91: 983-985
44. Sabria, M.; Yu, V. L.: Hospital – acquired legionellosis: solutions for a preventable infection. *Lancet Infect Dis* 2002; 2(6): 368-373
45. Daeschlein, G.; Krüger, W.; Selepko, F.; Rochow, M.; Doelken, G.; Kramer, A.: Hygienic safety of reusable tap water filters (Germlyser®) in a hematologic onkology transplantation unit. *BMC Inf Dis* 2007; 45: 1-7
46. Roeske W., Ritter K.: *Trinkwasserdesinfektion*. Oldenburg, Industrieverlag, 2. Auflage, 2006; 70-71
47. Verfahren zur Herstellung eines Desinfektionsmittels durch elektrochemische Aktivierung (ECA) von Wasser und Verfahren zur Desinfektion von Wasser mittels eines solchen Desinfektionsmittels; (2007): <http://www.patent-de.com/20070830/DE102006007931A1.html>
48. [www.actides.de](http://www.actides.de)
49. Pitten, F.-A.; Rudolph, P.; Kramer, A.: Mikrobiologische Qualität von Trinkwasser in Risikobereichen. Die Probennahme entscheidet über das Ergebnis. *BGBL Gesforschg Ges.schutz* 2001; 44: 155-158
50. ISO 1173, 2008-06 Wasserbeschaffenheit-Nachweis und Zählung von Legionellen-Teil 2: Direktes Membranfiltrationsverfahren mit niedriger Bakterienzahl (ISO 11731-2:2004) Deutsche Fassung EN ISO 11731-2: 2008
51. Helbig, J.H.; Streckert, H.J.: Screening von Legionellen im Trinkwasser. *Laborwelt* 2005; 6(2): 38-40
52. Bühner, M.; Ziegler, M.: *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München, Pearson, 2009
53. Kramer, A.; Pitten, F.-A.; Rudolf, P.; Weber, U.: Thermische Desinfektion - werden alle Legionellen erfasst? *IHKS* 2005/2006; 28-32
54. Henschel, W.; Waider, D.: *Kommentar zum DVGW-Arbeitsblatt W 551; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums in Trinkwasser-Installationen*. Bonn, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, 2004
55. DIN 38402 T: *Allgemeine Angaben (Gruppe A) Probennahme von Rohwasser und Trinkwasser (A 14)*. Köln, Beuth 1986

56. DIN 38411T: Mikrobiologische Verfahren (Gruppe K) Vorbereitung zur mikrobiologischen Untersuchung von Wasserproben (K1). Köln, Beuth 1983

## 6 Anhang

Tab. 1 Übersicht Stuhl 1

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	26000	11	29700	31520	32000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	81	34	2000	3528	41000
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	32000	40600	29600		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	1424	176	470	2800	35000
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	76720	34000	16000	32640	960
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	264	40720	26700		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	R 3100	R 10000	n.d.*		R =Röhrchen
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	F 5200	F 9200	F 5900		F = Flasche
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	87	260	860	41000	11400
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	41000	4240	43600	1040	57000
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	53300	41000	24000	17000	29000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	14600	11000	6500	15000	9300

\*n.d. = nicht durchgeführt

Tab. 2 Übersicht Stuhl 2

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	23000	16	1800	12000	15000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	860	45	340	24	19000
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	13600	12400	37700		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	904	410	200	5200	40000
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	44560	9900	32000	11440	7360
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	1750	18080	6900		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	R 4700	R 170	nd		R =Röhrchen
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	F 3100	F 2300	F 2800		F = Flasche
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	230	880	279	13000	1150
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	4450	540	6800	20720	34
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	14000	50000	32000	17000	n.z. **
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	3240	11000	3600	210	3400

\*n.d. = nicht durchgeführt

\*\*n.z. = nicht zählbar

Tab. 3 Übersicht Stuhl 3

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	38000	14000	10300	65120	82000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	6500	19000	5440	496	71000
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	95760	34300	9040		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	540	416	180	3600	22000
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	36000	22000	21000	37600	488
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	67	25700	34000		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	R 3800	R 70	n.d.*		R = Röhrchen
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	F 3400	F 190	F 2200		F = Flasche
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	190	1400	132	56000	2630
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	26000	124	14100	3190	27
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	3400	24000	31000	25000	37000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	1020	3000	920	1800	1100

\*n.d. = nicht durchgeführt



Tab. 4 Übersicht Stuhl 4

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	1600	780	2800	8500	6200
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	100	68	920	700	6900
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	4400	50600	3650		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	102	400	280	190	31000
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	80960	9300	1800	11440	12480
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	3190	27600	6200		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	R 4400	R 2300	n.d.*		R = Röhrchen
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	F 3300	F 2700	F 2200		F = Flasche
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	890	1800	650	13000	31000
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	8100	14000	390000	7730	52000
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	562	31000	13000	10000	28000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	24	27000	1800	2400	1500

\*n.d. = nicht durchgeführt

Tab. 5 Übersicht Stuhl 5

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	18000	490	8940	11000	10000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	35000	220	2900	6100	13000
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	9040	15600	6010		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	670	243	3100	230	22000
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	9120	6600	3300	13120	3440
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	5728	16560	5940		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	R 2500	R 1100	n.d.*		R = Röhrchen
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	F 3400	F 480	F 2900		F = Flasche
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	900	110	1200	81000	31000
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	4700	6240	19200	6320	926
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	9040	15000	11000	12000	4000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	72	13000	3900	4200	9300

\*n.d. = nicht durchgeführt

Tab. 6 Übersicht Stuhl 6

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	5200	6500	7400	9800	3200
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	13000	560	1180	40	3600
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	1544	23000	6690		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	550	610	46	170	31000
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	89760	750	1500	44320	103
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	25	12560	710		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	R 420	R 52	n.d.*		R = Röhrchen
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	F 2300	F 200	F 240		F = Flasche
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	1200	78	52	810	130
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	437	2	51000	3552	110
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 22 °C	7080	23000	30000	12000	140000
Gesamtkoloniezahl KbE/ml Gesamt 36 °C	5560	1800	11000	2500	900

\*n.d. = nicht durchgeführt

Tab.7 Übersicht über die Schimmelpilzbelastung an allen Stühlen in KbE/ml

<b>Kontrollphase</b>						
Datum	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005	05.12.2005	
Stuhl 1	0,03	0,17	0,07	0,04	1000	
Stuhl 2	1000	1,1	0,5	1000	1000	
Stuhl 3	1	0,25	1	1000	1000	
Stuhl 4	0,04	0,04	0	0	1000	
Stuhl 5	0	0	0	0	1000	
Stuhl 6	1	0,5	0,03	1000	1000	
<b>Wirkphase</b>						
Datum	15.12.2005	22.12.2005	29.12.2005	05.01.2006	06.01.2006	10.01.2006
Stuhl 1	3	89	1180	9	360	240
Stuhl 2	5	80	300	100	280	500
Stuhl 3	1,73	52	760	46	160	134
Stuhl 4	7,6	40	120	0	40	110
Stuhl 5	6	256	800	0	110	320
Stuhl 6	1	48	200	0	56	100
Datum	17.01.2006	24.01.2006	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006
Stuhl 1	220	420	50	160	960	1030
Stuhl 2	120	80	82	140	80	140
Stuhl 3	98	280	300	40	90	440
Stuhl 4	120	160	30	24	28	70
Stuhl 5	56	340	50	140	30	10
Stuhl 6	56	32	34	50	50	690
Datum	28.02.2006	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	04.05.2006
Stuhl 1	202	178	180	110	10	640
Stuhl 2	170	140	210	390	172	180
Stuhl 3	314	104	60	160	40	290
Stuhl 4	194	38	44	40	170	70
Stuhl 5	136	38	162	220	70	20
Stuhl 6	136	20	30	26	120	48
Datum	19.05.2006	08.06.2006	06.07.2006			
Stuhl 1	2	150	20			
Stuhl 2	0	48	3			
Stuhl 3	0	6	3			
Stuhl 4	0	4	2			
Stuhl 5	0	24	4			
Stuhl 6	0	26	0			

Tab. 8 Übersicht über die Legionellen spp.-Belastung an allen Stühlen in KbE/1000 ml

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Stuhl 1	0	0	0	0	0
Stuhl 2	0	0	0	0	0
Stuhl 3	0	0	0	0	0
Stuhl 4	0	0	50	0	0
Stuhl 5	0	0	110	0	0
Stuhl 6	0	0	0	0	0
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Stuhl 1	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 2	n.d.	0	n.d.		
Stuhl 3	n.d.	0	n.d.		
Stuhl 4	n.d.	n.d.	0		
Stuhl 5	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 6	n.d.	0	n.d.		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Stuhl 1	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 2	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 3	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 4	0	n.d.	n.d.	5	n.d.
Stuhl 5	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 6	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Stuhl 1	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 2	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 3	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 4	n.d.	5	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 5	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 6	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Stuhl 1	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 2	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 3	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 4	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 5	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 6	n.d.	n.d.	n.d.		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Stuhl 1	0	n.d.	0		
Stuhl 2	0	n.d.	0		
Stuhl 3	0	n.d.	0		
Stuhl 4	0	n.d.	0		
Stuhl 5	0	n.d.	0		
Stuhl 6	0	n.d.	0		

<b>Wirkphase</b>					
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Stuhl 1	0	0	0	0	0
Stuhl 2	0	0	0	0	0
Stuhl 3	0	0	0	0	0
Stuhl 4	0	0	0	0	0
Stuhl 5	0	0	0	0	0
Stuhl 6	0	0	0	0	0
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Stuhl 1	0	0	0	0	0
Stuhl 2	0	0	0	0	0
Stuhl 3	0	0	0	0	0
Stuhl 4	0	0	0	0	0
Stuhl 5	0	0	0	0	0
Stuhl 6	0	0	0	0	0
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Stuhl 1	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 2	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 3	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 4	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 5	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 6	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = nicht durchgeführt

Tab. 9 Übersicht über die Pseudomonas spp. - Belastung an allen Stühlen in KbE/100ml

<b>Kontrollphase</b>					
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Stuhl 1	0	0	0	0	0
Stuhl 2	0	0	0	0	0
Stuhl 3	0	0	0	0	0
Stuhl 4	0	0	0	0	0
Stuhl 5	0	0	1	0	10
Stuhl 6	0	0	0	0	0
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Stuhl 1	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 2	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 3	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 4	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 5	n.d.	n.d.	3		
Stuhl 6	n.d.	n.d.	n.d.		
<b>Wirkphase</b>					
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	29.12.2005
Stuhl 1	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 2	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 3	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 4	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 5	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Stuhl 6	0	n.d.	n.d.	0	n.d.
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006	09.01.2006	10.01.2006
Stuhl 1	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 2	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 3	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 4	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 5	n.d.	0,3	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 6	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Datum	12.01.2006	16.01.2006	17.01.2006		
Stuhl 1	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 2	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 3	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 4	n.d.	n.d.	n.d.		
Stuhl 5	0,5	n.d.	n.d.		
Stuhl 6	n.d.	n.d.	n.d.		
Datum	20.01.2006	23.01.2006	24.01.2006		
Stuhl 1	0	n.d.	0		
Stuhl 2	0	n.d.	0		
Stuhl 3	0	n.d.	0		
Stuhl 4	0,1	n.d.	0		
Stuhl 5	0,5	n.d.	0		
Stuhl 6	0	n.d.	0		

<b>Wirkphase</b>					
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006
Stuhl 1	0,2	0	0,6	0	0
Stuhl 2	0	0	0	0	0
Stuhl 3	0	0	0	0	0
Stuhl 4	0	0	0	0	0
Stuhl 5	0,7	0,5	1,4	0	6,7
Stuhl 6	0	0	0	0	0
Datum	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006
Stuhl 1	0	0	0	0	0
Stuhl 2	0	0	0	0	0
Stuhl 3	0	0	0	0	0
Stuhl 4	0	0	0	0	0
Stuhl 5	0,1	0	0	0	0
Stuhl 6	0	0	0	0	0
Datum	08.06.2006	15.06.2006	22.06.2006	29.06.2006	06.07.2006
Stuhl 1	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 2	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 3	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 4	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 5	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Stuhl 6	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = nicht durchgeführt



Tab. 10 Redoxpotentiale (mVH) und pH-Werte (Einzelwerte, Mittelwerte und Standardabweichungen) über den Gesamtstudienverlauf

<b>Kontrollphase</b>			
Datum	mVH		
23.11.2005	450		
24.11.2005	507		
05.12.2005	471		
06.12.2005	468		
08.12.2005	453		
MW	469,8		
Stabwin	22,70902904		
<b>Wirkphase</b>			
Datum	mit Acti Des blue	ohne Acti Des blue	Wasserhahnprobe
14.12.2005	459		
16.12.2005	471		
19.12.2005	467		
20.12.2005	470		
22.12.2005	466		
02.01.2006	468		
05.01.2006	466		
06.01.2006	470		
09.01.2006	473		
10.01.2006	468		
12.01.2006	465	472	
16.01.2006	475	469	
17.01.2006	470	468	
19.01.2006	472	468	
24.01.2006	468	474	
01.02.2006	441	470	
10.02.2006	463	472	
14.02.2006	450	456	
23.02.2006	341	435	424
28.02.2006	437	431	426
10.03.2006	413	475	406
15.03.2006	457	461	403
04.05.2006	439	437	385
22.06.2006	463	469	445
06.07.2006	432	467	435
13.07.2006	428	474	434
MW	453,5384615	462,375	419,75
Stabwin	28,17691363	14,75522506	20,0267678

<b>Kontrollphase</b>			
Datum	pH		
23.11.2005	7,34		
24.11.2005	7,38		
05.12.2005	7,31		
06.12.2005	7,32		
08.12.2005	7,25		
MW	7,32		
Stabwin	0,04743416		
<b>Wirkphase</b>			
Datum	mit Acti Des blue	ohne Acti Des blue	Wasserhahnprobe
14.12.2005	7,25		
16.12.2005	7,31		
19.12.2005	7,29		
20.12.2005	7,24		
22.12.2005	7,26		
02.01.2006	7,3		
05.01.2006	7,29		
06.01.2006	7,31		
09.01.2006	7,23		
10.01.2006	7,3		
12.01.2006	7,32	7,3	
16.01.2006	7,4	7,29	
17.01.2006	7,31	7,29	
19.01.2006	7,3	7,29	
24.01.2006	7,25	7,27	
01.02.2006	7,26	7,09	
10.02.2006	7,09	7,21	
14.02.2006	7,41	7,06	
23.02.2006	7,11	7,05	7,42
28.02.2006	7,23	7,23	7,36
10.03.2006	7,32	7,2	7,32
15.03.2006	5,84	6	5,72
04.05.2006	7,37	7,39	7,34
22.06.2006	7,38	7,38	7,42
06.07.2006	7,43	7,4	7,44
13.07.2006	7,45	7,3	7,41
MW	7,24038462	7,171875	7,17875
Stabwin	0,29766398	0,330680485	0,590990392

Tab. 11 Alle Gesamtkoloniezahlen (in KbE/ml) mit ihren dazugehörigen Mittelwerten und der Standardabweichung über der Zeitraum der Studie

<b>Kontrollphase</b>					
Wochentag	Fr	Mo	Di	Do	Fr
Datum	11.11.2005	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005
Stuhl 1	26000	11	29700	31520	32000
Stuhl 2	23000	16	1800	12000	15000
Stuhl 3	38000	14000	10300	65120	82000
Stuhl 4	1600	780	2800	8500	6200
Stuhl 5	18000	490	8940	11000	10000
Stuhl 6	5200	6500	7400	9800	3200
MW	18633,33333	3632,833333	10156,66667	22990	29040
Stabw	13560,18682	5655,333922	10148,85544	22343,56373	29837,06867
<b>Wirkphase</b>					
Wochentag	Mo	Di	Do		
Datum	05.12.2005	06.12.2005	08.12.2005		
Stuhl 1	32000	40600	29600		
Stuhl 2	13600	12400	37700		
Stuhl 3	95760	34300	9040		
Stuhl 4	4400	50600	3650		
Stuhl 5	9040	15600	6010		
Stuhl 6	15440	23000	6690		
MW	28373,33333	29416,66667	15448,33333		
Stabw	34316,57481	14961,87377	14432,35451		
<b>Wirkphase</b>					
Wochentag	Do	Mo	Di	Do	
Datum	15.12.2005	19.12.2005	20.12.2005	22.12.2005	
Stuhl 1	1424	1760	470	2800	
Stuhl 2	904	410	200	5200	
Stuhl 3	540	416	180	3600	
Stuhl 4	102	400	280	190	
Stuhl 5	670	243	3100	230	
Stuhl 6	550	610	46	170	
MW	698,3333333	639,8333333	712,6666667	2031,666667	
Stabw	440,9941799	560,9964052	1177,833039	2153,689083	
<b>Wirkphase</b>					
Wochentag	Mo	Do	Fr = Di		
Datum	02.01.2006	05.01.2006	06.01.2006		
Stuhl 1	76720	34000	16000		
Stuhl 2	44560	9900	32000		
Stuhl 4	80960	9300	1800		
Stuhl 5	9120	6600	3300		
Stuhl 6	89760	750	1500		
MW	56186,66667	13758,33333	12600		
Stabw	31370,22962	12106,79217	12528,52745		

<b>Wirkphase</b>					
Wochentag	Mo	Di	Do		
Datum	09.01.2006	10.01.2006	12.01.2006		
Stuhl 1	32640	960	264		
Stuhl 2	11440	7360	1750		
Stuhl 3	37600	488	67		
Stuhl 4	11440	12480	3190		
Stuhl 5	13120	3440	5728		
Stuhl 6	44320	103	25		
MW	25093,33333	4138,5	1837,333333		
Stabw	14827,14628	4902,261917	2274,582658		
Wochentag	Mo	Di	Fr = Do		
Datum	16.01.2006	17.01.2006	20.01.2006		
Stuhl 1	40720	26200	3100		
Stuhl 2	18080	6900	4700		
Stuhl 3	25760	34000	3800		
Stuhl 4	27600	6200	4400		
Stuhl 5	16560	5940	2500		
Stuhl 6	12560	710	420		
MW	23546,66667	13325	3153,333333		
Stabw	10155,35852	13408,53422	1566,226889		
Wochentag	Mo	Di			
Datum	23.01.2006	24.01.2006			
Stuhl 1	10000	5900			
Stuhl 2	170	2800			
Stuhl 3	70	2200			
Stuhl 4	2300	2200			
Stuhl 5	1100	2900			
Stuhl 6	52	240			
MW	2282	2706,666667			
Stabw	3880,498937	1835,283811			
Wochentag	Mi	Di	Di	Do	Mi
Datum	01.02.2006	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	15.03.2006
Stuhl 1	87	2600	860	41000	4240
Stuhl 2	230	880	279	13000	540
Stuhl 3	190	1400	132	56000	124
Stuhl 4	890	1800	650	13000	14000
Stuhl 5	900	1100	1200	81000	6240
Stuhl 6	1200	78	52	810	2
MW	582,8333333	1309,666667	528,8333333	34135	4191
Stabw	469,1483419	855,4675135	452,1240611	30742,3706	5437,560004

<b>Wirkphase</b>					
Wochentag	Fr	Do	Fr	Do	
Datum	07.04.2006	20.04.2006	19.05.2006	08.06.2006	
Stuhl 1	43600	1040	57000	53300	
Stuhl 2	6800	20720	34	14000	
Stuhl 3	14100	3190	27	3400	
Stuhl 4	390000	7730	52000	562	
Stuhl 5	19200	6320	926	9040	
Stuhl 6	51000	3552	110	7080	
MW	87450	7092	18349,5	14563,66667	
Stabw	149218,3869	7086,738601	28048,69537	19534,6437	
Wochentag	Do	Do			
Datum	29.06.2006	06.07.2006			
Stuhl 1	17000	29000			
Stuhl 2	17000	nz			
Stuhl 3	25000	37000			
Stuhl 4	10000	28000			
Stuhl 5	12000	4000			
Stuhl 6	12000	140000			
MW	15500	47600			
Stabw	5468,089246	53106,49678			

Tab.12 Übersicht über Schimmelpilzbelastung mit Mittelwerten und Standardabweichungen in KbE/ml

	Mo	Di	Do	Fr	Mo	Do	Do
Datum	14.11.2005	15.11.2005	17.11.2005	18.11.2005	05.12.2005	15.12.2005	22.12.2005
Stuhl 1	0,03	0,17	0,07	0,07	1000	3	89
Stuhl 2	1000	1,1	0,5	1000	1000	5	80
Stuhl 3	1	0,25	1	1000	1000	1,73	52
Stuhl 4	0,04	0,04	0	0	1000	7,6	40
Stuhl 5	0	0	0	0	1000	6	256
Stuhl 6	1	0,5	0,03	100	1000	1	48
MW	167,011667	0,34333333	0,26666667	350,011667	1000	4,055	94,1666667
Stabwin	408,079556	0,41127444	0,40721821	504,965544	0	2,57273201	81,5608158

	Do	Do	Fr	Di	Di	Di	Mi
Datum	29.12.2005	05.01.2006	06.01.2006	10.01.2006	17.01.2006	24.01.2006	01.02.2006
Stuhl 1	1180	9	360	240	220	420	50
Stuhl 2	300	100	280	500	120	80	82
Stuhl 3	760	46	160	134	98	280	300
Stuhl 4	120	0	40	110	120	160	30
Stuhl 5	800	0	110	320	56	340	50
Stuhl 6	200	0	56	100	56	32	34
MW	560	25,83333333	167,666667	234	111,666667	218,666667	91
Stabwin	417,803782	40,4792128	127,877546	155,897402	60,4306765	152,665211	104,013461

	Di	Di	Do	Di	Fr	Mi	Fr
Datum	07.02.2006	14.02.2006	23.02.2006	28.02.2006	10.03.2006	15.03.2006	07.04.2006
Stuhl 1	160	960	1030	202	178	180	110
Stuhl 2	140	80	140	170	140	210	390
Stuhl 3	40	90	440	314	104	60	160
Stuhl 4	24	28	70	194	38	44	40
Stuhl 5	140	30	10	136	38	162	220
Stuhl 6	50	50	690	136	20	30	26
MW	92,33333333	206,3333333	396,666667	192	86,33333333	114,3333333	157,666667
Stabwin	60,5364904	370,092781	402,773716	65,945432	64,292042	78,4185352	135,146834

	Do	Do	Fr	Do	Do
Datum	20.04.2006	04.05.2006	19.05.2006	08.06.2006	06.07.2006
Stuhl 1	10	640	2	150	20
Stuhl 2	172	180	0	48	3
Stuhl 3	40	290	0	6	3
Stuhl 4	170	70	0	4	2
Stuhl 5	70	20	0	24	4
Stuhl 6	120	48	0	26	0
MW	97	208	0,33333333	43	5,33333333
Stabwin	67,867518	234,145254	0,81649658	54,7978102	7,31209044

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades vorliegt.

Teterow, den

Kathleen Demond



## **Danksagung**

Auf diesem Wege möchte ich mich bei vielen Menschen bedanken, die mich während der Entstehungsphase dieser Doktorarbeit unterstützt und mir stets hilfreich zur Seite gestanden haben.

Ganz besonders möchte ich Herrn Prof. Dr. Axel Kramer für die Überlassung des Themas und seine wertvolle Hilfe danken, ohne die diese Arbeit nicht zu seinem Ziel gekommen wäre.

Herrn Dr. Georg Daeschlein und Herrn Dr. Harald Below möchte ich sowohl für ihre Unterstützung bei der Probenentnahme als auch für die fachliche und freundliche Unterstützung bei der Beantwortung meiner vielen kleinen mikrobiologischen und chemischen Fragen danken.

Ferner danke ich den Mitarbeitern aus dem krankenhaushygienischen Labor für ihre ausgezeichnete Arbeit bei den mikrobiologischen Analysen meiner Wasserproben. Hier gilt mein besonderer Dank Frau Kerstin Sümnick, Frau Gudrun Lindstedt, Frau Sandra Lemanski und Frau Brigitte Sümnick, die mir den Weg mit ihrem fachlichen und bürokratischen Know-how sehr erleichtert haben.

Auch Herrn Prof. Reiner Biffar und seinen Schwestern von der prothetischen Abteilung des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde möchte ich dafür danken, dass ich die Studie ohne Einschränkungen durchführen durfte, und dass sie mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ebenso möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken, die mich immer angehalten haben, auch in schwierigen Phasen weiterzumachen. Besonders bedanke ich mich bei Anne Wolff, Thomas und Annett Gehrke, Heiko und Jenny Mönk und Dr. Betty Liebeke.

Meiner Familie, besonders meiner Mutter, Ingrid Demond, gilt mein ganz besonderer Dank für ihren unerschütterlichen Glauben an mich und für den Beistand während der gesamten Zeit.

Zuletzt möchte ich mich bei meinem Lebenspartner, Stefan Maaß, bedanken, der immer an meiner Seite war, mir den Rücken gestärkt und mir viel Kraft gegeben hat und mit dem ich einen wunderbaren Sohn habe. Ich liebe Euch sehr.