

ETH-DISSERTATION NR. 13205

# BEURTEILUNG DER MIKROBIELLEN EXPOSITION IN WOHNUNGEN UND LÜFTUNGSANLAGEN

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels  
DOKTORIN DER NATURWISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von  
BARBARA FLÜCKIGER  
Dipl. Natw. ETH  
geboren am 30. Oktober 1971  
von Auswil, BE

Angenommen auf Antrag von  
HERRN PROF. DR. THEO KOLLER, REFERENT  
HERRN PROF. DR. PETER LÜTHY, KORREFERENT  
HERRN DR. CHRISTIAN MONN, KORREFERENT

1999

## Zusammenfassung

Heutzutage verbringen wir mehr als 90% unserer Zeit in Innenräumen und die Raumluftqualität hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die verbesserte Isolation von Gebäuden verbunden mit ungenügendem Lüften aus Energiespargründen führt oft neben Anreicherungen von Schadstoffen auch zu einer erhöhten Feuchtigkeit in den Räumen. Eine hohe Feuchtigkeit fördert das Wachstum von Mikroorganismen auf Wänden und anderen Oberflächen. Dadurch kann es zu einer erhöhten mikrobiellen Belastung für die Bewohner kommen. Ein erster Teil der vorliegenden Arbeit war die Beschreibung der Mikroorganismenflora in durchschnittlichen, natürlich belüfteten Wohnungen ohne sichtbaren Schimmelbefall im Vergleich zu der Aussenluft. In einem zweiten Schritt wurden Wohnungen von Allergikern mit und ohne Schimmelpilzallergie auf Unterschiede in der Konzentration von Sporen und Allergenen in der Luft und im Hausstaub untersucht. Die Studie erstreckte sich weiter auf Erdregisteranlagen, welche erdverlegte Rohrsysteme darstellen und zunehmend zur Vorkonditionierung der Zuluft in Niedrigenergiehäusern mit mechanischer Lüftung eingesetzt werden. In ausgewählten Anlagen und zu verschiedenen Jahreszeiten wurde abgeklärt, ob in diesen energetisch fortschrittlichen Systemen mikrobielles Wachstum begünstigt wird. Die Erdregisterluft und die Zuluft wurden auf qualitative und quantitative Unterschiede in der Mikroorganismenflora und auf den Allergengehalt im Vergleich zur Aussenluft untersucht.

Für die Messungen wurden, neben den Standardmethoden der Luftkeimzahlbestimmung mit Impaktionssammlern und Nährbodenplatten, auch Flüssigsammler (Multistage Liquid Impinger) eingesetzt, und eine Allergen-Nachweismethode für *Cladosporium herbarum* und *Alternaria alternata* mit einem kompetitiven Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELISA) entwickelt. Die neu entwickelte Methode der Allergenbestimmung wurde in den Untersuchungen der Wohnungen wie auch der Erdregisteranlagen angewendet.

Die Resultate zeigen, dass die Raumluftkonzentrationen für Pilzsporen in den Wohnungen deutlich unter den Konzentrationen, welche in der Aussenluft nachgewiesen wurden, liegen, aber ähnliche saisonale Schwankungen auftreten. Zwischen den Wohnungen von Allergikern mit und ohne Schimmelpilzallergie wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Sporenkonzentration und dem Anteil verschiedener Pilzgattungen in der Luft und im Hausstaub gefunden. In der Aussenluft korrelierte der Allergengehalt generell gut mit der Zahl keimfähiger Sporen. In der Innenluft waren die Allergenkonzentrationen höher als der Sporengehalt vermuten liess und grosse Schwankungen wurden verzeichnet. Dies deutet darauf hin, dass Allergenmessungen in der Raumluft oder im Hausstaub eine wichtige Ergänzung zu den Keimzahlbestimmungen darstellen und eine bessere Abschätzung der tatsächlichen Exposition von Allergikern ermöglichen.

In den Rohren der Erdregisteranlagen wurden im Allgemeinen tiefere Luftkeimkonzentrationen als in der Aussenluft gemessen, saisonale Schwankungen waren aber immer noch sichtbar. Bei allen Auswertungen zeigte sich sehr deutlich, dass grosse Unterschiede zwischen den Erdregistern in Einfamilienhäusern (EFH) und den grösseren Anlagen bestehen. EFH waren häufiger von

Veränderungen in der Zusammensetzung der Mikroorganismenflora betroffen und die Reduktion der Keimzahlen in den Erdregistern fiel deutlich geringer aus als in grossen Anlagen. Gelegentlich wurden in diesen kleinen Anlagen sogar höhere Konzentrationen in der Erdregisterluft als in der Aussenluft gemessen. Die tiefsten Keimkonzentrationen wurden in allen Anlagen in der Zuluft nachgewiesen. Die Keimzahlen wurden je nach Qualität der eingebauten Filter stark reduziert. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse sollte bei regelmässiger Kontrolle und der Möglichkeit, bei Bedarf eine geeignete Reinigung durchzuführen, ein lufthygienisch einwandfreier Betrieb von Erdregisteranlagen über Jahre gewährleistet sein.

Neben der Erkenntnis, dass Erdregisteranlagen aus hygienischer Sicht weiterhin gebaut und betrieben werden können, lieferte die Untersuchung auch wichtige Hinweise darauf, dass Sporenmessungen in Lüftungsanlagen in Bezug auf Allergien nur eine bedingte Aussagekraft haben. Allergenmessungen wie sie in dieser Arbeit mit Flüssigsammlern und einem speziell entwickelten kompetitiven ELISA durchgeführt wurden, sollten in Zukunft nicht nur bei Untersuchungen in Wohnungen, sondern auch bei Untersuchungen von Lüftungsanlagen in Betracht gezogen werden.

## Summary

More than 90% of our time is spent indoors and during the past few years the importance of indoor air quality issues steadily increased. Improved building insulation combined with insufficient ventilation in order to save energy often leads to an accumulation of pollutants and increased humidity in indoor environments. High relative humidity favours microbial growth on walls and other indoor surfaces resulting in an increased microbial exposure of occupants. A first step of this study was to describe the microbial flora in average, naturally ventilated buildings without visible mould growth compared to the respective outdoor air. In a second step, the airborne and dustborne spore and allergen concentrations of different homes of allergic patients with and without an allergy to moulds were investigated. In addition, the study was extended to ground-coupled earth to air heat exchangers, buried pipe-systems to precondition the incoming air, which are increasingly applied in low energy buildings with mechanical ventilation. Selected air systems were investigated at different annual seasons to evaluate the possibility of these energetically advanced facilities favouring microbial growth. The air in the buried pipes and the supply air were examined for qualitative and quantitative differences in the microbial flora in comparison to the outdoor air.

In addition to the measurements with the standard methods of sampling viable spores and bacteria using impactors and agar plates, Multistage Liquid Impingers were in operation. A detection method for the allergens of *Cladosporium herbarum* and *Alternaria alternata* with a competitive enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) was established. The newly developed method for the allergen measurements was applied in the investigations of the homes as well as the ground coupled air systems.

The results show that indoor airborne spore concentrations in the homes are clearly lower than in the outdoor air, but similar seasonal variations can be observed. Between the homes of allergic patients with an allergy to *Cladosporium* or *Alternaria* and the reference homes no significant differences were observed regarding the viable spore concentrations and the different fungal genera in the air and the house dust. In the outdoor air, the concentrations of allergens correlated strongly with the concentrations of the viable spores. In the indoor air, the allergen concentrations were higher than could have been expected in reference to the viable spore concentrations and great variations were observed. This indicates, that allergen measurements in indoor air and house dust represent a useful completion of the viable spore measurements and allow a better estimation of the allergen exposure for allergic patients.

Generally lower concentrations of spores and bacteria were observed in the pipes of the ground coupled air systems compared to the outdoor air, however seasonal variations were still visible. All the investigations showed great differences between the air systems in one-family houses and the ones connected to large buildings. Changes in the composition of the microbial flora were more often observed and the reductions of the spores and bacteria were less marked in small air systems as opposed to large facilities. Occasionally, an increase in concentration was observed in the ground-coupled air systems of

one-family houses compared to the outdoor air. In the supply air of all buildings investigated, very low concentrations were determined. The microbial concentrations were reduced according to the filter quality applied. Based on the results of this investigation ground-coupled air systems can be operated without any hygienic restrictions for many years as long as regular controls are ensured and the possibility of adequate cleaning is presented.

In addition to the finding, that from the hygienic point of view ground-coupled earth-to-air heat exchangers can be constructed and operated, this study indicated that viable spore counts have only limited significance regarding allergies in ventilation systems. Allergen measurements as conducted in this study with Multistage Liquid Impingers and a specially developed competitive ELISA should be considered in future investigations not only in homes of allergic patients but also in different kind of ventilation systems.