

Hannes Biesinger, Stefan Böttinger und Heinz Britsch

# Konstruktionsentwurf Einzylinder-Zündstrahl-Forschungsmotor

Um regenerative Kraftstoffarten effizient zu nutzen, ist die Weiterentwicklung, beispielsweise des Zündstrahlbrennverfahrens, mittels Forschungsmotoren Voraussetzung. Aus einem Sechszylinder-Scania-Verbrennungsmotor wurde ein Konstruktionsentwurf eines Einzylinder-Forschungsmotors mit einem Leistungsausgleich und einem Massenausgleich 1. Ordnung erstellt.

## Schlüsselwörter

Forschungsmotor, Zündstrahlmotor, Massenausgleich, Leistungsausgleich, Prüfstand, Biogas, Blockheizkraftwerk

*engine for combustion process development of a biogas block heating station*

## Keywords

*Research engine, dual fuel engine, mass compensation, fluctuating torque compensation, test bench, biogas, block heating station*

*Landtechnik 64 (2009), no. 1, pp. 14 - 16, 5 figures, 1 reference*

## Abstract

*Biesinger, Hannes; Böttinger, Stefan; Britsch, Heinz*

*Design of a single cylinder internal dual fuel combustion*

*A six cylinder Scania engine was used as basis for the design of a single cylinder dual fuel combustion test engine. The single cylinder incorporates a combination of fluctuating torque and mass compensation. The dual fuel engine works for both biogas and vegetable oils. The injection of a small amount of vegetable oil initiates the combustion process.*

Die energetische Verwertung von Biogas zur Stromerzeugung wird neben Gasturbinen überwiegend mit Verbrennungsmotoren realisiert. Mit dem Gasotto- und dem Zündstrahlmotor kommen zwei verschiedene Motorkonzepte mit unterschiedlichen Brennverfahren zum Einsatz.

## Zündstrahlverfahren

Der bivalent arbeitende Zündstrahlmotor benötigt Zündöl und ein zündfähiges Brenngas-Luftgemisch. Als Brenngas wird Biogas und als Zündöl Pflanzenöl verwendet. Das Biogas-Luftgemisch wird dem Brennraum über den Einlasstrakt zugeführt und anschließend verdichtet. Das Pflanzenöl gelangt über ein konventionelles Einspritzsystem in den Brennraum. Das verdichtete Biogas-Luftgemisch wird mit Hilfe des sich selbstzündenden Zündöls zur Zündung gebracht.

Generell sind Verbrennungsmotoren für alle Brennverfahren exakt auf den jeweiligen Kraftstoff abgestimmt. Eine solide und dauerhaft funktionierende Motorapplikation kann nur bei hoher und gleichbleibender Kraftstoffqualität realisiert werden. Für den Kraftstoff Biogas existiert kein verbindlicher Qualitätsstandard. Der Kraftstoff Biogas unterliegt prozessbedingten Schwankungen in der Zusammensetzung und dem Energiegehalt.

## Gesamtkonstruktion

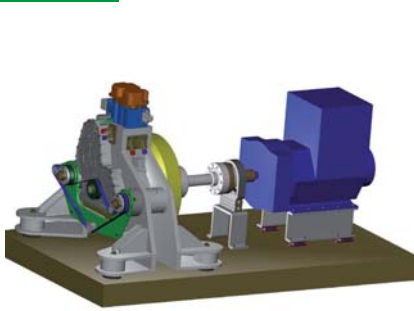
Motoren nach dem Zündstrahlverfahren besitzen einen hohen Wirkungsgrad. Beispielsweise wurden an dem Zündstrahl-

aggregat ES 32505 der Firma Schnell Zündstrahlmotoren AG & Co. KG in Amtzell im Nennlastbereich ein elektrischer Wirkungsgrad von 41,5% ermittelt [1]. Die Firma Schnell Zündstrahlmotoren verwendet Scania-Diesel-Industriemotoren für ihre Blockheizkraftwerke. Um die Erkenntnisse aus der Brennverfahrensentwicklung direkt im Serienprodukt nutzen zu können, ist der Einzylinder-Forschungsmotor vom Scania-Diesel-Industriemotor abgeleitet. Beim Einzylindermotor werden sich überlagernde Einflüsse der Zylinder und damit unscharfe Ergebnisse vermieden. Der Einzylinder-Forschungsmotor weist durch seine gute Zugänglichkeit eine hohe Flexibilität für die Integration von Messtechnik und für die Bauteilentwicklung auf.

Im Prüfstandbetrieb werden hohe Belastungen durch die Gas- und Massenkräfte in das Kurbelgehäuse eingeleitet. Der Wasser- und Ölkreislauf muss für Systemuntersuchungen eine hohe Variabilität aufweisen. Die Kühlwasserversorgung des Zylinders und des Zylinderkopfes ist in zwei voneinander unabhängige Wasserkreisläufe aufgeteilt. Die Ölversorgung der Kolbenkühlöse ist von der zentralen Ölversorgungsleitung entkoppelt, um die Kühlleistung am Kolben variieren zu können.

Die Gesamtkonstruktion in **Bild 1** beinhaltet den Einzylinder-Forschungsmotor sowie den Generator, der als Leistungsbremse dient. Dazwischen liegen die Antriebselemente und die Drehmomentmesseinrichtung. Kraftübertragende Elemente des Antriebstrangs sind die Verbindungswelle mit Gelenk-

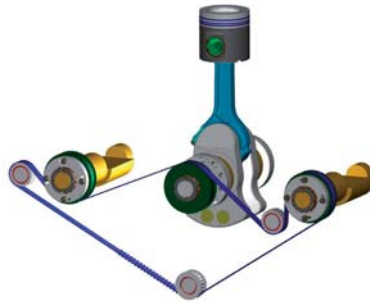
Bild 1



Gesamtkonstruktion des Einzylindermotors mit Generator

Fig. 1: Design of the single cylinder engine including the generator

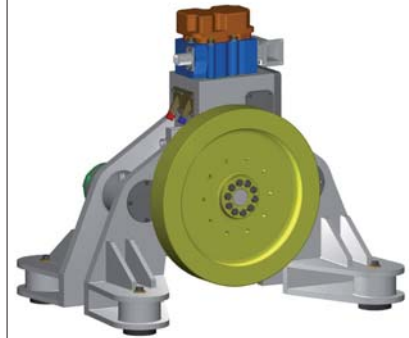
Bild 3



Konstruktive Ausführung des Massenausgleichs erster Ordnung mit Zahnriemenantrieb

Fig. 3: Design of first-order mass compensation using a belt drive

Bild 5



Einzylindermotor Hinteransicht mit Schwungrad

Fig. 5: Rear view of the single cylinder engine including the flywheel

scheiben, die sowohl dämpfend wirken als auch kleine Achsversetzungen ausgleichen, und die Sicherheitskupplung zum Überlastschutz des Motors.

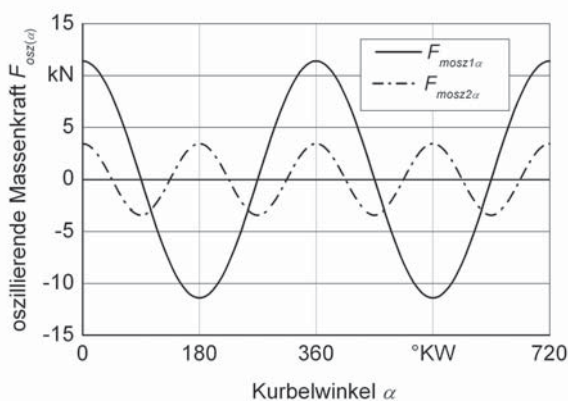
### Rotierender und oszillierender Massenausgleich

Für die Visualisierung im Brennraum ist eine hochauflösende High-Speed-Kamera vorgesehen. Verwertbare Brennraumaufnahmen sind nur bei einer hohen Motorlaufruhe zu realisieren. Diese wird durch den rotierenden Massenausgleich zu 100% sowie den oszillierenden Massenausgleich erster Ordnung erreicht. Die Zerlegung der wirkenden Triebwerkskräfte und die daraus resultierenden Berechnungen ermöglichen die konstruktive Ausführung des rotierenden und oszillierenden Massenausgleichs.

Die rotierenden Massenkräfte sind umlaufende, bei konstanter Drehzahl gleichbleibende und stets vom Pleuellzapfen nach außen gerichtete Fliehkräfte. Bei Serienmotoren werden die Fliehkräfte durch die Dimensionierung der Pleuellzapfen zu 50% ausgeglichen. Ein Fliehkräftenausgleich zu 100% erfordert einen größeren Bauraum im Pleuellgehäuse, der erfahrungsgemäß

nicht vorhanden ist. Deshalb werden hier Gegengewichte hoher Dichte aus Wolfram in die Pleuellzapfen eingesetzt. Die oszillierenden Massen erzeugen die oszillierende Massenkraft, die stets in Richtung der Pleuellachse wirkt. Sie ist vom Pleuellwinkel abhängig und ändert sich periodisch mit der Pleuellbeschleunigung. Die Massenkräfte erster Ordnung ändern sich im Rhythmus der Pleuellwellenumdrehung. Die Massenkräfte zweiter Ordnung hängen von dem doppelten Pleuellwinkel ab und besitzen dadurch die doppelte Frequenz im Vergleich zur ersten Ordnung, **Bild 2**. Die Amplitude der Massenkräfte erster Ordnung ist wesentlich größer, als die der Massenkräfte zweiter Ordnung. Bei Einzylindermotoren ist deshalb ein vollständiger Massenausgleich erster Ordnung in der Regel hinreichend. Realisiert wurde der oszillierende Massenausgleich mit zwei gegenläufigen Ausgleichswellen mit je einem Gegengewicht. Die resultierende harmonische Wechselkraft der Gegengewichte ist dabei gleich groß, aber entgegengerichtet wie die oszillierende Massenkräfte des Pleuelltriebs. Der Antrieb der Ausgleichswellen erfolgt durch ein auf der Pleuellwelle sitzendes Zahnrad. Die formschlüssige Kraftübertragung und die

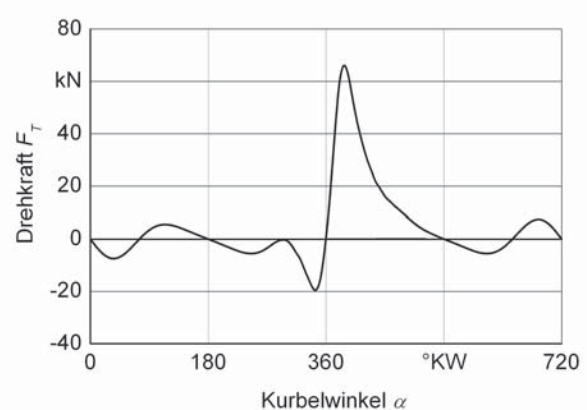
Bild 2



Oszillierende Massenkräfte erster und zweiter Ordnung des Einzylindermotors

Fig. 2: First-order and second-order mass force of the single cylinder engine

Bild 4



Resultierender Drehkraftverlauf  $F_T$

Fig. 4: Resulting force of rotation  $F_T$

notwendige Gegenläufigkeit der beiden Ausgleichswellen wird über einen doppelt verzahnten Riemen realisiert, der mit Umlenk- und Spannrollen geführt ist. Die Gegengewichte der Ausgleichswellen sind als Halbzylinder ausgeführt, **Bild 3**.

### **Leistungsausgleich**

Als Arbeitsmaschine kommt ein elektrischer Generator zum Einsatz. Dieser benötigt ein gleichmäßiges Drehmoment bei gleichbleibender Drehzahl. Der sich in Abhängigkeit des Kurbelwinkels ändernde Drehkraftverlauf bewirkt unerwünschte Änderungen der Winkelgeschwindigkeit und der Drehkraft des Motors, **Bild 4**. Durch das Anbringen einer Schwungmasse können die Drehzahlschwankungen reduziert werden.

Die Dimensionierung des Schwungrads ermöglicht den Leistungsausgleich, **Bild 5**. Das Schwungrad weist ein entsprechendes Trägheitsmoment auf, um bei definierter Ungleichförmigkeit den gewünschten Motorgleichlauf zu realisieren. Voraussetzung ist das Drehkraftdiagramm, das sich aus der Superposition der Gaskräfte und der oszillierenden Massenkkräfte ergibt. Die vom Kurbelwinkel abhängigen Gaskräfte werden aus den Daten der Brennraumindizierung errechnet.

### **Ausblick**

Dem noch wenig untersuchten Zündstrahlverfahren wird großes Potenzial, nicht zuletzt aufgrund der hohen Wirkungsgrade, zugeschrieben. Mit diesem Forschungsmotor wird eine

solide und zugleich seriennahe Entwicklung des Zündstrahl-Motorkonzepts bei der Firma Schnell Zündstrahlmotoren erfolgen. Entwicklungsschwerpunkte werden dabei die Verbesserung des Wirkungsgrades sowie des thermischen und des Abgasverhaltens sein.

### Zusammenfassung

Beim Einsatz des Einzylinder-Forschungsmotors steht die Brennverfahrensentwicklung im Vordergrund. Durch die Installation von oszillierendem und rotierendem Massenausgleich zu 100% wird die geforderte Motorlaufruhe für den Einsatz von Messtechnik realisiert. Die Installation des Leistungsausgleichs ermöglicht den

notwendigen Motorgleichlauf für einen stabilen Generatorbetrieb.

### Literatur

- [1] DLG Prüfbericht Nr.5540F. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V., <http://www.dlg.org/de/landwirtschaft/testzentrum/pruefberichte/bioenergie.html>, 20.10.2008.

### Autoren

**Dipl.-Ing. Hannes Biesinger** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Grundlagen der Agrartechnik (Leitung: **Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger**) Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart; e-mail: [biesinger@uni-hohenheim.de](mailto:biesinger@uni-hohenheim.de). **Dipl.-Ing. Heinz Britsch** ist Doktorand am Institut für Mechanik und Fluidtechnik der TU Bergakademie Freiberg