

Fortschritte in Konstruktion und Produktion



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Herausgeber: Professor Dr.-Ing. Frank Rieg
Professor Dr.-Ing. Rolf Steinhilper

Pascal Diwisch

Entwicklung eines schnelllaufenden Doppelkolbenmotors

**Prüfstand, Prototyp und Potential
für den Erdgasbetrieb**

Band 50

Entwicklung eines schnelllaufenden
Doppelkolbenmotors:
Prüfstand, Prototyp und Potential für den
Erdgasbetrieb

Der Fakultät für Ingenieurwissenschaften
der Universität Bayreuth
zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von

Pascal Diwisch, M.Sc.

aus

Bayreuth

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg
Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Brüggemann
Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 2019

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD

Universität Bayreuth

2019

Fortschritte in Konstruktion und Produktion

herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg und
Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper

Band 50

Pascal Diwisch

Entwicklung eines schnelllaufenden Doppelkolbenmotors

Prüfstand, Prototyp und Potential für den Erdgasbetrieb

Shaker Verlag
Düren 2019

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bayreuth, Univ., Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2019

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6947-1

ISSN 1612-2364

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Geleitwort der Herausgeber

Das erfolgreiche Industrieunternehmen von heute ist ein aktives Element der global zunehmend vernetzten Welt.

Mit hohem Innovationstempo steigern neue Märkte und Technologien die Arbeitsanforderungen, vergrößern neue Werkstoffe und Verfahren, die Informationstechnik und ein Wertewandel der Kundenwünsche aber auch die Gestaltungs- und Entfaltungsmöglichkeiten des Ingenieurs.

Die Konstruktion ist die Königsdisziplin des Ingenieurs. Die Produktion ist die technische Dienstleistung am König Kunde. Beide Aufgabenfelder zusammengekommen bilden den Kern des industriellen Wertschöpfungsprozesses.

Mit der hier vorgelegten Reihe "Fortschritte in Konstruktion und Produktion" ist es den Herausgebern ein Anliegen, Beiträge von wissenschaftlicher Seite zu fördern, die durch Entwicklung neuer Denkansätze, methodischer Vorgehensweisen und zugehöriger Instrumente die Leistungsfähigkeit der industriellen Wertschöpfung verbessern und erweitern. Nicht nur technische Lösungen, sondern auch ökonomische, ökologische und soziale Fortschritte stehen hierbei im Blickpunkt oder zumindest am Horizont.

Hierfür bietet die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften mit ihrer interdisziplinären Ausrichtung und Einbindung in die Universität Bayreuth ein glückliches Umfeld.

Das Engagement der beiden Herausgeber ist dort vertreten als

- Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
- Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik.

Mögen also die von uns betreuten Dissertationen, die in dieser Buchreihe erscheinen, zu den wünschenswerten Fortschritten in Konstruktion und Produktion beitragen.

Den Autoren der einzelnen Bände dieser Reihe sei für Ihre wissenschaftliche und redaktionelle Arbeit gedankt, den Lesern wünschen wir eine interessante Lektüre und hoffentlich manch wertvolle Anregung für eine erfolgreiche Anwendung der Forschungsergebnisse in ihrer beruflichen Praxis.

Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper

Kurzfassung

Stetig wandelnde Anforderungen und Anwendungsgebiete im Sektor der Antriebsmaschinen erfordern die kontinuierliche Weiterentwicklung der bestehenden Systeme und bieten die Möglichkeit, neue oder vergangene Konzepte wieder aufzugreifen. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung des von PROF. DR.-ING. FRANK RIEG erneut aufgegriffenen Konzeptes des Doppelkolbenmotors nach ARNOLD ZOLLER für den mobilen Einsatz. Unter anderem soll dieser auch mit Erdgas als alternativen und zukunftssträchtigen Kraftstoff betrieben werden. Hierzu wird der Motor vom Schleppbetrieb in den Verbrennungsbetrieb überführt und ein Prüffeld für Validierungsversuche entwickelt. Nach erfolgreicher Umsetzung der Motorsteuerung können das Kühl-, Schmier- und Zündsystem als Handlungsfelder identifiziert werden. Die Weiterentwicklung der Systeme führt zur dauerhaften Funktion des Motors im Verbrennungsbetrieb. Die darauffolgende Entwicklung einer Erdgaseinblasanlage ermöglicht zudem den Erdgasbetrieb. Abschließende Versuche dienen als Grundlage für eine erste Einstufung des Motors hinsichtlich der ladungswechselbedingten Spülverlusten. Der Vergleich des Prototyps mit einem Zweitakt- und einem Viertaktmotor zeigt das große Potential des Doppelkolbenmotors, weist aber auch neue Handlungsfelder auf. Die abschließende Präsentation eines zweiten Prototypenmodells soll zur weiteren Reduzierung der Emissionen und zu näheren Untersuchungen des Ladungswechsels und des Schmiersystems dienen.

Abstract

Constantly changing requirements and areas of application in the field of drive technology require the continuous advancement of existing systems and offer the possibility of picking up new or past concepts. This dissertation deals with the development of the concept of the split-single engine according to ARNOLD ZOLLER for mobile use, which was taken up again by PROF. DR.-ING. FRANK RIEG. Among other things, this engine will also be powered by natural gas as an alternative and promising fuel. For this purpose, the engine is transferred from towing operation to combustion operation and a test field for validation tests is developed. After the successful implementation of the engine control system, the cooling, lubrication and ignition systems can be identified as fields of action. The advancement of the systems leads to the permanent functioning of the engine in combustion mode. The subsequent development of a natural gas injection system further enables natural gas operation. Final tests serve as the basis for an initial classification of the engine with regard to charge exchange and the resulting scavenging losses. The comparison of the prototype with a two-stroke engine shows the great potential of the split-single engine, but also new fields of action. The concluding presentation of a second prototype model is intended to further reduce unburned hydrocarbons and to further investigate the charge exchange and the lubrication system.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Zielsetzung	5
1.3	Struktur der Arbeit	8
 2	 Grundlagen	 9
2.1	Zweitaktmotor	9
2.1.1	Vergaser	11
2.1.2	Vergaser mit Spülvorlage	13
2.1.3	Direkteinspritzung	15
2.1.4	Zweitaktmotor mit Gleichstromspülung	17
2.1.5	Doppelkolbenmotor	20
2.2	Kraftstoffe in Ottomotoren	21
2.3	Motorbaugruppen	24
2.3.1	Kurbelgehäuseentlüftung	25
2.3.2	Saugrohreinspritzanlage	26
2.3.3	Einblasanlage	35
2.3.4	Zündung	42
 3	 Motor im Schleppbetrieb	 47
3.1	Doppelkolbenmotor	47

3.2	Prüfstand	53
4	Prüfstandentwicklung	55
4.1	Eingesetzte Messtechnik	63
4.1.1	Druckindizierung	63
4.1.2	Abgasmesstechnik	66
4.1.3	Wirbelstrombremse	68
4.2	Versuchsdurchführung	69
5	Prototypentwicklung	71
5.1	Motorsteuerung	72
5.1.1	Saugrohreinspritzanlage	77
5.1.2	Zündung	80
5.1.3	Einblasanlage	85
5.2	Ladungswechsel	90
5.2.1	Ansaugsystem	91
5.2.2	Abgassystem	97
5.3	Kühlung	102
5.4	Maßnahmen zur Reduzierung von Schmierölverlusten . .	116
5.4.1	Kurbelgehäuseentlüftung	118
5.4.2	Kolbenbodenkühlung	123
5.4.3	Kolben	124

6 Experimentelle Untersuchungen	133
6.1 Analyse der Spülverluste des Doppelkolbenmotors im Benzinbetrieb	134
6.2 Bewertung der Spülverluste des Doppelkolbenmotors im Benzinbetrieb	135
6.3 Entstehungsmechanismen innermotorischer Kohlenwasserstoffemissionen und Maßnahmen zur Reduzierung	138
6.4 Verbrennungsversuche im Erdgasbetrieb	142
7 Motormodell der zweiten Generation	145
8 Zusammenfassung	153
9 Ausblick	157
10 Summary	159
11 Anhang	163
Literatur	169
Abbildungsverzeichnis	179
Tabellenverzeichnis	187
Abkürzungsverzeichnis	189
Formelverzeichnis	191

Inhaltsverzeichnis

Eigene Veröffentlichungen	197
Lebenslauf	201
Danksagung	204