

Entwicklung eines Rotationskammerverdichters zur Anwendung im Luftkälteprozess

Weiterentwicklung einer Drehkolbenschwingmaschine auf Basis der Schukey-Technologie

C. Schmitt, K. Becker, U. Lüdersen, M. Gottschlich, Institut für Verfahrenstechnik, Energietechnik und Klimaschutz (IVEK), Hochschule Hannover

Kurzgefasst

- Entwicklung einer neuartigen Drehkolbenschwingmaschine auf Basis der Schukey-Technologie
- Transiente CFD-Simulationen (RANS)
- Bewegte und stark deformierte Netze

Der Klimawandel und die damit verbundenen höheren Spitzentemperaturen, insbesondere in Europa, erfordern immer häufiger die Klimatisierung von Arbeitsräumen, Wohnungen und Häusern. Wie bereits von der europäischen Kommission in der EU Verordnung Nr. 517/2014 (F-Gas-V) [1] über die Regelung fluoriertener Treibhausgase verordnet wurde, soll in Zukunft auf die Verwendung von Klimaanlage mit FCKW-haltigen oder anderen, den Treibhauseffekt fördernde Kältemitteln, verzichtet werden. Hierzu müssen weitere umweltschonende Alternativen, z.B. der Einsatz natürlicher Kältemittel, untersucht werden.

Zielsetzung dieses Projektes ist die Entwicklung einer kompakten und wirtschaftlich effizienten Klimaanlage zur Raumklimatisierung mit den natürlichen Kältemitteln Luft und Wasser. Der Einsatz von Luft bzw. Wasser als Arbeitsmedium stellt dabei eine ungiftige und umweltfreundliche Alternative dar, durch welche die Ozonschicht nachhaltig geschützt werden kann. Das Projekt trägt so zur Reduzierung der Emission fluoriertener Treibhausgase und zum Klimaschutz bei. Des Weiteren wird untersucht, inwiefern sich die unten beschriebene Technologie zur Energiegewinnung aus Restwärme erneuerbarer Energieformen eignet.

Als Grundlage für diese Anwendung wurde die am Institut für Verfahrenstechnik, Energietechnik und Klimaschutz (IVEK) weiter entwickelte Schukey-Technologie für die veränderte anspruchsvolle Anwendung modifiziert und eine kompakte neue Kältemaschine im Labormaßstab aufgebaut und unter realen Bedingungen getestet. Es handelt sich bei der Technologie um ein Verdichter-/Expandersystem, nachfolgend Drehkolbenschwingmaschine genannt, in welchem das Arbeitsmedium für die prozessbedingten Schritte der Kältemaschine verdichtet und expandiert werden kann.

Die Drehkolbenschwingmaschine basiert auf zwei ineinandergreifende Rotoren mit jeweils vier Flügeln, welche durch spezialverzahnte Getriebe eine phasenverschobene Bewegung relativ zueinander durchführen (s. Abb.1). Dabei drehen beide Rotoren in derselben Drehrichtung und werden durch eine gemeinsame Hauptwelle angetrieben. Während ein Rotor beschleunigt, verzögert der andere Rotor und umgekehrt. Dies führt zu einer Volumenpulsation zwischen den Flügeln, welche die Arbeitsräume der Maschine bilden, in denen die Ansaugung und Verdichtung des Arbeitsmediums erfolgt. Die sich verändernden Winkelgeschwindigkeiten der Rotoren und der Arbeitskammern sind über eine Hauptwellenumdrehung in Abb.2 dargestellt.

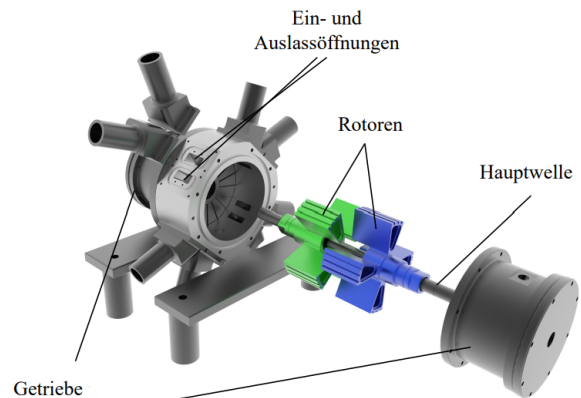


Abbildung 1: Aufbau der Drehkolbenschwingmaschine mit ihren Hauptkomponenten

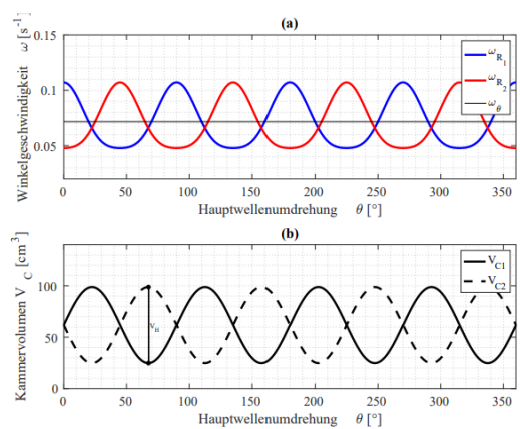


Abbildung 2: (a) Winkelgeschwindigkeiten der Rotoren $\omega_{R1,R2}$ und Hauptwelle $\omega_N=const.$, (b) Kammervolumenverlauf V_C während einer Hauptwellenumdrehung

Insgesamt finden in einer Hauptwellenumdrehung 32 Arbeitsspiele statt. Diese sorgen für einen hohen Volumendurchsatz, welcher für den Kältekreislauf mit natürlichen Kältemitteln erforderlich ist. Die Maschine arbeitet weiterhin ölfrei und ohne Ventilmeechanismen nach dem Schieberprinzip und zeichnet sich so durch einen wartungsarmen Betrieb nachhaltig aus. Die betrieblichen Anforderungen und Optimierungspotenziale der Maschine werden durch numerische Berechnungen und Simulationen mit einem kommerziellen CFD-Solver (Computational Fluid Dynamics) gestützt (vgl. Abbildung 3), um nähere Erkenntnisse über die stattfindenden physikalischen Phänomene zu erlangen und die Maschine nach ihren Leistungskennzahlen zu optimieren.

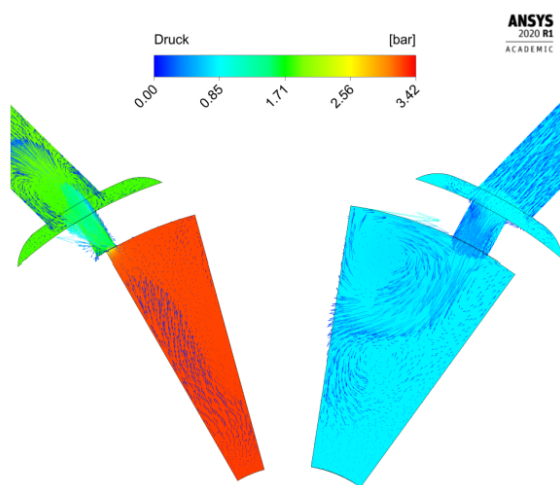


Abbildung 3: Simulierte Druck- und Geschwindigkeitsverteilung während des Ein- und Auslassvorgangs in den Arbeitskammern (links Auslass, rechts Einlass).

Für die Berechnung des in der Maschine auftretenden hochgradig transienten Strömungsverhaltens sind hohe räumliche und zeitliche Auflösungen notwendig. Hinzu kommt die Beschreibung der pulsierenden Arbeitskammern entsprechend der Funktion aus Abb.2, welche über bewegte Netze (Moving Meshes) beschrieben werden. Die Verzerrungen der bewegten Netze sorgen für ein erschwertes Konvergenzverhalten, wodurch eine hohe Auflösung zur Einhaltung der Topologie unabdingbar ist. Aussagekräftige Parameterstudien können aufgrund der hohen erforderlichen Rechenkapazität daher ausschließlich auf Clustern gerechnet werden.

In vorangegangenen Arbeiten [2] sind umfangreiche CFD-Parameterstudien mit Hilfe der Rechenkapazitäten des HLRN erfolgreich umgesetzt worden. Es wurden über 50 Design-Points mit einer Rechenzeit von je 11 Stunden parallel auf mehreren Nodes in wenigen Tagen berechnet.

Eine u.a. im Rahmen des Projektes erstellte Dis-

sertation [3] lieferte Daten zu effizienten Betriebsbereichen, Leistungskennzahlen sowie den wesentlichen Optimierungsgrößen. Die Untersuchung hat gezeigt, dass der Liefergrad des vorliegenden Prototypen stark drehzahlabhängig ist und ein lokales Maximum von 86,8% bei einer Drehzahl von 1200 U/min aufweist. Aus den numerischen Untersuchungen geht zudem hervor, dass sich eine Vergrößerung der Schaufelbreiten und damit einhergehend eine Verkleinerung des Schadraums positiv auf oben genannte Kennzahlen auswirkt. Mit den CFD-Berechnungen konnten erfolgreich die ersten experimentellen Messungen für den Betrieb als Verdichter erhoben und validiert werden.

Das nächste Projektziel ist die mögliche Nutzung der Maschine als Expander-/Turbineneinheit. Hierbei steht die Energiegewinnung durch Expansion von überhitzten Dampf im Vordergrund. Durch eine Abänderung der Geometrie und somit minimalen Schadraum im Vergleich zum Verdichter ist die Simulation über eine Moving Mesh Methode aufgrund der großen Zerrung der Netze besonders anspruchsvoll. Im Anschluss erfolgt ein Abgleich zu den experimentellen Werten zwecks Validierung.

WWW

<http://www.ivek-hsh.de>

Weitere Informationen

- [1] Regulation (EU) No 517/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006, OJ L 150, 2014, S. 195-230. <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/517/oj>
- [2] B. Cui, et al., *Parametric Studies On A New Schukey Type Rotary Compressor*, 25th International Compressor Engineering Conference at Purdue, Purdue, 2021. <https://docs.lib.purdue.edu/icec/2675/>
- [3] B. Cui, *Experimentelle und numerische Analyse eines Rotationskammer (RC) - Verdichters zur Anwendung im Luftkälteprozess*, TEWISS, 2022 <https://www.isbn.de/buch/9783959007566>

Projektpartner

Arbeitsgruppe: IVEK - Schukey-Technologie
CAM Energy Group GmbH

Förderung

Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Niedersachsen, Programmgebiet Stärker entwickelte Region (SER)
Projektitel: KäRaWas