

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie

Fachbereich Umwelthygiene

Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern

Dipl. Natw. Barbara Flückiger

Prof. Dr. Hans-Urs Wanner

Prof. Dr. Peter Lüthy, Mikrobiologisches Institut ETHZ

Diese Untersuchungen wurden unterstützt durch:

Bundesamt für Energiewirtschaft

Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich

Februar 1997

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie

Fachbereich Umwelthygiene

Leitung Prof. Dr. Theo Koller

Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern

Dipl. Natw. Barbara Flückiger

Prof. Dr. Hans-Urs Wanner

Prof. Dr. Peter Lüthy, Mikrobiologisches Institut ETHZ

Diese Untersuchungen wurden unterstützt durch:

Bundesamt für Energiewirtschaft

Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich

Dank

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen Mitglieder der Begleitgruppe für ihre Unterstützung und die interessanten Gespräche und Rückmeldungen bedanken. Namentlich ist dies bei:

- Th. Baumgartner, Ingenieurbüro
- Ch. Gmür und Dr. R. Kriesi, ATAL Zürich
- Prof. P. Hartmann, Technikum Winterthur
- R. Meierhans, Meierhans & Partner AG
- M. Zimmermann, EMPA/KWH

Ebenso danken wir den Besitzern von Erdregisteranlagen, Bewohnern und Hauswarten, die uns den Zutritt zu den Anlagen ermöglicht und uns bei unseren Messungen unterstützt haben.

Schliesslich möchten wir uns bei Frau Elisabeth Scholz für ihre Hilfe bei den Probenahmen in den verschiedenen Erdregisteranlagen und bei den Laborarbeiten bedanken.

Bezugsquellen

EMPA/KWH, Überlandstr. 129, 8600 Dübendorf

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH Zentrum, 8092 Zürich

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	1
SUMMARY	2
1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	3
2 GRUNDLAGEN	5
2.1 Vorkommen und Bedeutung von Mikroorganismen in der Luft	5
2.1.1 Vorkommen von Schimmelpilzen in der Aussen- und Innenluft	5
2.1.2 Gesundheitliche Bedeutung von Schimmelpilzen	6
2.1.3 Vorkommen von Bakterien in der Aussen- und Innenluft	8
2.1.4 Gesundheitliche Bedeutung von Bakterien	8
2.1.5 Richtlinien für Keimkonzentrationen in Innenräumen	9
2.2 Mikrobielle Kontamination in Lüftungsanlagen	10
2.2.1 Mikrobielle Wachstumsbereiche	10
2.2.2 Quellen von mikrobiellen Verunreinigungen in Lüftungsanlagen.....	11
2.2.3 Bedeutung von Filteranlagen	11
2.3 Technische Angaben zu Luftansaug-Erdregistern	12
2.3.1 Temperaturbereiche	12
2.3.2 Luft- und Oberflächenfeuchtigkeit in den Rohren.....	13
2.3.3 Nährstoffe	13
2.4 Bisherige mikrobiologische Untersuchungen in Luftansaug-Erdregistern	13
3 BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN LUFTANSAUG-ERDREGISTERN	15
4 MATERIAL UND METHODEN	19
4.1 Luftkeimzahlbestimmungen	19
4.1.1 Luftkeimsammelgeräte	19
4.1.2 Nährmedien	20
4.1.3 Durchführung der Probenahme	20
4.1.4 Inkubation	23
4.1.5 Identifizierung der Bakterienkolonien	23
4.1.6 Identifizierung der Pilzkolonien	23
4.2 Bestimmung des Keimgehalts auf Oberflächen und in Stäuben	24
5 RESULTATE	25
5.1 Gesamtkeimzahlen	25
5.1.1 Wintermessung	25
5.1.2 Frühlingmessung	27
5.1.3 Sommermessung	28
5.1.4 Herbstmessung	30

5.1.5 Jahresverlauf	31
5.1.6 Vergleich der Gesamtkeimzahlen in Aussenluft, Zuluft und Raumluft	32
5.2 Identifizierung der Pilz- und Bakterienkeime	33
5.2.1 Pilzgattungen	33
5.2.2 Bakterien	36
5.3 Keimzahlen auf Oberflächen, in Stäuben und Filtern	38
6 DISKUSSION	39
6.1 Einfluss der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit.....	39
6.2 Einfluss der Konstruktionsweise	40
6.2.1 Grösse und Länge des Erdregisters	40
6.2.2 Baumaterialien.....	40
6.2.3 Filterqualität	41
6.3 Vergleich der Resultate mit anderen Untersuchungen in Erdregistern	41
6.4 Beurteilung der Messergebnisse aus gesundheitlicher Sicht	41
7 EMPFEHLUNGEN AUS LUFTHYGIENISCHER SICHT	43
7.1 Bau	43
7.2 Betrieb.....	43
7.3 Unterhalt und Überwachung.....	43
8 ABKÜRZUNGEN	44
9 LITERATURVERZEICHNIS	45
10 ANHANG	48
10.1 Fotografien der Gebäude mit untersuchten Erdregistern	48
10.2 Illustration von bebrüteten Nährbodenplatten mit Luftproben	51
10.3 Pilzgattungen.....	52
10.4 Bakteriengruppen.....	55
10.5 Temperaturen und Luftfechtigkeiten	58

Zusammenfassung

In zwölf bestehenden Erdregisteranlagen wurden Untersuchungen über Konzentrationen und Arten von Pilzen und Mikroorganismen in der Aussen-, Erdregister- und Zuluft durchgeführt. Um jahreszeitliche Veränderungen zu erfassen, wurden drei Anlagen zu jeder Jahreszeit untersucht. Verwendet wurden Slit-Sampler und Malzextraktnährböden für Pilze sowie Trypticase-Soja-Agar für Bakterien. Ergänzt wurden die Messungen durch eine Literaturstudie über vergleichbare Untersuchungen in Erdregisteranlagen und generell in Lüftungsanlagen.

Die mikrobiellen Konzentrationen in der Aussenluft vor den Ansaugstellen lagen im Rahmen der üblicherweise in der Aussenluft festgestellten Keimzahlen für die jeweiligen Jahreszeiten. Eine besonders deutliche saisonale Abhängigkeit zeigten die Pilzkonzentrationen. Diese lagen im Winter sehr tief. Mit steigender Temperatur und beginnender Vegetation nahmen die Konzentrationen der Pilzsporen in der Aussenluft zu und erreichten ein Maximum im Sommer. Die jahreszeitliche Abhängigkeit der Bakterienkeime in der Aussenluft ist weniger ausgeprägt.

In der Erdregisterluft haben die Konzentrationen der Luftkeime im Allgemeinen abgenommen, saisonale Schwankungen sind aber immer noch sichtbar. Bei allen Auswertungen zeigt sich sehr deutlich, dass grosse Unterschiede im Verhalten der Gesamtkeimzahlen, wie auch in der Verteilung auf einzelne Organismengruppen, zwischen den Erdregistern in EFH und den grösseren Anlagen bestehen. Berechnungen bestätigen, dass je höher die angesaugte Luftmenge pro Stunde in einer Anlage ist, desto grösser sind die relativen Konzentrationsabnahmen im Erdregister. EFH sind häufiger von einer Veränderung in der Zusammensetzung der Mikroflora betroffen und die Reduktion der Keimzahlen im Erdregister fällt deutlich geringer aus. Gelegentlich wurden hier sogar höhere Konzentrationen in der Erdregisterluft als in der Aussenluft gemessen.

Keine Unterschiede bestehen zwischen Anlagen mit Zement- und Kunststoffrohren bezüglich der Konzentrationsänderungen im Erdregister.

Die tiefsten Keimkonzentrationen wurden in der Zuluft festgestellt. Die Keimzahlen wurden je nach Qualität der eingebauten Filter reduziert. In allen Anlagen mit einem Feinstaubfilter nimmt die Pilzkonzentration in der Zuluft im Vergleich zur Erdregisterluft um 80 bis zu 100% ab. Bei Grobstaubfiltern liegt der Bereich der Abnahme bei 40 bis 80%. Neben den relativ grossen Pilzsporen werden auch Bakterien, die meist an Partikel haften, in den Filtermatten zurückgehalten. Die Filterqualität wirkt sich auf die Abnahme der Bakterienkonzentration weniger deutlich aus als bei den Pilzen. In Feinstaubfiltern beträgt die Reduktion der Bakterienkonzentration 50 bis zu 100%, in Grobstaubfiltern 0 bis 80%.

Da Pilze meist von Aussen in die Innenräume eindringen und die Zuluft der untersuchten Anlagen in der Regel sehr keimarm ist, liegen die Konzentrationen in den Räumen deutlich tiefer als in der Aussenluft. Die Bakterienkonzentrationen können jedoch in der Innenluft bei starker Belegung hohe Werte erreichen. Nach ECA-Erfahrungswerten liegen alle in dieser Untersuchung gemessenen Raumluftkonzentrationen für Bakterien und Pilze im tiefen bis mittleren Bereich.

Der Einsatz von Erdregisteranlagen muss aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht eingeschränkt werden. Bei regelmässiger Kontrolle und der Möglichkeit, bei Bedarf eine geeignete Reinigung durchzuführen, sollte ein lufthygienisch einwandfreier Betrieb über Jahre gewährleistet sein. Bei erhöhten lufthygienischen Anforderungen kann mittels Feinfilter eine zusätzliche, namhafte Reduktion der Bakterien und Sporen erreicht werden. Dies erfordert allerdings die regelmässige Kontrolle und Reinigung, respektive Ersatz der Filter.

Summary

Investigations were carried out in twelve ground-coupled earth-to-air heat exchangers to determine the concentrations and the composition of microorganisms in outdoor air, inlet air and in the air of the earth tubes. Three buildings were examined quarterly to cover seasonal changes. Slit-Samplers and malt extract agar plates for fungi, and trypticase soy agar plates for bacteria were used. The experimental investigations were complemented with a literature survey on studies in earth-to-air heat exchangers and studies in air conditioning systems in general.

The microbial concentrations in the outdoor air corresponded with the expected CFU/m³. The presence of molds in the outdoor air showed wide seasonal differences. The highest numbers were found during summer. In the winter the concentrations were quite low. The bacterial concentration in the outdoor air did not vary as clearly.

In general, the concentrations of fungal spores and bacteria in the air of the underground pipes were lower than in the outdoor air. The evaluation showed great differences in the behavior of the airborne microorganisms in the tubes of big buildings compared to one-family houses. The higher the volume of the air flow through the tubes the greater the reduction of the concentration of airborne microorganisms. The reduction of the concentration in the earth laid tubes of one-family houses were in general smaller. Occasionally, an increase of the concentration of one single microbial species compared to the outdoor air was noted.

No differences were observed between facilities with tubes made of plastics or of concrete/cement.

The lowest germ concentrations within the system were found in the inlet air. The quality of the built-in filters influenced the number of molds and bacteria removed from the air. Fine filters reduced the mold concentrations from 80 up to 100%, coarse filters from 40 to 80%. Bacteria were also partially retained, but the influence of the quality of the filters was not as visible. Fine filters removed bacteria from 50 up to 100%, coarse filters from zero to 80%.

The concentration of fungal spores in the indoor air was much lower compared to the outdoor air, since the source of molds is mainly extramural and the inlet air carried few germs. The bacterial concentration rises rapidly in the presence of human activities. The obtained concentrations in the indoor air of all buildings are compared to observed levels in previous studies in the low to intermediate ECA categories.

The operation of ground-coupled earth-to-air heat exchangers is based on these investigations recommendable. As long as regular controls are undertaken and if accurate cleaning possibilities are presented when required, the impeccable and hygienic operation is ensured for many years. In case of increased hygienic demands fine filters can further reduce the concentrations of bacteria and fungal spores. These filters need to be controlled, cleaned and replaced regularly.

1 Einleitung und Fragestellung

In bewohnten Räumen ist eine ständige Lüfterneuerung für die Erhaltung einer guten Raumluftqualität erforderlich. Die Anreicherung von Geruchs- und Schadstoffen (Rauch, Lösungs- und Reinigungsmittel, Stickoxid und Kohlenmonoxid bei Gasherden etc.) muss verhindert und die (von Pflanzen, Kochen, Waschen, Atmen) gebildete Feuchtigkeit muss abgeführt werden. In neuen, dichten Bauten reicht der Luftwechsel durch Ritzen bei Fenster und Türen oft nicht mehr aus, und aus energetischen Gründen wird oft weniger gelüftet. Dies kann besonders im Winter zu Bauschäden durch zu hohe Luftfeuchtigkeiten führen.

Neben den Gründen der Energieeinsparung gibt es noch andere Argumente, die in vielen Fällen gegen Fensterlüftung sprechen. Beispiele dafür sind Bürogebäude an stark befahrenen Strassen und Bahngeleisen oder Schulhäuser, wo aufgrund der Lärmbelastung die Fenster nicht geöffnet werden können. Zudem reichen die Pausen zwischen den Schulstunden oft nicht aus, um einen ausreichenden Luftaustausch sicherzustellen.

Aus diesen Gründen wird oft in Neubauten mit einem fortschrittlichen Energiekonzept eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung gewählt. So kann mit wenig Energieaufwand eine konstante Raumluftqualität sichergestellt werden, weniger Lärm dringt von aussen herein und der Komfort wird zusätzlich durch die warme und gefilterte Zuluft verbessert. Bei der kontrollierten Lüftung wird Aussenluft nach Bedarf den einzelnen Räumen zugeführt. Aufgewärmt wird die Zuluft durch Wärmerückgewinnung aus der in den Nassräumen abgesaugten Abluft.

Als Ergänzung zur Wärmerückgewinnung kann die Aussenluft über ein erdverlegtes Rohrsystem angesaugt werden. In diesen sogenannten Lüfterdregister erwärmt sich die Aussenluft im Winter durch die im Boden gespeicherte Wärme oder wird im Sommer leicht gekühlt. Viele technische und energetische Argumente sprechen für den vermehrten Einsatz von Erdregistern. Der Bau solcher Systeme kann jedoch nur dann empfohlen werden, wenn feststeht, dass keine hygienischen Probleme auftreten. Chemische Verunreinigungen sind bis auf die mögliche Radonbelastung falls Sickerleitungen als Ansaugrohre gewählt werden, kaum zu erwarten. Von Interesse sind hingegen die biologischen Prozesse in den Erdregistern. Können die mit dem Staub aus der Aussenluft in den Luftkanälen der Erdregister abgelagerten Mikroorganismen wachsen und sich vermehren?

Zur Beantwortung dieser Frage soll bei bestehenden Erdregister-Anlagen überprüft werden, ob mikrobielle Verunreinigungen auftreten und ob diese zu einer Belastung der Zuluft beziehungsweise der Raumluft führen können. Die durch Erdregister angesaugte Zuluft soll auf qualitative und quantitative Unterschiede in der Mikroflora im Vergleich zur Aussenluft untersucht werden. Berücksichtigt werden dabei Eigenschaften wie Alter, Betriebsdauer und Material der Erdregister. Bei allfälligen Kontaminationen sind die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen zu beurteilen.

In 12 ausgewählten, repräsentativen Anlagen soll eine **Querschnitt-Untersuchung** durchgeführt werden, die eine Keimzahlbestimmung und -identifizierung in der Aussenluft nahe der Ansaugstelle, in der Erdregisterluft und in der Zuluft in die Räume umfasst. Daneben wird eine **Langzeit-Untersuchung** in drei ausgewählten Anlagen durchgeführt, um jahreszeitliche Veränderungen zu erfassen.

Die Messungen sollen ergänzt werden durch eine **Literaturstudie** zur Abklärung der Frage, ob die in den Erdregisterrohren auftretenden Bedingungen (Temperatur und Feuchtigkeit) das Wachstum von Mikroorganismen begünstigen. Studien über mikrobielle Verunreinigungen in anderen Lüftungssystemen werden als Vergleiche herangezogen. Auf die gesundheitliche Bedeutung der in der Innenluft auftretenden Mikroorganismen wird ebenfalls eingegangen.

Mikrobielle Untersuchung von Luftansaug-Erdregistern

Das Ziel der Arbeit war eine Bestandesaufnahme der Mikroflora in Erdregistern. Mit den erhaltenen Ergebnissen sollten Erdregisteranlagen aus lufthygienischer Sicht beurteilt werden. In einem zweiten Schritt wurden Empfehlungen für den Bau, Betrieb und Unterhalt von Lufterdregistern ausgearbeitet, um mikrobiellen Verunreinigungen vorzubeugen.

2 Grundlagen

2.1 Vorkommen und Bedeutung von Mikroorganismen in der Luft

Louis Pasteur widerlegte 1862 durch seine Experimente nicht nur die Theorie der Urzeugung, er führte auch bereits erste mikroskopische Untersuchungen der Pariser Stadtluft durch [Gregory, 1973]. Weitere Wissenschaftler verwendeten bereits wenige Jahre später Nährmedien, um Luftkeime anzüchten zu können und Werte wie CFU/m³ (colony forming units/m³) oder KBE/m³ (Kolonien bildende Einheiten) bestimmen zu können. Miquel (1883) und Tyndall (1883) machten in ihren Arbeiten schon früh auf den möglichen Zusammenhang des Keimgehalts der Luft und dem Auftreten von Erkrankungen aufmerksam. Mit der industriellen Herstellung von Luftkeimsammelgeräten wurden systematische lufthygienische Untersuchungen in grossem Rahmen möglich [Wells, 1933].

Eine Mikroorganismenflora bestehend aus den unterschiedlichsten Pilzen und Bakterien ist in jedem Raum vorhanden. Für viele Organismen liegen die Quellen ausserhalb der Wohnung, andere werden durch die Menschen in den Räumen selbst abgegeben. In Gebäuden mit Feuchtigkeitsproblemen oder Wasserschäden können vermehrt Schimmelpilzsporen freigesetzt werden, und die Zusammensetzung der Mikroorganismenflora kann sich verändern [Nevalainen et al., 1991; Gravesen et al., 1994]. Dies kann zu Reizungen der Atemwege oder Infektionen bei den Bewohnern führen [Koskinen et al., 1995]. Auch falsch oder ungenügend belüftete Räume können Veränderungen der mikrobiellen Zusammensetzung der Innenluft hervorrufen [Morey, 1989] und somit besonders bei längeren Aufenthaltszeiten zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Zahlreiche Arbeiten wurden deshalb ausgeführt, um verschiedene natürliche und mechanische Lüftungssysteme und ihren Einfluss auf die luftgetragenen Bakterien und Pilzsporen in den Wohnräumen miteinander zu vergleichen [Kodama et al., 1986; Pellikka et al., 1986; Reponen et al., 1989; Ruotsalainen et al., 1993]. Andere Arbeiten versuchten Zusammenhänge zwischen Belegung und Aktivität in den Räumen und der Konzentration der luftgetragenen Mikroorganismen aufzuzeigen [Russenberger, 1973; Lehtonen et al., 1993]. Einige wenige, vorwiegend neuere Arbeiten, beschäftigten sich mit der Identifizierung dieser luftgetragenen Mikroorganismen in der Innenluft [Fradkin et al., 1987; Macher et al., 1991].

Bei der Untersuchung der Raumluft in Wohnungen und an nicht industriellen Arbeitsplätzen steht nicht der Nachweis seltener pathogener Mikroorganismen im Zentrum. Vielmehr geht es oft darum, ein besseres Verständnis über Auftretenshäufigkeit und Einfluss von allergenen Pilzen und deren Abbauprodukte sowie über Metaboliten von Schimmelpilzen und Bakterien zu gewinnen.

2.1.1 Vorkommen von Schimmelpilzen in der Aussen- und Innenluft

Schimmelpilze wachsen überall im Boden, solange Nährstoffe vorhanden sind und sie nicht durch Hemmsubstanzen, konkurrierende Arten oder ungeeignete physikalische Bedingungen daran gehindert werden [Reiss, 1986]. Sie leben saprophytisch, das heisst von totem organischen Material aus Pflanzen und Tieren und sind besonders in den obersten Schichten des Bodens und in Waldböden weit verbreitet. Vom Boden aus können Schimmelpilze dank überreich gebildeten Sporen, die in die Luft gelangen, neue Lebensräume besiedeln.

Das Vorkommen von Schimmelpilzen in der **Aussenluft** unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen. In den Wintermonaten liegen die Konzentrationen der Schimmelpilze in der Aussenluft bei einigen Hundert Keimen pro Kubikmeter. Vor allem in trockenen Sommermonaten werden viele Sporen gebildet und durch Luftbewegungen oder durch Nebeltröpfchen abgelöst und über weite Strecken transportiert. Einige Schimmelpilze sind fähig, ihre Sporen aktiv wegzuschleudern. Die höchsten Konzentrationen werden jeweils im Spätsommer ge-

messen und erreichen Werte bis weit über 100'000 Keime/m³ [Gubler, 1990]. Die Lebensdauer und somit auch die Konzentration der Schimmelpilze in der Luft ist u.a. abhängig von der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Sonneneinstrahlung [Reiss, 1986]. Die Pilzsporen sedimentieren aufgrund ihrer Dichte auf neue Substrate.

Die Pilzsporenkonzentration in der **Innenluft** ist abhängig von [Schneiders, 1994]:

- den Schimmelpilzkonzentrationen in der Aussenluft
- bauphysikalischen und konstruktiven Bauwerksmängeln (Kondensation durch unzureichende Wärmedämmung, Diffusionssperren, Kältebrücken etc.)
- Wohnverhalten (unzureichende Beheizung und falsches Lüftungsverhalten), Belegung und Raumnutzung

Raumlufttechnische Anlagen, insbesondere Luftwäscher und -befeuchter, können ebenfalls Quellen und Verbreitungswege für Schimmelpilze in der Innenluft darstellen [Flannigan et al., 1996]. Die Konzentrationen der Schimmelpilze in der Innenluft liegen in der Regel deutlich tiefer als in der Aussenluft. Die Werte schwanken in der Regel zwischen weniger als 10 CFU/m³ und einigen Tausend Keimen [ECA, 1993].

Neben den Sporen können aber auch flüchtige organische Verbindungen (VOC) von wachsenden Schimmelpilzen als Stoffwechselprodukte an die Luft abgegeben werden. Diese führen zu unterschiedlichsten Befindensstörungen, wie Kopfschmerzen, Müdigkeit, Übelkeit und Geruchsbelästigungen. Daneben ist es auch möglich, dass Abbauprodukte von Schimmelpilzen in die Luft gelangen. Diese können immer noch allergene Proteine oder Toxine enthalten und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Das bedeutet, dass auch ohne lebensfähige Sporen, die Luft nicht frei von Allergenen und Toxinen sein muss.

2.1.2 Gesundheitliche Bedeutung von Schimmelpilzen

Nur wenige Schimmelpilze sind als humanpathogen einzustufen und die wenigsten davon sind obligat pathogen (krankmachend). Die meisten sind Opportunisten, das heisst, sie leben als Saprophyten auf totem organischen Material und wirken nur unter bestimmten Bedingungen pathogen. Verschiedene Vertreter von *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* und *Rhizopus* sind auf der Haut und den Schleimhäuten von gesunden Menschen anzutreffen. Ist der Abwehrmechanismus des Körpers durch eine Krankheit geschwächt, können diese **Infektionen** hervorrufen. Besonders gefährdet sind immungeschwächte Patienten (AIDS-kranke, Patienten nach Organtransplantationen oder in Chemotherapie) [Gravesen et al., 1994].

Es gibt auch **Vergiftungserkrankungen**, sogenannte Mykotoxikosen, die durch giftige Stoffwechselprodukte hervorgerufen werden [Reiss, 1986]. Solche Toxine können von gewissen Vertretern der Gattungen *Aspergillus* (Aflatoxine), *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* oder *Stachybotrys* gebildet werden

Viele Pilze geben Sporen in grossen Mengen an die Umgebung ab. Wie Staub können sie auf Schleimhäuten und Augen sedimentieren oder von Menschen eingeatmet werden. Wird ein Organismus wiederholt hohen Konzentrationen an Pilzsporen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko der Entwicklung einer allergischen Reaktion. Zwei verschiedene Typen von **Allergien** sind dabei möglich: Sofortreaktion (Typ 1) und Spätreaktion (Typ 3). Typ 1 ist eine allergische Überreaktion des Immunsystems nach langanhaltender Exposition durch hohe Konzentrationen. Danach wird bereits durch minimale Konzentrationen - meist ist der Auslöser ein Protein des Pilzes - eine erneute allergische Reaktion mit einer Überproduktion von IgE-Antikörpern ausgelöst. Es wird geschätzt, dass ungefähr 8 % der Erwachsenen und 20

bis 25 % der Kinder solche Allergien zeigen [Gravesen et al., 1994]. Typ 3 ist eine allergische Alveolitis und meist berufsbedingt. Bei dieser Antigen-Antikörper-Reaktion ist vorwiegend IgG beteiligt, und kann zu permanenter Schädigung der Lunge führen.

Viele verschiedene Pilze sind als Allergene bekannt. Die allergenen Pilze, die häufig in Wohnungen nachgewiesen werden, sollen hier näher betrachtet werden.

- **Cladosporium** ist der häufigste Pilz in der Aussenluft und kommt auch in den Wohnungen in grossen Mengen vor. Die zitronen- und torpedoförmigen Sporen (3-5 µm) gelangen leicht in die Luft und werden über weite Strecken transportiert. Allergische Reaktionen vom Typ 1 können bei einem Grenzwert von 2'500 CFU/m³ auftreten [Gubler, 1990]. Besonders gefährdet sind demnach Beschäftigte in der Landwirtschaft oder in Gärtnereien, da *Cladosporium* lebende und verrottende Grünpflanzen befällt und bei der Arbeit viele Sporen durch die Luft gewirbelt werden können.



Abb. 1: Sporen von *Cladosporium*

- Die Sporen von **Alternaria** (Grösse bis 83x18 µm) gehören zu den allergologisch bedeutsamsten und mitunter zu den häufigsten Verursachern von Pilzallergien [Gubler, 1990]. Die ersten Symptome treten oberhalb des Grenzwertes von 50 Sporen pro m³ auf. *Alternaria* ist in der Aussenluft und in feuchten Häusern weit verbreitet.

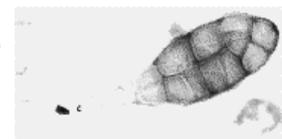


Abb. 2: *Alternaria*spore

- Einige **Aspergillus**- und **Penicillium**-Arten können nicht nur gelegentlich als Pathogene auftreten. Auch zahlreiche berufsbedingte Schimmelpilzallergien können auf Sporen dieser Pilze zurückgeführt werden [Reiss, 1986]. *Aspergillus* und *Penicillium* produzieren Konidien in grossen Mengen. In Wohnungen, wo sie dank ihrer Anspruchslosigkeit wachsen können, führen sie gelegentlich zu allergischen Reaktionen bei empfindlichen Personen.

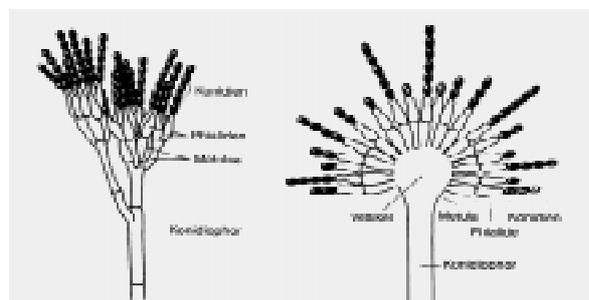


Abb. 3: Konidiophor mit Sporen von *Penicillium* und *Aspergillus*

- **Botrytis** kann eine Allergie des Typ 1 am Respirationstrakt auslösen. Gefährdet sind vor allem Gärtner und Weinbauern, da *Botrytis* als Saprophyt auf höheren Pflanzen, Beeren und Gemüse anzutreffen ist [Gubler, 1990]. Nur eine untergeordnete Bedeutung kommt **Fusarium** zu. Dieser lebt als Bodenpilz oder als Saprophyt auf Getreide und kommt vorwiegend extramural vor. Bei Temperaturen um den Gefrierpunkt kann *Fusarium* gefährliche Mykotoxine bilden [Gubler, 1990].

2.1.3 Vorkommen von Bakterien in der Aussen- und Innenluft

Bakterien leben im Boden, im Wasser, in toten organischen Materialien sowie als Symbionten und Parasiten in Pflanzen, Menschen und Tieren. Die **Aussenluft** bildet keinen Lebensraum für Bakterien, aber in Wassertröpfchen und an Partikel gebunden, können sie durch menschlichen Aktivitäten (zum Beispiel Kläranlagen, Landwirtschaft) und durch Windstöße in die Luft gelangen und verbreitet werden. Die Konzentrationen liegen zwischen nur ein paar vereinzelt Keimen und einigen Hundert Keimen pro Kubikmeter [ECA, 1993].

Bakterienquellen in der **Innenluft** sind vorwiegend Menschen und Tiere. Besonders beim Niesen und Husten, aber auch beim Sprechen werden viele Bakterien freigesetzt. Aufgewirbelter Staub und Hautschuppen enthalten ebenfalls Bakterien. Bei Luftbefeuchtern, die nach dem Zerstäuber- und Luftwäscherprinzip konzipiert sind, besteht die Gefahr, dass grosse Bakterienmengen in die Luft gelangen. Die Konzentrationen können sehr stark schwanken. In früheren Untersuchungen wurden CFU/m³ im Bereich von 10 bis 10'000 nachgewiesen [ECA, 1993].

2.1.4 Gesundheitliche Bedeutung von Bakterien

Die **gram-positiven Kokken**, die in der Innenluft überwiegen, sind meist harmlose Kommensalen und leben auf der Haut oder auf Schleimhäuten von Menschen und Tieren. Nur sehr wenige Vertreter dieser Gruppe sind Auslöser von Infektionskrankheiten. Im Zentrum steht *Staphylococcus aureus*, der schwerwiegende Infektionen auslösen kann. Möglich sind leichte bis schwere Infektionen der Haut sowie verschiedenartige, schwerwiegende Komplikationen bei Patienten mit viralen Infektionen. *S. aureus* ist deshalb in Krankenhäuser besonders gefürchtet, ist jedoch nur selten nachweisbar [van der Zander, 1988]. Einige *Streptococci*-Arten sind zudem in der Lage, Infekte zu verursachen.

Die häufigsten **gram-positiven Stäbchen** gehören zu den Gattungen *Bacillus* und *Corynebacterium*. Beide sind in der Natur, vorwiegend im Boden, weit verbreitet und gewisse *Corynebacterien* besiedeln auch die Haut und die Schleimhäute von Menschen und Tieren. Einige wenige *Bacillus*- und *Corynebacterium*-Arten können pathogen wirken. Viele andere gram-positive Stäbchen sind harmlose Kommensalen des Menschen und kommen nur selten in pathogener Form vor (z. Bsp. *Mycobacterium tuberculosis*).

Unter den **gram-negativen Stäbchen** sind viele in der Medizin von Bedeutung. Die meisten *Enterobacterien* haben ihre natürlichen Habitate im Darmtrakt von Menschen und Tieren. Viele sind harmlose Kommensalen, andere können fakultativ pathogen wirken, wenn der Wirtsorganismus eine Abwehrschwäche aufweist (*Citrobacter*, *Serratia*, *Aeromonas* etc.). *Pseudomonaden* sind im Boden und in Oberflächengewässern weit verbreitet. In kleiner Zahl kommen sie auch im Darm von Menschen und Tieren vor. Weist eine Person Defekte der unspezifischen oder spezifischen Immunabwehr auf, können *Pseudomonas aeruginosa*, gelegentlich auch *Pseudomonas cepacia* und andere *Pseudomonaden*, Infekte verursachen [Kayser et al., 1992]. *Acinetobacter* hat seine natürlichen Habitate im Erdboden oder in Oberflächengewässern. Bei hospitalisierten Patienten mit geschwächter Infektabwehr wurde *Acinetobacter calcoaceticus* als Erreger von Pneumonien und Infekten beobachtet [Kayser et al., 1992].

Ein weiteres gram-negatives Bakterium, das häufig mit Kontaminationen in Lüftungsanlagen in Verbindung gebracht wird, ist *Legionella pneumophila*. Legionellen sind ein natürlicher Bestandteil der Mikroflora des Wassers. In wasserführenden haustechnischen Anlagen können sich Legionellen in Gegenwart anderer Organismen und organischen Substanzen bis 50°C vermehren [BAG, 1989]. Werden die entstehenden legionellenhaltigen Aerosole inhaled kann es zu der schwerwiegenden Legionärskrankheit oder zum milderen Pontiac-Fieber kommen.

Auch toxische Wirkungen durch gram-negative Bakterien sind bekannt. Endotoxine sind Bausteine aus der äusseren Zellmembran gram-negativer Bakterien. Diese Lipopolysaccharide wirken sehr toxisch, wenn die Bakterien, Fragmente von der Zellwand oder die freien Makromoleküle eingeatmet werden. Fieber, Übelkeit, Atemwegserkrankungen, Schock und vereinzelt sogar Tod können die Folgen sein. Gram-negative Bakterien sind meist nur in geringen Konzentrationen in der Innenluft nachweisbar. In Luftbefeuchterreservoirs oder andere stehenden Wasseransammlungen können verschiedene gram-negative Bakterien wachsen, was zu erhöhten Endotoxinkonzentrationen in der Luft führen kann. Die Auswirkungen werden oft unter dem Begriff Befeuchterfieber zusammengefasst.

2.1.5 Richtlinien für Keimkonzentrationen in Innenräumen

Es gibt keine gesetzlichen **Richtwerte** für Bakterien- und Pilzkonzentrationen in der Innenluft von Wohnungen und von nicht industriellen Arbeitsplätzen. Basierend auf verschiedenen Untersuchungen wurden von einer Europäischen Arbeitsgruppe Erfahrungswerte für die Beurteilung von Luftkeimzahlen in Innenräumen aufgestellt, die in *Tabelle 1* zusammengefasst sind [ECA, 1993].

Kategorie	Pilze		Bakterien	
	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	>2000	>10'000	>2'000

Tab. 1: Erfahrungswerte für die Beurteilung von Gesamtkeimzahlen von Bakterien und Pilzen in Innenräumen nach ECA

In den Richtlinien für raumluftechnische Anlagen in Spitälern des Schweizerischen Instituts für Gesundheits- und Krankenhauswesen [SKI, 1987] werden die Bereiche mit speziellen Anforderungen an die Keimarmut in drei Raumklassen eingeteilt. Die geltenden Erfahrungswerte liegen bei <10 Keime/m³ (I, z. Bsp. hochseptischer Operationssaal), <200 Keime/m³ (II, z. Bsp. Operationssaal, Sterilfabrikation) und <500 Keime/m³ (III, z. Bsp. Säuglingsraum).

2.2 Mikrobielle Kontamination in Lüftungsanlagen

2.2.1 Mikrobielle Wachstumsbereiche

Der bevorzugte **Temperaturbereich** liegt für die meisten Bodenbakterien und Schimmelpilze im mesophilen Bereich zwischen 20 und 35°C. Viele Schimmelpilze und einige Bakterien wachsen jedoch noch bei Temperaturen gegen den Gefrierpunkt. Andere Pilze und Bakterien vertragen noch 40°C, thermophile Bakterien sogar bis weit über 60°C. Die von den Pilzen gebildeten Sporen sind äusserst kälte- und zum Teil auch hitzeresistent.

Ein wichtiger Faktor für die Entwicklung von Schimmelpilzen und Bakterien ist die Verfügbarkeit von Wasser. Nicht der totale Wassergehalt des Substrates ist dabei entscheidend, sondern nur das für die Organismen verfügbare Wasser. Diese **Wasseraktivität** ($a_w = p_D/p_S$; p_D = Wasserdampfdruck im Substrat, p_S = Sättigungsdruck des reinen Wassers bei dieser Temperatur) ist demnach abhängig von der Temperatur, dem pH-Wert und der chemischen Zusammensetzung des Substrats [Reiss, 1986; Flannigan et al., 1996]. Die meisten Bakterien brauchen Wasseraktivitäten von mehr als 0.98 [Schlegel, 1992]. Das Optimum liegt für die meisten Schimmelpilze über 0.90 und nur sehr wenige wachsen schon bei a_w -Werten ab 0.65. Viele Sporen überleben lange Trockenperioden. (Experimente belegen, dass mit der Messung der relativen Luftfeuchtigkeit, der Oberflächenfeuchtigkeit und der Materialfeuchte, die Möglichkeit eines mikrobiellen Wachstums abgeschätzt werden kann [Senkpiel et al., 1994].)

Der optimale **pH-Bereich** des Substrats für Schimmelpilze liegt bei 4,5 - 6,5, also im leicht sauren Milieu. Die Extremwerte liegen bei pH2 und pH8. Bakterien bevorzugen im Allgemeinen leicht alkalische Bereiche, aber es gibt einige, die auch säuretolerant sind. Allerdings ist zu beachten, dass viele Organismen durch Ausscheidung von Stoffwechselprodukten den pH-Wert ihres Substrats verändern.

Schimmelpilze und die meisten Bakterien sind heterotroph, das heisst sie sind auf das Vorhandensein von **Kohlenstoffverbindungen** angewiesen. Besonders geeignet sind wasserlösliche Verbindungen geringer Molekülmasse. Ein Mangel an **Spurenelementen** (Zn, Fe, Cu, Mo, B, Mn etc.) führt zu verzögertem Wachstum und Abnormalitäten. Viele Organismen sind in der Lage, auch komplexe Baustoffe (Proteine, Lipide, Stärke, Zellulose, Lignin etc.) anzugreifen oder sogar abzubauen. In experimentellen Versuchen haben Kruppa et al. (1993) Beton als Substrat für Mikroorganismen getestet und festgestellt, dass ein Wachstum unter günstigen Bedingungen (hohe relative Luftfeuchtigkeit) möglich ist. Die von den Organismen ausgeschiedenen Säuren sind in der Lage, das carbonathaltige Material abzubauen. Die reinen Polymere in Kunststoffen sind sehr widerstandsfähig, viele Zusatzstoffe wie Weichmacher, Emulgatoren, Füllstoffe, können aber abgebaut werden. Dies kann zu einer Verminderung der Reiss-, Zug- und Biegefestigkeit der Kunststoffe führen. Die Staubablagerungen in den Erdregistern liefern Organismen weitere leicht verfügbare Nährstoffe und können eine Zerstörung der Rohrmaterialien fördern.

Laborversuche haben gezeigt, dass bereits kurze Zeiten mit günstigen Bedingungen bezüglich Temperatur und relativer Feuchtigkeit ausreichen, um Pilzsporen auskeimen zu lassen [Pasanen et al., 1991]. Andere Autoren schreiben, dass in der Praxis für das Wachstum von Mikroorganismen Temperatur und Luftfeuchtigkeit keine limitierenden Faktoren bedeuten, denn viele Organismen wachsen auch unter 10°C und bei trockener Luft, solange genügend Wasser auf der Substratoberfläche vorhanden ist [Pasanen et al., 1991]. Dies würde bedeuten, dass bei stehendem Wasser in den Rohren (Ansammlungen von Kondensat, Leckagen, Überschwemmungen) immer mit Pilz- und Bakterienwachstum gerechnet werden muss.

2.2.2 Quellen von mikrobiellen Verunreinigungen in Lüftungsanlagen

Viele Untersuchungen an Gebäuden mit den unterschiedlichsten Lüftungssystemen zeigten, dass in der Zuluft weniger Mikroorganismen als in der Aussenluft enthalten sind [z. Bsp. Pellikka, 1986]. Ist die Bakterien- oder die Pilzkonzentration jedoch höher als in der Aussenluft, ist dies ein Hinweis auf eine mikrobielle Kontamination der Lüftungsanlage.

Die Ursachen für erhöhte Konzentrationen der Mikroorganismen in der Zuluft können ungenügende Wartung oder Konstruktionsmängel der Lüftungsanlage (z.Bsp. schlechte Zugänglichkeit, Zuluftansaugstelle in der Nähe einer externen Bioaerosolquelle), Kontaminationen von Isolationsmaterialien, Kondensatbildung oder erhöhte Luftfeuchtigkeit sowie Wassereintrich sein [Morey, 1988]. Die Pilz- und Bakterienkonzentrationen in der Zuluft sind zudem abhängig vom Anlagentyp (Luftbefeuchtungssystem), der Effizienz der Filter und der relativen Luftfeuchtigkeit [Grillot et al., 1990]. Die Art und Konzentration der auftretenden Mikroorganismen ist abhängig von den verfügbaren Nährstoffen, dem pH, der Temperatur und der Verfügbarkeit von Wasser in der Lüftungsanlage [Ager et al., 1983].

Stehendes Kondenswasser ermöglicht die Vermehrung von Mikroorganismen. Die höchsten Konzentrationen von Bakterien in Kondensatbecken (vorwiegend gram-negative Stäbchen) wurden in einer Studie im Sommer gefunden, die höchsten Pilzkonzentrationen im November [Hung et al., 1995]. Das Abstellen der Anlage über Nacht führte zu höheren Temperaturen und Luftfechtigkeiten in den Rohren und verstärkte das mikrobielle Wachstum. Es wurde zudem eine gute Korrelation der Bioaerosolkonzentration in der Innenluft mit der Trockenheit des Zuluftstroms gefunden [Hung et al., 1995]. Heinemann et al. (1994) kamen in ihrer Arbeit zum Schluss, dass Organismen, die sich im Wasser vermehren, eine geringe Überlebenschance in trockener Luft haben. Eine regelmässige Zugabe von Desinfektionsmitteln zu einem Luftwäscher verhindert nur teilweise ein Keimwachstum und das Mittel kann oft in der Raumluft nachgewiesen werden. Die besten Ergebnisse wurden durch den Einbau von Ultraviolettlampen erreicht [Wanner et al., 1974].

Untersuchungen von Ahearn et al. (1992) zeigten, dass auch in einer neuen und gut gewarteten Lüftung Pilzwachstum auf kunststoffüberzogenen Isolationsmaterialien vorkommen kann. Die nachgewiesenen, xerophilen Pilze wurden aber in der Luft nur selten gefunden.

2.2.3 Bedeutung von Filteranlagen

Aufgrund ihrer Grösse werden Pilzsporen und Bakterien teilweise durch Filter zurückgehalten, sodass die Konzentrationen im Allgemeinen abnehmen [Pellikka et al., 1986; Wheeler, 1994]. Die gleichzeitig im Filter akkumulierten organischen Partikel können den Mikroorganismen jedoch auch als Nährstoffe dienen und ein Wachstum auf dem Filter fördern. Für das mikrobielle Wachstum ist die Verfügbarkeit von Wasser entscheidend, da die Temperaturabhängigkeit nur eine untergeordnete Rolle spielt, und in der Anlage in der Regel keine sehr tiefen Temperaturen erreicht werden [Martkainen et al., 1990]. Die Bakterienkonzentration korreliert stärker mit dem Wassergehalt eines Filters als die gemessenen Konzentrationen von Pilzkeimen, da diese oft in Sporenform über mehrere Wochen hinweg überleben können [Ohgke et al., 1993]. Hat ein Organismus einen Filter durchwachsen, können Mikroorganismen und Sporen in die Innenluft freigesetzt werden. Metabolite und gewisse Abbauprodukte können aber schon früher die Filter passieren und eine Gefährdung für die Bewohner darstellen [Martkainen et al., 1990; Pasanen et al., 1992].

In einem deutschen Krankenhaus mit zwei raumluftechnischen Anlagen wurden die Wirkung und die hygienische Bedeutung der Filteranlagen untersucht [Elixman, 1989]. Neben Luftproben, wurden auch Filterstücke und Filterstäube untersucht. Der Autor kam zu den folgenden Schlüssen: Das Vorkommen extramuraler Pilze, wie zum Beispiel *Cladosporium*, vor und hinter den Vorfiltern ist saisonalen Schwankungen unterworfen. Diese Pilze werden durch die Filter zurückgehalten und sind seltener in der Innenluft belüfteter Räume. Intramu-

rale Pilze, wie *Aspergillus* und *Penicillium*, zeigen keine saisonalen Schwankungen und werden durch die Filter nicht zurückgehalten. Bei Luftfeuchtigkeiten über 70% können diese Pilze keimen und durch die Filter hindurchwachsen. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen die wachsenden Pilzmyzelien in den Filtern. Hinter Feinfiltern kann eine höhere allergene Aktivität nachgewiesen werden als davor. Die lebenden und toten Pilzsporen stellen demnach ein Reservoir an Allergenen dar, die durch die starken Luftströme mitgerissen werden können.

Bandbreite der Keimkonzentrationen auf Filtern in elf öffentlichen Gebäuden [Martkainen et al., 1990]:

- Bakterien: $3 \cdot 10^3$ - $1.9 \cdot 10^5$ CFU/g Filtermaterial (Bacillus 42%, Pseudomonas 20%)
- Pilze: $7 \cdot 10^2$ - $2.5 \cdot 10^5$ CFU/g Filtermaterial (Cladosporium 47%, Penicillium 24%)

2.3 Technische Angaben zu Luftansaug-Erdregistern

2.3.1 Temperaturbereiche

An ausgewählten Beispielen soll die Bandbreite der möglichen Temperaturen der Luft und der Rohre aufgezeigt werden:

- Die Erdreichtemperatur um die Rohre beim untersuchten Gewerbehause Schwerzenbacherhof [Baumgartner et al., 1993] schwankt beim Luftansaug zwischen 5°C (Anfang Februar) und 22°C (Ende August). Die Austrittstemperatur der Luft ist nie unter 6°C gesunken und erreichte maximal 23°C im Sommer.
- Ein anderes Beispiel aus Deutschland [Trümper et al., 1992] zeigt im Sommer Lufttemperaturen am Ende des Erdregisters zwischen 12 und 16°C bei einer Aussenlufttemperatur bis 32°C. Im Winter wird die Luft von -16°C auf ca. 2°C aufgewärmt. Die Wandtemperaturen der Rohre gleichen sich entsprechend an, d.h. -13°C beim Lufteintritt am Rohranfang und 0 bis 2°C am Ende im Winter, entsprechend höhere Werte mit abnehmender Tendenz gegen Rohrende im Sommer.
- Eine einjährige Messkampagne des Technikums Winterthur in der Erdregisteranlage MFH Hausacker gelangte zu folgenden Resultaten: Die Tagesmittelwerte der Lufttemperaturen am Ende eines Erdregisterrohres lagen den Sommer über 20°C. Bis Ende Oktober lagen die Werte noch um 15°C und erst Anfang Dezember sanken die Temperaturen unter 5°C, blieben jedoch den ganzen Winter über dem Gefrierpunkt. Ab März stiegen die Temperaturen wieder auf durchschnittlich 5°C und erreichten ab Ende Mai auch wieder über 15°C.

Für ein Bakterienwachstum liegen die Temperaturen ausserhalb der Sommermonate etwas zu tief. Für Pilze, die bereits unter 20°C gut wachsen können, liegen die Temperaturen abgesehen von einigen Monaten im Winter immer in einem günstigen Bereich. Besonders mit einem Wachstum kälteliebender *Penicillium*-Arten in den Rohren muss gerechnet werden.

2.3.2 Luft- und Oberflächenfeuchtigkeit in den Rohren

Die meisten Publikationen erwähnen, dass insbesondere im Sommer, wenn die Aussenluft relativ feucht ist und die Temperatur im Erdregister unter den Taupunkt sinkt, Kondenswasser gebildet wird. Genaue Messwerte sind nicht publiziert. Alle Anlagen sind aus diesem Grund mit einem Gefälle angelegt worden. Unebenheiten oder ungleiches Absenken der Rohre nach dem Bau, insbesondere wenn der Boden zuwenig verdichtet wurde, können jedoch zu stehendem Wasser in den Rohren führen. In gerippten Rohren kann trotz Gefälle ein Ansammeln von kleinen Wassermengen nicht verhindert werden.

Detaillierte Informationen über die Luftfechtigkeiten liegen aus der Messkampagne des Technikums Winterthur im MFH Hausäcker vor. Die Werte wurden unter dem Gesichtspunkt betrachtet, dass in Experimenten nachgewiesen werden konnte, dass bereits bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70% für Pilze (90% für Bakterien) innerhalb von drei Tagen eine Vermehrung erfolgen kann [Kruppa et al., 1993]. In der Zeit von April bis November lag das Tagesmittel an mindestens der Hälfte aller Tage über 70% relativer Luftfeuchtigkeit. Auch wenn in den Monaten Dezember, Februar und März an jeweils 20 Tagen die Luftfeuchtigkeit im Rohr im Durchschnitt unter 70% lag, so gab es doch auch sehr feuchte Perioden im Winter. Zum Beispiel zwischen dem 23. und dem 25. Dezember 1995 lagen die durchschnittlichen Luftfechtigkeiten im Rohr über 90%. Während des Messjahres lagen die Tagesmittelwerte insgesamt aber nur an 30 Tagen über 90% (keine Messungen im September). Die Tagesmaximalwerte liegen im Sommer, Herbst und Frühling meist zwischen 80% und 100%.

Aufgrund dieser Zahlen kann ausgesagt werden, dass insbesondere in den Sommer- und Übergangsmonaten ein mikrobielles Wachstum aufgrund der hohen relativen Luftfeuchtigkeit möglich ist und erwartet werden muss. Mit einem Wachstum von Aspergillus-Arten, welche schon bei tiefer Feuchtigkeit wachsen können, muss beinahe ganzjährig gerechnet werden.

Die Kondensatbildung, die ungefähren Temperaturen und die daraus folgenden günstigen Bedingungen für Mikroorganismen waren bereits bekannt und gaben unter anderem den Anstoss für diese Untersuchungen.

2.3.3 Nährstoffe

Zwei Nährstoffquellen bieten sich für Mikroorganismen in den Erdregisterrohren an. Einerseits die sichtbaren organischen Staubablagerungen, die mit den Organismen in die Rohre gelangen. Untersuchungen in anderen Lüftungsanlagen haben gezeigt, dass diese Substrate für Mikroorganismen darstellen können [Pasanen et al., 1992; Luoma et al., 1993]. Andererseits können Baumaterialien (Rohre und Isolation) selbst angegriffen und zum Teil sogar abgebaut werden [Bolsaitis et al., 1993; Senkpiel et al., 1994].

2.4 Bisherige mikrobiologische Untersuchungen in Luftansaug-Erdregistern

Viele technische Arbeiten über Luftansaug-Erdregister sprechen die hygienische Problematik an. Bisher wurde aber nur eine Arbeit über die mikrobiellen Verunreinigungen in Luftansaug-Erdregistern durchgeführt und publiziert. Die Resultate dieser Studie liegen als Dissertation von Thora Schneiders, 1994: „Zur hygienischen Luftqualität bei der Konditionierung der Zuluft mittels Erdwärmetauscher“ vor und soll hier kurz zusammengefasst werden:

Im süddeutschen Raum wurden im Juli 1991 und im April 1992 lufthygienische Untersuchungen bei Gebäuden mit Erdwärmetauscher durchgeführt. Untersucht wurden zwei mechanisch belüftete Einfamilienhäuser mit vorgeschaltetem Erdwärmetauscher, ein EFH mit mechanischer Lüftung und Sonnenkollektor und ein EFH mit konventioneller Fensterlüf-

tung. Bestimmt wurden jeweils die Keimkonzentrationen in der Aussenluft, Zuluft, Raumluft und Abluft. Nur in der Zuluft wurde eine Differenzierung der Keime vorgenommen.

Die Autorin kommt in ihrer Arbeit zum Schluss, dass beim augenblicklichen Betriebszustand der Anlagen, eine Anreicherung von Mikroorganismen in der Zuluft nicht festzustellen ist. Sie macht jedoch Empfehlungen zur Gestaltung des Ansaugstutzen, zur Häufigkeit des Filterwechsels und sie empfiehlt periodische hygienische Kontrollen.

Der Unterschied zu der hier vorliegenden Arbeit liegt darin, dass nur ein Bautyp von Erdregisteranlage (EFH mit in der Baugrube verlegtem Kunststoffrohr) untersucht wurden. Ebenso wurde keine Messung direkt nach dem Erdregister, das heisst bevor die Zuluft gefiltert wird, durchgeführt.

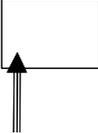
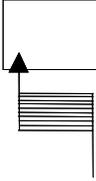
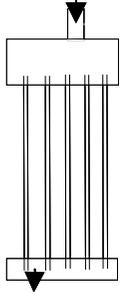
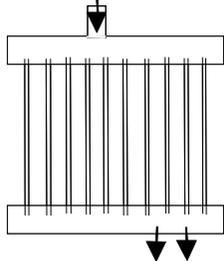
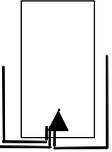
3 Beschreibung der untersuchten Luftansaug-Erdregistern

Aus energetischen Gründen werden Gebäude immer besser gedämmt. Dass dabei oft auch der natürliche Luftwechsel stark herabgesetzt wird, ist eine Begleiterscheinung, die dazu führt, dass in manchen Fällen eine mechanische Lüftung notwendig ist, um eine gute Raumluftqualität sicherzustellen. Solche mechanischen Lüftungen werden aus energetischen Gründen meist mit einer Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Die Zuluft kann noch zusätzlich vorkonditioniert werden, wenn sie über ein Luftansaug-Erdregister angesaugt wird. Dabei wird die Aussenluft über ein mehrere Meter langes Rohr oder über eine Vielzahl von Rohren dem Wärmetauscher der Lüftungsanlage zugeführt. Die Rohre sind in den untersuchten Anlagen unter dem Gebäude, entlang der Baugrube oder vom Gebäude entfernt im Erdreich ungefähr 1.5 Meter tief verlegt worden. Die Luft wird im Boden vorgewärmt, respektive im Sommer gekühlt. Da es bei der Kühlung zu Unterschreitungen des Taupunktes kommen kann, werden alle Erdregister mit einem Gefälle (ca. 2 %) verlegt, damit anfallendes Kondenswasser abfließen kann.

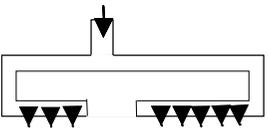
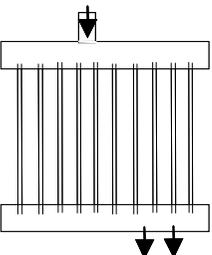
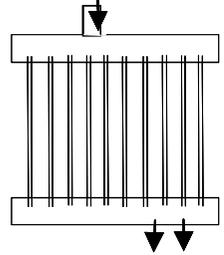
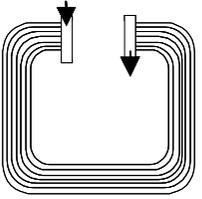
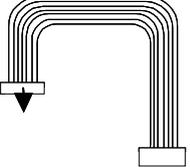
Die angesaugte Luft wird über einen Filter geleitet bevor sie in den Plattenwärmetauscher fliesst. Hier wird die kältere Aussenluft an der abgesaugten Raumluft vorbeigeleitet. Die abgekühlte Fortluft wird anschliessend, meist übers Dach, ins Freie ausgeblasen. Die aufgewärmte Zuluft gelangt via Rohrsysteme in die einzelnen Räume und wird dort entweder auf Bodenhöhe oder im Bereich der Decke einige Grad Celsius unter der Raumlufttemperatur eingeblasen.

Insgesamt wurden **12 Erdregister-Anlagen** untersucht: vier Anlagen bei Einfamilienhäusern, zwei bei Mehrfamilienhäusern, sechs bei Gebäuden mit diverser Nutzung (Schulhaus, Bürogebäude, Lebensmittelladen, Restaurant). Drei der Anlagen sind mit Zementrohren, acht mit Kunststoffrohren ausgerüstet. Die *Tabellen 2 und 3* vermittelt eine Übersicht über die ausgewählten Anlagen.

Die Anlage des EFH Konrad saugt die Luft über die Sickerleitung an. Wegen möglichen Radonbelastungen werden heute keine für die Bodenluft offenen Anlagen mehr gebaut. Da aber vereinzelt immer noch solche Anlagen in Betrieb sind, wurde dieses Gebäude zusätzlich ins Messkonzept einbezogen.

Objekt	EFH Konrad	EFH Fraefel	EFH Kriesi	EFH Kurt	Schulhaus Steinmaur	Bürohaus Stahlrain	MFH Hausäcker
Gemeinde	Grünigen	Grünigen	Wädenswil	Wettswil	Steinmaur	Brugg	Winterthur
Fertigstellung	1989	1995	1990	1994	1990	1993	1994
Luftmenge [m3/h]	120	200	240	195	3500	2 * 4'000 bis 8'000	855 (800)
v [m/s]	1.9	0.2	0.9	-	3.5	1-2	1.23
Anteil Umluft	0	0	0	0	0	0	0
Anzahl Rohre	1	12	15	2 9	5	20	4
Rohrlängen (m)	18	22	ca. 10	7 8	33	20	28
Durchmesser (cm)	15	10	8	25 10	30	40	25
Rohrmaterial	Sickerleitung	PVC-Kunststoff	PVC-Kunststoff	PE-Kunststoff	Zement	Zement	PE-Kunststoff
Oberfläche der Rohre	glattwandig	gerippt	gerippt	glattwandig	rauh	rauh	glattwandig
Filterqualität	Grobstaub	Grobstaub	Grobstaub	Grobstaub	F6	F6	F5 + F9
Betriebszeiten	ganzjährig	ganzjährig	H/W/F	H/W/F	während Schulbetrieb	W/S	ganzjährig
Schema Erdregister							

Tab. 2: Anlagendaten aller untersuchten Luftansaug-Erdregister

Objekt	MFH Niederholzboden	Gewerbehau Schwerzenbacherhof	Restaurant Adliswil	Migros Frick	Migros Schönenwerd
Gemeinde	Riehen	Schwerzenbach	Adliswil	Frick	Schönenwerd
Fertigstellung	1994	1989/90	1993	1983	1986
Luftmenge [m3/h]	2000 / 2800	12000-17150	8500	26'600	2'500-15'500
v [m/s]	1.11 / 1.55	-	1.9	8	-
Anteil Umluft	0	0	0	0.75	0
Anzahl Rohre	1	43	30	7	14
Rohrlängen (m)	77-141	23	-	130	70
Durchmesser (cm)	80	25	25	40	30
Rohrmaterial	Zement (Betonschächte)	HDPE-Kunststoff Betonschacht	HDPE-Kunststoff Betonschacht	Kunststoff	Kunststoff
Oberfläche der Rohre	rauh	glattwandig	glattwandig	glattwandig	glattwandig
Filterqualität	Grobstaub	F	F	F6	F
Betriebszeiten	H/W/F, teilw. S	W/S	H/W/F	ganzjährig	ganzjährig
Schema Erdregister					

Tab. 2: Anlagendaten aller untersuchten Luftsaug-Erdregister, Fortsetzung

Beschreibung der untersuchten Erdregister

4 Material und Methoden

4.1 Luftkeimzahlbestimmungen

4.1.1 Luftkeimsammelgeräte

Für die Probenahme standen zu Beginn zwei Slit-Sampler-Modelle zur Verfügung. Beide Geräte wurden von der Firma C.F. Casella in London hergestellt und beruhen auf dem Prinzip der Impaktion (siehe *Abbildung 4*). Die Luft wird dabei durch einen schmalen Schlitz (0,3 x 28 mm) angesaugt und mit grosser Geschwindigkeit auf eine rotierende Nährbodenplatte (Durchmesser 90 mm, Abstand zum Schlitz 2 mm) aufgeblasen [Wanner et al., 1969; Russenberger, 1973]. Beim Auftreffen auf die Agaroberfläche wird der Luftstrom stark zur Seite umgelenkt. Teilchen mit einer bestimmten kinetischen Energie bewegen sich dabei aufgrund ihrer Trägheit geradlinig weiter und bleiben auf der Agaroberfläche haften. Bei einem konstanten Unterdruck werden bei diesen Geräten pro Minute 30 Liter Luft durchgesaugt. Um eine durchschnittliche Zahl von 50 bis 100 Kolonien pro Platte zu erhalten, wurde eine Probenahmedauer von 5 Minuten gewählt. Bei einer Probenahme dreht sich die Platte in 5 Minuten um 360° und 150 Liter Luft werden gleichmässig auf die Platte aufgeblasen.

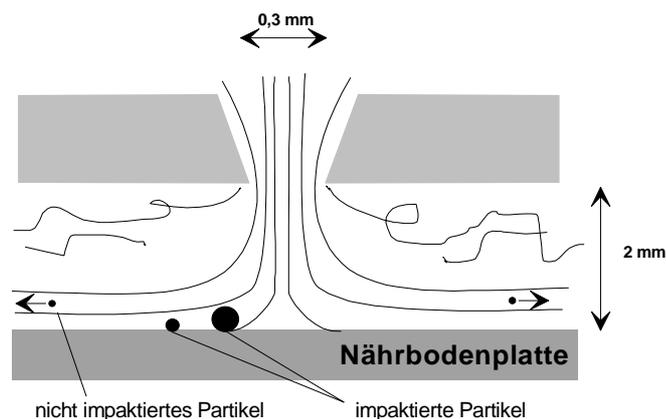


Abb. 4: Impaktionsprinzip. Die Luft wird durch einen schmalen Schlitz angesaugt. Beim Auftreffen auf die Agaroberfläche wird der Luftstrom stark zur Seite umgelenkt. Teilchen mit einer bestimmten kinetischen Energie bewegen sich dabei aufgrund ihrer Trägheit geradlinig weiter und bleiben auf der Agaroberfläche haften.

Die Untersuchungen wurden ergänzt mit zwei neuen Luftkeimsammelgeräten, die ebenfalls nach dem Prinzip der Impaktion funktionieren und gegenüber den alten Geräten vergleichbare Resultate liefern. Eine neuere Version eines Slit-Samplers stellt das Gerät FH2 der Firma Loreco Reckert GmbH dar (50 L/min). Beim zweiten Gerät handelt es sich um ein MAS-100 Luftkeimsammler der Firma MBV in Stäfa, das 100 Liter Luft /min durch 400 kleine Löcher ansaugt. Die mit diesem Gerät erhaltenen Keimzahlen müssen mit einer „positive hole correction“-Tabelle korrigiert werden. Diese Korrektur beruht auf der Annahme, dass mit zunehmender Keimkonzentration die Wahrscheinlichkeit abnimmt, dass ein Keim durch ein noch nicht benutztes Loch angesaugt wird.

4.1.2 Nährmedien

Der Nährboden sollte universell sein, das heisst er sollte möglichst vielen Mikroorganismen ein Wachstum erlauben. In Vorversuchen haben sich Malzextraktagar (MEA) für Pilze und Trypticase Soja Agar (TSA) für Bakterien als am geeignetsten erwiesen. Den TSA Platten wurde zusätzlich ein Fungizid (Cycloheximid, Markenname Actidion, Firma Merck) zugegeben, um das Überwachsen der Bakterienkolonien durch schneller wachsende Pilze zu verhindern. Zusätze für die Pilzplatten waren nicht notwendig, da einzelne Bakterienkolonien die Auswertungen nicht störten.

Die verwendeten Medien setzten sich folgendermassen zusammen (Mengenangaben für 1 Liter Medium):

Malzextrakt-Agar	Trypticase®-Soja-Agar mit Fungizid
30 g Malzextrakt	15 g Caseinverdau
5 g Pepton	5 g Sojabohnenmehl
16 g Agar	5 g NaCl
	15 g Agar
	10 mg Cycloheximid (Actidion)

Tab. 3: Zusammensetzung für Malzextrakt- und Trypticase-Soja-Agar

4.1.3 Durchführung der Probenahme

In jeder Anlage wurden jeweils zwei Messdurchgänge durchgeführt; am Morgen früh und über Mittag. Pro Messort und Messung wurden 10 Proben à 150 Liter Luft genommen - je fünf für den Nachweis von Pilzen und Bakterien. Bei allen Anlagen wurde an folgenden Standorten Luftproben gesammelt (vgl. *Abbildungen 5 bis 10*):

- in der **Aussenluft** möglichst nahe der Ansaugstelle

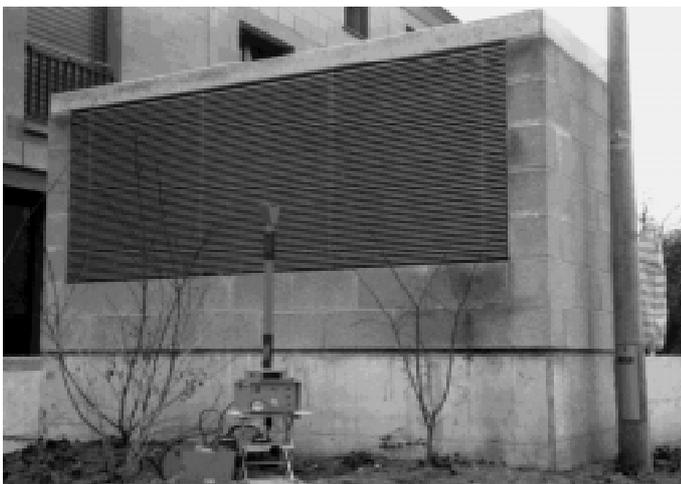


Abb. 5 (oben): Messung vor der Ansaugöffnung der Erdregisteranlage Restaurant Adliswil



Abb. 6 (rechts): Messung vor der Ansaugöffnung der Erdregisteranlage MFH Niederholzboden, Riehen

- in der **Erdregisterluft** vor den Filtern und vor dem Wärmetauscher. Gemessen wurde meist durch ein Bohrloch im Kanalmantel und mit einer Schlauchverbindung zum Luftkeimsammler. Bei einigen Anlagen wurden zudem im begehbaren Sammelkanal Proben entnommen

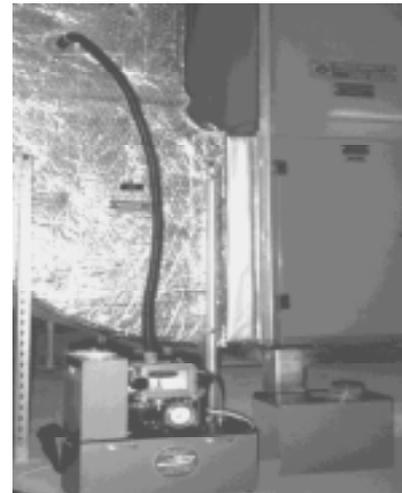


Abb. 7: Probenahme in der Erdregisterluft mit einer Schlauchverbindung zum Slit-Sampler

- in der **Zuluft** direkt vor einer Eintrittsstelle in einen Raum

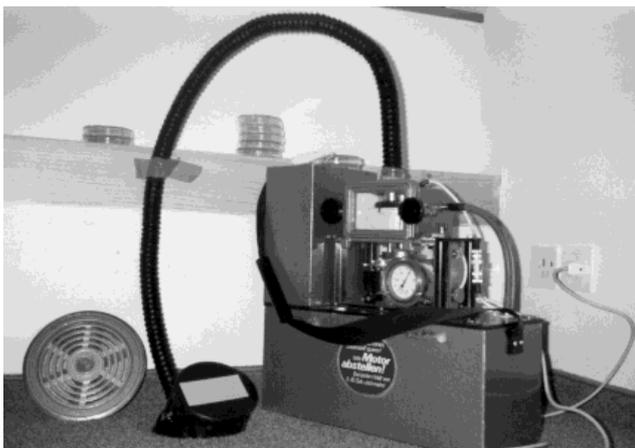


Abb. 8: Probenahme mit Slit-Sampler in der Zuluft im EFH Kurt. Die Zuluft wird durch Öffnungen im Boden ausgeblasen. Mit einem Schlauch wurde die Zuluft möglichst nahe der Ausblasstelle genommen.

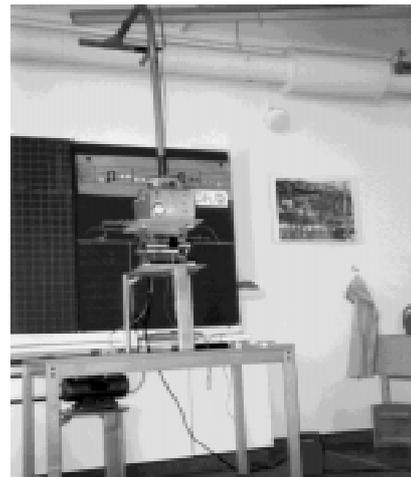


Abb. 9: Probenahme in der Zuluft des Schulhaus Steinmaur. Mit einem Rohr wird der Slit-Sampler mit der Ausblasöffnung im Deckenbereich verbunden.

- bei einigen Anlagen wurden zudem in der **Raumluft** Proben entnommen

Die Probenahme in der Aussenluft erfolgte möglichst zeitgleich zur Messung vor dem Wärmetauscher, damit tageszeitliche Schwankungen die Resultate nicht unterschiedlich beeinflussen konnten. Danach erfolgte die Messung in der Zuluft und gelegentlich in der Raumluft.

Gleichzeitig zu den Luftkeimsammlungen wurden überall auch **Temperatur** und **Luftfeuchtigkeit** gemessen. Verwendet wurde ein Hygroskop DV-2 Präzisionsgerät mit einem YA-100 Luftfühler.

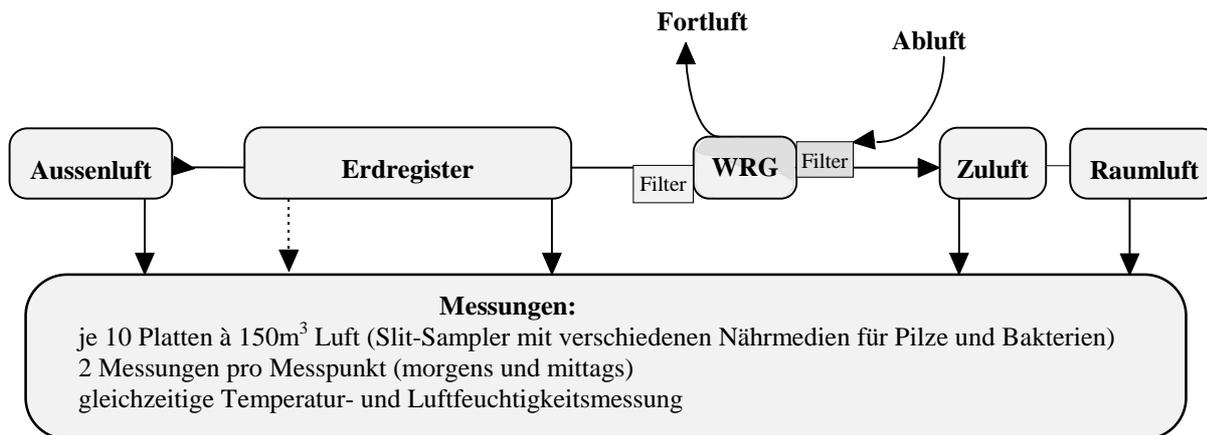


Abb. 10: Probenahmestellen und die verwendeten Methoden. WRG=Wärmerückgewinnung (kein Kontakt Abluft/Zuluft)

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt zwölf bestehende Erdregister-Anlagen untersucht (vgl. Kapitel 3). Diese Untersuchungen sollten in einer **Querschnittstudie** aufzeigen, ob es in Anlagen, die sich bezüglich Konstruktionsweise und Alter möglichst unterscheiden, zu mikrobiologischen Kontaminationen gekommen ist. In neun von diesen Anlagen wurde deshalb nur einmal, in einigen Fällen als Kontrolle auch zweimal, Proben entnommen.

Um auch die jahreszeitlichen Einflüsse zu erfassen, wurden drei Anlagen zu jeder Jahreszeit einmal untersucht (**Langzeitstudie**). Ausgewählt wurden ein Einfamilienhaus (EFH Kurt) und je eine grosse Anlage mit Zement- (Schulhaus Steinmaur) bzw. Kunststoffrohren (MFH Hausäcker), welche ganzjährig in Betrieb sind und in regelmässigen Abständen besucht werden konnten.

Einen Überblick über die zeitliche Verteilung der einzelnen Messungen in den zwölf untersuchten Anlagen gibt *Tabelle 4*:

Erdregister-Anlage	Dez	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt
Querschnitt											
EFH Fraefel, Grüningen			■								■
EFH Konrad, Grüningen			■								
EFH Kriesi, Wädenswil	■										■
Migros Frick											■
Migros Schönenwerd											■
Schwerzenbacherhof, Schwerzenbach	■										
MFH Niederholzboden, Riehen							■				
Restaurant Adliswil				■							
Bürohaus Stahlrain, Brugg				■			(■)				■
Langzeit											
EFH Kurt, Wettswil			■			■			■		■
Schulhaus Steinmaur			■			■			■		■
MFH Hausäcker, Winterthur			■			■			■		■

Tab. 4: Übersicht über die untersuchten Anlagen und die Verteilungen der Messungen übers Jahr (1995/96). (■) Stichprobe ohne vollständiges Messprogramm.

4.1.4 Inkubation

Die meisten Bakterien, die in der Luft erwartet werden, haben eine optimale Wachstumstemperatur im mesophilen Bereich (25-35°C). Pilze sind bei niederen Temperaturen häufiger nachweisbar [van der Zander, 1988]. Im Rahmen dieser Arbeit wurden deshalb die Platten zum Nachweis der Bakterien im Brutschrank bei 30°C inkubiert, die Pilze liess man im Labor bei Raumtemperatur und Tageslicht anwachsen.

Für die Inkubation wurde eine Dauer von vier Tagen gewählt. Nach dieser Zeit konnten auch die Kolonien langsam wachsender Keime erkannt werden, und es traten noch keine gegenseitige Überwachsungen auf.

4.1.5 Identifizierung der Bakterienkolonien

Die grosse Zahl gesammelter Keime auf jeder einzelnen Nährbodenplatte wurde vorgängig zur Bestimmung in Gruppen eingeteilt. Die Gruppen wurden aufgrund von makroskopischen Merkmalen der Kolonien, wie Farbe und Durchsichtigkeit, Wachstumsform (bauchig, flach, etc.), Konsistenz (schleimig, trocken, auf Unterlage haftend) und Oberfläche gebildet [van der Zander, 1988]. Von jeder Gruppe wurde ein Vertreter auf eine TSA-Platte mit einem 50-Felderraster überimpft und während 24 Stunden bei 30°C inkubiert. Anschliessend wurde eine Gram-Bestimmung durchgeführt, indem die gesamte Platte auf eine MacConkey Agarplatte gestempelt wurde, auf welcher nur gram-negative Keime wachsen können. Als Kontrolle wurde auch ein Stempel auf eine TSA-Platte appliziert, um festzustellen, ob eine Kolonie durch den Stempelvorgang verloren ging. Die Platten wurden anschliessend wieder 24 Stunden lang bei 30°C inkubiert. Die MacConkey Agarplatten wurden nach einer ersten Beurteilung jeweils noch länger inkubiert, um auch langsam wachsende gram-negative Kolonien eindeutig als solche erkennen zu können. Mit den Kolonien auf den gestempelten TSA-Platten wurde die mikroskopische Einteilung in Kokken und Stäbchen vorgenommen (vgl. *Abbildung 11*).

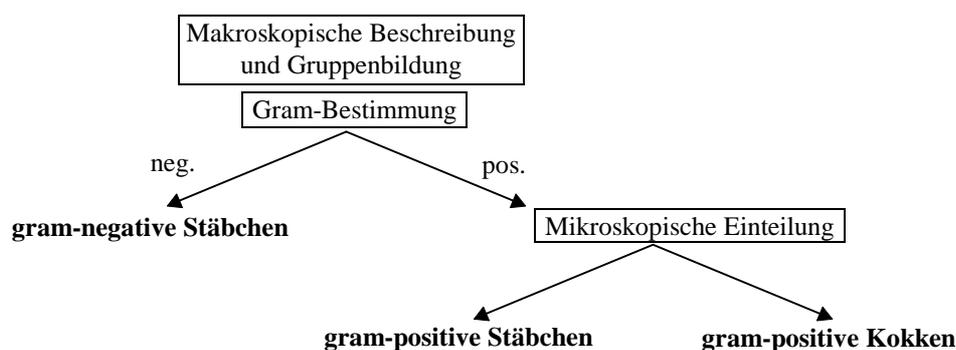


Abb. 11: Schritte zur Identifizierung der Bakterienkeime. Zu Beginn werden die Kolonien aufgrund ihres Erscheinungsbilds in Gruppen eingeteilt. Das Aussehen wird anhand einer Kodieranleitung beschrieben und protokolliert. Von jeder Gruppe wird ein Vertreter ausgewählt und eine Gram-Bestimmung durchgeführt. Gram-positive Bakterien werden unter dem Mikroskop in Kokken und Stäbchen eingeteilt.

4.1.6 Identifizierung der Pilzkolonien

Die Identifizierung der Pilze beruhte auf rein makro- und mikroskopischen Untersuchungen nach morphologischen Kriterien. Wichtigste Merkmale waren dabei Koloniefarbe und -beschaffenheit, sowie Sporen- und Hyphenform. Als Hilfsmittel dienten verschiedene Bestimmungsbücher für Pilze [Ellis, 1971; von Arx, 1974; Nilsson, 1983; Bernett et al., 1987].

4.2 Bestimmung des Keimgehalts auf Oberflächen und in Stäuben

Mit selbstangefertigten und kommerziell erhältlichen Abklatschplatten wurden Bestimmungen des **Keimgehalts auf Oberflächen** durchgeführt. Mit Nährmedium randvoll gefüllte Rodac-Platten wurden 10 Sekunden lang auf die Rohrinnenseite und die Schachtböden verschiedener Erdregisteranlagen gedrückt. Die Platten und die darauf haftengebliebenen Keime wurden bebrütet und anschliessend ausgewertet.

Da sehr kleine Rohrdurchmesser einen Abklatsch erschweren, wurden ebenfalls flexible Abklatschplatten der Firma Biotest verwendet.

In einigen Erdregisteranlagen wurde **Staub** gesammelt und im Labor in physiologischer Kochsalzlösung suspendiert. Es wurden Verdünnungsreihen hergestellt und jeweils 1ml Lösung ausplattiert (TSA- und MEA-Nährböden). Die Platten wurden vier Tage bei 30°C für Bakterien, respektive Raumtemperatur für Pilze, bis zur Auszählung der Kolonien inkubiert.

Von einer Anlage wurde ein **Zuluftfilter** im Labor in 6 cm² grosse Stücke geschnitten und während einer Stunde in jeweils 0,5 Liter physiologischer Kochsalzlösung geschüttelt. Von den Lösungen wurden Verdünnungsreihen hergestellt und jeweils 1 ml Lösung analog den Staubproben ausplattiert, inkubiert und ausgezählt.

5 Resultate

5.1 Gesamtkeimzahlen

Die Gesamtkeimzahlen aller untersuchten Anlagen sind in den *Abbildungen 12 bis 20* dargestellt.

Gesamthaft hat sich gezeigt, dass die Keimkonzentrationen vor den Ansaugstellen im Rahmen der üblicherweise in der Aussenluft festgestellten Keimzahlen für die jeweiligen Jahreszeiten lagen und durch die lokalen Witterungs- und Umgebungsfaktoren beeinflusst werden. Am Ende des Erdregisters haben die Konzentrationen der Luftkeime im Allgemeinen bereits abgenommen. Die Resultate der einzelnen Erdregisteranlagen zeigen, dass die deutlichsten Abnahmen in den grösseren Bauten (Schulhaus Steinmaur, Restaurant Adliswil, Bürogebäude Stahlrain, MFH Hausäcker, Gewerbehaus Schwerzenbacherhof) auftraten. In den Erdregisteranlagen der Einfamilienhäuser waren die Abnahmen der Keimkonzentrationen geringer und in einzelnen Fällen wurden sogar höhere Konzentrationen vor dem Wärmetauscher gemessen.

Die tiefsten Keimkonzentrationen wurden bei den Einblasstellen in die Räume festgestellt. Die Keimzahlen wurden somit durch die eingebauten Filter deutlich reduziert. Die relativ grossen Pilzsporen, aber auch die Bakterien, die meist an Partikeln haften, werden in den Filtermatten zurückgehalten.

5.1.1 Wintermessung

Die Pilzkonzentrationen in der Aussenluft der neun Anlagen schwankten im **Winter** parallel zu den Gesamtkeimzahlen für Bakterien, jedoch in geringerem Ausmass (vgl. *Abbildungen 12 und 13*). Die Pilzkonzentrationen lagen im Bereich zwischen 90 und 170 CFU/m³.

Die Bakterienkonzentrationen in der Aussenluft schwankten zwischen 20 und 180 Keime pro Kubikmeter (vgl. *Abbildung 13*). Wichtige Einflussgrössen sind neben der Gestaltung der Umgebung und der Anzahl in der Nähe vorbeikommender Personen auch die Witterungsverhältnisse. So wurden am wenigsten Keime an einem Wintertag mit Schneefall (EFH Kurt) gefunden. An Tagen mit morgendlichem Bodennebel wurden tendenziell höhere Bakterienkonzentrationen gemessen (Bürogebäude Stahlrain, Schulhaus Steinmaur).

In den fünf grösseren Bauten sank die Konzentration der Bakterien vor dem Wärmetauscher auf ca. 15 bis 50% im Vergleich zur Aussenluft. Die Pilzkonzentrationen nahmen auf 40 bis 70% ab. In der Zuluft reduzierten sich die Konzentrationen für Bakterien und Pilze meist über 90% gegenüber den gleichzeitig gemessenen Aussenluftwerten.

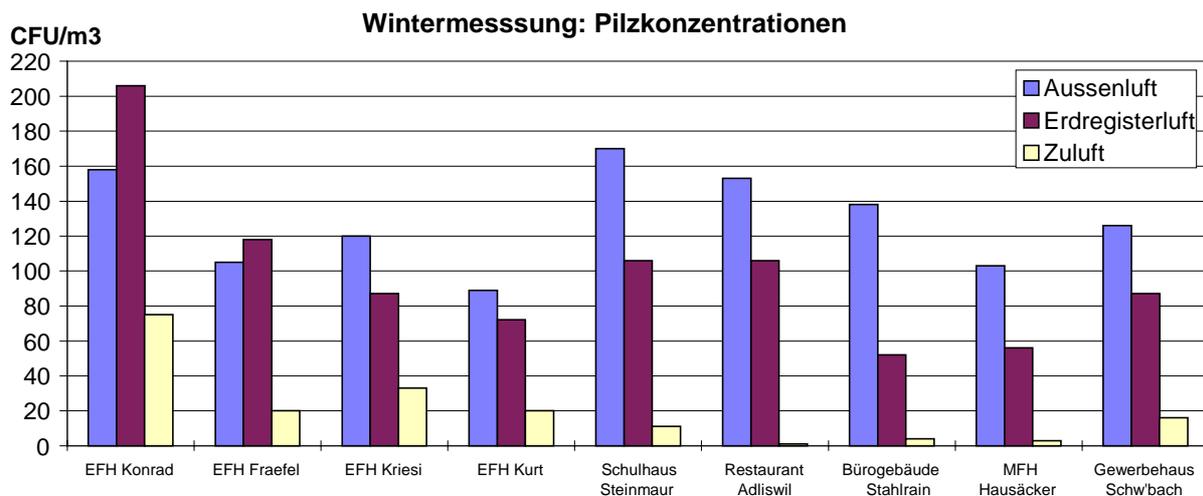


Abb. 12: Gesamtkeimzahlen für Pilze in der Aussen-, Erdregister- und Zuluft der neun im Winter untersuchten Luftsaug-Erdregister. (CFU=colony forming units, keimbildende Einheit)

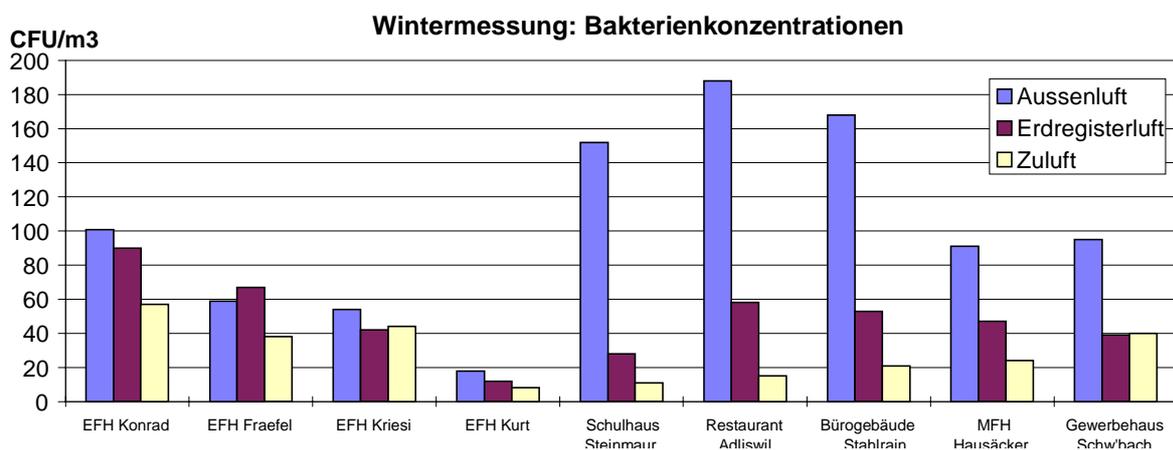


Abb. 13: Gesamtkeimzahlen für Bakterien im Winter

In den Einfamilienhäusern lagen die Konzentrationen für Bakterien und Pilzsporen am Ende des Erdregisters bis zu einem Drittel tiefer als in der Aussenluft. Nur in einer Anlage lag die Konzentration der Bakterien und Pilze, und einer anderen die Pilzkonzentrationen nach dem Erdregister höher als vor der Ansaugöffnung (für die Erklärung vgl. 5.2 Identifizierung der Pilz- und Bakterienkeime). Besonders auffallend ist die grosse Zunahme der Pilzkonzentration in der Anlage EFH Konrad. Da hier die Zuluft durch die Sickerleitung angesogen wird, konnte die Aussenluft nicht wie bei den anderen Anlagen unmittelbar vor der Ansaugstelle untersucht werden. Die Konzentrationen in der Aussenluft können um das Gebäude herum grossen Schwankungen ausgesetzt sein. Zudem ist es wahrscheinlich, dass Sporen aus dem Boden mit der Luft in die Zuluftrohre gelangen. Die grosse Zunahme muss daher noch nicht bedeuten, dass die Schimmelpilze in den Rohren wachsen. Im Boden selbst ist mit einem grossen Schimmelpilzwachstum besonders in den warmen Monaten zu rechnen.

Die Zuluft enthielt bei allen EFH im Schnitt nur noch 60% der Bakterien- und 30% der Pilzkonzentrationen der Aussenluft. Die Pilzsporen werden demnach bei diesen Anlagen, die meist nur mit einem Grobstaubfilter ausgerüstet sind, deutlich besser zurückgehalten als die Bakterien.

5.1.2 Frühlingsmessung

Im **Frühling** lagen die Bakterien- und Pilzkonzentrationen in der Aussenluft deutlich höher als in der Wintermessung und erreichten Werte zwischen 100 und 300 CFU/m³ für Bakterien und 200 bis sogar über 700 CFU/m³ für Pilze (vgl. *Abbildung 14*). Im Garten des EFH Kurt wurde eine siebenfache Konzentration der Pilzsporen und eine fünffache Steigerung der Bakterienkonzentration gegenüber der Wintermessung nachgewiesen. Aber auch vor dem Ansaug des MFH Hausäcker wurde bereits die dreifache Bakterien- und Pilzkonzentration gemessen. Die Zunahme der Pilzsporen in der Luft ist mit der beginnenden Vegetationsphase zu erklären. Die Bakterienkeime dürften einerseits von den nun vermehrt im Freien anzutreffenden Personen stammen oder andererseits könnten es Bodenbakterien sein, die partikelgebunden durch Luftbewegungen in die Atmosphäre gelangen.

Die Abnahme im Erdregister und die weitere Reduktion bis zur Ausblasstelle in die Zimmer (Zuluft) ist auch hier sichtbar. Im EFH Kurt ist die Pilzkonzentration vor dem Wärmetauscher leicht höher als in der Aussenluft, in der Zuluft sind jedoch nicht einmal mehr die Hälfte der Pilzsporen enthalten. Die Bakterienkonzentration betrug sogar nur noch ein Fünftel der Bakterienkeime in der Aussenluft. Die Zuluft im Schulhaus Steinmaur und im MFH Hausäcker enthält nur noch 2-7% der entsprechenden Aussenluftkonzentration. Eine geringere Filterwirkung erfolgte in der Anlage MFH Niederholzboden. Hier sind noch 28% der Bakterien und 35% der Pilze aus der Aussenluft in der Zuluft enthalten.

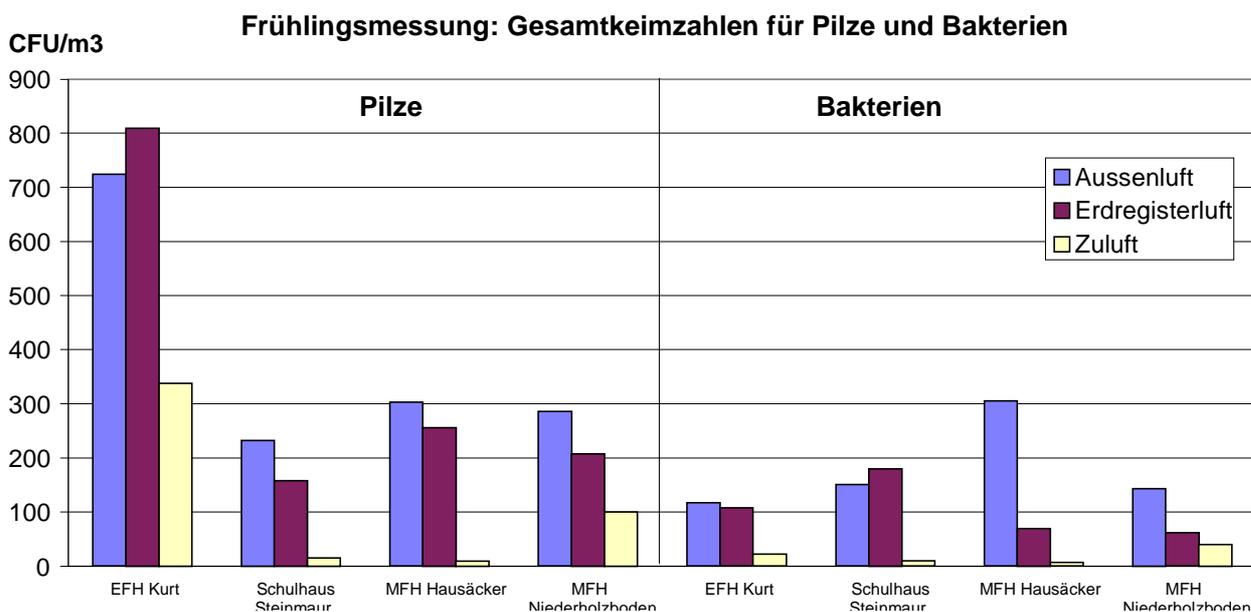


Abb. 14: Pilz- und Bakterienkonzentrationen im Frühling

Im Bürogebäude Stahlrain wurde nach der Betriebspause im Frühling unmittelbar nach der Wiederaufnahme der Erdregisternutzung an den ersten heissen Sommertagen eine zusätzliche Messung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass auch nach einem Stillstand die Gesamtkeimkonzentrationen in der Erdregisterluft nicht höher lagen, als zu den übrigen Messzeitpunkten.

5.1.3 Sommermessung

Die Gesamtkeimzahlen für Pilzsporen (vgl. *Abbildung 15*) erreichten in der Aussenluft im **Sommer** entsprechend den Erwartungen sehr hohe Werte. Bis auf eine Ausnahme wurde an allen Standorten Pilzkonzentrationen zwischen 500 und 1500 CFU/m³ gefunden. Vor der Ansaugstelle des Einfamilienhauses Fraefel lag die Pilzkonzentration bei 3300 CFU/m³, aber auch die Bakterienkonzentrationen waren mit über 250 CFU/m³ äusserst hoch im Vergleich zu den übrigen Anlagen, bei welchen sie in der Aussenluft in einem Bereich um die 50 bis 100 CFU/m³ lagen (vgl. *Abbildung 16*).

Sommernessung: Pilzkonzentrationen

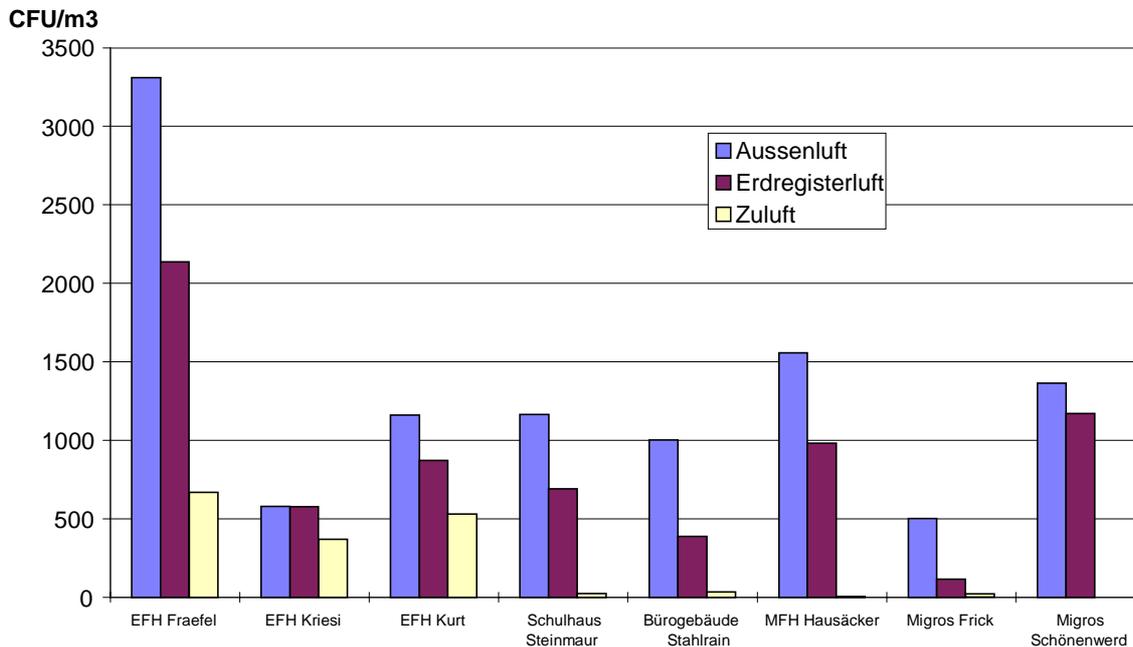


Abb. 15: Pilzkonzentrationen in der Aussen, Erdregister- und Zuluft im Sommer. Von der Anlage Migros Schönenwerd liegen keine Zuluftwerte vor.

Sommernessung: Bakterienkonzentrationen

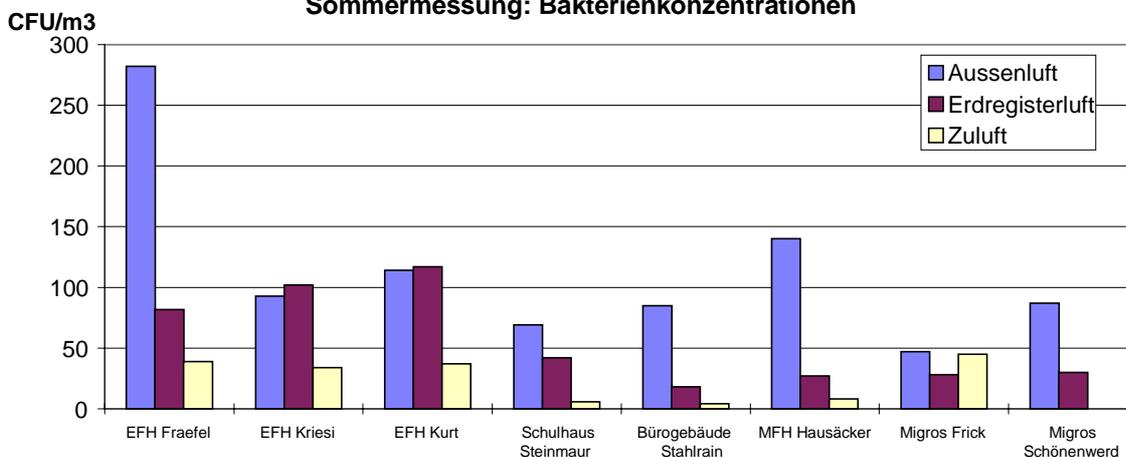


Abb. 16: Bakterienkonzentrationen in Aussen, Erdregister- und Zuluft im Sommer. Von der Anlage Migros Schönenwerd liegen keine Zuluftwerte vor

Wie zu den anderen Jahreszeiten nahmen die Pilz- und Bakterienkonzentrationen bis vor dem Wärmetauscher auch im Sommer gegenüber der Aussenluft deutlich ab. Durch die anschliessend eingebauten Filter wurden wieder besonders in den grossen Anlagen die Konzentrationen nochmals deutlich verringert, so dass die Zuluft nur noch einige wenige Prozente der Keimzahl der Aussenluft enthielt. In den drei im Sommer untersuchten Einfamilienhäuser wurde in der Zuluft noch die Hälfte der Pilzsporen aus der Aussenluft mitgetragen. Die Bakterienkonzentration betrug noch etwa einen Drittel der Aussenluft.

In der Erdregisteranlage der Migros Frick zirkuliert über jeweils 5 der 7 Rohre Umluft und nur über jeweils zwei Rohre wird Frischluft angesaugt. Umluft und Frischluft werden aber nicht gemischt, so dass sie auch nach dem Erdregister einzeln untersucht werden können. Die Aussenluft wird am oberen Ende der Fassade des mehrstöckigen Gebäudes angesaugt. Für die Untersuchung wurden Luftproben auf dem Dach gesammelt. In dieser Höhe enthält die Luft weniger Pilz- und Bakterienkeime als in Bodennähe. Die angesaugte Aussenluft wird in den Lüftungsraum im Untergeschoss geleitet und gelangt dort ins Erdregister. Hier konnte die Aussenluft und die Umluft unmittelbar vor und nach dem Erdregister untersucht werden. Die zugeführte Aussenluft enthielt vor dem Erdregister bereits etwas weniger Bakterien- und Pilzkeime als die Aussenluft auf dem Dach. Vor und nach dem Erdregister wurden die gleichen Konzentrationen gefunden, wobei die Mittagsmessung deutlich tiefere Werte als die Morgenmessung ergab. Die Umluft enthielt generell tiefere Pilz- jedoch höhere Bakterienkonzentrationen als die Aussenluft. Gegen die Mittagszeit hin nahm die Bakterienkonzentration durch die Kundschaft und das Personal im Laden zu, die Pilzkonzentration nahm leicht ab.

5.1.4 Herbstmessung

Im **Herbst** hatten die Pilzkonzentrationen in der Aussenluft gegenüber der Sommermessung bereits wieder deutlich abgenommen und erreichten nur noch Werte von knapp 400 bis gegen 600 CFU/m³. Die Bakterienkonzentrationen in der Aussenluft waren im Rahmen der bisherigen Resultate und lagen zwischen 50 und etwas mehr als 300 CFU/m³. Ebenfalls deutlich sichtbar ist die Abnahme nach dem Erdregister und den Filteranlagen bis hin zur Zuluft (vgl. *Abbildung 17*).

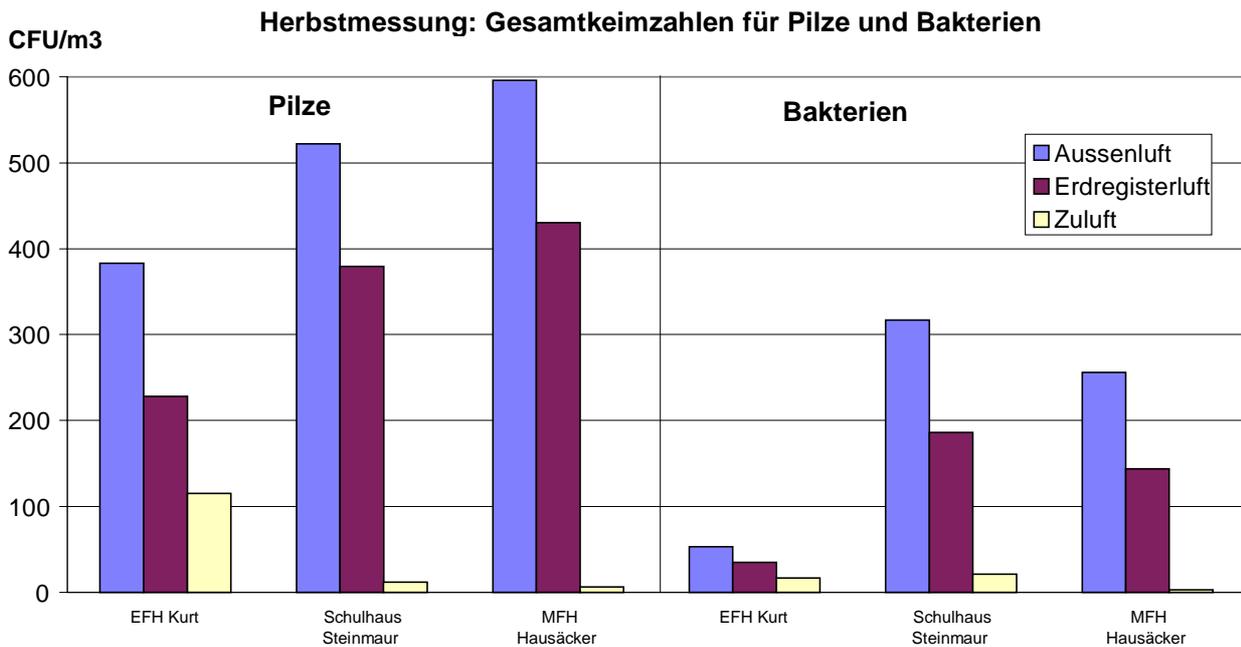


Abb. 17: Pilz- und Bakterienkonzentrationen im Herbst

5.1.5 Jahresverlauf

Um einen jahreszeitlichen Verlauf aufzuzeigen, wurde in den drei Anlagen EFH Kurt, MFH Hausäcker und Schulhaus Steinmaur zu jeder Jahreszeit eine Untersuchung durchgeführt. Für alle Anlagen ergab sich ein ähnliches Bild, obwohl die gemessenen Konzentrationen jeweils noch von der Witterung und anderen Umgebungsfaktoren (zum Beispiel menschliche Aktivitäten) abhängig waren. *Abbildung 18* zeigt die Messwerte des MFH Hausäcker.

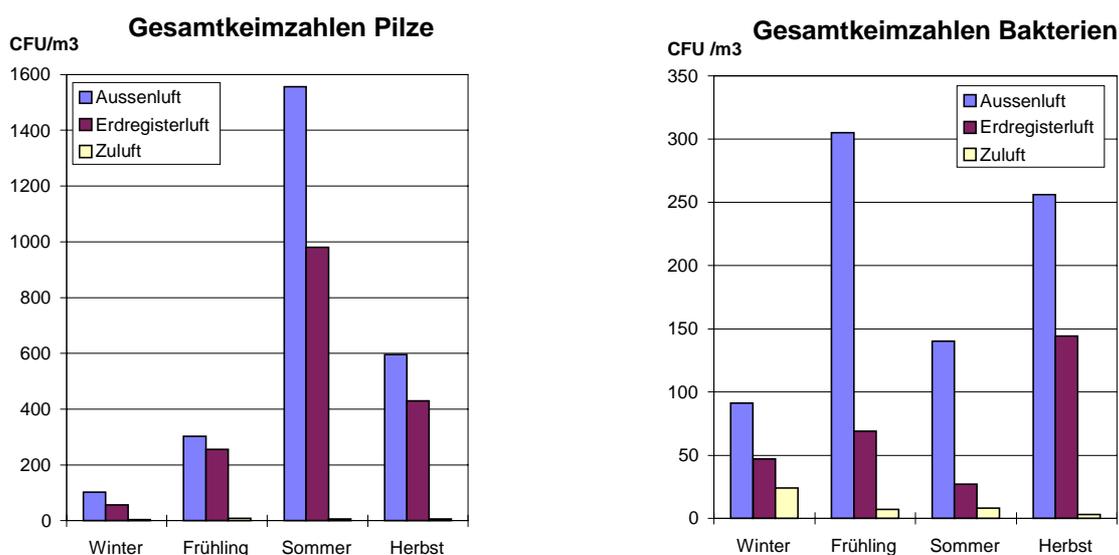


Abb. 18: Jahresverlauf der Keimkonzentrationen von Bakterien und Pilzen in der Erdregisteranlage MFH Hausäcker

Eine besonders deutliche saisonale Abhängigkeit zeigten die Pilzkonzentrationen in der Aussenluft. Diese lagen im Winter sehr tief. Mit steigender Temperatur und beginnender Vegetation nahmen auch die Konzentrationen der Pilzsporen in der Aussenluft zu und erreichten ein Maximum in der Sommermessung. Die jahreszeitliche Abhängigkeit der Bakterienkeime in der Aussenluft ist weniger ausgeprägt. Es ist anzunehmen, dass die Konzentrationen gewisser Bodenbakterien ebenfalls von der Vegetation abhängig sind. Jedoch spielen hier andere Faktoren, wie zum Beispiel die für Luftkeime tödliche UV-Strahlung, eine ebenso wichtige Rolle. Bei vielen Anlagen lag die Bakterienkonzentration in der Aussenluft im Sommer tiefer als in den Übergangszeiten.

Die Schwankungen der Aussenluftkonzentrationen sind nach dem Erdregister noch sichtbar. Nachdem die Luft aber die Filter passiert hat, sind die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten äusserst gering. Besonders bei Anlagen mit Feinstaubfiltern ist die Keimkonzentration in der Zuluft nicht mehr proportional zu der Konzentration in der Aussenluft.

5.1.6 Vergleich der Gesamtkeimzahlen in Aussenluft, Zuluft und Raumluft

Wie die Zusammenstellung der Resultate aus den durchgeführten Stichproben in den *Abbildungen 19 und 20* zeigt, werden die Konzentrationen in der Raumluft noch durch weitere Faktoren als nur durch den Keimgehalt der Zuluft beeinflusst. Die Bakterienkonzentration kann bereits weit über die Konzentration in der Aussenluft ansteigen, wenn sich nur eine Person oder ein Haustier in den angrenzenden Räumen aufhält. Die Pilzkonzentration bleibt jedoch selbst bei geöffneten Fenstern unter derjenigen der Aussenluft. Ein Vergleich mit Tabelle 1 (Seite 9) zeigt, dass die Konzentrationen in der Raumluft im tiefen bis mittleren Bereich der Erfahrungswerte liegen.

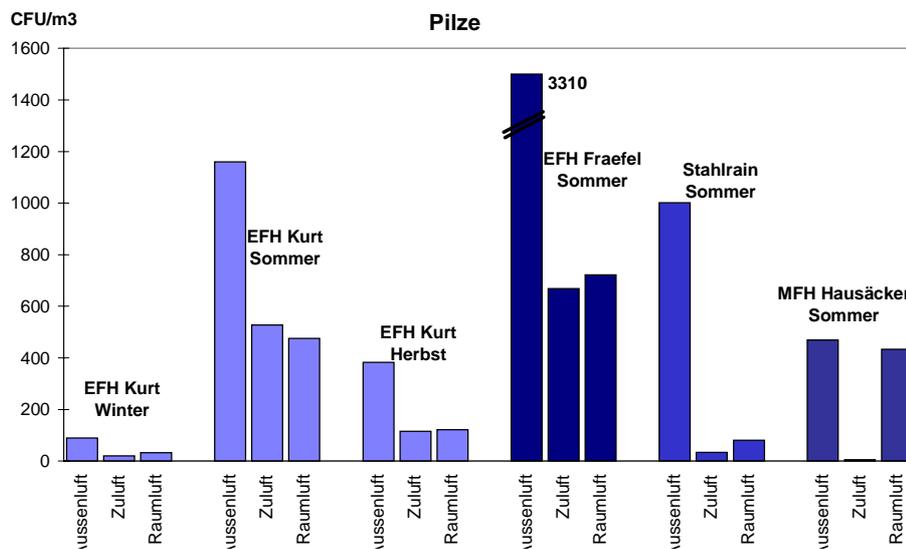


Abb. 19: Gesamtkeimzahlen für Pilze in der Aussenluft, Zuluft und Raumluft

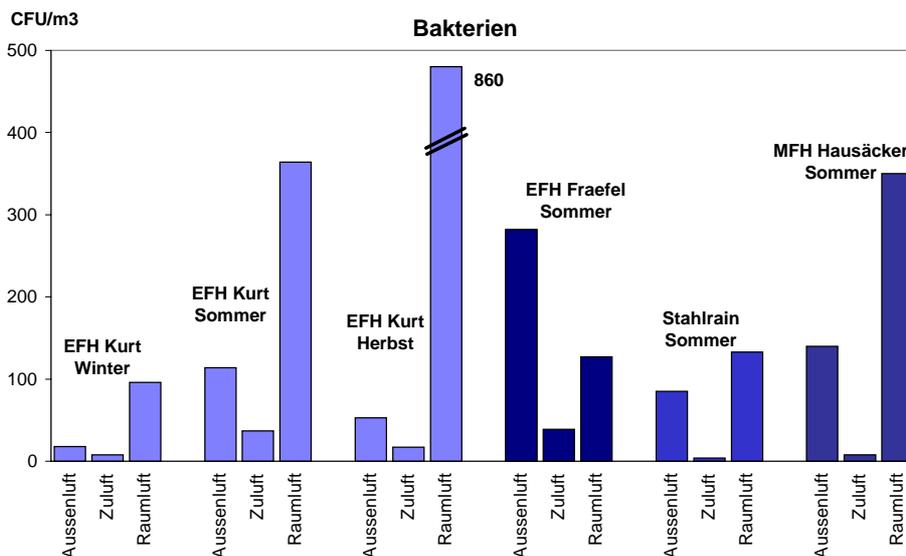


Abb. 20: Gesamtkeimzahlen für Bakterien in der Aussenluft, Zuluft und Raumluft

5.2 Identifizierung der Pilz- und Bakterienkeime

5.2.1 Pilzgattungen

Die Differenzierung nach Pilzgattungen (vgl. *Abbildungen 21 und 22*) hat ergeben, dass *Cladosporium* zu jeder Jahreszeit der häufigste Pilz in der Aussenluft aller Anlagen ist. Der Anteil beträgt 60 bis 90%, im Sommer sogar meist gegen 100%. Die restliche Pilzflora der Aussenluft setzt sich zusammen aus *Penicillium*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Alternaria*, *Fusarium*, und gelegentlich kommen auch *Mucor*, *Rhizopus* und andere Pilze vor.

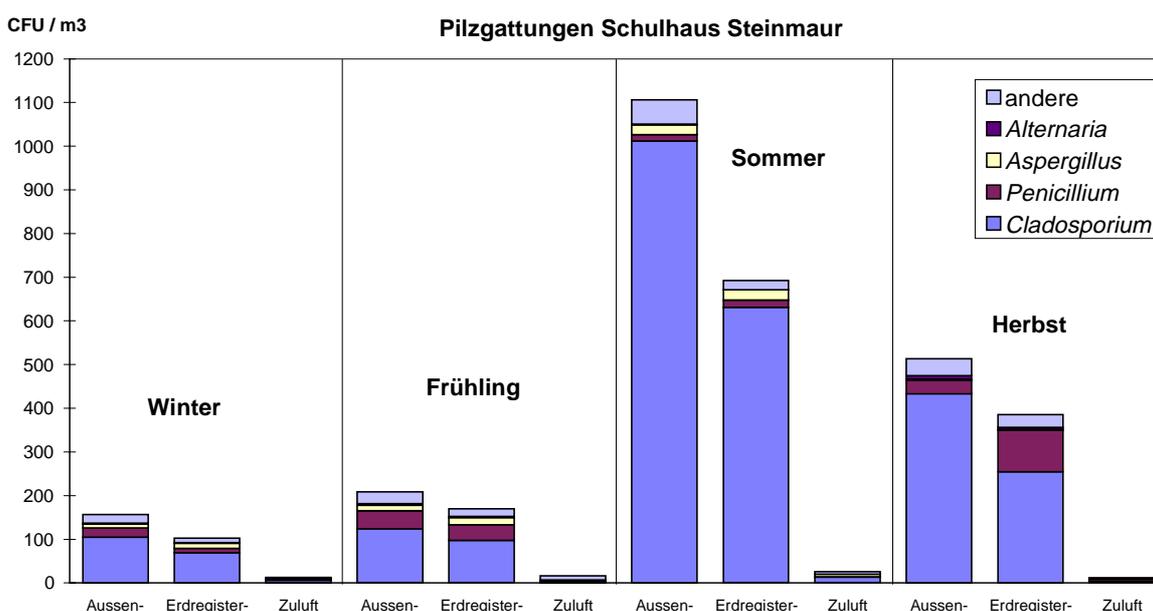


Abb. 21: Pilzgattungen in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage Schulhaus Steinmaur

Die Pilzkonzentrationen nehmen bis auf wenige Ausnahmen (einige Einfamilienhäuser) bei allen Anlagen von der Aussenluft bis nach dem Erdregister ab. Die Abnahmen sind grösstenteils auf eine Reduktion von *Cladosporium* zurückzuführen, was eine Verschiebung der prozentualen Anteile der einzelnen Gattungen zur Folge hat (vgl. *Tabelle 5*). Erstaunlicherweise erreichen sowohl *Penicillium* wie auch *Aspergillus* nach dem Erdregister vieler Einfamilienhäuser höhere Konzentrationen (und prozentuale Anteile, vgl. *Tabelle 5*) als in der Aussenluft. Gelegentlich ist die Zunahme der *Penicillium*- und *Aspergillus*konzentration grösser als die Abnahme von *Cladosporium*, sodass höhere Gesamtkeimzahlen nachgewiesen werden (vgl. *Abbildung 13*, Pilzkonzentrationen der Wintermessung, EFH Fraefel). Auch in der Anlage MFH Hausäcker war im Frühling und im Sommer eine erhöhte Konzentration von *Aspergillus* nach dem Erdregister nachweisbar (vgl. *Abb. 22*). Neben der Erklärung, dass sich diese Pilze in den Rohren vermehren können, ist es auch möglich, dass ihre sehr kleinen Sporen leichter mit dem Luftstrom mitgetragen werden und weniger schnell sedimentieren als die grösseren Sporen von *Cladosporium* und *Alternaria* (Sedimentationsgeschwindigkeiten: *Alternaria* 0,3 - 0,55; *Cladosporium* 0,07; *Aspergillus* 0,03 cm/s [Reiss, 1986]).

In der Erdregisterluft des Bürogebäudes Stahlrain lag die *Penicillium*- und *Aspergillus*-konzentration nach der Wiederaufnahme des Erdregisterbetriebes viermal höher als in der Aussenluft. Dies könnte darauf hinweisen, dass in der Zwischenzeit ein Wachstum in den

Rohren erfolgte. Bei der später durchgeführten Sommermessung lagen die Konzentrationen von *Penicillium* und *Aspergillus* in der Erdregisterluft in der Höhe der Aussenluft.

In der Zuluft war *Cladosporium* meist nur in den Sommermessungen deutlich der häufigste Pilz. Daneben gelangten oft *Penicillium*, *Aspergillus* und nur selten andere Pilze mit der Zuluft in die Räume.

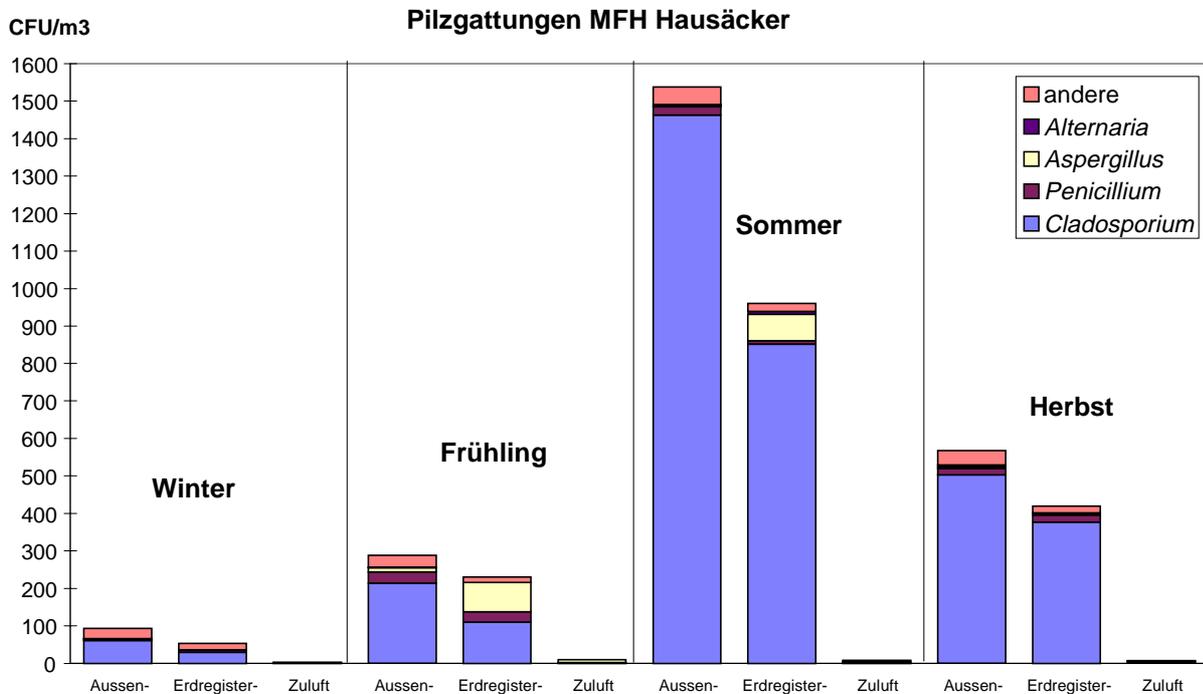


Abb. 22: Pilzgattungen in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage MFH Hausäcker

	Gattung	EFH Kurt			Schulhaus Steinmaur			MFH Hausäcker			EFH Kriesi		
		A	E	Z	A	E	Z	A	E	Z	A	E	Z
Winter	<i>Cladosporium</i>	63	64	60	67	69	47	65	58	20	84	64	37
	<i>Penicillium</i>	15	17	26	13	10	20	4	10	80	8	27	34
	<i>Aspergillus</i>	10	4	3	6	12	7	1	1	0	1	0	0
Frühling	<i>Cladosporium</i>	29	13	10	60	58	8	74	46	13			
	<i>Penicillium</i>	6	2	4	20	22	17	10	12	7			
	<i>Aspergillus</i>	1	1	0	6	9	13	4	33	80			
Sommer	<i>Cladosporium</i>	88	91	79	92	91	54	95	89	30	81	79	53
	<i>Penicillium</i>	2	1	13	1	2	6	1	1	30	6	7	19
	<i>Aspergillus</i>	0	1	2	2	3	20	0	7	0	1	1	0
Herbst	<i>Cladosporium</i>	82	58	61	84	66	22	88	90	64			A = Aussenluft
	<i>Penicillium</i>	8	13	18	6	25	50	3	4	9			E = Erdregisterluft
	<i>Aspergillus</i>	1	1	2	1	1	0	1	1	0			Z= Zuluft

Tab. 5: Prozentuale Anteile der Gattungen *Cladosporium*, *Penicillium* und *Aspergillus* an der Gesamtkeimzahl von den Pilzen in der Aussen-, Erdregister- und Zuluft der im Längsschnitt untersuchten Anlagen (EFH Kurt, Schulhaus Steinmaur, MFH Hausäcker) und dem EFH Kriesi. Fettgedruckt sind die Prozentzahlen, wo auch eine Erhöhung der Konzentration dieser Gattung im Vergleich zur Messung in der Aussenluft auftrat. (A = Aussenluft, E = Erdregisterluft, Z= Zuluft)

5.2.2 Bakterien

Die häufigsten Bakterien in der Aussenluft gehörten zu den gram-positiven Stäbchen, gefolgt von den gram-positiven Kokken (vgl. *Abbildungen 23 und 24*). Gram-negative Bakterien waren nur in geringen Konzentrationen nachweisbar. Die Konzentrationen der Actinomyce-ten in der Aussenluft waren sehr unterschiedlich. Während sie im Winter gelegentlich einen grossen Anteil der Bakterienkonzentration bildeten (ca. 50%) und bei der Anlage MFH Hausäcker auch im Sommerhalbjahr in ausgesprochen hoher Dichte auftraten, kamen sie bei einigen Messungen nicht auf einen Anteil über 10% in der Aussenluft.

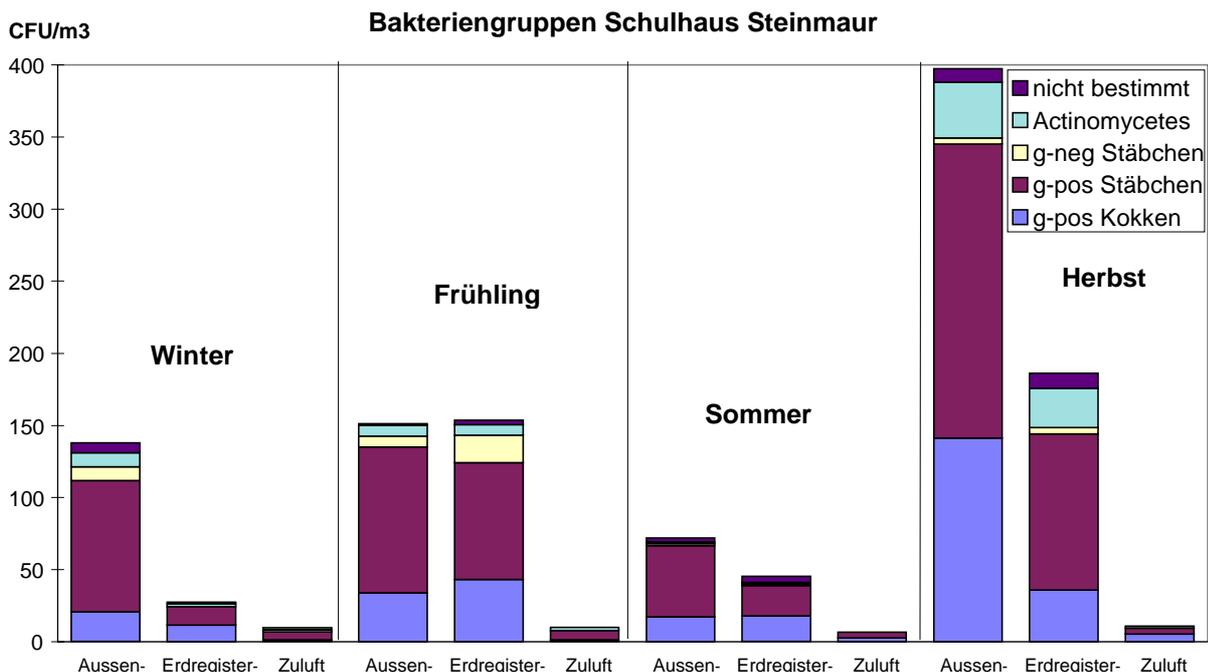


Abb. 23: Bakterien in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage Schulhaus Steinmaur

Auch bei den Bakterien war in fast allen Fällen eine Abnahme im Erdregister festzustellen. Die Anteile der einzelnen Bakteriengruppen an der Gesamtkonzentration blieben dabei wenig verändert. Hingegen erhöhte sich bei den im Sommer untersuchten Einfamilienhäuser Kriesi und Kurt die Konzentration der Actinomyce-ten bis nach dem Erdregister (Vgl. *Abbildung 24*), sodass auch die Gesamtkeimzahl der Erdregisterluft höher als in der Aussenluft war (vgl. *Abbildung 16*, Bakterienkonzentrationen der Sommermessung). Dies weist darauf hin, dass sich die Actinomyce-ten bei den hohen Luftfeuchtigkeiten, die im Sommer in den Rohren erreicht werden, vermehren. Actinomyce-ten sind aus gesundheitlicher Sicht meist harmlos. Sie entwickeln jedoch einen starken Modergeruch und könnten zu einer Geruchsbelästigung führen.

Die Zuluft enthält nur noch sehr wenige Bakterienkeime. Der Anteil gram-positiver Kokken ist dabei leicht höher als zuvor in der Aussenluft oder in der Erdregisterluft.

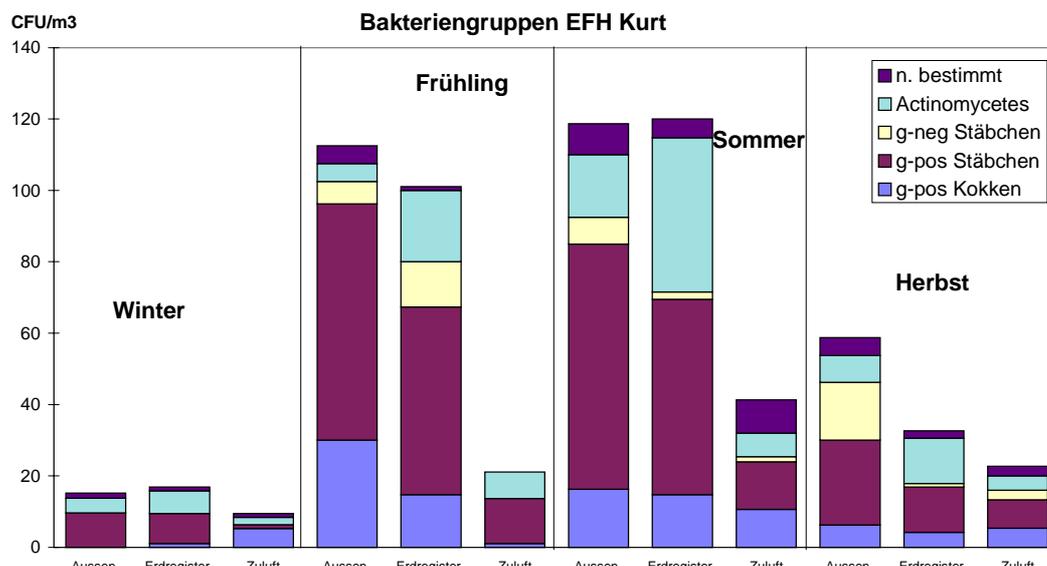


Abb. 24: Bakterien in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage EFH Kurt

Gruppe	EFH Kurt			Schulhaus Steinmaur			MFH Hausäcker			EFH Kriesi			
	A	E	Z	A	E	Z	A	E	Z	A	E	Z	
Winter	g-pos. Kokken	0	3	56	15	42	8	16	20	30	5	27	10
	g-pos. Stäbchen	65	55	13	67	46	62	61	55	37	25	30	32
	g-neg. Stäbchen	0	0	0	7	0	15	5	4	2	3	1	0
	Actinomyceten	30	38	19	7	8	15	13	21	19	56	37	56
Frühling	g-pos. Kokken	27	14	5	22	28	7	6	1	10			
	g-pos. Stäbchen	60	53	60	67	53	71	15	1	40			
	g-neg. Stäbchen	6	12	0	5	12	0	1	0	0			
	Actinomyceten	4	20	35	5	4	21	77	97	50			
Sommer	g-pos. Kokken	14	12	27	24	41	44	10	3	45	14	8	10
	g-pos. Stäbchen	59	46	33	70	47	56	24	8	0	57	35	46
	g-neg. Stäbchen	6	1	2	2	2	0	2	0	0	6	7	22
	Actinomyceten	14	36	15	2	1	0	58	57	55	17	46	18
Herbst	g-pos. Kokken	10	13	26	36	19	47	16	22	50	A = Aussenluft		
	g-pos. Stäbchen	41	39	35	52	58	40	71	59	25	E = Erdregisterluft		
	g-neg. Stäbchen	27	3	13	1	2	0	3	4	25	Z = Zuluft		
	Actinomyceten	13	39	16	10	15	13	5	10	0			

Tab. 6: Prozentuale Anteile der gram-positiven Stäbchen und Kokken, der gram-negativen Stäbchen und der Actinomyceten an der Gesamtkeimzahl von Bakterien in der Aussen-, Erdregister- und Zuluft der im Längsschnitt untersuchten Anlagen (EFH Kurt, Schulhaus Steinmaur, MFH Hausäcker) und dem EFH Kriesi. Fettgedruckt sind die Prozentzahlen, wo auch eine Erhöhung der Konzentration dieser Gattung im Vergleich zur Messung in der Aussenluft auftrat. (A = Aussenluft, E = Erdregisterluft, Z = Zuluft)

5.3 Keimzahlen auf Oberflächen, in Stäuben und Filtern

Zusätzlich zu den Luftkeimzahlbestimmungen wurden in einigen Fällen auch Oberflächen, Stäube und Filter untersucht. Es handelt sich dabei nur um Stichproben und die Resultate können je nach Probenahmestelle stark variieren.

Abklatschproben mit Rodacplatten ergaben, dass die Oberflächen der Rohre und der Böden und Wände der Schächte mit Bakterien und Pilzen oder deren Sporen bedeckt sind. Das heisst noch nicht, dass diese auch auf diesen Oberflächen wachsen können. Sie sind jedoch vorhanden und könnten zu einer Kontamination, wie sie gelegentlich auch in anderen Lüftungsanlagen beobachtet wird (vgl. Kap. 2.2), führen. *Tabelle 8* gibt eine Übersicht über die nachgewiesenen Konzentrationen auf den Oberflächen. Oft war ein genaues Auszählen schwierig, da schnell wachsende Pilze und *Bacillus*-Arten, welche oft auf diesen Platten gefunden wurden, andere Keime schon nach kurzer Zeit überwachsen hatten. Bei der Dichte der Keime auf dem Nährboden muss zudem davon ausgegangen werden, dass viele Keime sich gegenseitig hemmten. Andere Untersuchungen dokumentierten Konzentrationen zwischen <1 und 1000 CFU/cm^2 in Zuluftkanälen [Luoma et al., 1993].

CFU/cm ²	MFH Hausäcker	Restaurant Adliswil	Schulhaus Steinmaur	Bürogebäude Stahlrain
Erdregisterrohr	10	10	10	10
Schachtwand	4	4	3	-
Schachtboden	6	10	10	4

Tab. 7: Keimkonzentrationen auf Oberflächen [CFU/cm²]

Im MFH Niederholzboden wurden **Staubproben** im Erdregisterrohr gesammelt, suspendiert (1g/100ml) und ausplattiert (1ml). Auch bei hundertfacher Verdünnung bildeten sich noch Kolonien auf den Platten. Die Keimkonzentration liegt demnach um die 10^4 Keime pro g Staub (in einer Klimaanlage wird der kritische Wert bei 10^6 CFU/g Staub angesetzt [Brief et al., 1988]). Es wuchsen vorwiegend Pilze der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium*, sowie *Bacillus*-Arten und andere Bakterien.

Kleine Stücke eines **Luftauslassfilters** des Bürogebäudes Stahlrain wurden untersucht. Nach dem Ausplattieren einer Suspension entwickelten sich vorwiegend Bakterienkolonien auf den Platten. Wurden kleine Stücke direkt auf Nährbodenplatten gelegt, wurde ein Wachstum verschiedener Pilze und gelegentlich *Bacillus*-Arten festgestellt.

Der Schachtboden der Erdregisteranlage im Restaurant Adliswil ist beinahe ganzjährig mit einer dünnen Schicht **Wasser** bedeckt. Die mikroskopische Betrachtung zeigt, dass Pollen, Sporen und Bakterien in diesem Wasser enthalten sind. Nährstoffe sind ausreichend vorhanden (Pollen, Staub etc.), bei den tiefen Temperaturen wird jedoch nur ein langsames Wachstum möglich sein. Die Luftmessungen zeigen, dass keine zusätzlichen Keime mit dem Luftstrom im Erdregister mitgenommen werden. Dies bedeutet, dass auch bei einem Keimwachstum in Wasseransammlungen in einem Erdregister keine zwingende Kontamination in der Zuluft entstehen muss.

Eine mikroskopische Untersuchung eines Stückes zementgebundener Holzwolle, welches von der **Wärmedämmung** im Schacht im Schulhaus Steinmaur stammte, zeigt wie stark dieses bereits von Schmutz beschichtet war. Unter dem Mikroskop waren zudem feine Fäden sichtbar, welche Myzel eines wachsenden Pilzes darstellen könnten. Legt man ein solches Stückchen auf eine Nährbodenplatte, wachsen an verschiedenen Stellen in kurzer Zeit verschiedene Schimmelpilzkolonien, vorwiegend der Gattung *Penicillium*. Es ist nicht möglich zu beurteilen, ob diese aus Sporen keimten oder ob diese Pilze bereits auf der Wand im Schacht wachsen konnten.

6 Diskussion

6.1 Einfluss der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit

Die statistische Auswertung zeigt, dass die Pilzkonzentrationen in der Aussenluft mit der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit korrelieren. Je höher die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit, desto höher die Konzentration der Schimmelpilze in der Aussenluft. Dies ist nicht weiter erstaunlich, da die starke Konzentrationsabhängigkeit der Schimmelpilze in der Aussenluft von der Jahreszeit schon lange bekannt ist. Im Sommer werden die höchsten Konzentrationen erreicht, während im Winter relativ wenige Pilzsporen in der Aussenluft nachgewiesen werden können.

Von Interesse war jedoch festzustellen, ob Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Erdregister die Konzentration der Keime beeinflussen. Dazu wurden die Differenzen zwischen der Konzentration in der Aussenluft und der Erdregisterluft sowie die relativen Differenzen (Differenz/Aussenluftkonzentration) gebildet.

Die absolute Abnahme der Pilze korreliert mit der Temperatur, die relative hingegen nicht. Das heisst, dass die Abnahme prozentual immer gleich bleibt. Im Sommer hingegen ist die Zahl der im Erdregister hängengebliebenen Pilzsporen deutlich höher als im Winter, wenn bereits weniger Keime in der Aussenluft vorhanden sind. Die relative Luftfeuchtigkeit im Erdregister scheint keinen Einfluss auf die Veränderungen der Pilzkonzentrationen zu haben (siehe *Abbildung 25*).

Die Abnahme der Bakterien im Erdregister korreliert nicht mit der Temperatur und der Jahreszeit. Die relative Abnahme zeigt hingegen eine Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit im Erdregister: Bei ca. 50% r.F. reduziert sich die Bakterienkonzentration im Erdregister auf etwa die Hälfte; bei beinahe gesättigter Luft ist die Konzentration vor und nach dem Erdregister ungefähr gleich.

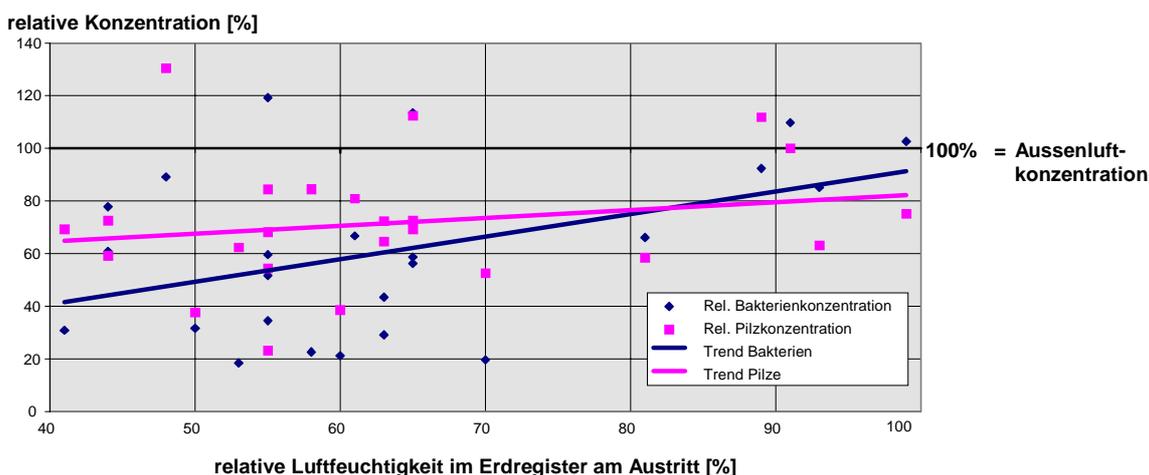


Abb. 25: Relative Veränderung der Konzentrationen der Bakterien bzw. Pilze im Erdregister im Vergleich zur Konzentration in der Aussenluft (=100%) in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit im Erdregister. Korrelation der relativen Differenz der Bakterien mit Luftfeuchtigkeit 0,43 (95%-Signifikanzniveau: 0,39). Die Abhängigkeit der Pilze zu der relativen Luftfeuchtigkeit korreliert nicht signifikant.

Die vereinzelt aufgetretenen Zunahmen der Gesamtkeimzahlen im Erdregister beruhen meist auf einer erhöhten Konzentration einer einzelnen Pilzgattung oder einer Bakterien-

gruppe. Ein Zusammenhang mit den im Erdregister vorliegenden Temperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten ist statistisch nicht belegbar. Meist sind aber EFH betroffen, in welchen zum Beispiel im Sommer die höchsten relativen Luftfeuchtigkeiten gemessen wurden (Zunahme der *Actinomyceten*).

Die weiteren Konzentrationsabnahmen zwischen der Erdregisterluft und der Zuluft können nicht eindeutig mit den Temperaturen und der Luftfeuchtigkeit der Zuluft in Verbindung gebracht werden. Hier dominiert der Einfluss der Filter (vgl. 6.2.3 Einfluss der Filterqualität). Es zeigt sich jedoch ein schwacher Trend, dass mit steigender Temperatur die relativen Abnahmen kleiner werden.

6.2 Einfluss der Konstruktionsweise

6.2.1 Grösse und Länge des Erdregisters

Bei allen Auswertungen zeigt sich sehr deutlich, dass grosse Unterschiede bezüglich der Gesamtkeimzahlen sowie in der Verteilung auf einzelne Gattungen und Gruppen, zwischen den Erdregistern in EFH und den grösseren Anlagen bestehen. EFH sind häufiger von einer Veränderung in der Zusammensetzung der Mikroflora betroffen (zum Beispiel Zunahmen von *Actinomyceten*, *Penicillium*, *Aspergillus*). In EFH fällt die Reduktion der Gesamtkeimzahlen im Erdregister zudem deutlich geringer aus als in grösseren Bauten. Die Konzentrationen reduzierten sich in den Erdregistern von EFH im Durchschnitt um 18% für Bakterien und um 16% für Pilze. Die Erdregisterluft in grösseren Bauten enthält im Durchschnitt noch knapp 50% der Bakterien und 60% der Pilze in der Aussenluft.

Betrachtet man die Kubikmeter Luft pro Stunde, die durch die zwölf untersuchten Erdregister gesaugt werden, so sieht man eine deutliche Korrelation zu der relativen Abnahme sowohl der Bakterien sowie der Pilze. Die umgesetzte Luftmenge (m^3/h) steht in Zusammenhang mit der gesamten Oberfläche des Erdregisters (=Anzahl Rohre * Länge der Rohre * Durchmesser * π ; Korrelation 0,9) und ist somit ein Richtwert für die Auslegung einer Anlage.

Ausschlaggebend für die grossen Keimzahlreduktionen in grösseren Anlagen könnten die Querschächte sein. In diesen fliesst die Luft nur sehr langsam, sodass eine Sedimentation der Luftkeime begünstigt wird. Die anschliessenden engen Kurven können zu einer vermehrten Impaktion der Keime an den Rohroberflächen führen.

6.2.2 Baumaterialien

Die vom Standort und von der Jahreszeit unabhängigen relativen Abnahmen der Keimkonzentrationen im Erdregister wurden nach Rohrmaterial getrennt betrachtet. Die Mittelwerte der relativen Abnahmen in den grossen Anlagen (je 8 Untersuchungen) zeigen, dass kaum ein Unterschied zwischen den Anlagen mit Zement- und Kunststoffrohren bezüglich einer Abnahme der Bakterienkonzentration besteht. In allen Anlagen wurde die Konzentration im Durchschnitt etwa halbiert (-0.52 Kunststoffrohre, -0.53 Zementrohre). Die Pilzkonzentrationen wurden in den Anlagen mit Zementrohren tendenziell etwas mehr reduziert als in den Anlagen mit Kunststoffrohren (-0.32 Kunststoffrohre, -0.42 Zementrohre). Dabei ist aber zu beachten, dass die Anlagen mit Zementrohren längere und grössere Rohre besitzen als die Anlagen mit Kunststoffrohren.

Aus hygienischer Sicht scheinen Zement- und Kunststoffrohre etwa gleichwertig zu sein.

Die geringeren Reduktionen der Keimkonzentrationen in EFH dürften nicht durch das Rohrmaterial, sondern durch Faktoren wie Grösse der Anlage, Luftmenge und Länge der Rohre bestimmt werden. Die Resultate aus den Anlagen mit gerippten Rohren unterscheiden sich

nicht von den Ergebnissen aus den anderen EFH. Aufgrund von theoretischen Überlegungen liegt die Wahrscheinlichkeit für eine Kontamination jedoch etwas höher, da schneller kleine Wasseransammlungen vorhanden sind, die ein Wachstum begünstigen können.

6.2.3 Filterqualität

Die Konzentrationen der Pilzsporen in der Zuluft scheinen im Gegensatz zu den Bakterienkonzentrationen durch die Filterqualität stark beeinflusst zu werden (Korrelationen: Pilze=0.87, Bakterien=0,22, bei 95%-Signifikanzniveau=0,40).

In allen Anlagen mit einem Feinstaubfilter nimmt die Pilzkonzentration in der Zuluft im Vergleich zur Erdregisterluft um 80 bis 100% ab. Bei Grobstaubfiltern liegt der Bereich der Abnahme bei 40 bis 80%.

Die Bakterien werden bis zur Einblasstelle (Zuluft) generell weniger reduziert als die Pilze. Zwischen Feinstaub- und Grobstaubfilter ist zudem eine weniger deutliche Trennlinie in der Grössenordnung der Abnahme der Gesamtkeimzahlen sichtbar. In Feinstaubfiltern beträgt die Reduktion der Bakterienkonzentration 50 bis zu 100%, in Grobstaubfiltern 0 bis 80%.

6.3 Vergleich der Resultate mit anderen Untersuchungen in Erdregistern

Auch in der Studie von Schneiders (1994) wurde keine lufthygienische Beeinträchtigung der Zuluft durch die Erdregister beobachtet (vgl. Kapitel 2.4). Die Zuluft ist generell deutlich keimärmer als die Aussenluft. Schneiders identifizierte in ihren Untersuchungen vorwiegend Pilze und gram-positive Kokken in der Zuluft; pathogene Keime konnten keine nachgewiesen werden. In unserer Arbeit wurden gelegentlich nur sehr wenige Pilze in der Zuluft nachgewiesen, da auch Anlagen mit Feinstaubfiltern untersucht wurden, welche die Pilzkonzentrationen deutlich reduzieren können.

In der Studie von Schneiders wurde die Zuluft erst bei der Ausblasöffnung, das heisst nach den Filtern untersucht. Es liegen keine Zahlen über die Konzentrationen in der ungefilterten Erdregisterluft vor. Unsere Arbeit zeigte deutlich, dass sich die Keimzahlen im Erdregister im Vergleich zu der Aussenluft verändern können. Einzelne Bakteriengruppen und Pilzgattungen, aber auch die Gesamtkeimzahlen können zu- oder abnehmen. Die Filter heben diese Effekte besonders bei hohen Filterklassen, aber auch bei den in EFH verwendeten Grobstaubfiltern, wieder auf. Die Reduktion durch die Filter ist immer viel deutlicher sichtbar als die vereinzelt Zunahmen im Erdregister.

6.4 Beurteilung der Messergebnisse aus gesundheitlicher Sicht

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Zuluft je nach Filterqualität deutlich weniger Bakterien und Pilzsporen enthält als die Aussenluft. Da Pilze meist von aussen in die Innenräume eindringen, ist die Konzentration in den belüfteten Räumen deutlich tiefer als in der Aussenluft. Die Bakterienkonzentrationen können in der Innenluft auch bei sehr keimarmer Zuluft - je nach Belegung und Nutzung des Raumes - hohe Werte erreichen. Nach ECA-Erfahrungswerten liegen jedoch alle in dieser Untersuchung gemessenen Raumluftkonzentrationen für Bakterien und Pilze im tiefen bis mittleren Bereich [ECA, 1993].

Gelegentlich haben in den Erdregistern die Konzentrationen einzelner Organismengattungen und -gruppen zugenommen. Die Pilze *Penicillium* und *Aspergillus* sind nicht unbedenklich. Sie können neben Allergien auch Infektionen hervorrufen. Es ist daher wichtig, dass sie durch die eingebauten Filter vor den Wärmetauschern möglichst zurückgehalten werden können. Die Actinomyceten bei den Bakterien sind aus gesundheitlicher Sicht meist harmlos. Ihr starker Modergeruch könnte allenfalls zu einer Geruchsbelästigung führen.

Die Untersuchungen von Oberflächen, Staub- und Wasserproben aus den Erdregistern haben gezeigt, dass lebensfähige Bakterienkeime und Pilzsporen vorhanden sind. Die Konzentrationen sind jedoch nicht alarmierend und wie die Luftkeimzahlbestimmungen ergeben haben, gelangen auch kaum Organismen wieder in den Luftstrom.

Aus gesundheitlicher Sicht stellt sich die Frage, ob allenfalls Fragmente von Pilzsporen und Stoffwechselprodukte mit der Zuluft in die Räume gelangen. Mit der Aussenluft werden viele Sporen angesaugt. Wenn diese nicht in die Räume gelangen, bedeutet dies, dass sie in der Anlage deponiert wurden. Sie können zusammen mit Staubpartikeln in den Rohren sedimentieren oder in den Filtermatten zurückgehalten werden. Die Filter werden nur innerhalb langer zeitlicher Abstände gewechselt oder gewaschen. Die Rohre selbst werden sehr selten gereinigt. Von abgestorbenen Mikroorganismen können Abbauprodukte mit dem Luftstrom weitertransportiert werden und die Filter passieren. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da Teile dieser Abbauprodukte als Allergene wirken können. Andererseits ist es auch möglich, dass Organismen auf dem Staub in den Rohren oder auf den Filtermatten wachsen, ohne dass sie mit dem Luftstrom mitgerissen werden oder durch die Filter gelangen. Ihre flüchtigen Stoffwechselprodukte könnten aber zu einer Geruchsbelästigung oder sogar zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung führen. Diese Frage muss zukünftig weiter verfolgt werden, wenn möglich im Rahmen von Langzeitbeobachtungen.

7 Empfehlungen aus lufthygienischer Sicht

Die allgemein bei Lüftungsanlagen geltenden Massnahmen sind beim Bau, beim Betrieb und beim Unterhalt von Erdregistern zu berücksichtigen. Deren Einsatz kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse aus den Untersuchungen von 12 repräsentativen Anlagen aus lufthygienischer Sicht empfohlen werden. Bei regelmässiger Kontrolle und der Möglichkeit bei Bedarf eine geeignete Reinigung durchzuführen sollte ein lufthygienisch einwandfreier Betrieb über Jahre gewährleistet sein.

7.1 Bau

Beim Bau sollte darauf geachtet werden, dass für alle Komponenten (Ansaugstelle, Erdregister, Lüftungsanlage, Lufteinlässe in die Räume etc.) bei Bedarf eine Reinigung möglich ist.

- **Aussenluftfassung:** Die Aussenluftfassung sollte möglichst immissionsfrei (Gase, Gerüche etc.) sein. Quellen grosser Mengen von Luftkeimen (z. B. Kompostieranlagen) sollten in der Nähe vermieden werden. Eine erhöhte Ansaugöffnung ist immer vorzuziehen, um das Ansaugen von Mikroorganismen und Staub aus Bodennähe zu vermeiden. Die Ansaugstelle sollte frei von dichter Bepflanzung sein und gereinigt werden können. Ein Maschengitter verhindert das Eindringen von groben Verunreinigungen und Lebewesen.
- **Querschächte und Rohre:** Aufgrund der klimatischen Bedingungen in den Rohren ist mit Kondensat im Sommer zu rechnen. Es ist daher wichtig, dass die Rohre mit einem Gefälle verlegt werden, sodass das Wasser abfliessen kann. Es ist ebenfalls wichtig, dass der Untergrund sorgfältig verdichtet wurde, damit sich die Rohre nicht örtlich absenken. Bei Anlagen mit gerippten Rohren wurde in den Untersuchungen keine erhöhten Belastungen festgestellt. Aufgrund der theoretischen Überlegung, dass sich das Ansammeln kleinster Wassermengen in den Rippen nicht verhindern lässt, sollten diese wenn möglich nicht verwendet werden.
- **Filter:** Die Filter vor dem Wärmetauscher sollten Pilzsporen (2-5µm) von *Aspergillus* und *Penicillium*, die in den Erdregisterrohren wachsen können, zurückhalten. Die in Lüftungsanlagen üblichen Filter sind in der Regel ausreichend. Bei erhöhten lufthygienischen Anforderungen kann mittels Feinfilter eine zusätzliche, namhafte Reduktion der Bakterien und Sporen erreicht werden. Von Vorteil ist eine erste Filterstufe (Grobstaubfilter) bei der Aussenluftfassung, das heisst vor dem Erdregister. So könnte die Ablagerung von Staub und Mikroorganismen in den Rohren reduziert werden.

7.2 Betrieb

Vor Inbetriebnahme sollte das Erdregister gereinigt werden. Grosse Luftkanäle und Querschächte dürfen nicht als Lagerräume dienen. Die eingelagerten Gegenstände (insbesondere Holz) könnten als Substrate für Schimmelpilze dienen und erhöhen die Gefahr einer Kontamination.

7.3 Unterhalt und Überwachung

Die Erdregister sollten zusammen mit den Lüftungskomponenten regelmässig kontrolliert werden. Im Vordergrund stehen Ansaugstelle, Schächte und Lüftungsgeräte. Besonders in Anlagen, in welche Grundwasser in die Schächte eindringt, ist eine regelmässige, optische

Kontrolle unumgänglich. Der Druckverlust der Filter sollte überwacht werden, optische Kontrollen durchgeführt und die Filter regelmässig ausgewechselt oder gewaschen werden.

8 Abkürzungen

a_w	Wasseraktivität
CFU	Colony forming units oder Kolonie bildende Einheit (KBE)
ECA	European Collaborative Action
EFH	Einfamilienhaus
EU5	Filterklasse 5
g-neg	gram-negativ
g-pos	gram-positiv
MEA	Malz-Extrakt-Agar
MFH	Mehrfamilienhaus
p_D	Wasserdampfdruck in einem Substrat
p_s	Sättigungsdruck von reinem Wasser
r. F.	Relative Luftfeuchtigkeit
SKI	Schweizerisches Institut für Gesundheits- und Krankenhauswesen
TSA	Trypticase-Soya-Agar
v	Luftgeschwindigkeit
VOC	flüchtige organische Verbindung
WRG	Wärmerückgewinnung

9 Literaturverzeichnis

- Ager, B.P. und Tickner, J.A. (1983): The Control of Microbial Hazards Associated with Air-Conditioning and Ventilation. *Ann. occup. Hyg* **27**(4): 341-358.
- Ahearn, D.G., Price, D.L., Simmons, R.B. und Crow, S.A. (1992): Colonization Studies of Various HVAC Insulation Materials. *IAQ92*.
- BAG (1989): Legionellen - ein hygienetechnisches Problem. *Bulletin des Bundesamtes für Gesundheitswesen* (16).
- Baumgartner, T., Lüthi, R. und Wick, B. (1993): Architektur und Energiekonzept. *Schweizer Ingenieur und Architekt* (49): 927-933.
- Bernett, H.L. und Hunter, B.B. (1987): *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Macmillan Publishing Company, New York.
- Bolsaitis, P., Ludwig, J.F. und McCarthy, J.F. (1993): A Scoping Report on Air Duct Cleaning and Related Issues. *Proceedings of Indoor Air '93* **6**: 333-337.
- Brief, R.S. und Bernath, T. (1988): *Indoor Pollution: Guidelines for Prevention and Control of Microbiological Respiratory Hazards Associated with Air Conditioning and Ventilation Systems*.
- ECA (1993): *Biological Particles in Indoor Environments*. Commission of the European Communities, Brussels.
- Elixman, J.H. (1989): *Filter einer lufttechnischen Anlage als Ökosystem und als Verbreiter von Pilzallergenen*. Dustri-Verlag, München-Deisenhofen.
- Ellis, M.B. (1971): *Dermaticeous Hyphomycetes*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England.
- Flannigan, B. und Morey, P.R. (1996): *ISIAQ Task Force 1: Towards Guidelines for Control of Moisture Problems affecting Indoor Air Quality*. *Indoor Air Quality in Practice, Moisture and Cold Climate Solutions*.
- Fradkin, A., Tarlo, S.M., Tobin, R.S., Tucic-Porretta, M. und Malloch, D. (1987): Species Identification of Airborne Molds and Its Significance for the Detection of Indoor Pollution. *International Journal of Air Pollution Control and Hazardous Waste Management* **37**(1): 51-53.
- Gravesen, S., Frisvad, J.C. und Samson, R.A. (1994): *Microfungi*. Munksgaard, Denmark.
- Gregory, P.H. (1973): *Microbiology of the Atmosphere*. Leonard Hill Books, England.
- Grillot, R., Parat, S., Perdrix, A. und Croize, J. (1990): Contamination of Air Systems: 1987-88 Assessment and Prospects of the Grenoble Intervention Group. *Aerobiologia* **6**: 58-65.
- Gubler, C. (1990): *zur mykogenen Allergie: Pilzsporengelalt in der Luft von Zürich*. Universität Zürich, Zürich.
- Heinemann, S., Beguin, H. und Nolard, N. (1994): *Biocontamination in Air-Conditioning. Health Implications of Fungi in Indoor Environments*. Samson, R. A et. al. Elsevier, Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo. **2**.

- Hung, L.L., Yang, C.S., Lewis, F.A. und Zampello, F.A. (1995): Seasonal Variation of Microorganisms in Air Handling Units - A Three-Year Study. *Indoor Air, An Integrated Approach*. Morawska, Bofinger und Maroni.
- Kayser, F.H., Bienz, K.A., Eckert, J. und Lindenmann, J. (1992): *Medizinische Mikrobiologie*. Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Kodama, A.M. und McGee, R.I. (1986): Airborne Microbial Contaminants in Indoor Environments. Naturally Ventilated and Air-Conditioned Homes. *Archives of Environmental Health* **41**(5): 306-311.
- Koskinen, O., Husman, T., Hyvärinen, A., Reponen, T. und Nevalainen, A. (1995): Respiratory Symptoms and Infections among Children in a Day-Care Center with Mold Problems. *Indoor Air* **5**: 3-9.
- Kruppa, B., de Veer, I. und Rüden, H. (1993): Experimentelle Untersuchungen zur Frage der aerogenen Übertragung von Luftmikroorganismen bei hybriden Heizungssystemen. *Gesundheits-Ingenieur* **114**(1): 5-10.
- Lehtonen, M., Reponen, T. und Nevalainen, A. (1993): Everyday Activities and Variation of Fungal Spore Concentration in Indoor Air. *International Biodeterioration & Biodegradation* **31**: 25-39.
- Luoma, M., Pasanen, A.-L., Pasanen, P. und Fan, Y. (1993): Duct Cleaning - A Literature Survey. *Air Infiltration Review* **14**(4): 1-5.
- Macher, J.M., Huang, F.-Y. und Flores, M. (1991): A Two-Year Study of Microbiological Indoor Air Quality in a New Apartment. *Archives of Environmental Health* **46**(1): 25-29.
- Martkainen, P.J., Asikainen, A., Nevalainen, A., Jantunen, M., Pasanen, P. und Kalliokoski, P. (1990): Microbial Growth on Ventilation Filter Materials. *Indoor Air* **90** **3**: 203-206.
- Miquel, M.P. (1883): *Les organismes vivant de l'atmosphère*. Gauthier-Villars, Paris.
- Morey, P.R. (1988): Microorganisms in Buildings and HVAC Systems: A Summary of 21 Environmental Studies. ASHRAE Conference, IAQ88.
- Morey, P.R. (1989): *Bioaerosols in the Indoor Environment: Current Practices and Approaches*. American Industrial Hygiene Association, Akron, OH.
- Nevalainen, A., Pasanen, A.-L., Niininen, M., Reponen, T., Kallioski, P. und Jantunen, M.J. (1991): The Indoor Air Quality in Finnish Homes with Mold Problems. *Environment International* **17**: 299-302.
- Nilsson, S. (1983): *Atlas of Airborne Fungal Spores in Europe*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Ohgke, H., Senkpiel, K. und Beckert, J. (1993): Experimental Evaluation of Microbial Growth and Survival in Air Filters. *Proceedings of Indoor Air '93* **6**: 521-526.
- Pasanen, A.-L., Kalliokoski, P., Pasanen, P., Jantunen, M.J. und Nevalainen, A. (1991): Laboratory Studies on the Relationship between Fungal Growth and Atmospheric Temperature and Humidity. *Environment International* **17**: 225-228.
- Pasanen, P., Hujanen, M., Kalliokoski, P., Pasanen, A.-L., Nevalainen, A. und Ruuskanen, J. (1992): Criteria for Changing Ventilation Filters. IAQ 92, 13th AIVC Conference, Nice.

- Pasanen, P., Nevalainen, A., Ruuskanen, J. und Kallioski, P. (1992): The Composition and Location of Dust Settled in Supply Air Ducts. 13th AIVC Conference.
- Pellikka, M., Jantunen, M.J., Kalliokoski, P. und Pitkänen, E. (1986): Ventilation and Bioaerosols. Ventilation '85, Toronto, Elsevier Science.
- Reiss, J. (1986): Schimmelpilze, Lebensweise Nutzen Schaden Bekämpfung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Reponen, T., Nevalainen, A. und Raunemaa, R. (1989): Bioaerosol and Particle Mass Levels and Ventilation in Finnish Homes. Environment International **15**: 203-208.
- Ruotsalainen, R., Jaakkola, N. und Jaakkola, J.J.K. (1993): Ventilation and Indoor Air Quality in Finnish Daycare Centers. Environment International **19**: 109-119.
- Russenberger, H.J. (1973): Keimgehalt der Raumluft in Abhängigkeit der Belegung und des Luftwechsels. ETH Zürich, Zürich.
- Schlegel, H.G. (1992): Allgemeine Mikrobiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Schneiders, T. (1994): Zur hygienischen Luftqualität in Wohngebäuden bei der Konditionierung der Zuluft mittels Erdwärmetauscher. Technische Hochschule Aachen.
- Senkpiel, K., Ohgke, H. und Beckert, J. (1994): Kinetik der Auskeimung von Schimmelpilzsporen auf Baustoffen in Abhängigkeit von deren Gleichgewichts-, Material- und Oberflächen-Feuchte. Gesundheits-Ingenieur **115**(2): 77-85.
- SKI (1987): Richtlinien für Bau, Betrieb und Überwachung von raumluftechnischen Anlagen in Spitälern. Schweizerisches Institut für Gesundheits- und Krankenhauswesen, Aarau.
- Trümper, H., Albers, K.-J. und Hain, K. (1992): Energy Savings by Balanced Ventilation with Heat Recovery and Ground Heat Exchanger. 13th AIVC Conference.
- Tyndall, J. (1883): Essays on the Floating Matter of the Air in Relation to Purefaction and Infection, London.
- van der Zander, A. (1988): Untersuchungen von Mikroorganismen in Zuluft und Raumluft eines vollklimatisierten Grossklinikums im Hinblick auf das Vorkommen von nosokomialer Infektionen. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen.
- von Arx, J.A. (1974): The Genera of Fungi. Cramer, Vaduz, Fürstentum Lichtenstein.
- Wanner, H.U. und Deuber, A. (1969): Methodische Untersuchung zum Nachweis von Bakterien in der Luft. Archiv für Hygiene und Bakteriologie **153**(4): 316-325.
- Wanner, H.U. und Wirz, M. (1974): Hygienische Aspekte der Luftbefeuchtung in Klimaanlageanlagen. Sozial- und Präventivmedizin **19**: 351-356.
- Wells, W.F. (1933): Apparatus for Study of the Bacterial Behaviour of Air. Am. J. Public Health **23**(1).
- Wheeler, A.E. (1994): Better Filtration for Healthier Buildings. ASHRAE Journal(June): 62-69.

10 Anhang

10.1 Fotografien der Gebäude mit untersuchten Erdregistern



EFH Konrad, Grüningen



EFH Kriesi, Wädenswil



EFH Fraefel, Grüningen



EFH Kurt, Wettswil



MFH Hausäcker, Winterthur



MFH Niederholzboden, Riehen



Schulhaus Steinmaur, Steinmaur



Bürogebäude Stahlrain, Brugg



*Gewerbehaus Schwerzenbacherhof,
Schwerzenbach*



Restaurant Adliswil

10.2 Illustration von bebrüteten Nährbodenplatten mit Luftproben

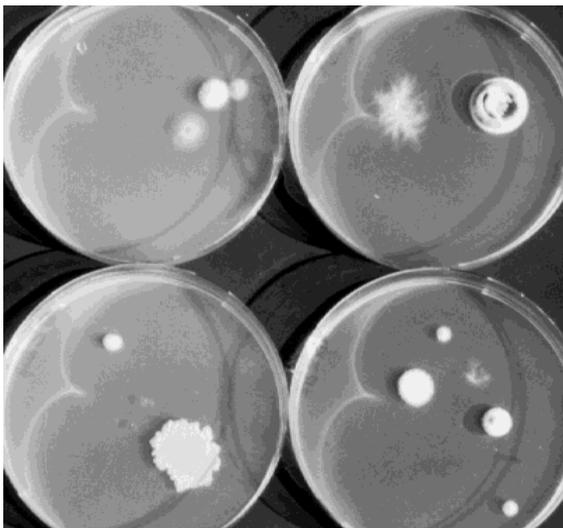
Beispiele von Probenahmen in der Aussen-, Erdregister- und Zuluft einer Anlage. Rechts sind jeweils zwei Platten für den Nachweis von Pilzen, links für Bakterien abgebildet. Pilze auf Bakterienplatten oder Bakterien auf Pilzplatten kommen gelegentlich vor, werden aber nicht in die Berechnungen der Gesamtkeimzahlen einbezogen. Während die Konzentrationen in der Aussenluft und in der Erdregisterluft ungefähr gleich gross sind, sieht man deutlich wie wenige Keime in der Zuluft enthalten sind. (Jeweils 150 Liter Luft pro Platte.)



Bakterienplatten *Pilzplatten*
Erdregisterluft



Bakterienplatten *Pilzplatten*
Aussenluft



Bakterienplatten *Pilzplatten*
Zuluft

10.3 Pilzgattungen

Verteilung der Pilzgattungen im Winter

Aussenluft

	EFH Konrad		EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Adliswil		Stahlrain		Hausäcker		Schwerzenbach	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	46	42	57	66	375	84	50	63	104	67	96	69	43	42	61	65	82	76
<i>Penicillium</i>	15	14	10	12	36	8	12	15	21	13	21	15	21	20	3	4	12	11
<i>Aspergillus</i>	21	19	3	3	3	1	8	10	10	6	12	9	27	26	1	1	1	1
<i>Botrytis</i>	0	0	1	2	3	1	3	4	6	4	3	2	6	5	22	24	1	1
<i>Alternaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fusarium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mucor</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
<i>n. bestimmt</i>	27	25	14	16	31	7	6	8	13	8	6	4	7	7	5	5	13	12
Total	110	100	86	100	448	100	79	100	154	100	139	100	104	100	93	100	108	100

Erdregisterluft

	EFH Konrad		EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Adliswil		Stahlrain		Hausäcker		Schwerzenbach	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	24	13	32	34	188	64	41	64	69	69	19	42	13	29	29	58	52	67
<i>Penicillium</i>	75	41	14	15	80	27	11	17	9	10	15	32	17	39	5	10	9	12
<i>Aspergillus</i>	61	33	43	46	0	0	3	4	12	12	9	19	3	7	1	1	0	0
<i>Botrytis</i>	1	0	1	1	3	1	3	5	4	4	1	1	1	1	12	24	1	2
<i>Alternaria</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fusarium</i>	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mucor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	24	13	5	5	23	8	5	7	5	5	3	6	11	24	4	7	15	20
Total	184	100	94	100	294	100	64	100	99	100	46	100	44	100	51	100	60	100

Zuluft

	EFH Konrad		EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Adliswil		Stahlrain		Hausäcker		Schwerzenbach	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	30	41	7	38	28	37	11	60	5	47	1	33	1	15	1	20	11	70
<i>Penicillium</i>	16	22	2	12	26	34	5	26	2	20	1	33	1	15	2	80	1	4
<i>Aspergillus</i>	12	17	3	15	0	0	1	3	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Botrytis</i>	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alternaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fusarium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mucor</i>	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	15	21	6	31	21	29	2	9	3	27	1	33	5	70	0	0	3	22
Total	73	100	18	100	74	100	18	100	10	100	3	100	7	100	3	100	16	100

Verteilung der Pilzgattungen im Sommer

Aussenluft

	EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Stahlrain		Hausäcker		Migros Frick		Schönenwerd	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	3194	98	455	81	1004	88	1012	92	1462	95	909	92	431	91	1145	91
<i>Penicillium</i>	5	0	35	6	28	2	15	1	22	1	11	1	10	2	60	5
<i>Aspergillus</i>	4	0	7	1	3	0	22	2	1	0	3	0	3	1	20	2
<i>Botrytis</i>	7	0	13	2	7	1	14	1	3	0	13	1	8	2	7	1
<i>Alternaria</i>	3	0	5	1	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fusarium</i>	0	0	9	2	0	0	3	0	2	0	0	0	4	1	1	0
<i>Mucor</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhizopus</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Trichoderma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
<i>Tamnidium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Aureobasidium</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	41	1	41	7	94	8	37	3	43	3	46	5	18	4	22	2
Total	3254	100	565	100	1137	100	1105	100	1537	100	985	100	473	100	1257	100

Erdregisterluft

	EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Stahlrain		Hausäcker		Migros Frick		Schönenwerd	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	2076	99	442	79	773	91	630	91	852	89	351	92	223	44	974	92
<i>Penicillium</i>	7	0	39	7	9	1	17	2	9	1	16	4	25	5	61	6
<i>Aspergillus</i>	3	0	3	1	11	1	24	3	70	7	1	0	3	1	3	0
<i>Botrytis</i>	5	0	3	1	5	1	7	1	7	1	2	1	1	0	13	1
<i>Alternaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	0	2	0
<i>Fusarium</i>	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Mucor</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhizopus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Tamnidium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
<i>Paecilomyces</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	1	0	68	12	49	6	14	2	14	1	11	3	3	1	4	0
Total	2096	100	559	100	848	100	693	100	960	100	379	100	255	100	1054	100

Zuluft

	EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Stahlrain		Hausäcker		Migros Frick		Schönenwerd	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	389	97	190	53	445	79	13	54	2	30	27	80	12	60		
<i>Penicillium</i>	5	1	67	19	71	13	1	6	2	30	2	6	5	27		
<i>Aspergillus</i>	3	1	0	0	11	2	5	20	0	0	0	0	1	7		
<i>Botrytis</i>	1	0	1	0	2	0	1	3	0	0	0	0	1	7		
<i>Alternaria</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>Fusarium</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>n. bestimmt</i>	3	1	99	28	32	6	4	17	3	40	5	14	0	0		
Total	401	100	358	100	563	100	23	100	7	100	33	100	20	100		

Verteilung der Pilzgattungen im Frühling

Aussenluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker		Niederholzboden		Stahlrain	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	178	29	124	60	213	74	152	64	315	87
<i>Penicillium</i>	34	6	41	20	30	10	19	8	12	3
<i>Aspergillus</i>	6	1	13	6	11	4	6	2	1	0
<i>Botrytis</i>	3	0	6	3	11	4	5	2	16	4
<i>Alternaria</i>	2	0	3	2	1	0	4	2	0	0
<i>Fusarium</i>	0	0	0	0	0	0	4	2	1	0
<i>Rhizopus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	389	64	21	10	21	7	46	20	16	4
Total	613	100	208	100	287	100	236	100	361	100

Erdregisterluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker		Niederholzboden		Stahlrain	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	99	13	96	58	110	46	87	52	142	67
<i>Penicillium</i>	18	2	36	22	27	12	31	18	53	25
<i>Aspergillus</i>	5	1	15	9	77	33	6	3	5	2
<i>Botrytis</i>	1	0	4	2	4	2	5	3	5	2
<i>Alternaria</i>	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0
<i>Fusarium</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1
<i>Mucor</i>	0	0	0	0	7	3	0	0	0	0
<i>Rhizopus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	649	84	12	7	11	5	39	23	5	2
Total	773	100	166	100	238	100	168	100	211	100

Zuluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker		Niederholzboden		Stahlrain	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	33	10	1	8	1	13	49	39		
<i>Penicillium</i>	14	4	3	17	1	7	20	18		
<i>Aspergillus</i>	2	0	2	13	8	80	2	1		
<i>Botrytis</i>	0	0	0	0	0	0	1	2		
<i>Alternaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>Fusarium</i>	1	0	0	0	0	0	1	0		
<i>n. bestimmt</i>	284	85	9	63	0	0	33	39		
Total	333	100	15	100	9	100	105	100		

Verteilung der Pilzgattungen im Herbst

Aussenluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	289	82	433	84	403	88
<i>Penicillium</i>	27	8	31	6	14	3
<i>Aspergillus</i>	4	1	2	0	4	1
<i>Botrytis</i>	9	2	9	2	6	1
<i>Alternaria</i>	4	1	8	2	4	1
<i>Fusarium</i>	3	1	1	0	0	0
<i>Mucor</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Rhizopus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	17	5	29	6	26	6
Total	352	100	515	100	456	100

Erdregisterluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	111	58	254	66	377	90
<i>Penicillium</i>	25	13	95	25	18	4
<i>Aspergillus</i>	3	1	2	1	3	1
<i>Botrytis</i>	1	1	7	2	9	2
<i>Alternaria</i>	1	0	4	1	3	1
<i>Fusarium</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Mucor</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Trichoderma</i>	1	0	0	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	51	26	21	5	9	2
Total	192	100	384	100	420	100

Zuluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>Cladosporium</i>	65	62	3	22	5	64
<i>Penicillium</i>	19	18	6	50	1	9
<i>Aspergillus</i>	2	2	0	0	0	0
<i>n. bestimmt</i>	20	19	3	28	2	27
Total	106	100	12	100	7	100

Verteilung der Bakterien im Winter

Aussenluft

	EFH Konrad		EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Adliswil		Stahlrain		Hausäcker		Schwerzenbach	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	14	16	7	11	2	5	0	0	20	15	23	14	20	13	14	16	12	12
<i>g-pos Stäbchen</i>	23	25	21	34	10	25	9	65	90	67	106	65	91	59	54	61	68	67
<i>g-neg Stäbchen</i>	1	1	0	0	1	3	0	0	10	7	17	10	3	2	4	5	3	3
<i>Actinomycetes</i>	52	56	34	55	23	56	4	30	9	7	15	9	39	25	11	13	16	16
<i>n. bestimmt</i>	2	2	0	0	5	11	1	5	6	5	3	2	0	0	5	5	2	2
Total	93	100	61	100	42	100	14	100	135	100	164	100	153	100	88	100	101	100

Erdregisterluft

	EFH Konrad		EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Adliswil		Stahlrain		Hausäcker		Schwerzenbach	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	7	9	6	11	10	27	1	3	12	42	6	12	3	7	8	20	5	12
<i>g-pos Stäbchen</i>	6	8	20	34	11	30	8	55	13	46	35	68	10	22	22	55	25	65
<i>g-neg Stäbchen</i>	7	9	2	3	1	1	0	0	0	0	3	5	0	0	2	4	1	1
<i>Actinomycetes</i>	56	71	29	50	14	37	6	38	2	8	7	13	32	70	8	21	7	18
<i>n. bestimmt</i>	2	2	1	2	2	4	1	3	1	4	1	2	1	1	0	0	2	4
Total	79	100	58	100	37	100	15	100	27	100	51	100	46	100	39	100	39	100

Zuluft

	EFH Konrad		EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Adliswil		Stahlrain		Hausäcker		Schwerzenbach	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	3	6	10	23	4	10	5	56	1	8	5	27	3	18	10	30	17	58
<i>g-pos Stäbchen</i>	10	19	14	35	13	32	1	13	6	62	8	48	7	36	44	37	7	25
<i>g-neg Stäbchen</i>	1	3	0	0	0	0	0	0	1	15	0	0	0	0	0	2	2	5
<i>Actinomycetes</i>	39	72	17	40	22	56	2	19	1	15	4	24	8	43	14	19	3	9
<i>n. bestimmt</i>	0	0	1	2	1	2	1	13	0	0	0	0	1	4	3	12	1	2
Total	54	100	41	100	39	100	8	100	9	100	17	100	19	100	71	100	29	100

Verteilung der Bakterien im Sommer

Aussenluft

	EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Stahlrain		Hausäcker		Migros Frick		Schönenwerd	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	14	5	14	14	16	14	17	24	18	22	31	10	9	18	35	39
<i>g-pos Stäbchen</i>	171	62	56	57	69	59	49	70	44	55	73	24	28	58	49	55
<i>g-neg Stäbchen</i>	28	10	6	6	7	6	1	2	3	3	8	2	1	1	2	2
<i>Actinomycetes</i>	61	22	16	17	17	14	1	2	5	6	179	58	9	20	2	2
<i>n. bestimmt</i>	1	0	6	6	9	7	2	3	11	13	19	6	1	3	1	1
Total	274	100	98	100	118	100	71	100	81	100	311	100	48	100	89	100

Erdregisterluft

	EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Stahlrain		Hausäcker		Migros Frick		Schönenwerd	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	4	4	8	8	15	12	18	41	2	9	6	3	16	53	4	13
<i>g-pos Stäbchen</i>	35	43	36	35	54	46	21	47	8	48	18	8	9	31	23	76
<i>g-neg Stäbchen</i>	10	12	7	7	2	1	1	2	0	0	0	0	1	4	0	0
<i>Actinomycetes</i>	29	35	47	46	43	36	1	1	6	33	125	57	3	11	2	7
<i>n. bestimmt</i>	4	5	3	3	5	4	4	8	2	9	71	37	0	0	1	4
Total	82	100	101	100	118	100	44	100	17	100	221	100	30	100	31	100

Zuluft

	EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Stahlrain		Hausäcker		Migros Frick		Schönenwerd	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	3	11	3	10	11	27	3	44	1	33	3	45	0	0		
<i>g-pos Stäbchen</i>	15	64	15	46	13	33	3	56	1	17	0	0	55	100		
<i>g-neg Stäbchen</i>	3	11	7	22	1	2	0	0	1	17	0	0	0	0		
<i>Actinomycetes</i>	3	14	6	18	6	15	0	0	1	17	4	55	0	0		
<i>n. bestimmt</i>	0	0	1	4	9	23	0	0	1	17	0	0	0	0		
Total	24	100	33	100	40	100	6	100	4	100	7	100	55	100		

Verteilung der Bakterien im Frühling

Aussenluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker		Niederholzboden		Stahlrain	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	29	27	33	22	58	6	35	29	11	12
<i>g-pos Stäbchen</i>	66	60	101	67	145	15	64	53	71	78
<i>g-neg Stäbchen</i>	6	6	8	5	8	1	3	3	1	1
<i>Actinomycetes</i>	4	4	7	5	754	77	12	10	4	4
<i>n. bestimmt</i>	4	4	1	1	9	1	6	5	4	4
Total	111	100	149	100	974	100	121	100	91	100

Erdregisterluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker		Niederholzboden		Stahlrain	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	14	14	43	28	25	1	18	30	1	8
<i>g-pos Stäbchen</i>	52	53	81	53	25	1	27	44	13	77
<i>g-neg Stäbchen</i>	12	12	19	12	3	0	3	5	0	0
<i>Actinomycetes</i>	20	20	7	4	1738	97	10	17	1	4
<i>n. bestimmt</i>	1	1	3	2	1	0	3	4	2	12
Total	99	100	152	100	1792	100	61	100	17	100

Zuluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker		Niederholzboden		Stahlrain	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	1	5	1	7	1	10	19	40		
<i>g-pos Stäbchen</i>	13	60	6	71	3	40	21	44		
<i>g-neg Stäbchen</i>	0	0	0	0	0	0	0	0		
<i>Actinomycetes</i>	7	35	2	21	3	50	7	14		
<i>n. bestimmt</i>	0	0	0	0	0	0	1	1		
Total	21	100	9	100	6	100	47	100		

Verteilung der Bakterien im Herbst

Aussenluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	6	10	141	36	43	16
<i>g-pos Stäbchen</i>	23	41	204	52	186	71
<i>g-neg Stäbchen</i>	16	27	3	1	8	3
<i>Actinomycetes</i>	8	13	38	10	14	5
<i>n. bestimmt</i>	5	9	9	2	12	5
Total	57	100	395	100	263	100

Erdregisterluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	4	13	36	19	33	22
<i>g-pos Stäbchen</i>	13	39	108	58	89	59
<i>g-neg Stäbchen</i>	1	3	4	2	6	4
<i>Actinomycetes</i>	13	39	27	15	15	10
<i>n. bestimmt</i>	2	6	11	6	8	6
Total	33	100	186	100	152	100

Zuluft

	EFH Kurt		Steinmaur		Hausäcker	
	CFU/m3	%	CFU/m3	%	CFU/m3	%
<i>g-pos Kokken</i>	5	26	5	47	1	50
<i>g-pos Stäbchen</i>	7	35	4	40	1	25
<i>g-neg Stäbchen</i>	3	13	0	0	1	25
<i>Actinomycetes</i>	3	16	1	13	0	0
<i>n. bestimmt</i>	2	10	0	0	0	0
Total	21	100	10	100	3	100

10.6 Temperaturen und Luftfechtigkeiten

Temperaturen und relative Luftfechtigkeiten

Winter

	EFH Konrad		EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Toni Adliswil		Metron Brugg		Winterthur		Sch'bach	
	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.
Aussenluft	-1	78	0	81			-4	82	-4	65	-4	76	-3	84	-4	85	1	72
im Luftschaft					6	65			-2	58	-3	74					0	75
vor Wärmetauscher	9	48 ?	6	65	17	44	5	61	3	53	6	41	5	50	2			
Zuluft	19	41	20	23			21	23	19	21	18	23	18	23	17	24	21	24
Abluft			9	83														
Raumluft			20	47	23	30							20	24				

Frühling

	Steinmaur		Winterthur		EFH Kurt		Riehen		Metron Brugg	
	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.
Aussenluft	8 (15)	47 (37)	21	30	16	44 (60)	9	80	30	30
im Luftschaft	8	60					10	76		
vor Wärmetauscher	8 (13)	62 (37)	11 (13)	56 (60)	9	86 (90)	14	63	17	70
Zuluft	16 (19)	31 (28)	18	39	21	42	21	43		
Abluft										
Raumluft										

Sommer

	EFH Fraefel		EFH Kriesi		EFH Kurt		Steinmaur		Metron Brugg		Winterthur		Migros Frick		Schönenwerd	
	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.
Aussenluft	22	40	25 (29)	60	15 (19)	68 (55)	14 (20)	60 (50)	18 (21)	55 (51)	25 (28)	57 (47)	20 (23)	42	15 (19)	65 (57)
im Luftschaft							18	55							17	61
vor Wärmetauscher			13	89 (94)	14	99	14 (18)	44	18	60 (53)	18	93	17	55	19	55
Zuluft	21	45	25	50	22	60	20	42	22	46 (52)	21	76	21	40	21	50
Abluft																
Raumluft	22	50			20	56			22	50	21	70				

Herbst

	Steinmaur		Winterthur		EFH Kurt	
	°C	r. F.	°C	r. F.	°C	r. F.
Aussenluft	11 (16)	76 (61)	10 (18)	81 (51)	10 (14)	80 (68)
im Luftschaft	17	58				
vor Wärmetauscher	13 (17)	70 (56)	13	65	13	78 (85)
Zuluft	17	55	19	48	23	45
Abluft						
Raumluft			20	50	22	48

die zweite Zahl in Klammern gibt den gemessenen Wert bei der zweiten Messung wieder, falls sich Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit gegenüber der ersten Messung am Morgen stark verändert hat.

