

Potential raumluftechnischer Maßnahmen zur Senkung des Infektionsrisikos



Welches Potential bieten Lüftungstechnologien zur Senkung des Infektionsrisikos in Versammlungsstätten, beispielsweise Klassenzimmer? Welche Lüftungstechnologie kann weitestgehend den Luftweg vom Infizierten zu anderen Raumnutzern unterbinden? Ein Vergleich zeigt: Einzig die sachgerecht betriebene und geregelte Verdrängungs- oder Schichtlüftung sind in der Lage das Infektionsrisiko nahezu auszuschließen. Während die Verdrängungsströmung durch den erforderlichen technologischen Aufwand und die Luftvolumenströme eine Nachrüstung wenig attraktiv erscheinen lässt, sind nachrüstbare Schichtlüftungssysteme denkbar.

Grundlage der in diesem Handout angestellten Analyse¹ ist die Untersuchung, inwieweit verschiedene Raumlüftungslösungen auf die Gestaltung der Raumströmung Einfluss zu nehmen im Stande sind, und welches Infektionsrisiko für diese durch eine instationäre Berechnung für den Beginn und die folgenden Stunden der Raumnutzung ausgewiesen wird.

Stoffbelastungsgrade zur Qualitätskontrolle von Lüftungssystemen

Eine verlässliche und vor allem einfache Methode zur Ermittlung des Infektionsrisikos in Innenräumen ist die Ausweisung von lokalen Stoffbelastungsgraden, siehe Formel 1, und deren Verknüpfung mit den Kennwerten der Infektionserreger. Stoffbelastungsgrade, durch Konzentrationsmessungen und Bilanzierung von Tracergasen oder in akzeptabler Genauigkeit auch durch Messung und Bilanzierung von Kohlendioxid für jeden Raum und jede Lüftungstechnologie leicht zu ermitteln, können die Schutzwirkung der raumluftechnischen Maßnahme verlässlich ausweisen.

¹ Potential raumluftechnischer Maßnahmen zur Senkung des Infektionsrisikos,

Die Rolle der Thermik

Entscheidend zur Beurteilung einer Lüftungstechnologie im Bezug auf die Senkung des Infektionsrisikos ist die Frage, wie die Dominanz der Thermik zu brechen oder zur Kontrolle der Raumströmung technisch besser zu nutzen ist. Je höher der Wärmeeintrag in einen Raum ausfällt, z.B. durch die Raumnutzer oder Heizkörper, desto mehr Einfluss gewinnt der strömungsgebende Einfluss der Thermik. Ziel der Lüftungstechnologie muss es sein, diesen Einfluss zu überbieten oder für sich selbst zu nutzen.

Raumströmungen unterschiedlicher Lüftungslösungen zur Minderung des Infektionsrisikos

Mischlüftung

Die Strömungsform der Mischlüftung ist die am häufigsten anzutreffende Strömungsform in Innenräumen und aus der Perspektive des Infektionsrisikos mit die ungünstigste Raumströmung. Zur Senkung des Infektionsrisikos ist es erforderlich, die Strömungswege vom Infizierten zum Schutzbedürftigen zu unterbinden. Eine Durchmischung im Raum kann diese Forderung nicht erfüllen. Wirken Thermik und kinetisch aufgeprägte Strömung entgegen führt dies in erster Linie zu erhöhter Turbulenz und damit zur Vermischung. Hohe Wärmelasten im Raum resultieren in einer Mischform der Misch- und Schichtlüftung. Eine Temperaturschichtung nah der Decke ist auch hier zu beobachten. Raumluftwalzen, durch die Thermik oberhalb warmer Quellen bewegt, transportieren Infektionserreger von deckennahen Bereichen zurück in die Aufenthaltszone. Quergeschwindigkeiten der Raumluftwalzen erhöhen das Risiko, speziell der Sitznachbarn eines Emittenten. Mit zunehmendem Luftwechsel nimmt mit der Konzentration luftfremder Stoffe auch das Infektionsrisiko ab. Nahezu auszuschließen ist das Infektionsrisiko bei der Mischlüftung grundsätzlich nicht.

Verdrängungsströmung

Das sichere Fortführen von Infektionserregern ohne Gefährdung des Nachbarn ist nur durch senkrechten Abtransport möglich. Für die Stabilität der Verdrängungsströmung ist die Ausrichtung entgegen oder mit der Thermik von entscheidender Bedeutung. Sowohl die horizontale wie auch die gegen die Thermik gerichtete Strömungsführung können als nicht praktikabel ausgeschlossen werden. Im ersten Fall sind Nachbarn eines Infizierten einem Risiko ausgesetzt, im zweiten Fall ist der erforderliche Luftvolumenstrom unverhältnismäßig hoch. Die Verdrängungsströmung in Überlagerung mit der Thermik benötigt deutlich niedrigere Luftwechsel als jene Entgegengerichtete. Dennoch erschweren die vergleichsweise

hohen Luftwechselraten und der möglichst gleichmäßige Lufteintrag in den Raum die Nachrüstung der Verdrängungsströmung.

Umluftreiniger

Eine häufig beworbene Praxis zur Senkung des Infektionsrisikos ist der Einsatz von Umluftreinigern. Diese saugen Raumlufte an, entfernen oder töten je nach eingesetztem Verfahren bestenfalls nahezu alle Infektionserreger und blasen daraufhin die kontaminationsfreie Luft zurück in den Raum. Da Umluftreiniger auf dem Prinzip der Mischlüftung basieren, bieten sie zunehmend weniger Schutz vor Infektionen, je einflussreicher die Thermik durch steigenden Wärmeeintrag im Raum wird. Unter realen Mischluftstromströmungen können sie keine virenfreie Luft herstellen, sondern bestenfalls die Virenkonzentrationen und damit das Infektionsrisiko senken. Je kleiner der Volumenstrom von Umluftreinigern, umso wichtiger ist deren geeignete Position im Raum zu wählen. Eine Aufstellung mit dem Ziel eines effektiven Betriebes muss bei Räumen mit hohen Wärmelasten, beispielsweise einem Klassenraum, deckennah im Bereich der höchsten Virenkonzentrationen erfolgen. Durch die bodennah wirkende Massenerhaltung am Fuß der Auftriebsplumes entstehen mit oder ohne Zutun der Umluftreiniger Raumlufthalzen, die Luft in die Aufenthaltszone rückbefördern.

Umluftsysteme

Lüftungsanlagen mit einem nicht dekontaminiertem Umluftanteil werden hier nicht weiter betrachtet, da diese Systeme aufgrund der Rückförderung und Vermischung von Viren im Raum nachweislich zum Infektionsgeschehen beitragen.

Schichtlüftung

Eine besondere Form der Raumlufteströmung ist die Schichtlüftung. Durch bodennahe Nachführung von unkontaminierter Luft unterstützt die Schichtlüftung die Thermik und verhindert bei sachgemäßer Regelung das Ausbilden von Raumlufthalzen und damit die Rückführung belasteter Luft aus den oberen Temperaturschichten. Der erforderliche Luftwechsel dient nicht der Verdrängung, sondern der Kompensation der Auftriebsvolumenströme. Die Nachführung der Luft kann bei der Schichtlüftung, anders als bei der Verdrängungsströmung ansatzweise punktuell an ein oder zwei Stellen im Raum geschehen. Die Strömungsführung der Schichtlüftung ist wesentlich flexibler als die der Verdrängungsströmung und somit der Nachrüstung deutlich zugänglicher.

Anders als bei der Verdrängungsströmung kommt der Regelung zur exakten Bereitstellung des notwendigen Thermikvolumenstroms eine größere Bedeutung zu.

Gelingt die Regelung sind deutlich niedrigere Stoffbelastungsgrade und damit Infektionsrisiken im Aufenthaltsbereich im Vergleich mit der Mischlüftung zu erzielen. Im Vergleich zur Verdrängungsströmung erfordert die Schichtlüftung in der Regel dazu geringere Volumenströme. Geringere Volumenströme und die flexiblere Strömungsführung bescheinigen der Schichtlüftung die einfachere Nachrüstbarkeit im Vergleich zur Verdrängungsströmung.

Infektionsrisiko

In den folgenden Ausführungen werden das Infektionsrisiko und der Stoffbelastungsgrad in Beziehung gebracht. Aus der Erfassung gesundheitlich bedenklicher Schadstoffe am Arbeitsplatz zur Gewährleistung der Arbeitsplatzsicherheit ist der Stoffbelastungsgrad bekannt. Der Stoffbelastungsgrad zur Einschätzung des indirekten Infektionsrisikos wie zur Einschätzung der Wirkweise eines Lüftungssystems φ ist vorteilhaft definiert als die Anzahlkonzentration luftfremder, der Luft trägheitsfrei folgender Stoffe im Untersuchungsfall ψ_{Messung} in Bezug zur Konzentration, die sich bei der idealen Mischlüftung $\psi_{\text{Mischlüftung}}$ bei ansonst identischem Luftwechsel ergeben würde.

Formel 1

$$\varphi = \frac{\psi_{\text{Messung}}}{\psi_{\text{Mischlüftung}} \Big|_{\text{Luftwechsel}}}$$

In der folgenden Abbildung 1 sind exemplarisch im Strömungsraum gemessene Stoffbelastungsgrade der Mischlüftung und der Schichtlüftung unter Betrieb mit dem identischen Luftwechsel dargestellt.

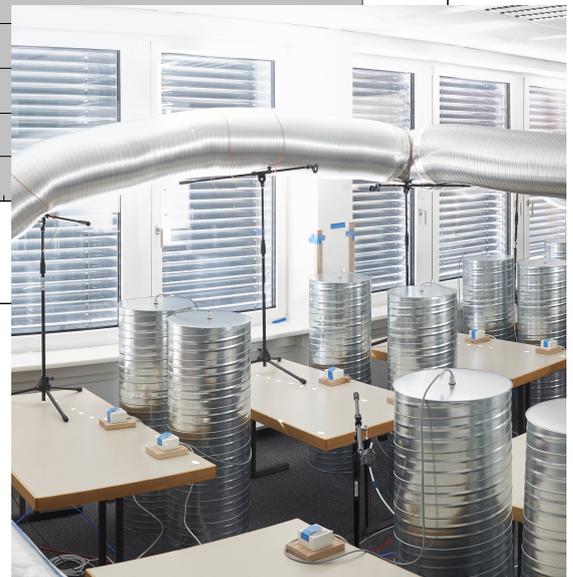
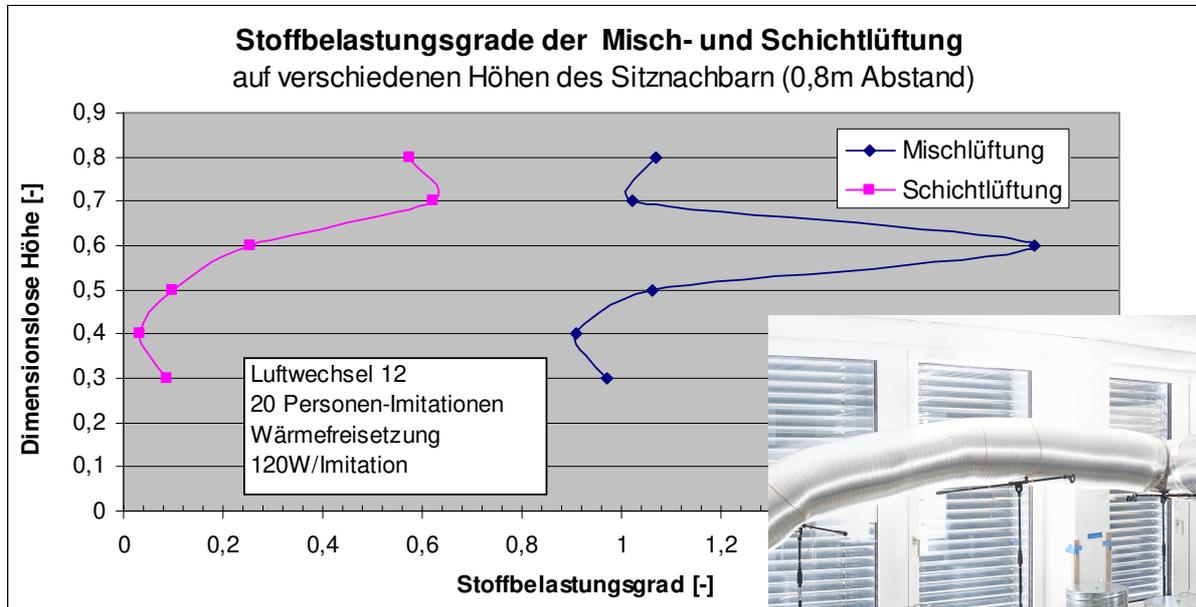


Abbildung 1: Oben: Gemessene Stoffbelastungsgrade 0,8 m neben der Emissionsquelle für die Schicht- und Mischlüftung

Rechts: Grundlage der Strömungsversuche ist die Nachbildung einer teil- bzw. vollbesetzten Klasse

Im Bereich Sitzender fallen Stoffbelastungsgrade und damit auch das Infektionsrisiko in etwa um den Faktor 10 niedriger aus. Besonders auffällig ist der Stoffbelastungsgrad der Mischlüftung näherungsweise auf Kopfhöhe beim Sitznachbarn des Emittenten. Das daraus resultierende erhöhte Infektionsrisiko erklärt sich durch Strömungsschlieren ausgehend vom Emittenten, welche ab und an den Sitznachbarn im Modus der Mischlüftung unmittelbar passieren.

Aussagen zum Infektionsrisiko bedürfen neben dem bereits eingeführten Stoffbelastungsgrad die Kenntnis der Virenkonzentration am Ort der Bewertung. Aktuelle Aussagen zur Virenkonzentration und damit zum Infektionsrisiko in Innenräumen basieren zumeist auf der stationären Beharrung, sowohl in Bezug zur Anreicherung der Raumluft als auch in Bezug auf das Absterben der Viren. Gerade aber zu Beginn der Raumnutzung ist die spezifische Virenbelastung niedrig und steigt mit zunehmender Raumsättigung bei einer Mischlüftung erst an. Je größer der Raum und je niedriger der Luftwechsel, desto höher ist der Einfluss der Virensterblichkeit. In der hier angestellten instationären Betrachtung wird der exponentielle Ansatz zur Berechnung der Virenlebensdauer über die Emissionszeit aufintegriert und eine zeitlich abhängige Überlebensrate der Viren auf die Raumkonzentration angewandt. Es resultieren die in Abbildung 2 exemplarisch dargestellten

Infektionsrisiken in Räumen mit 60m² und 120m² Fläche. Auffällig ist der starke Anstieg der Risiken der „Freien Lüftung“. Misch- bzw. Umluftreiner profitieren von hohen Luftvolumenströmen. Einzig die Schichtlüftung weist über den Zeitraum von 3h ein Infektionsrisiko im Promillebereich aus.

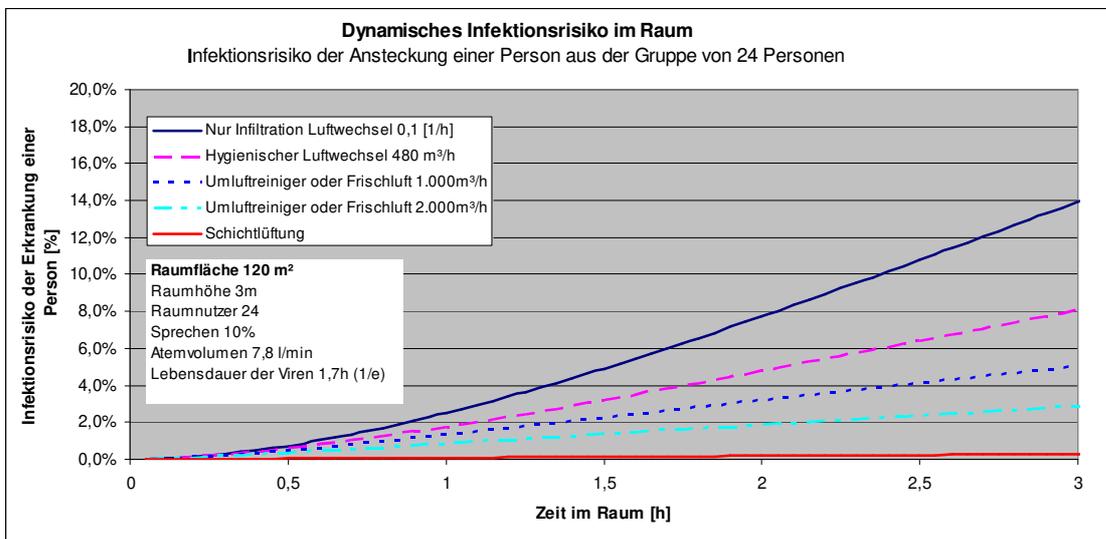
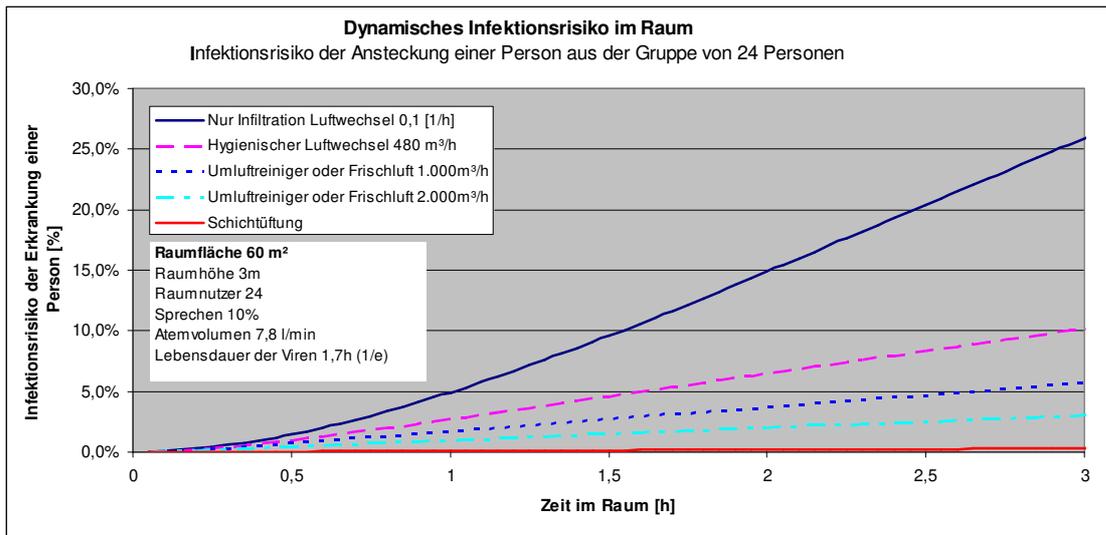


Abbildung 2: Verlauf des Infektionsrisikos einer Person aus der Gruppe zu erkranken, aufgetragen über der Aufenthaltszeit für unterschiedliche Lüftungssituationen und Räume