

Schraubenmaschinen Nr. 12/2004

# **Simulation von Rotationsverdrängermaschinen Spaltströmungen**

## **Schraubenspindel-Vakuumpumpen**

## **Schraubenlader**

## **Hilfsflüssigkeiten in Schraubenmaschinen**

Prof. Dr.-Ing. Knut Kauder

---

Inhalt

Ein einfaches Wärmeübergangsmodell in der thermodynamischen Simulation von Rotationsverdrängermaschinen .....	2
Bestimmung der Verluste in den Spalten von Schraubenmaschinen .....	4
Experimentelle Untersuchung des Wärmehaushaltes in einer Schraubenspindel-Vakuumpumpe .....	5
Experimentelle Untersuchung und Simulation der Ladungswechsel einer Schraubenspindel-Vakuumpumpe - Teil 1 .....	6
Entwicklung und Untersuchung des stationären Betriebsverhaltens eines unsynchronisierten Schraubenladers .....	8
Wassereinspritzung oder Öleinspritzung für Schraubenkompressoren im Vergleich .....	9
Anhang .....	11

You will find the English title and abstract below the respective German section.

ISSN 0945-1870

# Ein einfaches Wärmeübergangsmodell in der thermodynamischen Simulation von Rotationsverdrängermaschinen

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. M. Janicki  
erschieden: 2004  
in: Schraubenmaschinen Nr. 12, ISSN 0945-1870, S. 5 - 14, Universität Dortmund, 2004

Zusammenfassung: (Dieser Beitrag wurde erstmalig im Rahmen des VDMA Kompressoren-Anwenderforums 2004 veröffentlicht)

Die thermodynamische Simulation von Rotationsverdrängermaschinen auf Grundlage eines Kammermodells ist eine anerkannte Methode zur Entwicklung, Charakterisierung und Analyse dieser Maschinen.

Dieser Beitrag stellt eine verbesserte Methode zur Modellierung von Rotationsverdrängermaschinen vor, die unabhängig vom Maschinentyp dessen stationäres und instationäres Betriebsverhalten abbilden kann. Dazu wird das thermodynamische Verhalten des Arbeitsfluides in den Arbeitskammern, den sie verbindenden Spalten und dessen Wärmeaustausch mit den umgebenden Bauteilen berechnet. Der Einfluss des Wärmeübergangs in der diabaten Maschine auf die Thermodynamik der Verdichtung wird am Beispiel eines trockenlaufenden Schraubenkompressors untersucht, für den umfangreiche experimentelle Ergebnisse vorliegen. Zur notwendigen Vereinfachung des Modellansatzes werden die Bauteile als isotherm angesehen.

Der vorliegende Beitrag soll als Einführung in die Modellierung von Schraubenkompressoren verstanden werden und zum Verständnis für den Zusammenhang zwischen der Komplexität der verwendeten Modelle und der daraus resultierenden Abbildungsgüte des Gesamtsystems beitragen.

Title: **A simple Heat Transfer Model for the Thermodynamic Simulation of Rotary Displacement Machines**

Abstract: The thermodynamic simulation of rotary displacement machines by means of a chamber model is an accepted method for the development, characterisation and analysis of these machines.  
This paper presents first experiences with a new method for modelling rotary compressors, which allows the simulation of the steady or transient operation of the machines

examined. The model includes the thermodynamic behaviour of the working fluid, the internal clearance flows and the heat-transfer between the working fluid and the surrounding machine parts.

The influence of heat-transfer on the thermodynamics of the compression is analysed on the basis of a sample screw-type compressor. The reference data for the evaluation of the simulation results are given via experimental results of a screw-type compressor test rig. In the interests of simplification all machine parts are regarded as isotherm. The article can be seen as an introductory guide for determining the required complexity of a simulation model in relation to the degree of modelling accuracy required.

# Bestimmung der Verluste in den Spalten von Schraubenmaschinen

Autor(en): Jaromír Švígler und Jan Vimmr

erschienen: 2004

in: Schraubenmaschinen Nr. 12, ISSN 0945-1870, S. 15 - 24, Universität Dortmund, 2004

Zusammenfassung: Der Artikel befasst sich mit der Analyse des korrekten und inkorrekten Kontaktes zwischen Haupt- und Nebenrotor von Schraubenmaschinen.

Unter korrektem Kontakt ist das vollständige (spaltlose) Berühren von zwei ideal zueinanderstehenden Flächen in der Berührkurve zu verstehen. Beim inkorrekten Kontakt hingegen befinden sich beide Flächen in einer nicht idealen Position (Achsverschiebung) zueinander. Als Folge hiervon findet der Kontakt beider Rotoren in einzelnen Punkten statt, wodurch Spalte entstehen.

Es werden geometrische Modelle von Hauptrotorgehäusespalt und Profileingriffsspalt beschrieben

Die numerische Lösung der Strömungen für kompressible viskose Fluide wird angegeben.

Title: **Contribution to Determination of Losses in Gaps of Screw Machines**

Abstract: (This work was supported by the research project MSM 235200003 of the Ministry of Education of the Czech Republic to which we express our thanks.)

The contribution deals with the analysis of the correct and incorrect contact of the teeth of screw machine rotors which are created with screw surfaces. The incorrect contact of surfaces is caused, in this contribution, by a large parallel displacement of the axis of one of the surfaces. Geometrical model of technically necessary gap by correct and undesirable gap by incorrect contact of teeth was created. Numerical solution of the compressible viscous fluid flow through the male rotor-housing gap, i.e. the gap between the casing and the head of the male rotor tooth, and through the gap, caused by the incorrect contact of teeth, was performed.

# Experimentelle Untersuchung des Wärmehaushaltes in einer Schraubenspindel-Vakuumpumpe

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. A. Rohe

erschienen: 2004

in: Schraubenmaschinen Nr. 12, ISSN 0945-1870, S. 25-36, Universität Dortmund, 2004

Zusammenfassung: (Diese Arbeit wurde durch freundliche Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschung (AiF) gefördert) Die thermische Belastung trockenlaufender Vakuumpumpen bestimmt maßgeblich ihr potenzielles Anwendungsgebiet. Die Berechenbarkeit der thermischen Belastung zu untersuchen, ist das Ziel eines aktuellen Forschungsprojektes. Hierzu soll die Abbildungsgüte eines berechneten Wärmehaushaltes einer Versuchsmaschine durch experimentelle Werte geprüft werden. Der vorliegende Beitrag zeigt den Mechanismus der Wärmeentstehung an einem adiabaten Modell und geht auf die theoretisch notwendige Verdichtungsleistung einer unangepassten Prozessführung ein. Für den stationären Betrieb einer Schraubenspindel-Vakuumpumpe mit konstanter Rotorsteigung und temperierten Bauteilen wird die Energiebilanz experimentell ermittelt und der im reibungsfreien Fall benötigten Antriebsleistung gegenübergestellt.

Title: **Experimental Study of Thermal Characteristics of a Screw Vacuum Pump**

Abstract: The thermal load of dry running vacuum pumps is decisive for determining their potential field of application. The aim of a current research project of the FG Fluidenergiemaschinen is to examine the computability of this thermal load. For this it is necessary to check the calculated thermal characteristics of a test machine against experimentally determined values. This article illustrates the thermodynamic mechanism of heat generation using an adiabatic model, and calculates the theoretical compression power needed for the unadjusted process. For the steady state operation of a screw vacuum pump with constant rotor pitch and component parts at constant temperatures the thermal characteristics are measured and compared to the theoretical frictionless driving power.

# Experimentelle Untersuchung und Simulation der Ladungswechsel einer Schraubenspindel-Vakuumpumpe - Teil 1

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. D. Stratmann  
erschienen: 2004  
in: Schraubenmaschinen Nr. 12, ISSN 0945-1870, S. 37 - 50, Universität Dortmund, 2004
- Zusammenfassung: (Diese Arbeit wurde durch die freundliche Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert)  
Der vorliegende Bericht stellt Ergebnisse experimenteller Untersuchungen der Ladungswechsel einer trockenlaufenden Schraubenspindel-Vakuumpumpe mit isochorer Prozessführung und die modellhafte Abbildung innerhalb der Simulation dar. Indizierungsmessungen der Ladungswechsel geben Aufschluss über die strömungsmechanischen und thermodynamischen Vorgänge während der Ansaug- und Ausschleppphase. Sowohl die Energiewandlungsgüte als auch der erreichbare Enddruck der Vakuumpumpe stellen im Ergebnis die physikalischen Vorgänge im Bereich der Ansaugphase der Pumpe dar. Es zeigt sich, dass der Einfluss rückströmender Spaltmassen in die gerade ansaugende Arbeitskammer bzw. in den Einlassbereich schon im Grobvakuum bestimmend ist für das Betriebsverhalten der Maschine. Der Ausschleppvorgang des druckseitigen Ladungswechsels wird wesentlich durch den Arbeitskammerdruck zum Zeitpunkt der Kammeröffnung bestimmt. Druckausgleichende, impulsbeladene Rückströmungen aus dem Auslassbereich in den sich öffnenden Arbeitsraum führen mit sinkendem Ansaugdruck und steigender Maschinendrehzahl zu einer signifikanten thermische Belastung der Maschinenbauteile. Ungleichmäßige thermisch bedingte Verformungen spaltbegrenzender Maschinenbauteile können so zu einer Gefährdung der Betriebssicherheit bei Unterschreitung betriebsnotwendiger Spaltehöhen führen.
- Title: **Experimental Investigation and Simulation of the Charge Changing in a Screw-Type Vacuum Pump - Part 1**
- Abstract: The charge variation during both inlet and outlet seriously influences the operating behaviour of dry running positive displacement vacuum pumps. This report provides results for the experimental investigation of the charge variation in

a dry-running screw-type vacuum pump with isochor processing. Thermodynamic procedure and fluid mechanic conditions can be predicted by pressure indications for the charging and discharging phases.

The entire energy conversion of vacuum pumps as well as their maximum vacuum result from the physical events during the charging process. It can be shown that the influence of backflow into the currently charging (sucking) working chamber and the inlet port is decisive for the working behaviour of the test machine for rough vacuum ranges.

The discharging process is determined by the pressure in the working chamber at the time of opening to the exhaust port. Pressure-equalizing pulsing backflow from the exhaust port into the working chamber causes significant thermal load of the machine components, increasing with decreasing inlet pressure and rising rotor speed, so that operating reliability is at risk.

# Entwicklung und Untersuchung des stationären Betriebsverhaltens eines unsynchronisierten Schraubenladers

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. J. Temming, Tobias Berglar
- erschienen: 2004
- in: Schraubenmaschinen Nr. 12, S. 51 - 64, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund, 2004
- Zusammenfassung: Beschrieben wird die Konstruktion und das stationäre Betriebsverhalten eines vom Fachgebiet Fluidenergiemaschinen entwickelten Schraubenladers ohne Synchronisationsgetriebe. Bei der Konstruktion und Entwicklung stand besonders ein modulartiger Aufbau im Vordergrund, um eine einfachere, schnellere und damit auch kostengünstigere Montage und Demontage zu ermöglichen. Hauptaugenmerk bei der Untersuchung des Betriebsverhaltens liegt in der Eignung eines speziell für den Anwendungsfall entwickelten Rotorprofils und einer Verschleißschuttschicht. Weiterhin sind verschiedene Möglichkeiten der Wassereinspritzung in den Arbeitsraum untersucht worden.
- Title: **Development and Steady Operating Behaviour of a Screw-Type Supercharger without Synchronisation Gear**
- Abstract: The article describes the development and constant speed state operating behaviour of a new screw-type supercharger without synchronisation gears between the rotors. The development target was a simple configuration of the machine to allow easier and faster assembly and disassembly, which would also reduce costs. The main focus of the research was to control a modified rotor profile and a wear-resistant coating in this special application without synchronisation gears. Furthermore, different methods of water injection were analysed.



# Wassereinspritzung oder Öleinspritzung für Schraubenkompressoren im Vergleich

Autor(en):            Laurenz Rinder, Martin Kuchler und Harald Hackl  
erschieden:           2004  
in:                    Schraubenmaschinen Nr. 12, ISSN 0945-1870, S. 65-74,  
                          Universität Dortmund, 2004

Zusammenfassung: Die Wassereinspritzung hat gegenüber der heute üblichen Öleinspritzung bei Schraubenkompressoren viele Vorteile, aber auch entscheidende Nachteile deretwegen sich die Wassereinspritzung bis heute nicht entscheidend durchsetzen kann.

Den Hauptvorteilen bei wassereingespritzten Schraubenkompressoren wie:

Ölfreie Luft, Energieeinsparung, keine Gefahr von Kondensat im Ölabscheidebehälter und damit im Lagerschmieröl, geringes Temperaturniveau, keine Verpuffungsgefahr, Umweltfreundlichkeit, hohes Stufendruckverhältnis, stehen Nachteile wie:

Separates Lagerschmiersystem, Probleme beim Abdichten der Lagerräume, mangelhafte Schmierung der Rotorflanken, teure Rotorwerkstoffe und teure korrosionsbeständige Gehäuse, hohe Genauigkeit der Fertigung, schlechtere Spaltabdichtung, hoher Lärmpegel, hoher Wasserverbrauch und mit Feuchtigkeit gesättigte Druckluft sowie die Bildung von Biofilmen gegenüber.

Ziel einer experimentellen Untersuchung war es zu zeigen, wie weit es möglich ist einen umgebauten konventionellen öleingespritzten Schraubenkompressor für Wassereinspritzung zu verwenden. Die Einsatzgrenzen wurden ermittelt und ein Vergleich zwischen Öleinspritzung und Wassereinspritzung für den gleichen Kompressor hergestellt.

Title:                 **Water-Injection or Oil-Injection for Screw-Compressors in Comparison**

Abstract:            Water injection in screw compressors has in comparison with the currently used oil-injection many advantages but also serve disadvantages. This is the reason why water injection is not common today.  
The main advantages of water-injected compressors are: oil-free air, saving of energy, no danger of condensate in the oil-separator vessel and in the bearing lubricant, low temperatures, no fire hazard, no environmental pollution and high pressure ratios in one stage are possible. The main

disadvantages of water injected compressors, are:  
Separate bearing-lubrication-system, problems with the sealing of the bearing casing, inadequate lubrication of the rotor flanks, expensive materials for the rotors and stainless materials for the housing, high accuracy of manufacturing, poor sealing of the rotor gaps, high noise level, high water consumption and steam saturated air at the outlet as well as problems with biological contamination after long periods out of use.

The aim of our experimental investigation was to find out how far it is possible to use modified standard screw compressor with oil injection for water injection. The limits for the tip speed, the pressures and the temperatures were determined. A comparison between oil-injection and water-injection for the same compressor was carried out.

## Anhang

- Energiewandlungsprinzip der Schraubenmaschine (Screw type machine working principle)
- Funktion der Schraubenspindel-Vakuumpumpe (Screw-type vacuum pump working principle)
- Sachindex Schraubenmaschinen Heft 1/1993 bis Heft 11/2003
- Autorenverzeichnis