

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 12 EW N/1

Thema

Experimentelle Validierung eines typenunabhängigen Wirkungsgradmodells von Verdrängerpumpen

Berichtszeitraum

01.04.2017 - 31.12.2019

Forschungsvereinigung

Forschungskuratorium Maschinenbau e.V

Forschungsstelle(n)

Technische Universität Darmstadt

Institut für Fluidsystemtechnik

Otto-Berndt-Straße 2

64287 Darmstadt

Darmstadt, 24.07.2020

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz

Name und Unterschrift aller Projektleiter der Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:

Kurzfassung

Die Europäische Kommission verfolgt ehrgeizige Ziele hinsichtlich der CO₂-Reduzierung und Energieeinsparung und hat in diesem Sinne im Jahr 2009 die sogenannte Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG erlassen. Gegenstand dieser Richtlinie sind ein überwiegender Teil der energieverbrauchsrelevanten Produkte, sogenannte „Energy related Products (ERP)“. Zielsetzung der Richtlinie ist es, Energie und andere Ressourcen bei Herstellung, Betrieb und Entsorgung von energieverbrauchsrelevanten Produkten einzusparen. In diesem Zusammenhang werden auch Mindestanforderungen an die Effizienz, d. h. den Wirkungsgrad dieser Produkte gestellt. Im Augenblick sind Verdrängerpumpen von dieser Richtlinie noch nicht betroffen. Dennoch besteht die Möglichkeit, dass Verdrängerpumpen aufgrund ihrer hohen Stückzahlen und der damit verbundenen energetischen Relevanz mittelfristig in den Fokus der Europäischen Kommission geraten. Vor diesem Hintergrund stellen sich bei einer möglichen zukünftigen Effizienzbewertung von Verdrängerpumpen zwei Herausforderungen: Erstens ist für eine energetische Bewertung ein physikalisch-basiertes und validiertes Wirkungsgradmodell notwendig, das anhand von wenigen Kenngrößen das Betriebsverhalten abbilden kann. Zweitens müssen die im Modell verwendeten Kenngrößen typenunabhängig sein, um verschiedene Verdrängerpumpentypen miteinander vergleichen zu können. Eine konsistente Effizienzbewertung muss sich daher von pumpenspezifischen Gestaltungsmerkmalen lösen. Zusammengefasst muss die Wirkungsgradbeschreibung kompakt, typenunabhängig, physikalisch begründet und einfach anwendbar sein. In diesem Kontext haben Pelz et. al. im Jahr 2016 ein neuartiges Wirkungsgradmodell für Verdrängerpumpen entwickelt, das die oben gestellten Anforderungen erfüllt. Hierbei werden die Betriebsgrößen Förderdruck Δp und Drehzahl n , das Fördermedium, charakterisiert durch kinematische Viskosität ν , Dichte ρ und Kompressibilität κ sowie die Maschinengröße durch Verdrängervolumens V und mittleres Spaltmaß \bar{s} berücksichtigt. Die dabei angewandte dimensionsanalytische Modellierung ermöglicht eine kompakte und typenunabhängige Beschreibung des Wirkungsgrads. Für diese Modellierung sind lediglich die folgenden vier dimensionslosen Kenngrößen erforderlich: (i) Spezifischer Druck Δp^+ , (ii) Reynoldszahl Re , (iii) spezifische Nachgiebigkeit κ^+ und (iv) relativer Spalt ψ .

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Validierung des Wirkungsgradmodells mittels präziser experimenteller Messungen durchgeführt und die folgenden Forschungsfragen untersucht:

- (i) Wie groß ist die Modellunsicherheit des Wirkungsgradmodells?
- (ii) Kann der relative Spalt ψ in Abhängigkeit des Verdrängervolumens für Verdrängerpumpen skaliert werden?
- (iii) Wie groß ist der Einfluss von Fertigungsunsicherheiten auf den Wirkungsgrad von Verdrängerpumpen und können diese durch den relativen Spalt ψ im Modell abgebildet werden?

Zur Beantwortung der oben genannten Fragen wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt:

- Messungen der Kennlinienfelder der fünf Pumpentypen Zahnradpumpen, Schraubepumpen, Drehkolbenpumpen, Exzentrerschneckenpumpen und Kolbenmembranpumpen bei jeweils verschiedenen Maschinengrößen, d.h. Verdrängervolumen.

- Messungen bei verschiedenen Fördermedien mit unterschiedlichen Viskositäten. Auf diese Weise wurde das typenunabhängige Wirkungsgradmodell in einem großen Betriebsbereich untersucht und validiert
- Kennlinienmessungen an baugleichen Maschinen, um den Einfluss von Fertigungsunsicherheiten zu untersuchen.

Im Rahmen der Modellvalidierung wurde ausführlich dargelegt, unter welchen Anwendungsbedingungen und bei welchen Pumpentypen das typenunabhängige Modell gute bis sehr gute Ergebnisse liefert. Insbesondere hinsichtlich der Abbildung des Wirkungsgradverhaltens von Referenzpumpen im Rahmen einer Effizienzbewertung von Verdrängerpumpen, hat sich das neue Wirkungsgradmodell bewährt. Für die Vorhersage des Verlust- und Wirkungsgradverhaltens hat das typenunabhängige Wirkungsgradmodell ebenfalls überwiegend sehr gute Ergebnisse erzielt. Alle Modellanwendungen wurden unter Betrachtung der Modellunsicherheit, die durch das 95% Konfidenzintervall unter Beachtung des Modellfehlers und der Messunsicherheiten beschrieben wird, durchgeführt.

Die Untersuchung von Baureihen unterschiedlicher Pumpentypen hat neue Herausforderungen für die baugrößenübergreifende Modellierung offengelegt. Die Maßstabsfaktoren der Hauptmaße von Pumpenbaureihen sind üblicherweise nicht konstant. Damit kann die geometrisch unvollständige Ähnlichkeit von Pumpen nicht allein durch die Modellgröße relativer Spalt ψ beschrieben werden. Zweckmäßiger ist es stattdessen, die Abhängigkeit der zu kalibrierenden Modellparameter anhand des Verdrängervolumens zu beschreiben. Ein entsprechend geeignetes Vorgehen wurde im Rahmen des Projektes für Zahnradpumpen und Schraubepumpen entwickelt und angewendet. Im Falle der untersuchten Zahnradpumpen- und Schraubepumpenbaureihen wird die Wirkungsgradskalierung als ausreichend genau bewertet, um das Wirkungsgradverhalten einer Baureihe abzubilden.

Mit den Messdaten, die von projektbegleitenden Industrieunternehmen zur Verfügung gestellt wurden, ist die Kennlinienstreuung bei baugleichen Pumpen aufgrund von Fertigungsunsicherheiten untersucht und eine Methodik zur Abbildung der Streuung durch die Modellgröße relativer Spalt ψ entwickelt und angewendet worden. Die erzielten Ergebnisse bilden eine vielversprechende Grundlage, um den Einfluss von Fertigungsunsicherheit im Rahmen einer möglichen zukünftigen Effizienzrichtlinie zu berücksichtigen.

Folgende Veröffentlichungen sind im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entstanden:

Schänzle, Christian; Störmer, Nils; Pelz, Peter F. (2018): Modeling the Efficiency of External Gear Pumps Based on Similarity Considerations. In: *BATH/ASME 2018 Symposium on Fluid Power and Motion Control*.

Preuß, Nils; Schänzle, Christian ; Pelz, Peter F. (2019): From notebooks to Data-Pipelines : The Darmstadt Approach to handling measurement data and metadata. In: *Proceedings of 4rd International Rotating Equipment Conference*.

Schänzle, Christian; Jost, Kris; Lemmer, Jan; Metzger, Manuel; Ludwig, Gerhard; Pelz, Peter F. (2019): ERP Positive Displacement Pumps - Experimental Validation of a Type-Independent Efficiency Model. In: *Proceedings of 4rd International Rotating Equipment Conference*.

Schänzle, Christian ; Ludwig, Gerhard; Pelz, Peter F. (2020): Typenunabhängiges Wirkungsgradmodell erweist sich als gute Basis zur Effizienzbewertung von Verdrängerpumpen. In: *Pumpen und Kompressoren für den Weltmarkt 2020*, VDMA Pumpen+Systeme, S. 24-28

Hinweis

Das IGF-Vorhaben Nr. 12 EW N/1 der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Der Abschlussbericht zu diesem Forschungsvorhaben kann bezogen werden über:

Das Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM)	Den Fachverband Pumpen & Systeme des VDMA
	
Lyoner Straße 18 D 60528 Frankfurt am Main www.fkm-net.de info@fkm-net.de	Lyoner Straße 18 D 60528 Frankfurt am Main https://pu.vdma.org Harald.Frank@vdma.org