

Ganz Klima GmbH

Werkstr. 4, Postfach 339, CH-8630 Rüti ZH
T +41 (0)55 260 23 80, F +41 (0)55 260 23 81
Mobile +41 (0)76 54 54 188
ganz@ganzklima.ch
www.ganzklima.ch
PC 90-162000-5 MWST-Nr.586 406

GANZ KLIMA

Raumluft
Beratung
Messung
Begleitung

Schlussbericht Feuchte-induziertes Schimmelwachstum

Einfluss von Feuchte auf das Wachstum von Mikroorganismen
innerhalb einer kontaminierten Lüftungsanlage

Projekt Nr. 03-05-0003

Ausstelldatum 6. Januar 2006

Projektbezeichnung FIS

Ausführung HTA Luzern; Ganz Klima GmbH (Projektleitung)

Autor Roland Ganz (Ganz Klima GmbH)

Hauptsponsoren

Axair AG

Belimo Automation AG

Lufttechnik + Metallbau AG

Seven-Air Gebr. Meyer AG

TK 3000 AG

Zurfluh Lottenbach HLK Ingenieurbüro

Weitere Sponsoren

Polybloc AG

Schmidlin AG

Inhaltsverzeichnis

Einführung	3
Lüftungen und Raumluftqualität	3
Ausgangslage des Projektes	4
Grundlagen für Schimmelpilzwachstum	4
Projektidee	5
Projektziel	5
Material und Methoden	6
Vorgehen	6
Lüftungsanlage	7
Messungen	8
Resultate	10
Luftkeime	10
Oberflächen	12
Temperatur und relative Luftfeuchte	13
Interpretation	15
Luftkeime	15
Oberflächen	21
Schlussfolgerungen	26
Luftkeimkonzentrationen der Zuluft bei Feuchteeinwirkung	26
Feuchte innerhalb Monoblock	26
Wann sind Oberflächen sauber?	26
Mögliche Standards	27
Danksagung	27
Anhang	28
Messmethoden	28
Datenzusammenstellung	29
Messorte	32

Einführung

Lüftungen und Raumluftqualität

Seit Jahren werden rund um den Globus Untersuchungen an Lüftungsanlagen aufgrund von Klagen der Benutzerinnen und Benutzer über schlechte Luftqualität durchgeführt. Sie weisen darauf hin, dass in etwa 50 % aller Fälle mangelnder Unterhalt oder Betrieb der Anlage die Quelle der Probleme darstellt (Hanssen, 2004).

Hanssen S.O., "HVAC – the importance of clean intake section and dry air filter in cold climate", Indoor Air 2004, 14 (Suppl 7)

Weiter zeigen verschiedene Studien, dass die Lüftung Einfluss auf das Wohlbefinden der Raumnutzerinnen und –nutzer haben kann, wie beispielsweise Atemwegserkrankheiten, Symptome des SBS (sick building syndrome), Arbeitsleistung, empfundene Luftqualität, Allergien und Asthma (Seppänen, 2004).

Seppänen O.A. Fisk W.J., "summary of human responses to ventilation", Indoor Air 2004, 14 (Suppl 7)

Vergleicht man die natürliche Lüftung mit Klimaanlage (mit oder ohne Befeuchtung), so zeigen fast alle Studien, dass in klimatisierten Gebäuden mehr über SBS-Symptome (30-200 %) geklagt wird. Die Gründe dafür sind allerdings unklar (Seppänen, 2002).

Seppänen O.A. Fisk W.J., "association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers", Indoor Air 2002, 12

In der Schweiz gibt es seit 2003 Grundlagen zur Planung und zum Betrieb hygienisch einwandfreier Lüftungsanlagen. In der Richtlinie SWKI 2003-5 (VDI 6022) wird der Kontrolle von Lüftungsanlagen grosse Bedeutung beigemessen. Hygieneinspektionen sollen helfen, Problemstellen innerhalb und ausserhalb der Anlage zu identifizieren. In Bezug auf Richtwerte wird festgehalten: *„Soweit gesundheitsrelevante Richtwerte für den Gehalt an Keimen und biologischen Inhaltsstoffen (z.B. MVOC [microbial-volatile-organic compounds], Endotoxine, Allergene) noch nicht vorliegen, gilt als Orientierungsmass die jeweilig vorhandene Aussenluft.“*

SWKI 2003-5, "Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen", Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren, 1. Ausgabe: November 2003

Ein Instrument zur Überprüfung der Hygiene innerhalb einer Lüftungsanlage stellt die Luftkeimmessung dar. Damit sollen Kontaminationen unabhängig von deren Ursprung innerhalb der Anlage aufgespürt werden. Der direkte Vergleich der Luftkeimkonzentrationen in der Aussenluft gilt auch hier als Mass und Beurteilungskriterium.

Basler&Hofmann, „Gesundheitliche Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich“, Schlussbericht Phase 2, 2003

In der Praxis liegen die gefundenen Luftkeimkonzentrationen in der Zuluft häufig bei sehr tiefen Werten und deutlich unterhalb der Aussenluftwerte (Basler&Hofmann, 2003; Flückiger, 1997; ProKlima, 2003). Schimmelpilzsporen weisen je nach Art Durchmesser von etwa 2 bis mehr als 10 Mikrometer auf. Aufgrund dieser Grösse sollten adäquate Filtersysteme (Feinfilter) einen Grossteil der Sporen zurückhalten. Hier stellt sich grundsätzlich die Frage, ob das Kriterium „gleich oder besser Aussenluft“

Flückiger B., „Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern“, ETH Zürich, 1997

ProKlima, „Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden“, Fraunhofer IRB Verlag, 2003

für den Keimgehalt der Zuluft zu grosszügig ausfällt oder ob es angebracht wäre, strengere Massstäbe anzusetzen.

Ausgangslage des Projektes

Im November 2004 wurde im Rahmen einer Diplomarbeit an der HTA Luzern eine hauseigene Lüftungsanlage in Bezug auf hygienische Aspekte untersucht. In diesem Zusammenhang fanden auch Luftkeimmessungen und Oberflächenuntersuchungen statt. Fazit der Messungen, stark verschmutzte Oberflächen aber tiefe Luftkeimkonzentrationen der Zuluft. Es stellte sich die Frage, ob Luftkeimmessungen ein geeignetes Instrument zur Beurteilung einer Lüftungsanlage darstellen oder ob es sich bei den negativen Resultaten um eine systembedingte Fehlinterpretation handelt. Dies könnte beispielsweise dann der Fall sein, wenn die Luftkeimmessungen zu einem ungünstigen Zeitpunkt durchgeführt werden.

Als Arbeitshypothese wird folgendes Modell angenommen: Schimmelpilzsporen keimen und wachsen nur, wenn ausreichend Wasser und eine Nahrungsquelle zur Verfügung stehen sowie der Temperaturbereich moderat ist. In der untersuchten Lüftungsanlage sind sowohl die Nahrungsquelle wie auch genügend keimfähige Schimmelpilzsporen vorhanden. Es wird angenommen, dass die Keimkonzentration der Zuluft nur dann durch den hygienisch unzureichenden Zustand beeinflusst wird, wenn auch genügend Wasser innerhalb der Anlage vorhanden ist.

Grundlagen für Schimmelpilzwachstum

Unterhalb von etwa 70 % relativer Feuchte wachsen Schimmelpilze nicht. Oberhalb dieser Werte ist die Auskeimungszeit und die Wachstumsrate eine Funktion von Temperatur und relativer Feuchte (Sedlbauer, 2001).

Wachstum kann auch stattfinden, wenn die relative Feuchte nur ein paar Stunden pro Tag über 70 % liegt. Die Wachstumsrate wird in diesem Fall kleiner sein.

Laut Studien von Sedlbauer findet eine Sporenkeimung innerhalb eines Tages statt, wenn die relative Feuchte oberhalb von etwa 86 % und die Temperatur bei 20°C liegen. Je tiefer die Temperatur oder die Feuchte, desto länger wird die Auskeimungszeit sein. Die untere Feuchtegrenze liegt bei etwa 70 %. Ein ähnliches Bild zeigt sich für das Mycelwachstum. Ab ca. 77 % ist mit einem Mycelwachstum von 1 mm pro Tag auszugehen, ab etwa

93 % sind es bereits 5 mm pro Tag (bei 20°C). Die Daten beziehen sich auf ein optimales Wachstum, das heisst ein für Schimmelpilze optimales Substrat. In der Regel stehen Schimmelpilze weniger optimale Substrate zur Verfügung, was sich hemmend auf das Wachstum auswirkt. Die Ausbildung von Sporen geschieht sowohl unter günstigen wie auch unter ungünstigen Bedingungen.

Pasanen P. et al, „Water condensation promotes fungal growth in ventilation ducts“, Indoor Air 1993, 3

Sedlbauer untersuchte die Wachstumsraten an Baumaterialien. Acht Jahre früher fanden ähnliche Versuche in Zusammenhang mit Lüftungsanlagen statt (Pasanen, 1993). Sporen eines schnell wachsenden Schimmelpilzes wurden auf verschmutzte Lüftungsbleche geimpft und diese unter verschiedenen Feuchtebedingungen kultiviert. Unter sehr feuchten Bedingungen fand innerhalb von 1-2 Tagen Auskeimung, Wachstum und Sporulation statt. Unter realen Bedingungen innerhalb einer Anlage mit bekannten Feuchteproblemen (Taupunktunterschreitung innerhalb der Anlage während kalter Jahreszeit) konnte durch zwei Messserien kein Effekt auf die Zuluftkonzentration festgestellt werden. Als Grund werden falsche Messzeitpunkte und / oder ungünstige Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze genannt.

Projektidee

In der nachweislich verschmutzten Lüftungsanlage an der HTA Luzern soll durch künstliche Befeuchtung ein Schimmelpilzwachstum provoziert werden und die Auswirkungen auf die Luftkeimkonzentrationen gemessen werden.

Projektziel

Mit dem Versuch soll der Frage nachgegangen werden, wie schnell es innerhalb einer verschmutzten Lüftungsanlage bei einer definierten Feuchtigkeit zu vermehrtem Wachstum von Mikroorganismen kommt und ob bzw. wie dadurch die Zuluft beeinflusst wird.

Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie hoch ist der Keimgehalt an den Oberflächen in der Lüftungsanlage?
- Wie hoch sind die Luftkeimkonzentrationen der Zuluft im Vergleich zur Aussen- und Raumlufte?
- Wie verändern sich Oberflächen- und Luftkeime durch eine zweiwöchige Befeuchtung?

Material und Methoden

Vorgehen

Die Versuchsdurchführung erfolgte in drei Phasen. Ziel der Konditionierungsphase war die Erreichung eines „Normalzustandes“ ohne übermässige Feuchtigkeit innerhalb der Anlage. In Phase 2 (Befeuchtungsphase) wurde die zugeführte Aussenluft zwei Wochen lang künstlich befeuchtet und Luftkeimkonzentrationen wurden regelmässig gemessen. In der Betriebsphase wurde die Anlage gereinigt, unter üblichen Bedingungen betrieben und anschliessend durch Messungen kontrolliert.

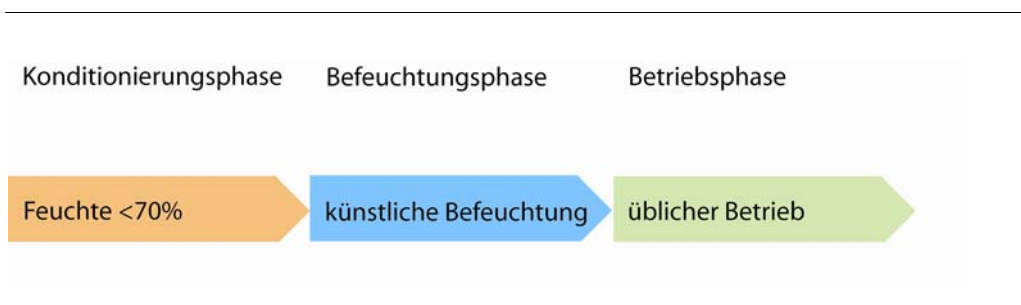


Abb. 1: Projektphasen

Für die Versuchsdurchführung standen aus betrieblichen Gründen nur 38 Tage zur Verfügung. Die Anlage wurde in dieser Zeit in den zwei ersten, oben beschriebenen Phasen betrieben. Vom 4.8.05 bis 23.8.05 wurde die Anlage auf Umluftbetrieb geschaltet. Damit wurde erreicht, dass die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der Anlage nie über 67 % lag, was ein Schimmelpilzwachstum verunmöglichen sollte. Die Anlage wurde auf diese Weise auf einen „Wachstums-Nullpunkt“ gesetzt. Nach einem Tag „Normalbetrieb“ wurde die Anlage für die Befeuchtung umgebaut und anschliessend vom 26.8.05 bis am 9.9.05 bei hoher Luftfeuchtigkeit betrieben. Am 9.9.05 wurde die Befeuchtung abgestellt und die Anlage bis zum 11.9.05 ohne die zusätzlich Befeuchtung weiter betrieben. Am 12.9.05 fand die Reinigung aller Anlagenteile statt. Dabei wurde auch die Innenisolation entfernt. Die Reinigung des Büroraumes konnte aus betrieblichen Gründen erst am 23.9.05 abgeschlossen werden. Die Kontrollmessungen fanden nach dieser Schlussreinigung statt. Am 13.10.05 wurde der Monoblock nachgereinigt und am 18.10.05 durch Oberflächenproben kontrolliert.

Datum	Bedingungen	Feuchte ¹	Arbeiten
Vor 4.8.2005	Normalbetrieb schmutzig	unbekannt	Normalbetrieb, letzter Filterwechsel November 2004
4.8.2005		-	Filterwechsel (Zuluft und Abluft)
4.8.2005		50/47	Statusmessung I
4.8.-23.8.2005	Tiefe Feuchte	54/49	Umluftbetrieb zur Regulierung der relativen Luftfeuchtigkeit innerhalb der Lüftungsanlage
23.8.-24.8.2005		87/74	Normalbetrieb
24.8.2005		64/58	Statusmessung II
24.8.-26.8.2005	Hohe Feuchte	92/87	Einbau Befeuchtung
26.8.-9.9.2005			Betrieb mit künstlicher Befeuchtung mit regelmässigen Messungen
9.9.-11.9.2005			Normalbetrieb
11.9.2005			Statusmessung III
12.9.2005	Stillstand (Klappen zu)	-	Reinigung der Lüftungsanlage inkl. Lüftungsrohre, Einsatz von neuen Filtern
13.9.-23.9.2005		-	Reinigungsarbeiten im Raum, Lüftungsanlage nicht in Betrieb (Klappen geschlossen)
23.9.-26.9.2005	Normalbetrieb gereinigt	-	Normalbetrieb
26.9.2005		69/63	Statusmessung IV
26.9.-13.10.2005		93/59	Normalbetrieb
13.10.2005		-	Nachreinigung Monoblock
13.10.-18.10.2005		99/48	Normalbetrieb
18.10.2005		-	Oberflächenproben

Tab. 1: chronologischer Arbeitsablauf

Lüftungsanlage

Die untersuchte Lüftungsanlage mit Baujahr 1991 versorgt einen Raum und ist mit folgenden Komponenten ausgestattet:

Zuluftfilter: Unifil TU-79-420

Monobloc: Seven-Air MKG 3.2 (2'500 m³/h/ Heizleistung 14.1 kW)

Plattenwärmetauscher: Air-Fröhlich

Abluftfilter: G4

Die Anlage steht vertikal im Raum. Die Aussenluft wird über einen Ansaugstutzen auf dem Dach zugeführt (Entfernung zum Filter ca. 1 m). Der Plattenwärmetauscher ist mit einem Bypass versehen. Dieser war während des Versuches manuell eingeschaltet. Zusätzlich kann die Anlage via

¹ durchschnittliche Luftfeuchtigkeit vor WRG/ nach WRG

Klappe auf Umluft gefahren werden. Alle automatische Klappen waren während des Versuches ausgeschaltet und manuell in die gewünschten Stellungen gebracht worden.

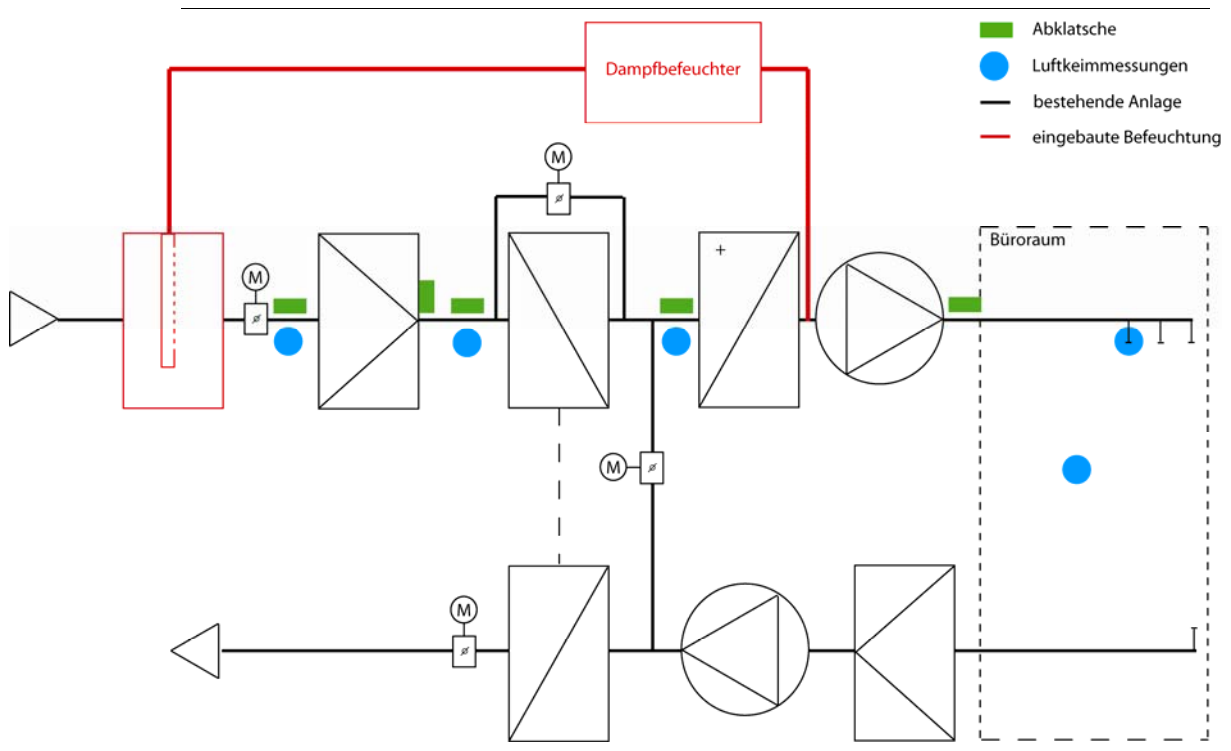


Abb. 2: Lüftungsschema mit Messpunkten und eingebaute Befeuchtung

Messungen

Luftkeime

Die Luftkeimmessungen auf Schimmelpilze und Bakterien wurden an folgenden Messpunkten durchgeführt:

- Aussenluftfassung nach der Befeuchtung
- nach dem Zuluftfilter, vor der WRG
- nach der WRG, vor dem Wärmeaustauscher
- innerhalb des Zuluftkanals im Büroraum
- Raumluft im Büroraum

Die Raumluftmessung im Büroraum wurde jeweils unter zwei Bedingungen durchgeführt, unter Betriebsbedingungen ohne Nutzung und nach einer Nutzungssimulation.

Die Nutzung wurde durch einminütiges Anblasen von ca. 20 m² Bodenfläche mit einem Ventilator simuliert. Die Messungen erfolgten im Anschluss.

Die Messungen wurden mittels Impaktor auf vier verschiedene Nährmedien ausgeführt. Bei Messungen innerhalb der Anlage wurde die Luft mit einem Probenschlauch via Öffnung im Monoblock entnommen. Damit wurden Kontaminationen mit der Umgebungsluft vermieden.

Oberflächen

Die Oberflächenproben auf Schimmelpilze und Bakterien wurden an folgenden Messpunkten entnommen:

- Aussenluftklappe vor Zuluftfilter
- Zuluftfilter (untere Kante, teilweise zusätzlich seitlich in Lamellen)
- schräge Metallfläche der WRG (unterhalb Filter)
- horizontale Metallfläche (Rahmen) des Wärmeaustauschers (nach WRG)
- Innenisolation (vertikale Fläche) innerhalb des Zuluftkanals direkt nach dem Ventilator (teilweise wurden auch Materialproben der Innenisolation entnommen)

Die Probenahme erfolgte mittels Abklatsch (RODAC-Platten) auf drei verschiedene Nährmedien. Zur Identifizierung einzelner Gattungen bei starkem Bewuchs wurden zusätzlich Tupfproben entnommen.

Weitere Angaben über Analytik und Probenahme finden sich im Anhang (Luftkeimmessungen und Oberflächenproben).

Temperatur und relative Feuchte

Temperatur und relative Feuchte wurden kontinuierlich an drei verschiedenen Messpunkten aufgezeichnet:

- nach dem Zuluftfilter, vor der WRG
- im Zuluftkanal direkt nach Ventilator
- Raumluft im Büroraum

Die Aussenluftwerte wurden von MeteoSchweiz (www.meteoschweiz.ch) bezogen. Weiter Angaben über die eingesetzten Messgeräte finden sich im Anhang.

Resultate

Luftkeime

Während der Versuchsphase vom 4.8. bis 26.9.2005 wurden in der Aussenluft Bakterienkonzentration zwischen 0 und 292 KBE/m³ gemessen. Die Schimmelpilzkonzentrationen lagen zwischen 90 und mehr als 10'000 KBE/m³.

KBE (Kolonie-bildende Einheit) geben an, wie viele Keime auf dem Nährmedium gewachsen sind. Anhand des eingestellten Luftvolumens kann die Konzentration pro m³ berechnet werden.

Die Raumluftkonzentrationen lagen während dieser Zeit zwischen 0 und 540 KBE/m³ für Bakterien, resp. 0 und 720 KBE/m³ für Schimmelpilze.

Die Luftkeimkonzentrationen innerhalb der Lüftungsanlage² lagen bei der 1. Statusmessung am 4. August 2005 (angetroffener Zustand) zwischen 0 und 100 KBE/m³ für Bakterien, resp. 0 und 430 KBE/m³ für Schimmelpilze.

Nach der dreiwöchigen Konditionierungsphase auf max. 67% relative Luftfeuchtigkeit und Betrieb mit einem neuen Filter wurden in der Anlage zwischen 0 und 10 KBE/m³ Bakterien resp. 0 und 8 KBE/m³ Schimmelpilze nachgewiesen.

Während der Befeuchtungsphase stiegen die Bakterienkonzentrationen in der Anlage bis maximal 90 KBE/m³, die höchste Schimmelpilzkonzentration lag bei 690 KBE/m³.

Nach der 1. Reinigung wurden innerhalb der Lüftungsanlage Bakterienkonzentration zwischen 0 und 20 KBE/m³ und Schimmelpilzkonzentrationen zwischen 20 und 30 KBE/m³ gemessen.

² Messpunkte vor WRG, nach WRG und Zuluftkanal

	4.8.05				24.8.05				29.8.05			
	Bakterien		Schimmel		Bakterien		Schimmel		Bakterien		Schimmel	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Aussenluft	20	292	290	684	36	60	204	340	0	10	200	430
Vor WRG	0	10	0	40	0	0	0	8	-	-	-	-
Nach WRG	8	100	120	430	0	0	0	8	-	-	-	-
Zuluft	0	12	0	20	4	10	0	8	12	20	44	200
Raumluft S	10	56	20	60	100	140	0	36	-	-	-	-
Raumluft N	-	-	-	-	84	160	10	40	-	-	-	-
	30.8.05				1.9.05				3.9.05			
	Bakterien		Schimmel		Bakterien		Schimmel		Bakterien		Schimmel	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Aussenluft	32	70	90	320	0	50	580	712	36	60	340	1020
Vor WRG	0	0	88	250	-	-	-	-	10	16	90	160
Nach WRG	0	8	10	44	-	-	-	-	0	0	0	690
Zuluft	0	16	10	70	0	8	70	100	4	10	20	70
Raumluft S	236	360	32	110	-	-	-	-	76	110	60	220
Raumluft N	140	390	70	100	-	-	-	-	64	100	40	240
	5.9.05				7.9.05				9.9.05			
	Bakterien		Schimmel		Bakterien		Schimmel		Bakterien		Schimmel	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Aussenluft	56	60	1188	1480	20	196	1970	10 ⁴	0	0	310	410
Vor WRG	4	10	170	220	10	40	100	130	0	90	70	150
Nach WRG	0	0	90	180	0	30	70	250	4	10	60	180
Zuluft	0	16	136	280	0	0	164	240	4	10	70	100
Raumluft S	140	170	228	420	270	372	100	330	220	280	140	170
Raumluft N	140	168	240	340	400	408	164	190	116	240	104	180
	11.9.05				26.9.05							
	Bakterien		Schimmel		Bakterien		Schimmel					
	min	max	min	max	min	max	min	max				
Aussenluft	20	30	424	650	8	10	330	590				
Vor WRG	0	12	180	480	4	20	0	20				
Nach WRG	0	16	232	340	0	0	0	20				
Zuluft	20	30	288	520	0	0	0	30				
Raumluft S	332	540	304	720	280	350	20	140				
Raumluft N	368	420	370	640	236	240	68	130				

	Konditionierungsphase
	Befeuchtungsphase
	Betriebsphase

Tab. 2: Resultate der Luftkeimmessungen (jeweils tiefster und höchster Wert für Bakterien und Schimmelpilze in KBE/m³). Bei den Bakterienresultaten wurden die Auszählungen auf TSA bei 100 sowie 250 L/min berücksichtigt, bei den Schimmelpilzresultaten die Auszählungen auf MEA, DG18 und DRBC bei 100 L/min und DG18 bei 250 L/min.

Oberflächen

Vor der Befeuchtungsphase wurden an den Oberflächen innerhalb der Anlage Höchstwerte von 180 KBE/10 cm² (vor WRG) gefunden. Vor dem Filter lagen die Konzentrationen bei 230 KBE/10 cm².

Nach den zwei Wochen Befeuchtung lagen die Keimkonzentrationen an den Oberflächen im Monoblock bei maximal 3'170 KBE/10 cm² (vor WRG). Zu diesem Zeitpunkt wurden vor dem Filter maximal 34 KBE/10 cm² nachgewiesen.

Nach der ersten Reinigung sanken die Konzentrationen in der Anlage auf Werte zwischen 1 und 15 KBE/10 cm². Im Anschluss an die Nachreinigung konnten noch maximal 8 KBE/10 cm² nachgewiesen werden. Die Konzentrationen vor dem Zuluftfilter (an der Zuluftklappe) stiegen von maximal 7 KBE/10 cm² (nach 1. Reinigung) auf maximal 89 KBE/10 cm² (nach Nachreinigung).

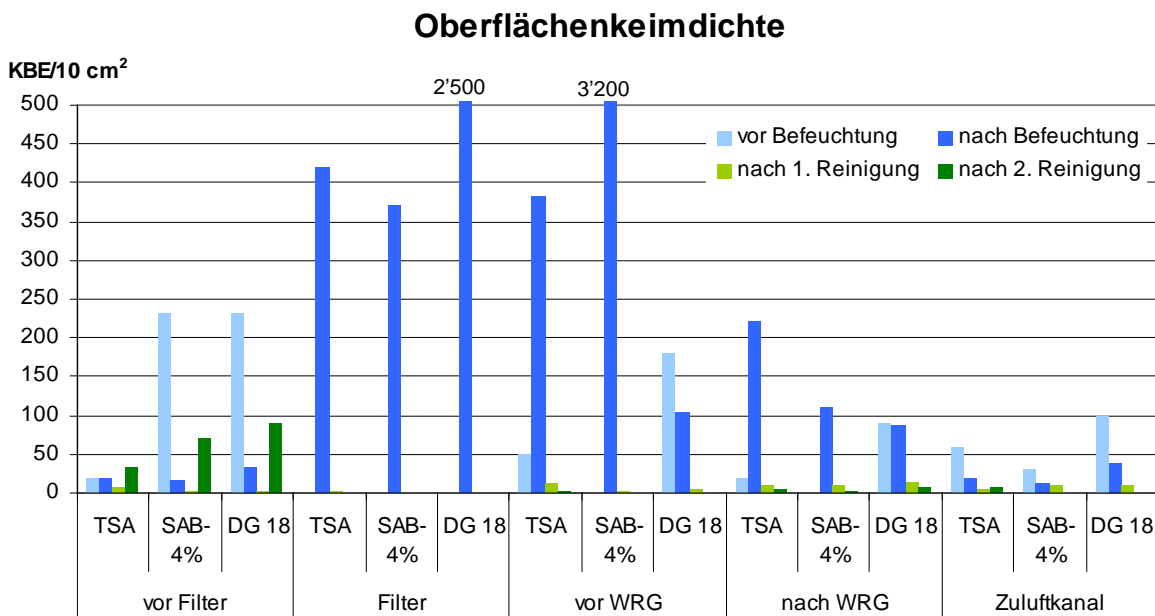


Abb. 3: Resultate der Oberflächenproben (pro Messpunkt wurde mit drei Nährmedien beprobt)

Temperatur und relative Luftfeuchte

Während der Konditionierungsphase (siehe Abb. 4) lag die relative Luftfeuchtigkeit durchschnittlich bei 56 (vor WRG), 49 (nach WRG) resp. 51 % (Raumluft). Im Umluftbetrieb wurden maximal 67 % relative Feuchtigkeit gemessen. Die Raumtemperaturen lagen im Mittel bei 22.2 (vor WRG), 24.2 (nach WRG) resp. 23.7°C (Raumluft).

Die Aussenluftwerte gemäss MeteoSchweiz betragen durchschnittlich 80 % und 16.0°C.

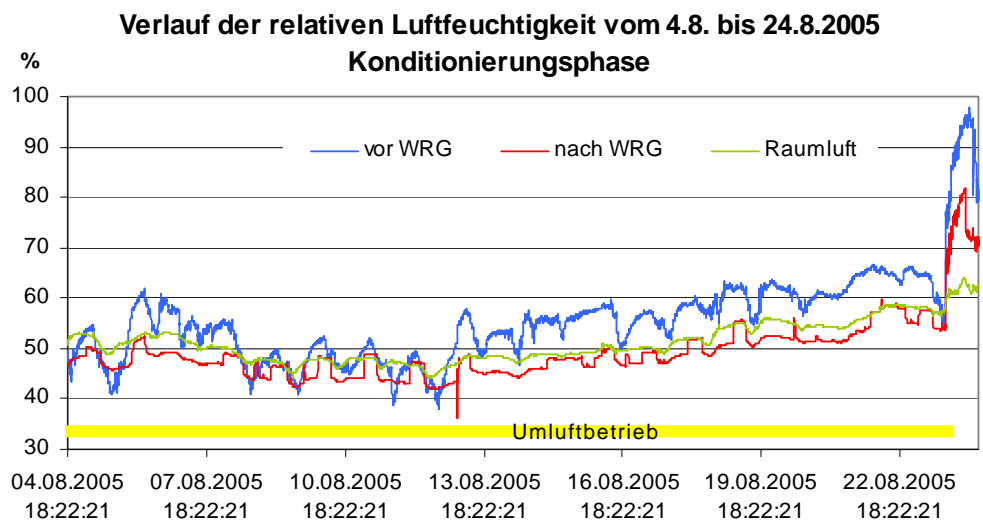


Abb. 4: Verlauf der relativen Feuchtigkeit während Konditionierungsphase (Umluftbetrieb)

In der Befeuchtungsphase (siehe Abb. 5) wurden durchschnittliche Feuchten von 92 (vor WRG), 87 (nach WRG) resp. 77 % (Raumluft) gemessen. Die Temperaturen lagen im Mittel bei 22.3 (vor WRG), 24.1 (nach WRG) resp. 25.2°C (Raumluft).

In der Aussenluft wurden von MeteoSchweiz 79 % und 19.0 °C gemessen.

Am 9.9.05 wurde die Befeuchtung abgestellt. In den zwei Tagen bis zum 11.9.2005 wurden folgende Mittelwerte erreicht: 94 (vor WRG), 79 (nach WRG) resp. 62 % (Raumluft), 18.4 (vor WRG), 20.6 (nach WRG) resp. 24.4°C (Raumluft).

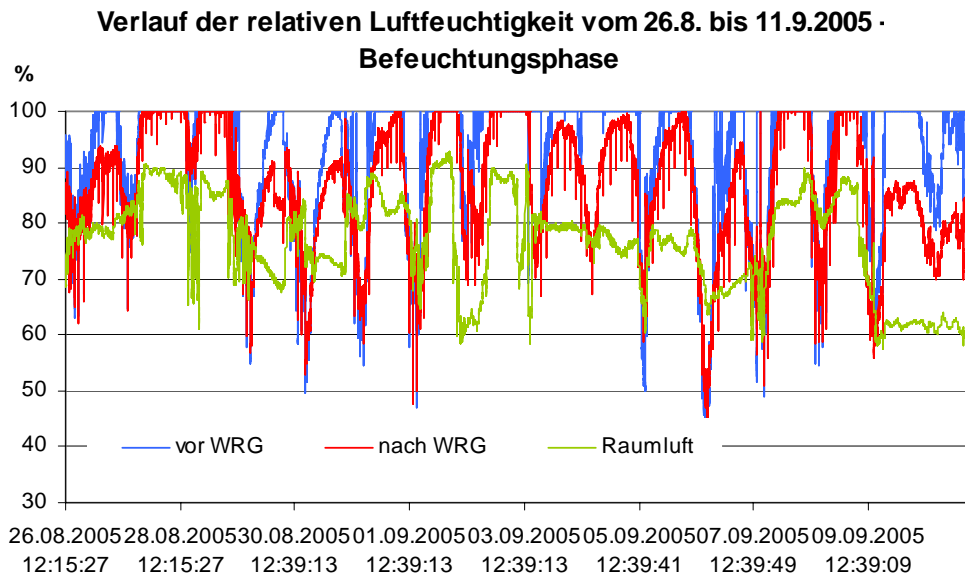


Abb. 5: Verlauf der relativen Feuchtigkeit während Befeuchtungsphase

Während der Betriebsphase nach Beendigung der Reinigung wurden nachfolgende Mittelwerte gemessen: 94 (vor WRG), 56 (nach WRG) resp. 51 % (Raumluft), 11.8 (vor WRG), 19.8 (nach WRG) resp. 20.4°C (Raumluft).

Laut MeteoSchweiz lagen die Klimadaten im Schnitt bei 86 % und 17.7°C.

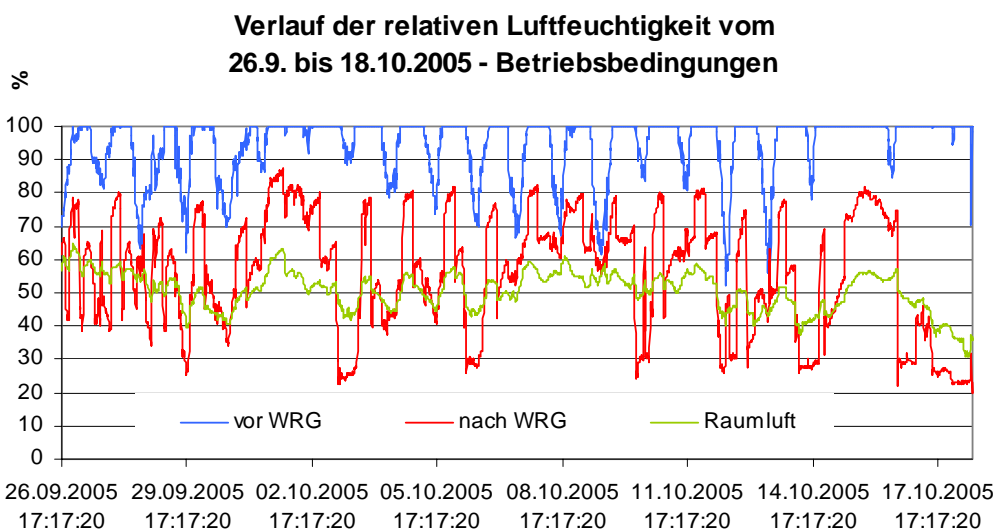


Abb. 6: Verlauf der relativen Feuchtigkeit während Betriebsphase

Interpretation

Luftkeime

Konzentrationen

Für die Bewertung von Luftkeimkonzentrationen existieren keine Richtwerte. Zur Beurteilung kann einerseits auf Orientierungswerte von üblicherweise gemessenen Konzentrationen zurückgegriffen werden und andererseits dient die Aussenluft als Vergleichskonzentration. Für Lüftungsanlagen gilt laut der Richtlinie SWKI 2003-5 (VDI 6022) der minimale Hygienegrundsatz, dass bei fehlenden Richtwerten der Gehalt der Zuluft an Stäuben, Bakterien, Pilzen und biologischen Inhaltsstoffen denjenigen der Aussenluft in keiner Kategorie überschreiten darf.

SWKI 2003-5, "Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen", Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren, 1. Ausgabe: November 2003

Im Bericht der Europäischen Kommission (ECA 1993) werden Orientierungswerte für Luftkeime in Wohn- und Büroräumen angegeben. Sie können zur allgemeinen Beurteilung der Höhe gefundener Luftkeimkonzentrationen herangezogen werden.

ECA (1993), "Biological Particles in Indoor Environments", Indoor Air Quality and its Impact on Man, European Collaborative Action, Report No. 12, Commission of the European Communities, 1993

Kategorie	Schimmelpilze in KBE/m ³		Bakterien in KBE/m ³	
	Wohnungen	Büroräume	Wohnungen	Büroräume
sehr tief	< 50	< 25	< 100	< 50
tief	< 200	< 100	< 500	< 100
mittel	< 1'000	< 500	< 2'500	< 500
hoch	< 10'000	< 2'000	< 10'000	< 2'000
sehr hoch	> 10'000	> 2'000	> 10'000	> 2'000

Tab. 3: Orientierungswerte für Schimmelpilze und Bakterien in Innenräumen nach ECA

Die Bakterienkonzentrationen innerhalb der Anlagenluft befanden sich durchwegs, von einzelnen Ausreissern (nur einzelne Nährmedien mit höherer Konzentration) abgesehen, in einem tiefen Bereich. Deshalb werden Bakterien in der nachfolgenden Interpretation nicht weiter berücksichtigt.

In Abb. 7 sind die Resultate der Luftkeimmessungen an den verschiedenen Standorten im Projektverlauf grafisch dargestellt. Folgende Punkte fallen auf:

- Bei der Messung vom 4.8.2005 (angetroffener Zustand) sind die Resultate sehr uneinheitlich. Nach der WRG werden über 100 (MEA) resp. 200 KBE/m³ (DG18) gemessen. Alle übrigen Messorte inkl. Raumluf weisen Luftkeimkonzentrationen deutlich unter 100 KBE/m³ auf.

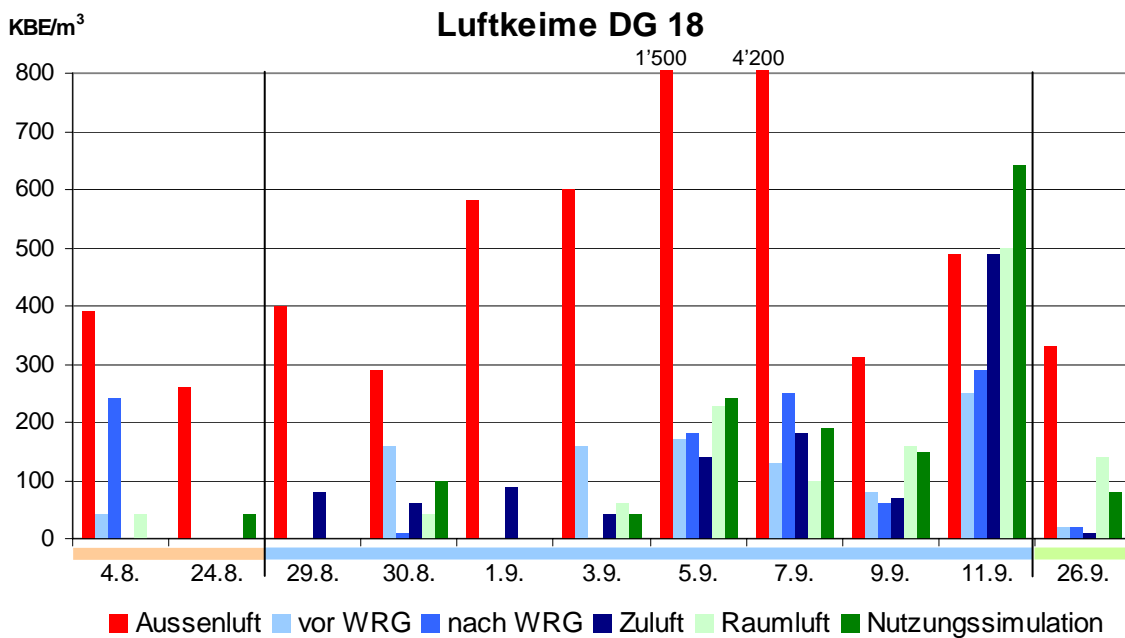
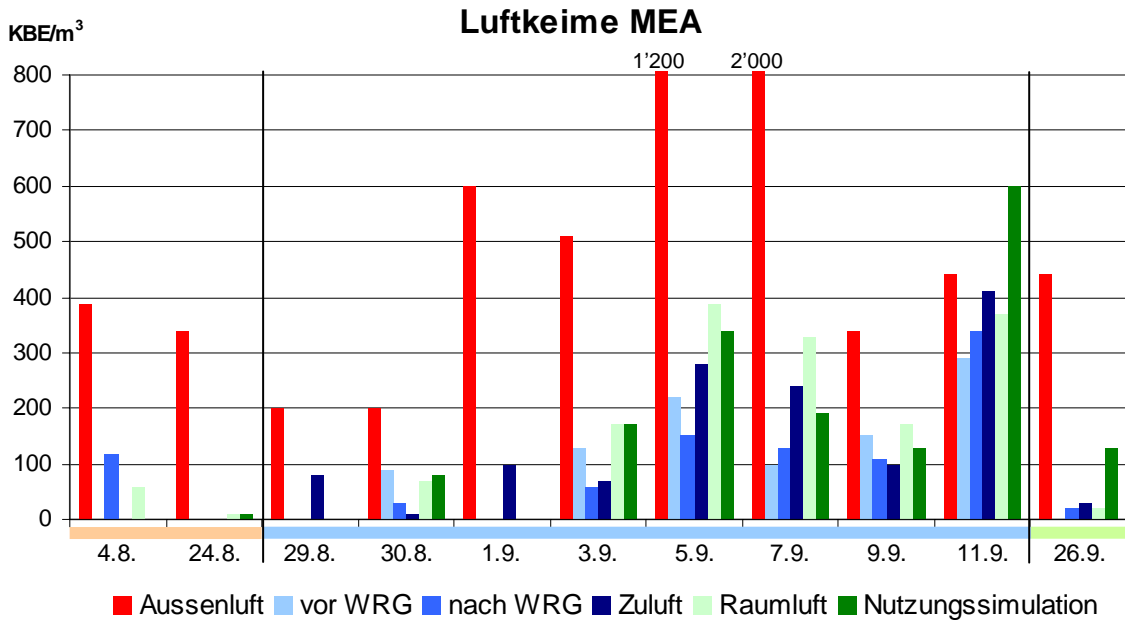


Abb. 7: Luftkeimresultate der zwei gebräuchlichen Schimmelpilznährmedien (MEA und DG 18) im Projektverlauf (■ Konditionierungsphase; ■ Befeuchtungsphase; ■ Betriebsphase)

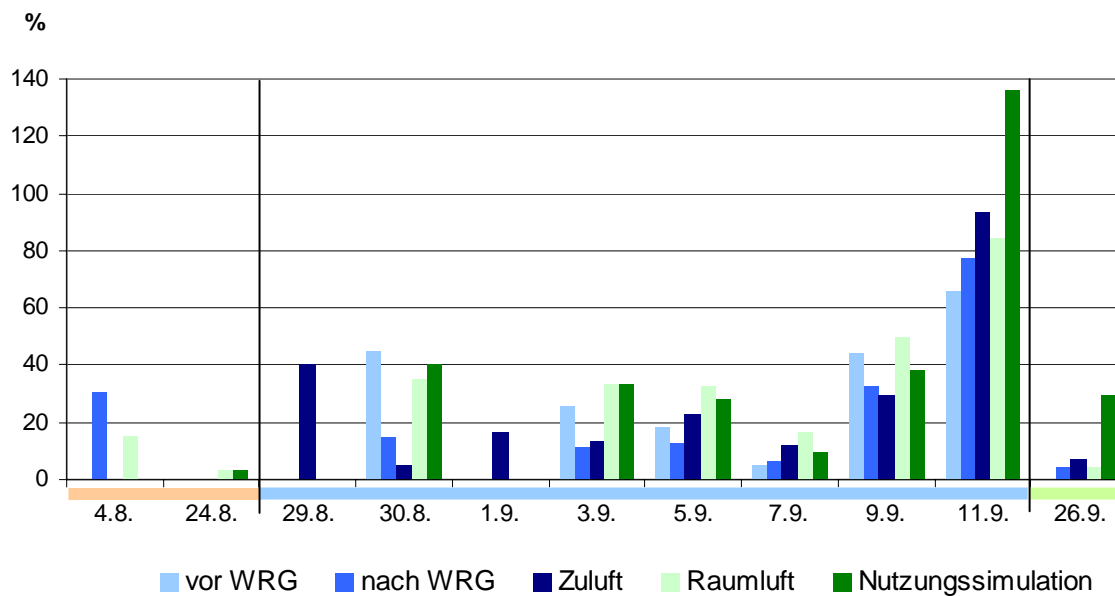
- Nach der dreiwöchigen Konditionierungsphase werden mit max. 8 (innerhalb Anlage) resp. 40 KBE/m³ (Raumluft) nur sehr tiefe Konzentrationen nachgewiesen.
- Während der Befeuchtungsphase steigen die Konzentrationen innerhalb der Anlage an. Am Schluss (11.9.2005) liegen sie bei max. 490 KBE/m³ und liegen somit im Bereich der Aussenluftkonzentration. Zu diesem Zeitpunkt ist ein steigender Trend in Abhängigkeit von der Distanz des Messortes zum Zuluftfilter feststellbar (Luftkeime vor WRG < nach WRG < Zuluft).
- Am Schluss der Befeuchtungsphase liegen die Schimmelpilzkonzentrationen in der Raumluft teilweise über der Aussenluftkonzentration.
- Nach der Reinigung werden innerhalb der Anlage wiederum nur sehr tiefe Luftkeimkonzentrationen gemessen (max. 30 KBE/m³). In der Raumluft liegen die Werte um die 100 KBE/m³, ein nach Tab. 3 für Büroräume noch tiefer Wert.

Verhältnis zur Aussenluft

Die Schimmelpilzkonzentration innerhalb der Anlagenluft ist von der Aussenluftkonzentration je nach Filterleistung mehr oder weniger abhängig. Da der Filter für den Versuch extra eingepasst wurde und somit die Möglichkeit zu Undichtigkeiten besteht, macht die Betrachtung der gefundenen Messresultate im Verhältnis zur jeweiligen Aussenluftkonzentration Sinn. In Abb. 8 lässt sich noch deutlicher als in Abb. 7 der Verlauf der Schimmelpilzkonzentrationen während der Befeuchtungsphase erkennen:

- Am Schluss der Befeuchtungsphase steigen die Schimmelpilzkonzentrationen in der Zuluft deutlich an und erreichen Aussenluftwerte.
- Zu diesem Zeitpunkt wurden im Vergleich zur Zuluft gleich nach dem Filter deutlich weniger Schimmelpilze nachgewiesen. Dieser Befund gilt als Indiz für ein Wachstum innerhalb der Anlage.
- In gereinigtem Zustand werden in der Zuluft deutlich weniger als 10% der Aussenluftkonzentration nachgewiesen.

Verhältnis zur Aussenluft MEA



Verhältnis zur Aussenluft DG 18

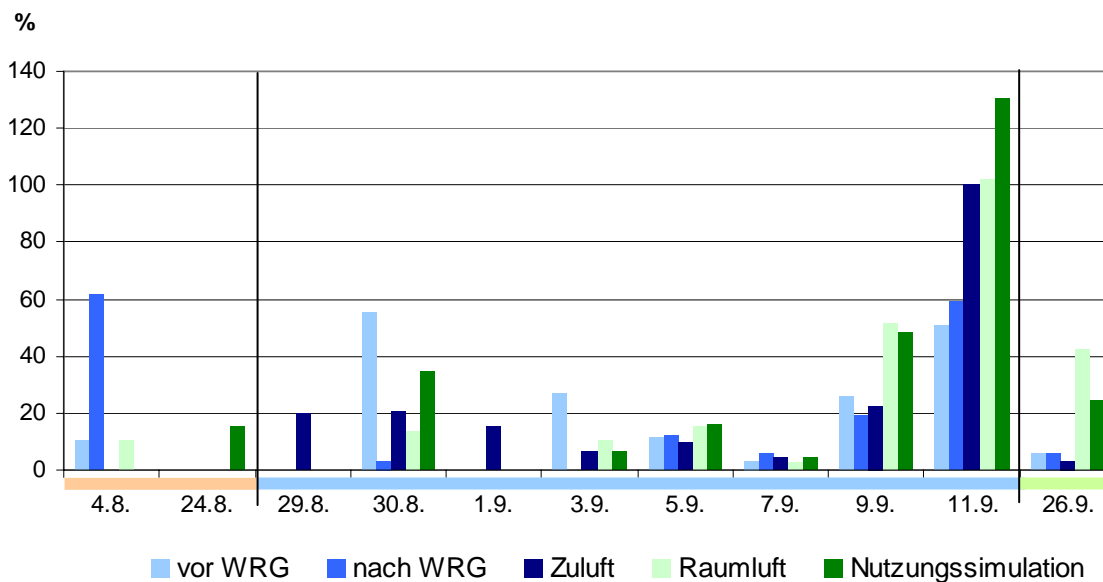


Abb. 8: Resultate der Luftkeimmessungen im Verhältnis zu den jeweiligen Aussenluftkonzentrationen (orange: Konditionierungsphase; light blue: Befeuchtungsphase; light green: Betriebsphase)

Keimspektrum

Im Vergleich der nachgewiesenen Schimmelpilzgattungen fällt vor allem die Gattung Cladosporium auf. Diese wird in fast allen Proben am häufigsten nachgewiesen. Cladosporien sind ubiquitär verbreitet, in unseren Breiten macht sie den Hauptbestandteil der Schimmelpilzflora der Aussenluft aus. Hefen, die vor allem an der Filteroberfläche (zuluftseitig) nach der Befeuchtungsphase in hohen Konzentrationen nachgewiesen wurden, werden am Ende der Befeuchtung zu einem hohen Anteil in der Zuluft gefunden. Dies könnte ein Indiz für den zunehmenden Einfluss der Verschmutzung innerhalb der Lüftungsanlage auf den Keimgehalt der Zuluft sein.

	Aussenluft	Vor WRG	Nach WRG	Zuluft
Vor Befeuchtung	72% Cladosporium 4% Aspergillus niger Asporogen	-	-	-
	Total Keime auf Platte: 25	Total Keime auf Platte: 0	Total Keime auf Platte: 0	Total Keime auf Platte: 0
Nach Befeuchtung	61% Cladosporium 17% Geotrichum 6% Hefen 6% Penicillium 2% Eurotium Asporogen	62% Cladosporium 12% Geotrichum 8% Wallemia sebi 4% Eurotium Asporogen	50% Cladosporium 14% Hefen 7% Geotrichum 4% Botrytis cinerea 4% Penicillium Asporogen	43% Cladosporium 43% Hefen 7% Geotrichum 2% Eurotium Asporogen
	Total Keime auf Platte: 46	Total Keime auf Platte: 24	Total Keime auf Platte: 28	Total Keime auf Platte: 46
Nach Reingung	91% Cladosporium 3% Eurotium Asporogen	100% Cladosporium	100% Cladosporium	100% Aspergillus
	Total Keime auf Platte: 32	Total Keime auf Platte: 2	Total Keime auf Platte: 2	Total Keime auf Platte: 1

Tab. 4: Schimmelpilzspektrum (bezogen auf DG18)

Nutzungssimulation

Der Büroraum wurde unter zwei verschiedenen Bedingungen gemessen: unter Betriebsbedingungen ohne Nutzung und nach einer Nutzungssimulation (Aufwirbeln von Staub mittels Ventilator).

Der Grundgedanke hinter dieser Messstrategie ist die Tatsache, dass selbst in verschimmelten Räumen bei wenig Luftbewegung nur sehr tiefe Luftkeimwerte gemessen werden, da die Sporen aufgrund ihrer Grösse relativ schnell absinken (Depotbildung). Eine solche Belastung kann durch eine Nutzungssimulation mittels Ventilator analog den Freimessungen bei der Asbestsanierung aufgezeigt werden.

Zusammen mit der Keimkonzentration der Zuluft steigt auch die Konzentration im Büroraum an (Abb. 7). Am Schluss der Befeuchtungsphase wird durch die Nutzungssimulation im Vergleich zur Messung unter Betriebsbedingungen eine höhere Schimmelpilzkonzentration nachgewiesen. Dies kann mit dem oben beschriebenen Effekt der Depotbildung zusammenhängen. Die Datenlage ist allerdings zu schwach für generelle Aussagen.

Oberflächen

Keimdichten

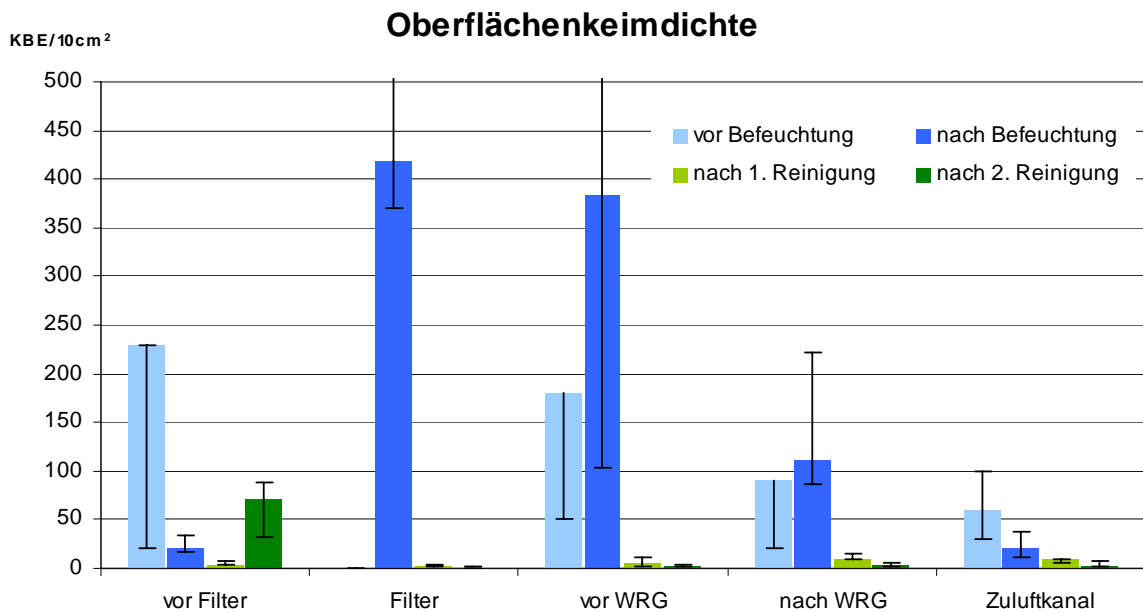
Crump et al, „A protocol for the assessment of indoor air quality in homes and office buildings, BRE (building research establishment), office of the deputy prime minister, 2002

Zur Beurteilung der Keimbelastung von Oberflächenproben existieren nur wenige Richtwerte. In England wurden umfangreiche Untersuchungsergebnisse aus verschiedenen Gebäuden als Basis zur Definierung von Richtwerten für biologische Kontaminationen herangezogen. Diese wurden unter anderem in einem Protokoll des BRI (building research establishment) zur Untersuchung der Raumluftqualität veröffentlicht.

Die Bewertung der Oberflächenproben innerhalb dieses Projektes erfolgt anhand oben erwähnter Richtwerte.

Bezug	Tiefe Belastung	Mittlere Belastung	Hohe Belastung
Keime pro 10 cm ²	<10	10 - 20	>20
Keime pro Abklatsch	<23	23 - 46	>46

Tab. 5: Klassifizierungsschema zur Beurteilung von Oberflächenproben innerhalb von Lüftungsanlagen

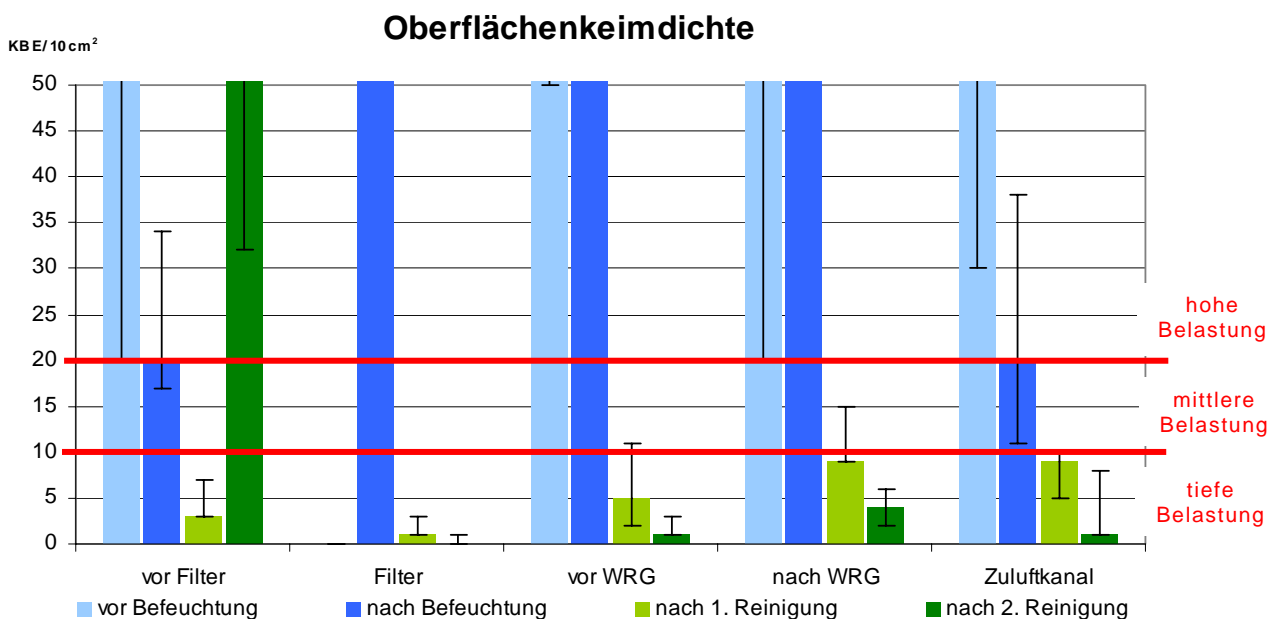


Tab. 6: Resultate der Oberflächenproben im Verlauf der verschiedenen Projektphasen. Pro Messpunkt wurde auf drei verschiedene Nährmedien beprobt. Die Balken entsprechen der Probe mit mittlerem Wachstum. Der Streubereich ergibt sich aus den beiden anderen Proben (minimales resp. maximales Wachstum)

Die Oberflächen innerhalb der Anlage sind kurz vor der Befeuchtungsphase, also nach der dreiwöchigen Konditionierungsphase mit einer Ausnahme alle hoch belastet. Einzig auf der Filteroberfläche (unterstes Filtervlies) wurde eine tiefe Belastung nachgewiesen. Die Maximalwerte auf Reinluftseite liegen bei 180 KBE/10 cm², gemessen direkt nach dem Filter auf der Schrägfläche der WRG.

Nach der Befeuchtungsphase stiegen insbesondere die Werte am Filter und vor der WRG stark an. An der Filteroberfläche wurden Konzentrationen bis 2'500 KBE/10 cm² nachgewiesen. Direkt darunter vor der WRG lag der Maximalwert bei über 3'000 KBE/10 cm². Diese Konzentrationen liegen in einem extrem hohen Bereich. An der Innenisolation im Zuluftkanal wurde dagegen keine Erhöhung der Konzentration festgestellt. Am Filter und an der Innenisolation wurden noch weitere Messungen durchgeführt, die weiter unten im Detail beschrieben sind.

Nach der 1. Reinigung sank die Konzentration erwartungsgemäss stark ab. Die Konzentrationen an den inneren Oberflächen lagen fast alle im Bereich einer tiefen Belastung. Nach der WRG konnte allerdings noch eine Keimbelastung im mittleren Bereich nachgewiesen werden. Der optische Eindruck der Oberfläche untermauerte das Resultat. Eine einfache Wischprobe (Telatuch mit Ethanol, Abb. 9) wies auf noch vorhandene Schmutzreste hin. Nach einer Nachreinigung lag der Keimgehalt aller untersuchten Oberflächen im Bereich einer tiefen Belastung.



Tab. 7: entspricht Tab. 6 in anderer Skalierung. Die Bewertung richtet sich nach Tab. 5.

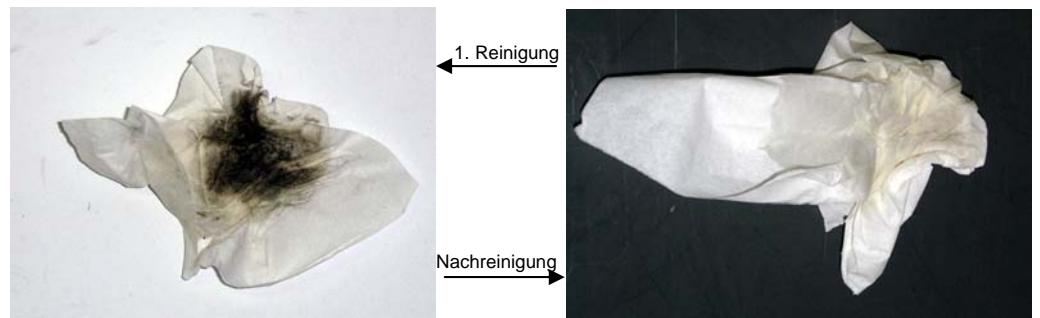


Abb. 9: Wischprobe auf dem Rahmen des Wärmeaustauschers unterhalb der WRG – nach 1. Reinigung und nach Nachreinigung

Keimspektrum

Beim Vergleich der nachgewiesenen Schimmelpilzgattungen in den verschiedenen Projektphasen fällt auf, dass Schimmelpilze der Gattung *Cladosporium* in beinahe allen Proben zu finden sind. Es kommt zu keinen grossen Spektrumsverschiebungen, mit Ausnahme von Hefen, die nur während der Befeuchtung nachweisbar sind. Die höchsten Hefenkonzentrationen werden am Filter und vor der WRG gefunden. Hefen brauchen ähnlich wie Bakterien hohe Feuchten um Auskeimen zu können.

	Nach Konditionierung		Nach Befeuchtung		Nach 1. Reinigung		Nach Nachreinigung	
	DG18	SAB4%	DG18	SAB4%	DG18	SAB4%	DG18	SAB4%
Vor Filter	Asporogen Nicht identifizierbar	Nicht auswertbar	Cladosporium Penicillium asporogen	Cladosporium asporogen	Cladosporium	Cladosporium Geotrichum asporogen	Cladosporium	Cladosporium
Filter	-	-	Hefen	Hefen	Wallemia sebi	Geotrichum asporogen	-	-
Vor WRG	Cladosporium Eurotium Penicillium Aspergillus niger	Nicht auswertbar	Cladosporium Penicillium Aspergillus niger Eurotium Hefen asporogen	asporogen	Cladosporium Penicillium	Cladosporium Penicillium	Cladosporium	Cladosporium
Nach WRG	Cladosporium Eurotium Penicillium Aspergillus niger	Nicht auswertbar	Cladosporium Hefen asporogen	Cladosporium Hefen asporogen	Cladosporium Aspergillus niger Aspergillus	Cladosporium Penicillium	Cladosporium Penicillium	Cladosporium Penicillium
Innenisolation	Cladosporium Eurotium Penicillium Aspergillus niger	asporogen	Cladosporium Hefen Penicillium	Hefen asporogen	Cladosporium Penicillium Geotrichum	asporogen	Cladosporium asporogen	Cladosporium

Tab. 8: nachgewiesene Schimmelpilzgattungen an den fünf verschiedenen Probenahmeorte

Filter

Die Filteroberfläche wurde an verschiedenen Stellen beprobt. Während der Befeuchtungsphase wurde sowohl die untere Kante wie auch die seitlichen Lamellen beprobt. Am Schluss der Befeuchtungsphase wurde zusätzlich die Holzoberfläche (Filterrahmen) als auch die Filteroberfläche rohluftseitig untersucht.

	Filteroberfläche unten	Filteroberfläche seitlich	Holzrahmen zuluftseitig	Filteroberfläche aussenluftseitig
Während Befeuchtung (5.9.05)	180-410 KBE/10 cm ² Hefen	0-2 KBE/10 cm ² Cladosporium	Keine Probe	Keine Probe
Nach Befeuchtung	370-2'500 KBE/10 cm ² Hefen	1-8 KBE/10 cm ² Cladosporium Hefen asporogen	230-260 KBE/10 cm ² Hefen asporogen	174-257 KBE/10 cm ² Cladosporium Eurotium Penicillium Aspergillus niger asporogen

Tab. 9: Vergleich der Keimgehalte verschiedener Oberflächen des gleichen Filters

Die Hefekonzentration im unteren Bereich des Filters scheint mit der Dauer der Befeuchtung zuzunehmen. Seitlich an den Lamellen ist die Schimmelpilzkonzentration auch nach der zweiwöchigen Befeuchtung tief. Der Holzrahmen ist hoch mit Hefen und asporogenen (Wachstum aber keine Sporulation im Labor) Schimmelpilzen belastet. Dies deckt sich mit dem optischen Befund (schwarze Verfärbungen). Die Filteroberfläche aussenluftseitig ist erwartungsgemäss ebenfalls hoch belastet. Hefen wurden keine nachgewiesen. Der Probenahmeort entspricht etwa dem der Filteroberfläche seitlich (ca. Mitte der Filterfläche).



Abb. 10: Holzoberfläche zuluftseitig mit Schimmelwachstumsspuren

Innenisolation

Die Innenisolation im Zuluftkanal (erste zwei Meter nach Zuluftventilator) wurde neben den Abklatschen auch dreimal via Materialprobenahme untersucht.

	Konzentration auf MEA [KBE/g]	Konzentration auf DG18 [KBE/g]
Vor Befeuchtung (24.8.05)	300 Aspergillus 100 Fusarium 100 Hefen 100 Penicillium	200 Aspergillus
Schlussphase Befeuchtung (9.9.05)	200 Hefen 100 Cladosporium 100 asporogen	200 Cladosporium 200 asporogen
Nach Befeuchtung (11.9.05)	20'000 Hefen	26'000 Hefen

Tab. 10: Resultate der Materialanalysen der Innenisolation

Diese Resultate sind nicht klar. Einerseits stieg die Konzentration an Hefen stark an. Allerdings ist nicht klar, ob dies zufällige Resultate durch die Art der Probenahme sind, da sich die Konzentrationen der beiden Analysen am Ende der Befeuchtungsphase (9.9. und 11.9.05) um einen Faktor 50 unterscheiden. Andererseits ist der Keimgehalt vor der Befeuchtung und in der Schlussphase der Befeuchtung etwa gleich tief. Ingesamt sind die Konzentrationen nicht sonderlich hoch. Bei Schimmelpilzuntersuchung in Gebäuden werden an stark verschimmelten Materialien Konzentrationen bis mehrere Hunderttausend KBE/g gefunden. Sehr stark kontaminiertes Material kann Keimgehalte vom mehreren Millionen KBE/g aufweisen.

Schlussfolgerungen

Luftkeimkonzentrationen der Zuluft bei Feuchteeinwirkung

→ Wird einer verschmutzten Lüftungsanlage genügend Feuchtigkeit zugeführt, findet Schimmelpilzwachstum innerhalb von Wochen statt und ist messbar an der deutlichen Zunahme der Luftkeimkonzentrationen in der Zuluft.

Anhand obiger Schlussfolgerung ergeben sich weitere, interessante Fragestellungen:

- Würde es in einer sauberen Anlage zu einem ähnlichen Ergebnis kommen?
- Wie hoch würden die Konzentrationen noch steigen?
- Was geschieht bei relativen Feuchten zwischen 70 und 95%?

Feuchte innerhalb Monoblock

→ In der warmen Jahreszeit steigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der Lüftungsanlage auf Werte von über 80% nach der WRG resp. über 90% vor der WRG.

Weitere Fragen stellen sich in folgenden Bereichen:

- Wie sieht der „Normalfall“ aus?
- Wie gross wirken sich anlagenspezifische Merkmale aus?

Wann sind Oberflächen sauber?

→ Die Kontrolle von Reinigungsmaßnahmen ist sinnvoll. Heute vorhandene Orientierungswerte bewähren sich in der Praxis.

Hier stellt sich die Frage: wer kontrolliert mit welchen Mitteln?

Mögliche Standards

→ Die Anforderung „gleich oder besser Aussenluft“ ist bezüglich Keimgehalt an Oberflächen und Luft zu unpräzise.

Erfahrungswerte diverse Autoren decken sich mit den Eigenschaften nach SWKI 2003-5 konformer Filter: der grösste Teil in der Aussenluft vorhandener Schimmelpilzsporen werden am Filter abgeschieden. Die Luftkeimkonzentrationen der Zuluft sollten deutlich besser sein als die der Aussenluft. Es wäre wünschenswert, dass ein Konsens über Messmethode und Richtwerte zwischen allen Beteiligten (Benutzer, Hersteller, Unterhalt, Hygieniker) gefunden wird.

Danksagung

Die Hygiene in Lüftungsanlagen wurde jahrzehntelang eher stiefmütterlich behandelt. Leistungsverbesserungen und Kostenkontrolle standen im Vordergrund. Mit dem Erscheinen der SWKI-Richtlinie „Hygieneanforderungen in Lüftungsanlagen“ wurde ein Keim eingepflanzt, dessen Wachstum sich für einmal zugunsten der Benutzerinnen und Benutzer belüfteter Räume auswirken kann. Dazu braucht es den Mut der Lüftungsbranchen, auch unbequemen Fragen nachzugehen und Lösungen zu finden.

In diesem Sinne bedanken sich die Hochschule HTA Luzern und die Firma Ganz Klima GmbH sehr für das Engagement und Unterstützung der Sponsoren.

Rüti, 6. Januar 2006

Ganz Klima

Roland Ganz

Dieser Schlussbericht besteht aus 33 Seiten (inkl. Titelseiten). Ohne schriftliche Genehmigung der Ganz Klima GmbH darf der Bericht nur vollständig wiedergegeben werden. Aussagen, die auf Auszügen beruhen, sind unzulässig.

Anhang

Messmethoden

Luftkeime

Die Luftkeimmessungen wurden nach dem Impaktionsverfahren durchgeführt. Zur Identifikation wurden verschiedene Nährmedien eingesetzt:

- TSA (tryptic soy agar): Gesamtkeimzahl (Schimmelpilze und Bakterien) und Thermoactinomyceten
- MEA (Malz-Extrakt-Agar): Schimmelpilze
- DG 18 (Dichloran-Glyzerin-Agar): Schimmelpilze
- DRBC (Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar): Schimmelpilze

Die Genauigkeit des Luftkeimsammlers MAS-100 Fa. MBV AG (bezogen auf den Volumenstrom) liegt bei $\pm 2.5\%$.

Die Kultivierung der Proben erfolgte bei Interlabor Belp AG. Alle Kolonien wurden ausgezählt (Angabe von KBE/Platte) und die Gattungen aufgrund kulturmorphologischer Merkmale bestimmt.

KBE (Kolonie-bildende Einheit) geben an, wie viele Keime auf dem Nährmedium gewachsen sind. Anhand des eingestellten Luftvolumens kann die Konzentration pro m^3 Luft berechnet werden.

Abklatsche

Die Abklatschproben erfolgten mittels Rodac-Platten auf folgende Nährmedien:

- TSA (tryptic soy agar): Gesamtkeimzahl (Schimmelpilze und Bakterien)
- SAB 4% (saboraud mit 4% Glukose): Schimmelpilze
- DG 18 (Dichloran-Glyzerin-Agar): Schimmelpilze

Die Kultivierung der Proben erfolgte bei Interlabor Belp AG. Alle Kolonien wurden ausgezählt (Angabe von KBE/Platte) und die Gattungen aufgrund kulturmorphologischer Merkmale bestimmt.

Temperatur und relative Feuchte

Die Temperaturmessung erfolgte über einen NTC-Sensor (Thermistor), die Feuchte wurde kapazitiv gemessen.

Temperaturmessungen erfolgte bei einer Genauigkeit von $< \pm 0.1$ K, Feuchtemessungen bei einer Genauigkeit von $< \pm 2\%$.

Datenzusammenstellung

Resultate der Luftkeimmessungen

Messort	Luftkeimmessung vom 4.8.2005						Luftkeimmessung vom 24.8.2005					
	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC
	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³
Aussenluft	20	0	80	390	390	290	60	0	30	340	260	220
Vor WRG	10	0	0	0	40	10	0	0	0	0	0	0
Nach WRG	100	0	90	120	240	430	0	0	0	0	0	0
Zuluft	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Raumluft (S)	10	0	0	60	40	20	140	0	10	10	0	10
Raumluft (N)	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	160	0	0	10	40	20

k.M.: keine Messung

Messort	Luftkeimmessung vom 29.8.2005						Luftkeimmessung vom 30.8.2005					
	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC
	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³
Aussenluft	10	0	190	200	400	430	70	0	400	200	290	90
Vor WRG							0	0	0	90	160	250
Nach WRG							0	0	10	30	10	40
Zuluft	20	0	20	80	80	200	0	0	40	10	60	70
Raumluft (S)							360	0	30	70	40	110
Raumluft (N)							390	0	30	80	100	70

k.M.: keine Messung

Messort	Luftkeimmessung vom 1.9.2005						Luftkeimmessung vom 3.9.2005					
	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC
	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³
Aussenluft	50	0	180	600	580	k.M.	60	0	270	510	600	1020
Vor WRG	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	10	0	0	130	160	90
Nach WRG	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	0	0	20	690	0	30
Zuluft	0	0	70	100	90	70	10	0	0	70	40	40
Raumluft (S)	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	110	0	10	170	60	220
Raumluft (N)	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	k.M.	100	0	30	170	40	240

k.M.: keine Messung

Messort	Luftkeimmessung vom 5.9.2005						Luftkeimmessung vom 7.9.2005					
	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC
	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³
Aussenluft	60	0	540	1200	1480	1330	20	0	920	1970	4190	2850
Vor WRG	10	0	40	220	170	200	10	0	70	100	130	120
Nach WRG	0	0	80	150	180	90	30	0	50	130	250	70
Zuluft	0	0	110	280	140	260	0	0	50	240	180	180
Raumluft (S)	140	0	60	390	230	420	270	0	80	330	100	170
Raumluft (N)	140	0	140	340	240	260	400	0	30	190	190	k.M.

k.M.: keine Messung

Messort	Luftkeimmessung vom 9.9.2005						Luftkeimmessung vom 11.9.2005					
	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC
	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³
Aussenluft	0	0	220	340	310	410	30	0	190	440	490	650
Vor WRG	90	0	10	150	80	70	0	0	90	290	250	480
Nach WRG	10	0	10	110	60	180	0	0	160	340	290	k.M.
Zuluft	10	0	50	100	70	90	30	0	190	410	490	520
Raumluft (S)	280	0	70	170	160	140	540	0	60	370	500	720
Raumluft (N)	240	0	40	130	150	180	420	0	180	600	640	370

k.M.: keine Messung

Messort	Luftkeimmessung vom 26.9.2005					
	Bakterien	Actinomyceten	Schimmelpilze TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Schimmelpilze DRBC
	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³	KBE/m ³
Aussenluft	10	0	440	440	330	590
Vor WRG	20	0	0	0	20	0
Nach WRG	0	0	10	20	20	20
Zuluft	0	0	0	30	10	0
Raumluft (S)	350	0	70	20	140	70
Raumluft (N)	240	0	90	130	80	k.M.

k.M.: keine Messung

Resultate der Oberflächenproben

Messort	Messung vom 24.8.2005			Messung vom 11.9.2005			Messung vom 26.9.2005			Messung vom 18.10.2005		
	Gesamtkeimzahl TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Gesamtkeimzahl TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Gesamtkeimzahl TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18	Gesamtkeimzahl TSA	Schimmelpilze SAB 4%	Schimmelpilze DG 18
	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²	KBE/10cm ²
Vor Filter	20	n.a.	230	20	17	34	7	3	3	32	71	89
Filter	0	0	0	420	370	2500	3	1	1	1	0	0
Vor WRG	50	n.a.	180	380	3200	100	11	2	5	3	1	1
Nach WRG	20	n.a.	90	174	86	68	7	7	12	4	2	6
Zuluftkanal	60	30	100	20	11	38	5	9	10	8	1	1

k.M.: keine Messung

n.a.: nicht auswertbar (Platte überwachsen)

Messorte

Luftkeimmessungen



Abb. 11: Luftkeimmessung innerhalb des Ansaugstutzens

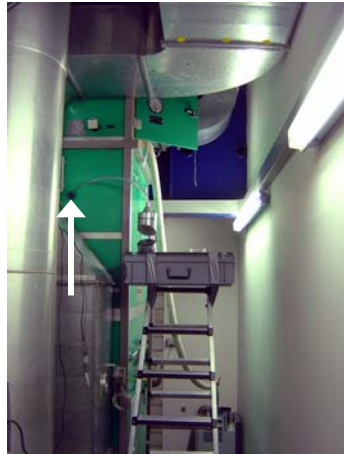


Abb. 12: Luftkeimmessung vor der WRG



Abb. 13: Luftkeimmessung nach der WRG (vor dem Wärmetauscher)



Abb. 14: Luftkeimmessung innerhalb des Zuluftkanals



Abb. 15: Luftkeimmessung im Raum

Oberflächenproben



Abb. 16: Abklatschprobe vor Filter



Abb. 17: Abklatschprobe Filteroberfläche



Abb. 18: Abklatschprobe vor WRG



Abb. 19: Abklatschprobe nach WRG (vor Wärmetauscher)



Abb. 20: Abklatschprobe Zuluftkanal