

Barbara Flückiger, Dipl. Natw. ETH
Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
Fachbereich Umwelthygiene
ETH Zentrum
CH-8092 Zürich

Telefon+41 1 / 632 24 22
Telefax+41 1 / 632 11 73
e-Mail flueckiger@iha.bep.ETHZ.CH

Dokumentation zum Referat an der 3. Passivhaus-Tagung, 19./20. Februar 1999, Bregenz:

Hygienische Aspekte von Luftansaug-Erdregistern

Am Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie (Fachbereich Umwelthygiene) wurde eine vom Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich (ATAL) und vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) finanzierte Studie zu den lufthygienischen Aspekten von Luftansaug-Erdregistern durchgeführt. Bei zwölf Erdregister-Anlagen wurde die Zuluft und die Luft in den Erdregistern auf Unterschiede in der mikrobiellen Zusammensetzung im Vergleich zur Aussenluft untersucht. Basierend auf den Ergebnissen wurden Erdregisteranlagen aus lufthygienischer Sicht beurteilt, und es wurden entsprechende Empfehlungen für den Bau, Betrieb und Unterhalt von Lüfterdregistern ausgearbeitet.

Viele energetische und technische Aspekte sprechen für den vermehrten Einsatz von Luftansaug-Erdregister. Aus lufthygienischer Sicht können solche Systeme nur dann empfohlen werden, wenn feststeht, dass keine mikrobiellen Kontaminationen auftreten, welche die Luftqualität beeinträchtigen. Aus diesem Grund wurde bei verschiedenen Erdregister-Anlagen überprüft, ob mikrobielle Verunreinigungen auftreten und ob diese zu einer Belastung der Zuluft, beziehungsweise der Raumluft führen. Die durch Erdregister angesaugte Luft wurde jeweils auf Unterschiede bezüglich den Konzentrationen der verschiedenen Gattungen von Mikroorganismen im Vergleich zur Aussenluft untersucht. In drei Anlagen wurden diese Untersuchungen vierteljährlich wiederholt, um jahreszeitliche Veränderungen feststellen zu können. In diesen Anlagen wurde auch in einem späteren Durchgang als Ergänzung zu der Schimmelpilzkeimzahlen eine Bestimmungen des Allergengehalts von zwei Schimmelpilzarten durchgeführt.

Untersuchte Erdregister-Anlagen

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

Objekt	EFH Konrad (A)	EFH Fraefel (B)	EFH Kriesi (C)	EFH Kurt (D)	Schulhaus Steinmaur (E)	Bürohaus Stahlrain (F)	MFH Hausäcker (G)
Gemeinde	Grünigen	Grünigen	Wädenswil	Wettswil	Steinmaur	Brugg	Winterthur
Fertigstellung	1989	1995	1990	1994	1990	1993	1994
Luftdurchsatz (m ³ /h)	120	200	240	195	3'500	2 * 4'000-8'000	855 (800)
Geschwindigkeit (m/s)	1.9	0.2	0.9		3.5	1-2	1.23
Anzahl Rohre	1	12	15	2	9	5	20
Rohrlänge (m)	18	22	ca. 10	7	8	33	20
Durchmesser (cm)	15	10	8	25	10	30	40
Rohrmaterial	Sickerleitung	PVC-Kunststoff	PVC-Kunststoff	PE-Kunststoff	Zement	Zement	PE-Kunststoff
Rohroberfläche	glattwandig	gerippt	gerippt	glattwandig	rau	rau	glattwandig
Filterqualität	Grobstaub	Grobstaub	Grobstaub	Grobstaub	Feinstaub	Feinstaub	Feinstaub

Objekt	Restaurant Adliswil (H)	Migros Frick (I)	Migros Schönenwerd (K)	MFH Niederholzboden (L)	Gewerbehau Schwerzenbacherhof (M)
Gemeinde	Adliswil	Frick	Schönenwerd	Riehen	Schwerzenbach
Fertigstellung	1993	1983	1986	1994	1989/90
Luftdurchsatz (m ³ /h)	8'500	26'600	2'500-15'500	2000 / 2800	12'000-17'150
Geschwindigkeit (m/s)	1.9	8		1.11 / 1.55	
Anzahl Rohre	30	7	14	1	43
Rohrlängen (m)		130	70	77-141	23
Durchmesser (cm)	25	40	30	80	25
Rohrmaterial	HDPE-Kunststoff Betonschacht	Kunststoff	Kunststoff	Zement (Betonschächte)	HDPE-Kunststoff Betonschacht
Rohroberfläche	glattwandig	glattwandig	glattwandig	rau	glattwandig
Filterqualität	Feinstaub	Feinstaub	Feinstaub	Grobstaub	Feinstaub

Tab. 1: Übersicht über die Anlagendaten

Durchführung der Untersuchungen

Als Luftkeimsammler wurden Slit-Sampler mit zwei unterschiedliche Nährlösungen verwendet; Malzextraktnährböden für Schimmelpilze und Trypticase-Soja-Agarplatten für Bakterien. Die Platten zum Nachweis der Bakterien wurden bei 30°C während vier Tagen bebrütet, die Pilze liess man bei Raumtemperatur anwachsen. Anschliessend wurden die gewachsenen Kolonien aufgrund von morphologischen Merkmalen und mit diagnostischen Tests in Gruppen und Gattungen eingeteilt.

In jeder Anlage wurden jeweils zwei Messdurchgänge (am Morgen und über Mittag) an folgenden Standorten durchgeführt (vgl. Abb. 1):

- In der **Aussenluft**, möglichst nahe am Ansaugstutzen, um die Grundbelastung ausserhalb des Erdregisters festzustellen (a).
- in der **Erdregisterluft** vor den Filtern und dem Wärmetauscher (e). (Bei einigen Anlagen wurden zusätzlich im begehbaren Sammelkanal (b,c,d) Luft- und Staubproben entnommen.)
- in der **Zuluft** direkt vor einer Eintrittsstelle in einen Raum (f).
- bei einigen Anlagen wurden zudem in der **Raumluft** Proben entnommen

Gleichzeitig zu den Luftkeimsammlungen wurden überall auch Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit gemessen.

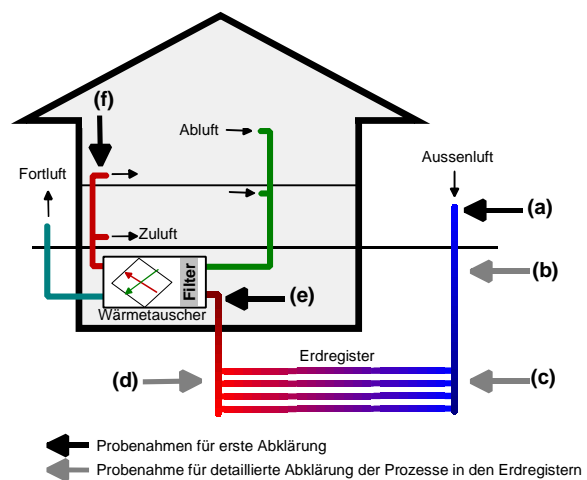


Abb. 1: Schema eines Erdregisters mit eingezeichneten Probenahmestellen

Auszug aus den Resultaten

Die Auswertungen zeigten in den meisten Anlagen tiefere Keimkonzentrationen (ausgedrückt in CFU/m³; CFU=Colony forming unit oder keimbildende Einheit) in der Luft am Ende der Erdregister im Vergleich zu den Aussenluftkonzentrationen (Abb. 2 Resultate der Sommermessung). Die deutlichsten Unterschiede waren in den grösseren Bauten (E-M) sichtbar. In den Einfamilienhäusern (A-D) wurden gelegentlich höhere Konzentrationen in der Erdregisterluft als in der Aussenluft gemessen. Die nach den Erdregistern eingebauten Filter reduzierten die Keimzahlen deutlich, so dass die Zuluft aller Anlagen deutlich weniger Bakterien und Pilzsporen enthielt als die Aussenluft. Nach Erfahrungswerten [ECA, 1993] liegen alle in dieser Untersuchung gemessenen Raumluftkonzentrationen für Bakterien und Pilze im tiefen bis mittleren Bereich.

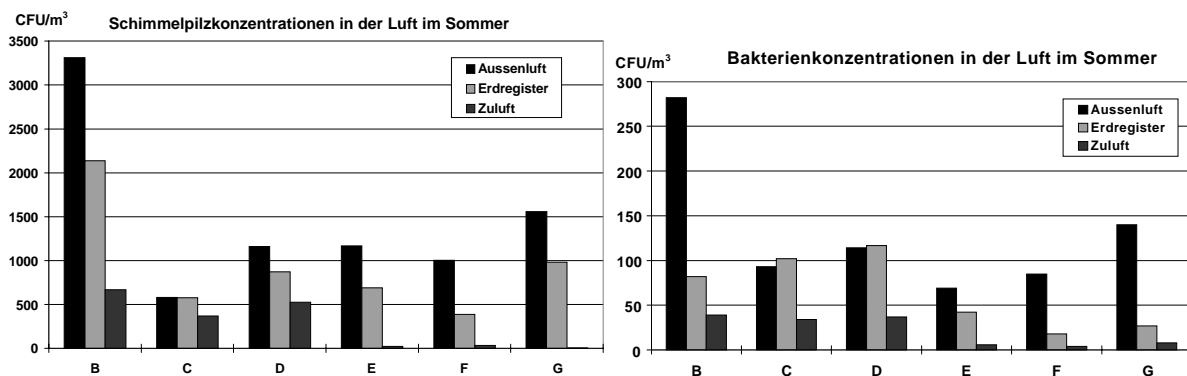


Abb. 2: Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen in der Aussenluft, Erdregisterluft und Zuluft der im Sommer untersuchten Anlagen in CFU/m³. (CFU=Colony forming unit oder keimbildende Einheit)

Jahresverlauf

Die Pilzsporenkonzentrationen in der Aussenluft zeigten eine deutliche saisonale Abhängigkeit. Die Konzentrationen lagen im Winter sehr tief und erreichten ihr Maximum im Sommer. Die jahreszeitliche Abhängigkeit der Anzahl Bakterienkeime in der Aussenluft ist weniger ausgeprägt und lag im Sommer meist tiefer als in den Übergangszeiten. Die Schwankungen der Aussenluftkonzentrationen, welche neben der Jahreszeit auch durch geographische und meteorologische Faktoren beeinflusst werden, sind jeweils in der Erdregisterluft noch sichtbar. Nachdem die Luft aber die Filter passiert hat, sind die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten und den Anlagen mit Filtern gleicher Qualität äusserst gering. Besonders bei grossen Anlagen mit Feinstaubfiltern war die Keimkonzentration in der Zuluft ganzjährig sehr tief.

Pilzgattungen

Die Differenzierung nach Pilzgattungen (Abb. 3) ergab, dass *Cladosporium* zu jeder Jahreszeit der häufigste Pilz in der Aussenluft aller Anlagen war (60 - 90%, im Sommer meist gegen 100%). Die restliche Aussenluftpilzflora setzte sich zusammen aus *Penicillium*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Alternaria*, *Fusarium* und gelegentlich *Mucor*, *Rhizopus* und andere Pilze.

Die Abnahmen der Pilzkonzentrationen von der Aussenluft bis nach dem Erdregister war auf eine Reduktion von *Cladosporium* zurückzuführen. Erstaunlicherweise erreichten *Penicillium* und *Aspergillus* nach dem Erdregister und bis vor den Filtern vieler Einfamilienhäuser höhere Konzentrationen als in der Aussenluft. Aufgrund ihrer Anspruchslosigkeit ist es wahrscheinlich, dass sich diese Pilze in den Rohren vermehren können. Auch werden ihre sehr kleinen

Sporen leichter mit dem Luftstrom mitgetragen, als die grösseren Sporen von *Cladosporium* und *Alternaria*.

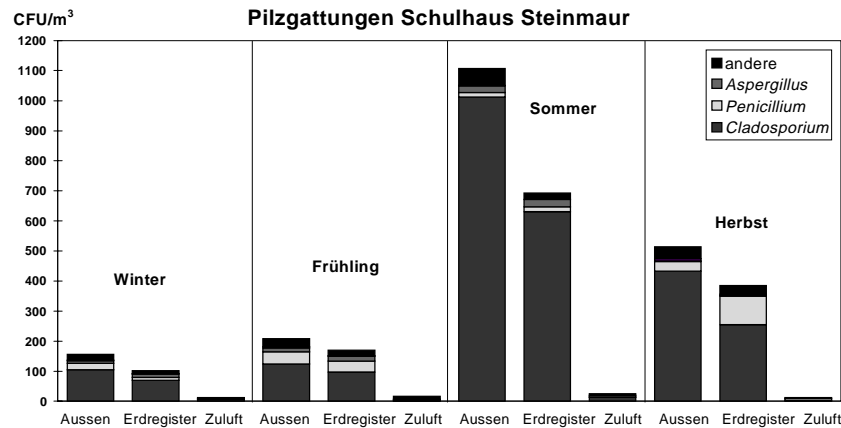


Abb. 3: Pilzgattungen in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage Schulhaus Steinmaur.

Die Zuluft aller Anlagen enthielt in geringen Konzentrationen *Cladosporium* (v.a. im Sommer), *Penicillium* und *Aspergillus* und nur selten andere Pilze.

Bakteriengruppen

Die häufigsten Bakterien in der Aussenluft waren gram-positive Stäbchen, gefolgt von den gram-positiven Kokken (vgl. Abb. 4). Gram-negative Bakterien waren nur in geringen Mengen nachweisbar. Die Konzentrationen der Actinomyceten in der Aussenluft waren sehr unterschiedlich.

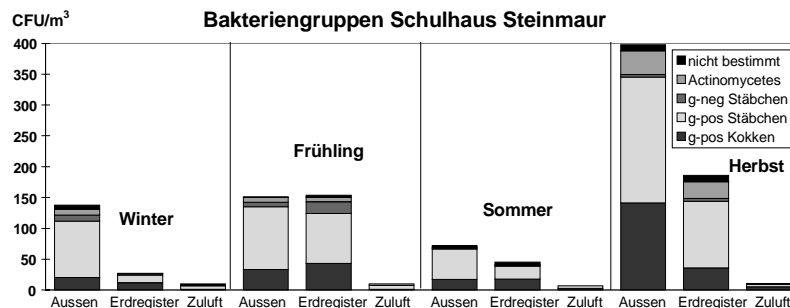


Abb. 4: Bakterien in der Aussen-, der Erdregister- und der Zuluft in der Anlage Schulhaus Steinmaur.

Auch bei den Bakterien war in fast allen Fällen eine Abnahme im Erdregister festzustellen. Die Anteile der einzelnen Bakteriengruppen an der Gesamtkonzentration änderten sich dabei wenig. Hingegen erhöhte sich bei den im Sommer untersuchten Einfamilienhäusern die Konzentration der Actinomyceten bis nach dem Erdregister, sodass auch die Gesamtkeimzahl in der Erdregisterluft höher als in der Aussenluft war (Daten nicht gezeigt). Dies könnte bedeuten, dass sich die Actinomyceten bei den hohen Luftfeuchtigkeiten, die im Sommer in den Rohren erreicht werden, vermehren können. Die Zuluft enthielt nur noch sehr wenige Bakterienkeime mit einem leicht erhöhten Anteil an gram-positiven Kokken.

Einfluss der Konstruktionsweise des Erdregisters

Bei allen Auswertungen zeigte sich sehr deutlich, dass grosse Unterschiede bei den Gesamtkeimzahlen, wie auch in der Verteilung auf einzelne Organismengruppen, zwischen den Erd-

registern in Einfamilienhäusern und den grösseren Anlagen bestehen. Einfamilienhäuser waren häufiger von einer Veränderung in der Zusammensetzung der Mikroflora betroffen, und die Reduktion der Keimzahlen im Erdregister fiel deutlich geringer aus. Berechnungen bestätigten, dass eine gute Korrelation zwischen der angesaugten Luftmenge (m^3/h) und der relativen Konzentrationsabnahme der Luftkeime besteht. Ausschlaggebend für die grösseren Keimzahlreduktionen 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. Kein eindeutiger Unterschied besteht zwischen den Anlagen mit Zement- und den Anlagen mit Kunststoffrohren bezüglich einer Abnahme der Bakterien- und Pilzkonzentration.

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.

Einfluss Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit (gleichzeitige Messungen während Sammeln der Proben am Ende der Rohre im Winter: 40-65%, Frühling: 60-90%, Sommer: 50-100%, Herbst: 65-80%) und die Lufttemperatur in den Rohren (Winter: 3-9°C, Frühling: 8-17°C, Sommer: 20-24°C, Herbst: 13-17°C) scheinen keinen Einfluss auf die Höhe der Abnahmen der Pilzsporen auf ihrem Weg durch das Erdregister zu haben. Die prozentuale Abnahme bleibt ganzjährig gleich. Die relative Abnahme der Bakterienkeime zeigt hingegen eine Korrelation mit der Luftfeuchtigkeit. Bei ungefähr 50% relativer Luftfeuchtigkeit halbiert sich die Konzentration der Bakterien vom Anfang bis zum Ende der Rohre, bei beinahe gesättigter Luft bleiben die Konzentrationen ungefähr gleich hoch.

Gesundheitliche Bedeutung

Die Pilze *Penicillium* und *Aspergillus*, deren Konzentrationen gelegentlich in den Erdregistern zugenommen haben, 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, welche ebenfalls gelegentlich zugenommen haben, sind aus gesundheitlicher Sicht meist harmlos. Ihr starker Modergeruch könnte allenfalls zu einer Geruchsbelästigung führen.

Untersuchungen von Oberflächen, Staub- und Wasserproben aus den Erdregistern zeigten, dass lebensfähige Bakterienkeime und Pilzsporen zahlreich vorhanden waren. Die Konzentrationen waren jedoch aufgrund von Vergleichswerten [z.B. Brief et al., 1988] nicht alarmierend und wie die Luftkeimzahlbestimmungen ergaben, gelangten auch kaum Keime wieder in den Luftstrom.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Der Einsatz von Luftansaug-Erdregister muss aufgrund der vorliegenden Ergebnisse aus den Untersuchungen von 12 repräsentativen Anlagen aus lufthygienischer Sicht nicht eingeschränkt werden. Die allgemein bei Lüftungsanlagen geltenden Massnahmen sind beim Bau, beim Betrieb und beim Unterhalt von Erdregistern zu berücksichtigen. Folgenden Punkten sollte eine besondere Beachtung geschenkt werden:

- **Aussenluftfassung:** Die Aussenluftfassung sollte möglichst immissionsfrei 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. Ein Maschengitter verhindert das Eindringen von groben Verunreinigungen und Lebewesen. Von Vorteil wäre auch eine erste Filterstufe (Grobstaubfilter) bei der Aussenluftfassung. So könnte die Ablagerung von Staub und Mikroorganismen in den Rohren weitgehend verhindert werden.
- **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 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. Bei Bedarf sollte eine Reinigung möglich sein.
- **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.
- **Unterhalt und Überwachung:** Vor Inbetriebnahme sollte das Erdregister gründlich gereinigt werden. Danach sollte das Erdregister zusammen mit allen Lüftungskomponenten regelmässig kontrolliert werden. Im Vordergrund stehen Ansaugstelle, Schächte und Lüftungsgeräte. Besonders in Anlagen, in welche Grundwasser in die Schächte eindringt, ist eine regelmässige Kontrolle unumgänglich. Der Druckverlust der Filter sollte überwacht, optische Kontrollen durchgeführt und die Filter regelmässig ausgewechselt (oder gewaschen) werden

Literatur

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. *Appl. Ind. Hyg.* **3**(1): 5-10.

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

Der ausführliche Bericht: B. Flückiger, P. Lüthy und H.-U. Wanner, 1997: „Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern“ ist bei der EMPA/KWH in Dübendorf und beim Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH Zürich erhältlich.