



Bundesamt für Energiewirtschaft

3003 Bern

JAHRESBERICHT 1996

Über die Arbeiten gemäss Auftrag:

Titel des Projekts: Untersuchungen über mikrobielle Verunreinigungen in Luftansaug-Erdregistern

Zusammenfassung: In zwölf Erdregisteranlagen wurden Untersuchungen über Konzentrationen von Mikroorganismen durchgeführt. Erfasst wurden Pilze und Bakterien in der Aussen-, Erdregister- und Zuluft. Um jahreszeitliche Einflüsse zu berücksichtigen, wurden drei Anlagen zu jeder Jahreszeit untersucht.

Die Konzentration der Luftkeime lag nach Durchströmen des Erdregisters im Vergleich zur Aussenluft meist tiefer. Zwischen den EFH und den grossen Anlagen wurden grosse Unterschiede bei den Gesamtkeimzahlen wie auch bei den einzelnen Organismengruppen gefunden. EFH sind häufiger von Veränderungen in der Zusammensetzung der Mikroflora betroffen und die Abnahme im Erdregister fällt deutlich geringer aus. Gelegentlich wurden in der Erdregisterluft sogar höhere Konzentrationen als in der Aussenluft gemessen. Die nach den Erdregistern eingebauten Filter reduzieren die Keimzahlen deutlich, so dass die Zuluft in der Regel keimarm ist. Die Reduktion der Keimzahlen hängt von der Filterqualität ab.

Aufgrund der erhaltenen Resultate werden Empfehlungen aus lufthygienischer Sicht für den Bau, Betrieb und Unterhalt von Erdregisteranlagen vorgeschlagen.

Dauer des Projekts: 1.10.1995 bis 31.12.1996

Beitragsempfänger: Prof. H.U. Wanner

Berichterstatter: Dipl. Natw. B. Flückiger, Prof. P. Lüthy, Prof. H.U. Wanner

Adresse: Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
Fachbereich Umwelthygiene
Clausiusstr. 25 / ETH Zentrum
8092 Zürich

Telefon: 01 632 24 22 / 01 632 39 73

Untersuchungen über mikrobielle Verunreinigungen in Luftansaug-Erdregistern

1 Einleitung und Fragestellung

In Neubauten mit einem fortschrittlichen Energiekonzept wird oft eine kontrollierte Lüftung gewählt. Aufgewärmt wird die Zuluft durch Wärmerückgewinnung aus der in den Nassräumen abgesaugten Luft. Als Ergänzung dazu kann die Aussenluft über ein erdverlegtes Rohrsystem angesaugt werden. In diesen Luffterdregister 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. Aus lufthygienischer Sicht kann der Bau solcher Systeme nur dann empfohlen werden, wenn feststeht, dass keine mikrobiellen Verunreinigungen in den Luftkanälen auftreten.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde bei bestehenden Erdregister-Anlagen überprüft, ob mikrobielle Verunreinigungen auftreten und ob diese zu einer Belastung der Zuluft, beziehungsweise der Raumluft führen können. Die durch Erdregister angesaugte Zuluft wurde auf qualitative und quantitative Unterschiede in der Mikroflora im Vergleich zur Aussenluft untersucht. Berücksichtigt wurden dabei Eigenschaften wie Alter, Betriebsdauer und Material der Erdregister.

In 12 ausgewählten Anlagen wurde eine **Querschnitt-Untersuchung** durchgeführt, um die Konzentrationen und die Arten von Mikroorganismen in der **Aussenluft**, in der **Erdregisterluft** und in der **Zuluft** zu erfassen und die Anlagen miteinander vergleichen zu können. Daneben wurde eine **Längsschnitt-Untersuchung** in drei Anlagen durchgeführt, um jahreszeitliche Veränderungen feststellen zu können.

Eine **Literaturstudie** über vergleichbare Untersuchungen in Erdregisteranlagen und generell in Lüftungsanlagen ergänzte die Messungen.

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

2 Grundlagen

2.1 Vorkommen und Bedeutung von Mikroorganismen in der Luft

Das Vorkommen von **Schimmelpilzen** in der Aussenluft unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen. Die höchsten Konzentrationen werden im Sommer gemessen [Gubler, 1990]. Die Lebensdauer der Schimmelpilze in der Luft ist abhängig von der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Sonneneinstrahlung [Reiss, 1986]. Die Konzentration der Schimmelpilze in der Innenluft liegt in der Regel deutlich tiefer als in der Aussenluft [ECA, 1993]. Die Pilzsporenkonzentration in der Innenluft ist abhängig von der Konzentration in der Aussenluft sowie vom Wohnverhalten, der Belegung und der Raumnutzung [Schneiders, 1994]. Bauphysikalische und konstruktive Bauwerksmängel (Diffusionssperren, Kältebrücken etc.) können Schimmelpilzkontaminationen begünstigen. Raumlufttechnische Anlagen, insbesondere Luftwäscher und -befeuchter, können Quellen und Verbreitungswege für Schimmelpilze in der Innenluft darstellen.

Nur wenige Schimmelpilze sind humanpathogen. Die meisten leben als Saprophyten. Ist der Abwehrmechanismus eines Körpers geschwächt, können verschiedene Pilze (z. Bsp. *Aspergillus*, *Penicillium*) **Infektionen** hervorrufen [Gravesen et al., 1994]. Einige

Stoffwechselprodukte können **Vergiftungen** verursachen [Reiss, 1986]. Wird ein Organismus wiederholt hohen Konzentrationen an Pilzsporen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko **allergischer Reaktionen**.

Bakterien können in Wassertröpfchen und an Partikel gebunden durch menschlichen Aktivitäten (z. Bsp. Kläranlagen) und durch Luftbewegungen in die Atmosphäre gelangen. 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.

Die gram-positiven Kokken, die in der Innenluft überwiegen, sind meist harmlose Kommensalen und leben auf der Haut oder auf Schleimhäuten. Die häufigsten gram-positiven Stäbchen in der Luft gehören zu den Gattungen *Bacillus* und *Corynebacterium*. Beide sind in der Natur, vorwiegend im Boden, weit verbreitet. Einige wenige Arten können pathogen wirken. Die gram-negativen Stäbchen sind in der Natur weit verbreitet und meist harmlos. Einige sind in der Medizin jedoch von grosser Bedeutung.

2.2 Mikrobielle Wachstumsbereiche

Der bevorzugte **Temperaturbereich** liegt für die meisten Bodenbakterien und Schimmelpilze zwischen 20 und 35°C. Viele Schimmelpilze und einige Bakterien wachsen jedoch noch bei Temperaturen bis gegen den Gefrierpunkt. 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. Diese **Wasseraktivität** ($a_w = p_D / p_S$; p_D = Wasserdampfdruck im Substrat, p_S = Sättigungsdruck des reinen Wassers) ist abhängig von der Temperatur, dem pH-Wert und der chemischen Zusammensetzung des Substrats. 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.

2.3 Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten in den Erdregistern

In einer Messkampagne des Technikums Winterthur in der Erdregisteranlage MFH Hausäcker wurden folgende Werte gemessen:

Die Tagesmittelwerte der **Lufttemperaturen** am Ende eines Erdregisterrohres lagen im Sommer um ca. 20°C, im Winter bei 0 - 5°C.

In der Zeit von April bis November lag das Tagesmittel der **relativen Luftfeuchtigkeit** an mindestens der Hälfte aller Tage über 70%. Auch wenn in den Monaten Dezember, Februar und März die Luftfeuchtigkeit im Rohr im Durchschnitt unter 70% lag, so gab es doch auch sehr feuchte Perioden im Winter. Während des Messjahres lagen die Tagesmittelwerte nur an 30 Tagen über 90%. Die Tagesmaximalwerte lagen im Sommerhalbjahr meist zwischen 80% und 100%. Aufgrund dieser Zahlen kann ausgesagt werden, dass insbesondere in den Sommer- und Übergansmonaten ein mikrobielles Wachstum aufgrund der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit möglich und zu erwarten ist.

Zwei Nährstoffquellen bieten sich für Mikroorganismen in den Rohren an: Die sichtbaren organischen Staubablagerungen, die mit den Organismen in die Rohre gelangen [Pasanen et al., 1992; Luoma et al., 1993] sowie die Baumaterialien selbst [Bolsaitis et al., 1993; Senkpiel et al., 1994].

3 Beschreibung der untersuchten Luftansaug-Erdregistern

Die Aussenluft wird bei Erdregisteranlagen über ein langes Rohr oder über eine Vielzahl von Rohren angesaugt und dem Wärmetauscher der Lüftungsanlage zugeführt. Die Rohre sind meist unter dem Gebäude oder entlang der Baugrube im Erdreich ca. 1,5 Meter tief verlegt.

Die Luft wird im Boden vorgewärmt, respektive im Sommer gekühlt. Da es bei der Kühlung zu Unterschreitungen des Taupunktes kommen kann, besitzen alle Erdregister ein Gefälle. Die angesaugte Luft wird gefiltert und in einem Plattenwärmetauscher an der in den Nasszellen (Badezimmer und Küche) abgesaugten, warmen Raumluft vorbeigeleitet. Die abgekühlte Abluft wird anschliessend, meist übers Dach, ausgeblasen. Eintrittsöffnungen für die aufgewärmte Zuluft liegen entweder auf Bodenhöhe oder im Bereich der Decke der einzelnen Räume.

Insgesamt wurden **12 Erdregister-Anlagen** untersucht, vier der Anlagen sind an Einfamilienhäuser gekoppelt, zwei an Mehrfamilienhäuser und sechs an Gebäude mit diverser Nutzung (Schulhaus, Bürogebäude, Lebensmittelladen, Restaurant). Drei der Anlagen sind mit Zementrohren, acht mit Kunststoffrohren (10 bis 40 cm Ø, 10 bis 900 m Länge) ausgerüstet. Die Anlage des EFH Konrad saugt die Luft über die Sickerleitung an. Wegen der möglichen Radonbelastung werden heute keine offenen Anlagen mehr gebaut. Da aber vereinzelt immer noch solche Anlagen in Betrieb sind, wurde dieses Gebäude zusätzlich ins Messkonzept einbezogen. Tabelle 1 vermittelt eine Übersicht über die ausgewählten Anlagen.

Objekt	EFH Konrad	EFH Fraefel	EFH Kriesi	EFH Kurt	Bürohaus Stahlrain	MFH Hausäcker	Schulhaus Steinmaur
Gemeinde	Grünigen	Grünigen	Wädenswil	Wetswil	Brugg	Winterthur	Steimaur
Fertigstellung	1989	1995	1990	1994	1993	1994	1990
m3/h	120	200	240	195	2 * 4'000-8'000	855 (800)	3500
m/s	1.9	0.2	0.9		1-2	1.23	3.5
Anzahl Rohre	1	12	15	2	9	4	5
Rohrlänge (m)	18	22	ca. 10	7	8	28	33
Durchmesser (cm)	150	10	8	25	10	40	25
Rohrmaterial	Sickerleitung	Kunststoff	Kunststoff	PE-Kunststoff	Zement	PE-Kunststoff	Zement
Oberfläche der Rohre	glattwandig	geripfelt	glattwandig	glattwandig	rau	glattwandig	rau
Filterqualität	Grobstaub	Grobstaub	Grobstaub	Grobstaub	Feinstaub	Feinstaub	Feinstaub
Betriebszeiten	ganzjährig	ganzjährig	H/W/F	H/W/F	W/S	ganzjährig	während Schulbetrieb

Objekt	Restaurant Adliswil	Migros Frick	Migros Schönenwerd	MFH Niederholzboden	Gewerbehaus Schwerzenbacherhof
Gemeinde	Adliswil	Frick	Schönenwerd	Riehen	Schwerzenbach
Fertigstellung	1993	1983	1986	1994	1989/90
m3/h	8500	26'600	2'500-15'500	2000 / 2800	12000-17150
m/s	1.9	8		1.11 / 1.55	
Anzahl Rohre	30	7	14	1	43
Rohrlängen (m)		900	980	77-141	23
Durchmesser (cm)	25	40	30	80	25
Rohrmaterial	HDPE-Kunststoff Betonschacht	Kunststoff	Kunststoff	Zement (Betonschächte)	HDPE-Kunststoff Betonschacht
Oberfläche der Rohre	glattwandig	glattwandig	glattwandig	rau	glattwandig
Filterqualität	Feinstaub	Feinstaub	Feinstaub	Grobstaub	Feinstaub
Betriebszeiten	H/W/F	ganzjährig	ganzjährig	H/W/F, teilw. S	W/S

Tab. 1 Übersicht über die Anlagendaten, Filterqualitäten Grobstubfilter:EU1-EU4 , Feinstaubfilter: EU5-EU6

4 Beschreibung von Material und Methode zur Luftkeimzahlbestimmung

Für die Probenahme standen Slit-Sampler zur Verfügung. Verwendet wurden Malzextrakt-nährböden für Pilze und Trypticase Soja Agar für Bakterien. Die Platten zum Nachweis der Bakterien wurden im Brutschrank bei 30°C während vier Tagen inkubiert, die Pilze liess man im Labor bei Raumtemperatur und Tageslicht anwachsen. Die gewachsenen Bakterienkolonien wurden aufgrund makroskopischer Eigenschaften in Gruppen eingeteilt.

Anschliessend wurde eine Gram-Bestimmung durchgeführt, und die gram-positiven Keime wurden mikroskopisch in Kokken und Stäbchen eingeteilt. Die Identifizierung der Pilze erfolgte nach morphologischen Kriterien basierend auf makro- und mikroskopischen Untersuchungen.

In jeder Anlage wurden jeweils zwei Messdurchgänge durchgeführt: am Morgen und über Mittag. Bei allen Anlagen wurde an folgenden Standorten Luftproben gesammelt:

- in der **Aussenluft** möglichst nahe der Ansaugstelle
- in der **Erdregisterluft** vor den Filtern und dem Wärmetauscher. Bei einigen Anlagen wurden zudem im begehbaren Sammelkanal Proben entnommen
- in der **Zuluft** direkt vor einer Eintrittsstelle in einen Raum
- bei einigen Anlagen wurden zudem in der **Raumluft** Proben entnommen

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

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt zwölf bestehende Erdregister-Anlagen untersucht. Diese Untersuchungen sollten in einer **Querschnittstudie** aufzeigen, ob Anlagen, die sich bezüglich Konstruktionsweise und Alter möglichst unterscheiden, mikrobiologische Kontaminationen aufweisen. Um auch die jahreszeitlichen Einflüsse zu erfassen, wurden drei Anlagen zu jeder Jahreszeit einmal untersucht (**Längsschnitt**). Ausgewählt wurden ein Einfamilienhaus (EFH Kurt) und je eine grosse Anlage mit Zement- (Schulhaus Steinmaur) bzw. Kunststoffrohren (MFH Hausäcker), welche ganzjährig in Betrieb sind.

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				■			(■)				■
Längsschnitt											
EFH Kurt, Wettswil			■			■			■		■
Schulhaus Steinmaur			■			■			■		■
MFH Hausäcker, Winterthur			■			■			■		■

Tab. 2: Übersicht über die untersuchten Anlagen und die Verteilungen der Messungen übers Jahr (1995/96). (■) Stichprobe ohne vollständiges Messprogramm.

5 Resultate

5.1 Gesamtkeimzahlen in der Aussenluft, der Erdregisterluft und der Zuluft

Die Keimkonzentrationen vor den Ansaugstellen lagen im Rahmen der üblicherweise in der Aussenluft festgestellten Keimzahlen für die jeweiligen Jahreszeiten und wurden durch die lokalen Witterungs- und Umgebungsfaktoren beeinflusst. In der Erdregisterluft hatten die Konzentrationen der Luftkeime im Allgemeinen abgenommen. Die Resultate der einzelnen Erdregisteranlagen zeigten, dass die deutlichsten Abnahmen in den grösseren Bauten (Schulhaus Steinmaur, Restaurant Adliswil, Bürogebäude Stahlrain, MFH Hausäcker,

Gewerbehaus Schwerzenbacherhof) auftraten. In den Einfamilienhäusern wurden zum Teil die höchsten Konzentrationen in der Erdregisterluft gemessen.

Die tiefsten Keimkonzentrationen wurden in der Zuluft festgestellt. Die Keimzahlen wurden je nach Qualität der eingebauten Filter reduziert.

5.2 Jahresverlauf

Um einen jahreszeitlichen Verlauf aufzuzeigen, wurde in drei Anlagen 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 1 zeigt die Messwerte des MFH Hausäcker.

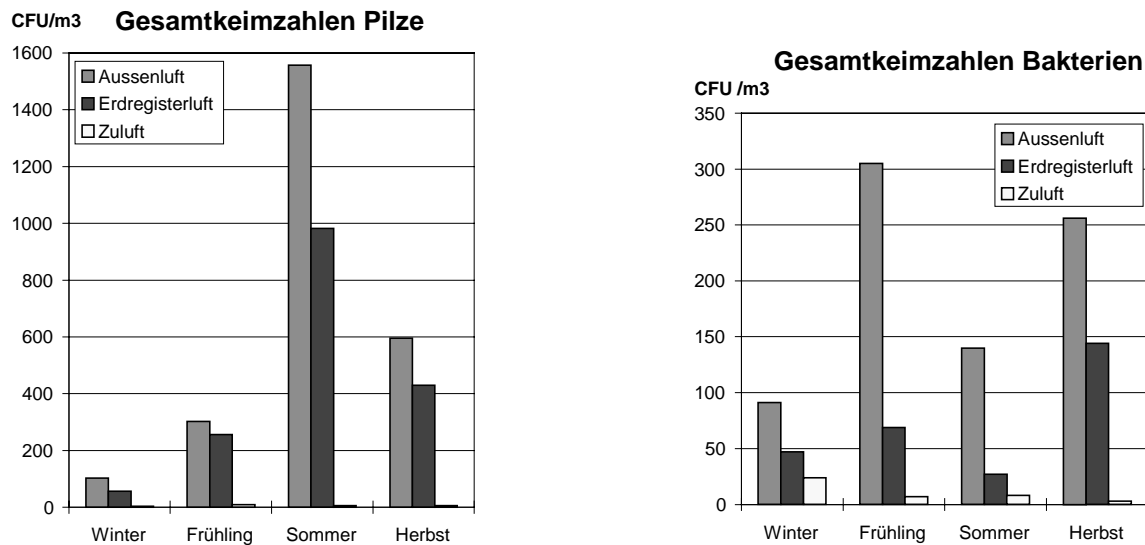


Abb. 1: Jahresverlauf der Keimkonzentrationen von Bakterien und Pilzen in der Erdregisteranlage MFH Hausäcker. (CFU=Colony forming unit oder Kolonie bildende Einheit)

Eine besonders deutliche saisonale Abhängigkeit auch bei den weiteren untersuchten Anlagen zeigten die Pilzkonzentrationen in der Aussenluft. Diese lagen im Winter sehr tief. Mit steigender Temperatur und beginnender Vegetationsperiode nahmen auch die Konzentrationen der Pilzsporen in der Aussenluft zu und erreichten ihr Maximum im Sommer. Die jahreszeitliche Abhängigkeit der Bakterienkeime in der Aussenluft ist weniger ausgeprägt. Bei vielen Messungen lag die Bakterienkonzentration in der Aussenluft im Sommer tiefer als in den Übergangszeiten.

Die Schwankungen der Aussenluftkonzentrationen sind in der Erdregisterluft noch sichtbar. Nachdem die Luft aber die Filter passiert hat, sind die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten äusserst gering. Besonders bei Anlagen mit Feinstaubfiltern war die Keimkonzentration in der Zuluft ganzjährig sehr tief.

5.3 Pilzgattungen

Die Differenzierung nach Pilzgattungen (vgl. Abb. 2) 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 Aussenluftpilzflora setzt sich zusammen aus *Penicillium*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Alternaria*, *Fusarium* und gelegentlich kommen auch *Mucor*, *Rhizopus* und andere Pilze vor.

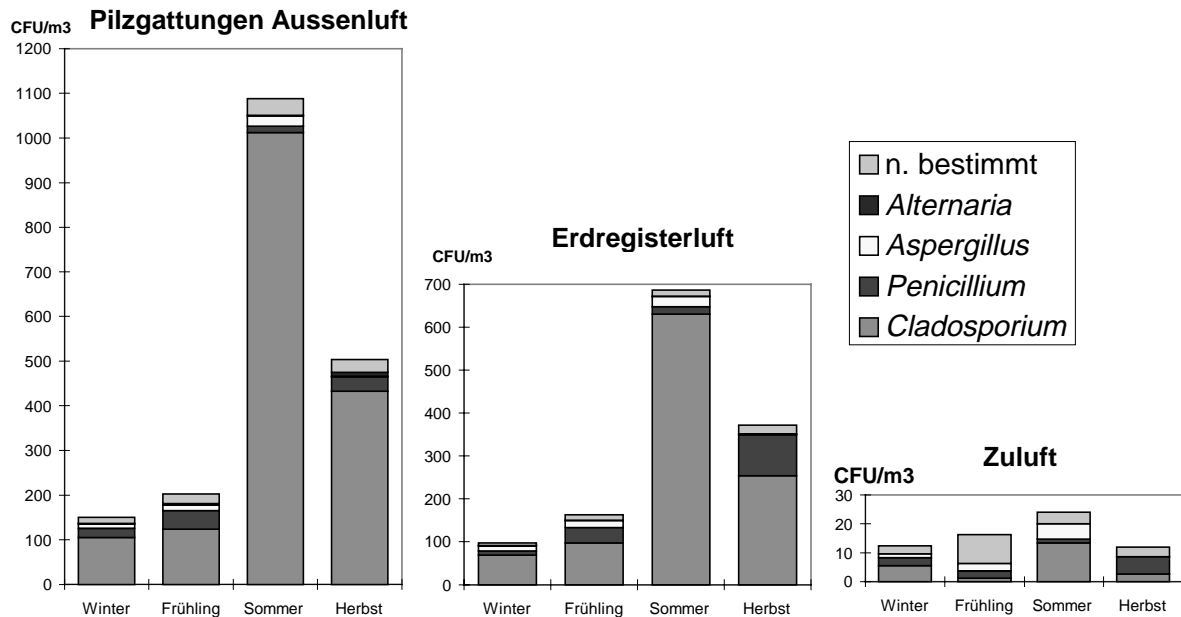


Abb. 2: Pilzgattungen in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage Schulhaus Steinmaur. (CFU=Colony forming unit)

Die Pilzkonzentrationen nehmen bei den meisten Anlagen von der Aussenluft bis nach dem Erdregister ab. Die Abnahmen sind grösstenteils auf eine Reduktion von *Cladosporium* zurückzuführen, was eine Veränderung der prozentualen Anteile der einzelnen Gattungen zur Folge hat. Erstaunlicherweise erreichen sowohl *Penicillium* wie auch *Aspergillus* nach dem Erdregister vieler Einfamilienhäuser höhere Konzentrationen als in der Aussenluft. 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, als die grösseren Sporen von *Cladosporium* und *Alternaria*.

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

5.4 Bakterien

Die häufigsten Bakterien in der Aussenluft gehörten zu den gram-positiven Stäbchen, gefolgt von den gram-positiven Kokken (vgl. Abb. 3). Gram-negative Bakterien waren nur in geringen Mengen nachweisbar. Die Konzentrationen der Actinomyceten in der Aussenluft waren sehr unterschiedlich. Während sie im Winter gelegentlich einen grossen Anteil der Bakterienkonzentration bildeten (ca. 50%) und bei der Anlage MFH Hausacker auch im Sommerhalbjahr in ausgesprochen hoher Dichte auftraten, kamen sie bei einigen Messungen nicht auf einen Anteil über 10% in der Aussenluft.

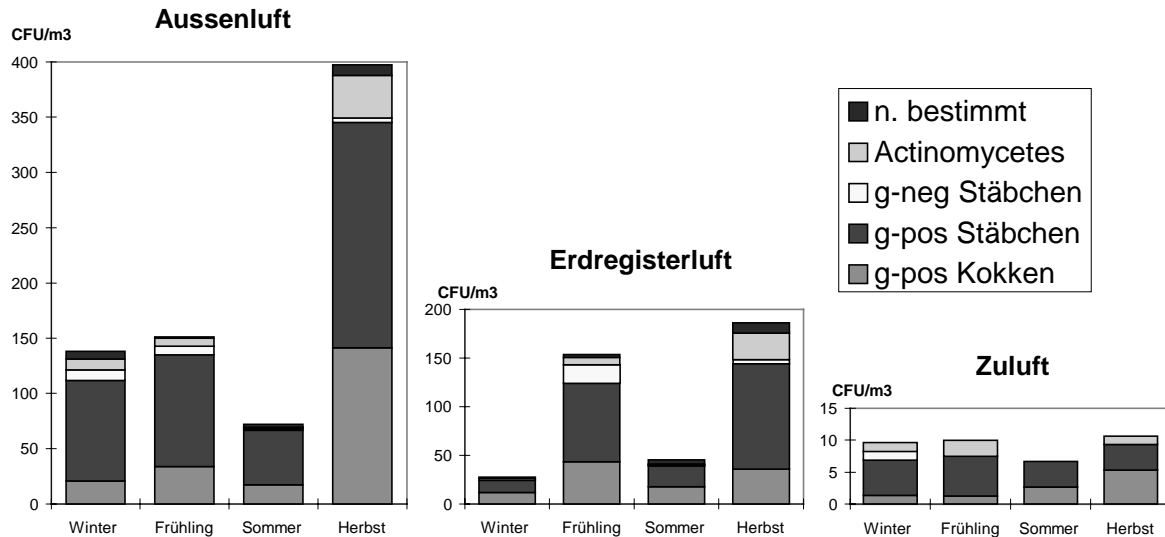


Abb. 3: Bakterien in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage Schulhaus Steinmaur. (CFU=Colony forming unit)

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 die Konzentration der Actinomyceten bis nach dem Erdregister, sodass auch die Gesamtkeimzahl in der Erdregisterluft höher als in der Aussenluft war. Dies könnte bedeuten, dass sich die Actinomyceten bei den hohen Luftfeuchtigkeiten, die im Sommer in den Rohren erreicht werden, vermehren können. 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.

6 Diskussion

6.1 Einfluss der Konstruktionsweise des Erdregisters

Bei allen Auswertungen zeigt sich sehr deutlich, dass grosse Unterschiede bei den Gesamtkeimzahlen, wie auch in der Verteilung auf einzelne Organismengruppen, zwischen den Erdregistern in EFH und den grösseren Anlagen bestehen. EFH sind häufiger von einer Veränderung in der Zusammensetzung der Mikroflora betroffen und die Reduktion der Keimzahlen im Erdregister fällt deutlich geringer aus. Berechnungen bestätigen, dass eine gute Korrelation zwischen der angesaugten Luftmenge (m^3/h) und der relativen Konzentrationsabnahme der Luftkeime besteht.

Kein Unterschied besteht zwischen den Anlagen mit Zement- und Kunststoffrohren bezüglich einer Abnahme der Bakterienkonzentration. Die Pilzkonzentrationen wurden in den Anlagen mit Zementrohren im Mittel um 10% mehr reduziert als in den Anlagen mit Kunststoffrohren.

6.2 Einfluss der Filter

Die Konzentrationen der Pilzsporen in der Zuluft scheinen im Gegensatz zu den Bakterienkonzentrationen durch die Filterqualität stark beeinflusst zu werden. Bei Feinstaubfiltern nimmt die Pilzkonzentration um 80-100% ab, bei Grobstaubfiltern 40-80%. Die Bakterienkonzentrationen werden generell weniger reduziert und zwischen Feinstaub- und Grobstaubfiltern ist ein weniger deutlicher Unterschied sichtbar. So nimmt die

Bakterienkonzentration in der Zuluft im Vergleich zur Erdregisterluft in allen Anlagen mit einem Feinstaubfilter um 50 bis 100%, mit einem Grobstaubfilter um 0 bis 80% ab.

7 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 bei starker Belegung hohe Werte erreichen. Nach Erfahrungswerten [ECA, 1993] liegen alle in dieser Untersuchung gemessenen Raumlufkonzentrationen für Bakterien und Pilze im tiefen bis mittleren Bereich.

Nicht untersucht wurde die Frage, ob Fragmente von Pilzsporen und Stoffwechselprodukte mit der Zuluft in die Räume gelangen und zu einer Geruchsbelästigung oder sogar zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung führen können.

8 Empfehlungen aus lufthygienischer Sicht

8.1 Bau

Beim Bau sollte darauf geachtet werden, dass alle Komponenten (Ansaugstelle, Erdregister, Lüftungsanlage, Lufteinlässe in die Räume etc.) für eine Überwachung und periodische Reinigung gut zugänglich sind.

- **Aussenluftfassung:** Die Aussenluftfassung sollte möglichst immissionsfrei (Gase, Gerüche etc.) sein. Quellen grosser Mengen von Luftkeimen (z. Bsp. 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.
- **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. Gerippte Rohre sollten nicht verwendet werden, da sich das Ansammeln kleinster Wassermengen nicht verhindern lässt. Es ist ebenfalls wichtig, dass der Untergrund sorgfältig verdichtet wurde, damit sich die Rohre nicht stellenweise absenken können. Damit keine (Hangwasser, Grundwasser) in die Erdregister dringen kann, sollten Querschächte und Rohre möglichst in trockenem Erdreich und wasserdicht gebaut werden. Pflanzenbeete direkt oberhalb des Erdregisters können bei häufiger Bewässerung zu einer erhöhten Feuchtigkeit in den Rohren führen.
- **Filter:** Die Filter vor dem Wärmetauscher sollten Pilzsporen (2-5µm) von *Aspergillus* und *Penicillium*, die in den Erdregisterrohren wachsen können, zurückhalten. Empfehlenswert ist deshalb der Einsatz von Feinstaubfiltern. Wenn möglich sollte bereits eine erste Filterstufe bei der Aussenluftfassung, das heisst vor dem Erdregister, installiert werden. So könnte die Ablagerung von Staub und Mikroorganismen in den Rohren reduziert werden.

8.2 Betrieb

Vor Inbetriebnahme sollte das Erdregister gründlich 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. Zudem sollte die Aufenthaltszeit von Personen in Teilen des Erdregisters möglichst kurz sein.

8.3 Unterhalt und Überwachung

Es sollten regelmässige Kontrollen und Reinigungen in den Erdregistern und anderen Lüftungskomponenten gemäss eines Wartungsplanes durchgeführt werden. Gereinigt werden sollten Ansaug, Erdregister, Schächte, Lüftungsgeräte sowie Ausblasöffnungen. Der Druckverlust der Filter sollte überwacht werden, optische Kontrollen durchgeführt und die Filter regelmässig ausgewechselt oder gewaschen werden.

Für Empfehlungen über die erforderliche Häufigkeit von Kontrollen und Reinigungen sowie die genaue Vorgehensweise bei einer Reinigung müssen noch weitere Erfahrungen gesammelt werden.

9 Literaturverzeichnis

Bolsaitis, P., Ludwig, J.F. et al. (1993). "A Scoping Report on Air Duct Cleaning and Related Issues." *Proceedings of Indoor Air '93* **6**: 333-337.

ECA (1993). *Biological Particles in Indoor Environments*. Commission of the European Communities, Brussels.

Gravesen, S., Frisvad, J.C. et al. (1994). *Microfungi*. Munksgaard, Denmark.

Gubler, C. (1990). *zur mykogenen Allergie: Pilzsporengelalt in der Luft von Zürich*. Universität Zürich, Zürich.

Luoma, M., Pasanen, A.-L. et al. (1993). "Duct Cleaning - A Literature Survey." *Air Infiltration Review* **14**(4): 1-5.

Pasanen, P., Nevalainen, A. et al. (1992). *The Composition and Location of Dust Settled in Supply Air Ducts*. 13th AIVC Conference.

Reiss, J. (1986). *Schimmelpilze, Lebensweise Nutzen Schaden Bekämpfung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

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*

Senkpiel, K., Ohgke, H. et al. (1994). "Kinetik der Auskeimung von Schimmelpilzsporen auf Baustoffen in Abhängigkeit von deren Gleichgewichts-, Material- und Oberflächen-Feuchte." *Gesundheits-Ingenieur* **115**(2): 77-85.

Betreut wurde die Arbeit von Prof. H.U. Wanner, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, und Prof. P. Lüthy, Mikrobiologisches Institut der ETH Zürich. Eine Gruppe von Ingenieuren mit Erfahrung im Bau von Erdregistern (Th. Baumgartner, Ingenieurbüro; Ch. Gmür und Dr. R. Kriesi, ATAL Zürich; Prof. P. Hartmann, Technikum Winterthur; M. Zimmermann, EMPA/KWH; R. Meierhans, Meierhans & Partner AG) begleitete die Messungen und die Berichterstattung.

Der vollständige Bericht erscheint Anfang 1997 und wird durch die Koordinationsstelle für Wärmeforschung im Hochbau, EMPA Dübendorf, vertrieben. Weitere Publikationen, zum Beispiel in der SIA- oder VSL-Zeitschrift, sind zur Zeit in Vorbereitung.