

Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

Belastbare Validierung und Erweiterung einer Aufwertungsmethodik für Radialventilatoren

der Forschungsstelle(n)

Institut für Fluidsystemtechnik

Das IGF-Vorhaben 18052 N der Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik (FLT)
wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Darmstadt, den 06.02.2017

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing. Peter F. Pelz

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Technische Universität Darmstadt
Institut für Fluidsystemtechnik
Fachbereich Maschinenbau
Professor Dr.-Ing. Peter F. Pelz
Otto-Berndt-Str. 2
D-64287 Darmstadt

Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die belastbare Validierung mittels radialer Ventilatoren der am Institut für Fluidsystemtechnik (der Technischen Universität Darmstadt) erarbeiteten Aufwertemethode für den Wirkungsgrad. Daher gliedert sich das Projekt in vier Teilbereiche:

1. experimentelle Untersuchungen,
2. numerische Untersuchungen,
3. analytische Verlustmodellierung und
4. die Validierung und Erweiterung der Aufwertemethode der Forschungsstelle.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden zwei radiale Ventilatorarten mit je zwei unterschiedlichen Skalierungen experimentell und numerisch untersucht. Dazu wurden die Institutsinternen Ventilatorprüfstände (freiausblasende Rohrprüfstände) entsprechend umgebaut und ein weiterer Prüfstand komplett neu aufgebaut, so dass alle Ventilatoren mindestens DIN 24163 konform und ein Ventilator auch ISO 5801 konform vermessen werden können. Um die Bandbreite an Ventilatorarten möglichst gut abzudecken wurden ein schnellläufiger Niederdruckventilator (Schnellaufzahl $\sigma \approx 0.5$) und ein langsamläufiger Hochdruckventilator ($\sigma \approx 0.1$) ausgewählt. Zusätzlich wurde am Hochdruckventilator eine Rauheitsvariation durchgeführt.

Der schnellläufige Niederdruckventilator zeigt dabei das erwartete Verhalten, dass sich eine Erhöhung der Reynoldszahl in einer Steigerung des Wirkungsgrades auswirkt. Der langsamläufige Hochdruckventilator dagegen zeigt nur im unteren Machzahlbereich ($Ma < 0.3$) eine Steigerung des Wirkungsgrades. Wird die Drehzahl und damit die Mach- und Reynoldszahl weiter gesteigert, so sinkt der Wirkungsgrad wieder. Dies ist auf kompressible Effekte innerhalb des Ventilators zurückzuführen, die aufgrund des hohen Druckaufbaus und der hohen Strömungsmachzahlen deutlich stärker auftreten, als dies bei anderen Ventilatorarten der Fall ist. Weiterhin konnte das eingeführte Prinzip der Masterkurve bestätigt werden, welches besagt, dass der Wirkungsgradverlauf unabhängig von der Mach- und Reynoldszahl ist und lediglich von Betriebspunkt (Lieferzahl φ) abhängt. Eine Verschiebung des Wirkungsgradoptimums konnte dabei nicht festgestellt werden.

Aufbauend auf den experimentellen Untersuchungen wurden numerische Simulationen durchgeführt. Mit Hilfe der Numerik konnten die Verluste innerhalb des Ventilators besser eingeordnet werden, so dass beispielsweise das Gehäuse weiterhin berücksichtigt werden muss, genauso wie die Interaktion von Laufrad und Gehäuse, welche durch den Carnot-Verlust am Laufradaustritt maßgeblich bestimmt wird.

Die analytische Verlustmodellierung umfasst den Inzidenzverlust am Laufradeintritt, den Carnot-Verlust am Laufradaustritt, sowie für die Beschreibung der Oberflächenreibung im Laufrad und Gehäuse für den Übergangsbereich von hydraulisch glatt zu rau.

Durch die zuvor zusammengefassten Erkenntnisse wurde die im Forschungsvorhaben L235 erarbeitete Aufwertemethode erst validiert und anschließend durch die Modellierung der kompressiblen Effekte weiter optimiert. Damit ist es möglich sowohl eine Aufwertung des Wirkungsgrades in Folge einer Erhöhung der Reynoldszahl als auch eine Abwertung in Folge der Erhöhung der Machzahl zu beschreiben. Die Basis der gewählten Methode ist weiterhin die Definition der Ineffizienz (dimensionsloser Verlust) $\varepsilon := 1 - \eta$ und ist somit universell für axiale und radiale Ventilatoren, also unabhängig vom Ventilatorart, einsetzbar. Des Weiteren ist die Aufwertung physikalisch basiert, was bedeutet, dass sie individuell an weitere Randbedingungen angepasst werden kann, wie beispielsweise der Skalierung des Spaltes.

Die Validierung der erweiterten Methode für axiale Maschinen steht noch aus, wird aber in einem folgenden Eigenmittelprojekt bearbeitet. Der Hochdruckventilator heizt sich während des Betriebes stark auf (Temperaturanstieg im Ventilator $\Delta T \approx 40$ K), so dass auch die Modellierung des Wärmestromes unter Umständen umgesetzt werden sollte. Die Gründe für eine Verschiebung des Optimums konnte nicht geklärt werden, da dieser Effekt in den durchgeführten Untersuchungen nicht aufgetreten ist.