

Zusammenfassung zur Promotionsschrift

**Thermal Comfort and Air Quality in Offices Equipped with a Ductless
Personalized Ventilation System**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen

der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Hayder Aqeel Ali Alsaad

(interner Doktorand)

geboren am 19. Januar 1987 in Bagdad, Irak

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Conrad Völker

Weimar, 29. Mai 2019

Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

1. Um die thermische Behaglichkeit sowie die Raumluftqualität in Büroräumen zu gewährleisten, werden Gebäude häufig mit mechanischen Lüftungsanlagen ausgestattet. Diese leiten Frischluft von außen ein und führen Schadstoffe aus der Raumluft ab. Solche Verunreinigungen werden beispielsweise von den Nutzern, den verbauten Materialien oder der Ausstattung erzeugt.
2. Bei den dabei eingesetzten Systemen handelt es sich typischerweise um sogenannte Gesamtvolumen-Lüftungssysteme (GV). Durch solche Systeme wird die Luft im gesamten Raumvolumen als Ganzes betrachtet, weshalb diese Systeme zu einem weitgehend homogenen Raumklima führen.
3. In Räumen, die mit GV-Systemen belüftet werden, vermischt sich die zugeführte Luft mit der Raumluft, bevor sie die Nutzer erreicht. Dadurch atmen die Nutzer eine Mischung aus frisch zugeführter und belasteter Luft ein. Studien zeigen, dass bei vielen GV-Systemen nur 1% der zugeführten Frischluft die Atemwege der Nutzer erreicht.
4. Darüber hinaus kann mit GV-Systemen nicht auf die individuellen Präferenzen der Nutzer bezüglich des Raumklimas, resultierend aus physiologischen und psychologischen Unterschieden, eingegangen werden.
5. Als Lösung dieses Problems wird in der Fachwelt die sogenannte *Personalisierte Lüftung* (PL) diskutiert, die Frischluft direkt in den Atmungsbereich des Nutzers einbringt, wodurch die Raumluftqualität an dieser relevanten Stelle stark erhöht wird. Zudem ermöglicht die PL die individuelle Kontrolle der Luftgeschwindigkeit, Luftrichtung und ggf. auch der Lufttemperatur, wodurch die Nutzerzufriedenheit verbessert wird.
6. Obwohl die PL zahlreiche Vorteile bietet, kann es bei der Raumgestaltung erhebliche Einschränkungen geben. PL-Systeme sind normalerweise an ein Rohr angeschlossen, das frische, temperierte Luft von außen zuleitet. Dies erhöht erheblich die Planung und Ausführung der Leitungsführung, schränkt die Anordnung der Möbel im Raum ein und wirkt sich unvorteilhaft auf die Ästhetik aus.
7. Aus diesem Grund wird in der Fachwelt ein unabhängiges personalisiertes Lüftungssystem (DPL – Ductless Personalized System) diskutiert, bei dem keine direkte Verbindung zum mechanischen Lüftungssystem des Gebäudes erforderlich ist.
8. DPL nutzt den Unterschied der Lufttemperatur und -qualität zwischen Kopfhöhe und Boden aus, der sich bei Anwendung von Querlüftung einstellt. Das DPL-System saugt dabei die kühlere und frischere Luft fussbodennah an und transportiert sie in die Atemzone der Nutzer.

9. Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, die Grundlagen für die Entwicklung solcher DPL-Systeme zu erforschen.

Stand der Wissenschaft

10. Zahlreiche Studien weisen darauf hin, dass PL- und DPL-Systeme die Raumluftqualität sowie die thermische Behaglichkeit erheblich verbessern können. Die durchgeführte Literaturrecherche zeigt, dass insbesondere DPL bisher kaum untersucht wurde. Darüber hinaus wurde zumeist die Leistungsfähigkeit von DPL- und PL-Systemen getrennt voneinander und unter verschiedenen Bedingungen bestimmt, so dass beide Systeme aktuell nicht miteinander verglichen werden können.
11. Neuere Studien weisen zudem darauf hin, dass die Komplexität der personalisierten Systeme tendenziell erhöht wird, wenn verschiedene Systeme kombiniert werden, z.B. lokale Zuluft-/Ablufteinheit und lokale Strahlungsheizung/-kühlung usw. Obwohl solche Kombinationen von Systemen tendenziell bessere Ergebnisse erzielen, verringern diese komplexen Kombinationen die Wahrscheinlichkeit einer Implementierung in der Praxis, da damit tendenziell ein größerer Aufwand und damit höhere Kosten hinsichtlich Installation und Wartung verbunden sind.
12. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich daher auf vereinfachte Setups, die in die Entwicklung und später in die Praxis übernommen werden können. Dabei wurden die verglichenen Systeme (DPL, PL und als Referenz ein einfacher Tischventilator) in jeder Konfiguration einzeln getestet.

Eingesetzte Methoden

13. Zur Untersuchung des Systems wurden zwei Ansätze verfolgt: Experimentelle Studien und numerische Simulationen.
14. Die experimentellen Studien umfassten empirische Messungen in einer Klimakammer, in der ein mit PL ausgestatteter typischer Büroarbeitsplatz inklusive thermischem Manikin aufgebaut wurde. Lufttemperatur, -geschwindigkeit und Prüfgaskonzentrationen wurden gemessen. Darüber hinaus wurden die Art der Strömung und die Wechselwirkung zwischen der personalisierten Lüftung und konvektiven Strömungen mittels Thermographie sowie erstmalig mit einem Schlieren-Spiegel qualitativ untersucht.
15. Diese Messungen wurden später zur Validierung des numerischen Modells (CFD) herangezogen. Die Validierung wurde unter Verwendung eines 3D-gescannten Modells des thermischen Manikins durchgeführt. Verschiedene Turbulenzmodelle, Solvereinstellungen, Netzdimensionierung und Randbedingungen wurden getestet, um das am besten geeignete Modell zu ermitteln.

16. Anschließend wurde die Leistungsfähigkeit der Systeme unter verschiedenen Randbedingungen (Raumlufttemperatur, Volumenströme etc.) simuliert. In dem dabei verwendeten CFD-Modell wurde ein typisches Büro mit zwei Arbeitsplätzen bzw. zwei Nutzern modelliert. Dabei wurde die zeitliche Veränderung der Luftqualität in Innenräumen berücksichtigt, indem die Ausbreitung von drei Prüfgasen simuliert wurde, die aus drei verschiedenen Quellen ausgestoßen wurden (ausgeatmete Kontamination, dermal emittierte Kontamination und Kontamination von passiver Quelle auf dem Boden). Abschließend wurde die globale und lokale thermische Behaglichkeit mit dem Komfortmodell der University of California, Berkeley (UCB) bewertet.

Wesentliche Ergebnisse

17. Die erstmalig durchgeführte qualitative Strömungsvisualisierung zeigt, dass die personalisierte Strömung einen niedrigen Turbulenzgrad hat, die erfolgreich in die den Körper umgebende konvektive Grenzschicht eindringt. Dadurch kann die personalisierte Strömung, im Gegensatz zu vielen bisherigen Systemen, den Atembereich direkt erreichen.
18. Die Modellvalidierung zeigt, dass mit dem *realizable* k- ϵ -Turbulenzmodell im Vergleich zu anderen k- ϵ -Turbulenzmodellen eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Werten erzielt wurde. Beide getesteten Druckinterpolationsschemata (Second-order und PRESTO) ergaben eine gute Übereinstimmung zwischen Messungen und Simulationen.
19. Die CFD-Ergebnisse zeigen, dass DPL im Allgemeinen besser funktionierte als der betrachtete Referenzventilator. Auch sorgte DPL für thermische Behaglichkeit sowie eine hohe Raumluftqualität, sowohl bezüglich der ausgeatmeten als auch der dermal emittierten Verunreinigungen. Der Referenzventilator wies jedoch eine bessere Effizienz bei der Entfernung von Verunreinigungen auf, die von einer passiven Quelle auf Bodenebene abgegeben wurden. Dies weist darauf hin, dass die Leistungsfähigkeit von DPL und Ventilator stark vom Ort der Verunreinigungsquelle abhängt.
20. Beim Vergleich der Leistungsfähigkeit von DPL mit PL erreichte letztere im Allgemeinen eine bessere Inhalationsluftqualität, da es ungemischte Frischluft zuleitet. Trotzdem konnte das DPL-System in vielen Fällen mit der PL konkurrieren, je nach Ort der Kontaminationsquelle konnten vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.
21. Unter Berücksichtigung der enormen Vorteile hinsichtlich Kosten und Komplexität kann DPL daher ein neuartiges Werkzeug zur Verbesserung des Raumklimas darstellen, das als flexibles Einzelgerät während der Bauphase keine zusätzlichen Arbeiten erfordert.