

Einsatz von gepulsten Zuluftstrahlen

Vorhaben Nr. L292

Einsatz von gepulsten Zuluftstrahlen zur Steigerung der Lüftungseffektivität, des thermischen Komforts und der Energieeffizienz

Abschlussbericht

Kurzfassung:

In dem Forschungsprojekt „Einsatz von gepulsten Zuluftstrahlen zur Steigerung der Lüftungseffektivität, des thermischen Komforts und der Energieeffizienz“ wurden parallel am Hermann-Rietschel-Institut, Technischen Universität Berlin und der RWTH Aachen Untersuchungen durchgeführt.

Am Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin, wurde zunächst simulativ die Anwendbarkeit einer pulsierenden Zuluftfeinbringung eruiert. Dafür wurde ein Büro-Mockup erstellt, welches mit Mischlüftungsauslässen an verschiedenen Positionen ausgestattet wurde. In diesem Modell wurden systematisch die Ansteuerung der Auslässe, Wärmelast und Pulsparameter variiert und der Einfluss in der Aufenthaltszone hinsichtlich Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Zugluftisiko und Lüftungseffektivität untersucht.

Im Vollastfall ist nahezu kein Unterschied in der Pulsweise feststellbar. Annähernd ideale Mischlüftung ist das Ergebnis. Im Teillastfall reicht der Austrittsimpuls für eine deutliche Durchmischung der Raumluft nicht aus. Hier zeigen sich Vorteile der gepulsten Fahrweise. Durch den höheren Austrittsimpuls wird die Raumluft besser als im stationären Fall durchmischt, aber auch die Geschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich sind höher. In der Regel sind bei gepulster Fahrweise die Geschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich dann geringer, wenn zwei Auslässe verwendet werden. Der Unterschied in den Mittelwerten von Geschwindigkeit, Temperatur und der Lüftungseffektivität zwischen paralleler und alternierender Betriebsweise von zwei Auslässen ist nicht deutlich ausgeprägt. Tendenziell ist eine geringere Schwankungsbreite und bessere Durchmischung im alternierenden Fall zu beobachten.

Ergänzend zur Untersuchung der physikalischen Auswirkungen am Prüfstand erfolgte eine Probandenstudie, in welcher der Einfluss gepulster Zuluft auf das Zugluftempfinden studiert wurde. Eine zyklische Temperierung mit hohem Pulsvolumenstrom wird bei tiefen Temperaturniveaus nicht empfohlen, da der Großteil der Personen, welche sich in der Probandenstudie durch Zugluft beeinträchtigt fühlten, mit deutlicher Ausprägung bei 20°C war. Oberhalb von 20°C gab es kaum Personen, welche durch Zugluft beeinträchtigt waren. Daher wird eine solch große Temperaturspreizung eher im Kühlfall empfohlen, wenn die Innenraumtemperaturen größer 20°C sind. Hier sind weitere Probandenstudien nötig.

Am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik wurde das Nahfeld der pulsierenden Zuluftstrahlen genauer untersucht. Hierzu wurden zum einen experimentelle Untersuchungen mittel Particle Image Velocimetry (PIV) und zum anderen dreidimensionale Strömungssimulationen durchgeführt, um die Ausbreitung pulsierender Strahlen im Nahfeld zu charakterisieren. Abschließend wurden aus den gewonnenen Erkenntnissen analytische Berechnungsgleichungen abgeleitet, die den Planungsprozess für derartige Systeme unterstützen können.

Es zeigt sich, dass pulsierende Strahlen in ihrer Ausbreitung in eine Puls- und eine Mischzone unterteilt werden können. Unmittelbar hinter dem Luftauslass tritt die Pulszone auf, welche durch Geschwindigkeitsfluktuationen basierend auf den Pulsen charakterisiert ist. Ab einem gewissen Abstand zum Luftauslass geht die Pulszone in die Mischzone über. Letztere weist ähnliche Charakteristiken wie die Strahlausbreitung des kontinuierlichen Strahls auf. Mit Hilfe einem Wurzelfunktionsansatz kann die Ausbreitung der Pulsfront und somit der Übergang zwischen Puls- und Mischzone zeitlich und örtlich bestimmt werden. Für die mittlere Strahlgeschwindigkeit kann ein Potenzansatz in Abhängigkeit der Eintrittsgeschwindigkeit und dem duty cycle (Verhältnis der Zeiten mit und ohne Luftbeaufschlagung) formuliert werden. Des Weiteren zeigen die Untersuchungen, dass bei gleichbleibendem Massenstrom im Vergleich zum kontinuierlichen Strahl der pulsierende Strahl einen erhöhten Impuls bedingt durch eine erhöhte mittlere Geschwindigkeit hervorruft. Hierdurch wird die Einmischung der Umgebungsluft und die Eindringtiefe des Strahls erhöht. Die Strömungsstrukturen bleiben aufrechterhalten und die Durch-

mischung gegenüber dem kontinuierlichen Strahl erhöht. Folglich können mit dem Konzept der gepulsten Zuluft einbringung Energiebedarfe reduziert werden, indem bedarfsgerechte Lüftung auch dort eingesetzt werden kann, wo kontinuierliche Belüftung durch Ablösung der Strömungsstrukturen begrenzt ist.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist erreicht worden.

Laufzeit:	01.11.2018 – 30.04.2022
Fördergeber:	BMWK/AiF - Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz / Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e.V. (FLT)
Fördernummer(n):	20399 N
Forschungsstelle(n):	Institut für Energietechnik Hermann-Rietschel-Institut (HRI), Technische Universität Berlin Leiter: Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik (EBC), RWTH Aachen University Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller
Bearbeiter und Verfasser:	Lea Findeisen, M.Eng. (HRI) Dipl.-Ing. Eugen Lichtner (HRI) Tim Röder, M.Sc. (EBC) Martin Kremer, M.Sc. (EBC)
Projektkoordination/projektbegleitender Ausschuss:	Harald Gustmann, Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e. V. (FLT)
Vorsitzender wiss. Beirat:	AG RLT-TGA Dr.-Ing. Michael Kohlhaas (Siegenia-AUBI KG)

Danksagung

Dieser Bericht ist das wissenschaftliche Ergebnis einer Forschungsaufgabe, die von der Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik (FLT) e. V. gestellt und am Institut für Energietechnik (HRI) der Technische Universität Berlin unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel sowie am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen University unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller bearbeitet wurde. Die FLT dankt den Professoren Kriegel und Müller und den wissenschaftlichen Bearbeitern Lea Findeisen, M.Eng. (HRI), Dipl.-Ing. Eugen Lichtner (HRI), Tim Röder, M.Sc. (RWTH) und Martin Kremer, M.Sc. für die Durchführung des Vorhabens sowie der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) e. V. für die finanzielle Förderung. Das Vorhaben wurde von einem Arbeitskreis der FLT unter der Leitung von Harald Gustmann (Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e. V.) begleitet. Diesem projektbegleitenden Ausschuss gebührt unser Dank für die große Unterstützung. Das Forschungsvorhaben wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF-Nr. 20399 N) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) e. V. aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Inhaltsverzeichnis

1	Executive Summary	8
1.1	Executive Summary (DE).....	8
1.2	Executive summary (EN)	9
2	Einleitung	12
3	Erweiterung der Behaglichkeitsmodelle für instationäre Bedingungen	14
3.1	Literaturrecherche.....	14
3.2	Planung der Probandenversuche	15
3.2.1	Versuchslabor.....	15
3.3	Durchführung der Probandenversuche.....	16
3.3.1	Szenarien.....	17
3.4	Ergebnisse der Probandenversuche.....	18
3.4.1	Einzelversuche	18
3.4.2	Parameterstudie	19
3.5	Statistische Auswertung der Einflussparameter	20
4	Numerische Strömungssimulation	24
4.1	Definitionen	24
4.2	Modell- und Methodenbeschreibung.....	25
4.3	Ergebnisse	27
5	Ableitung für die Auslegung von gepulster Zuluft	34
6	Strömungsuntersuchungen im Nahfeld gepulster Zuluftstrahlen (RWTH).....	40
6.1	Stand der Technik.....	40
6.1.1	Basistyp: Kontinuierlicher Strahl.....	41
6.1.2	Allgemeiner gepulster Strahl.....	42
6.1.3	Spezialtyp: Vortex Ring	44
6.1.4	Spezialtyp: Strahlevolution und -auflösung.....	45
6.1.5	Pulsstrahlen in der Lüftungstechnik.....	46
6.1.6	Ziel des Forschungsprojekts (RWTH).....	47
6.2	Grundlagen	48
6.3	Strömungsuntersuchung im Nahfeld.....	50
6.4	Numerische Strömungsuntersuchung mittels LES	51
6.4.1	Modellaufbau	51
6.4.2	Validierung.....	52
6.5	Experimentelle Strömungsuntersuchung mittels PIV.....	54
6.5.1	Versuchsaufbau.....	54
6.5.2	Verifizierung.....	58
6.5.3	Messunsicherheit.....	59
6.6	Analytische Vorbetrachtung	61
6.7	Untersuchung von Anfahr- und Abfallvorgang (einzeln)	62
6.8	Untersuchung von Anfahr- und Abfallvorgang (kombiniert).....	69
6.9	Untersuchung des pulsierenden Betriebs	73

6.10	Aufbauende Untersuchungen	85
6.11	Zusammenfassung der Ergebnisse	85
7	Planungshinweise	88
8	Energetische Bewertung für Neubau und Bestand	89
9	Anhang	91
9.1	References	91
9.2	Probandenversuche	93
9.2.1	Vorabklärung auf der Homepage	93
9.2.2	Registrierungsformular	94
9.2.3	Datenschutzvereinbarungen	96
9.2.4	Beispielterminvereinbarung	100
9.2.5	Ergebnisse	102
9.3	Messungen physikalischer Prüfstand	110
9.4	Numerische Strömungssimulation	111