

# Virtuelle Produktgestaltung durch numerische Simulation

## Konstruktive Motorengestaltung zur Reduktion von Kurzschlussströmungen in Zweitaktmotoren.

Zweitaktmotoren besitzen im Bereich von kleinen handgeführten Geräten, Jetskis, Schneemobilen, Motorbooten, Ultraleichtfahrzeugen und bei Zweirädern vorwiegend im asiatischen Bereich einen großen Marktanteil [Meinig, Uwe: Standortbestimmung des Zweitaktmotors als Pkw-Antrieb. MTZ-Motortechnische Zeitschrift, Vol. 62 Ausg. 11, S. 924-932, 2001]. Aufgrund steigender Ansprüche an Abgasemissionen kommen Zweitaktmotoren trotz ihrer nicht zu verachtenden Vorteile immer weniger zum Einsatz. Im Gegensatz zu Viertaktmotoren zündet der Zweitaktmotor bei jeder Kurbelwellenumdrehung. Neben einen gleichmäßigeren Drehmomentverlauf wird somit bei gleicher Drehzahl eine Halbierung des Zylindermitteldrucks erzielt. Dadurch kann eine höhere Leistungsdichte wie auch ein geringeres Bauvolumen erzielt werden. Entscheidend für den zukünftigen Einsatz von Zweitaktmotoren werden die Fortschritte bezüglich der Einhaltung von Abgasgrenzwerten sein. Eine erfolgreiche Umsetzung ermöglicht auch die Erschließung neuer Einsatzgebiete. So ist der Einsatz als Range Extender in Elektrofahrzeugen zur Erhöhung der Reichweite und Kundenakzeptanz sowie in mobilen Blockheizkraftwerken für Wohngebäude denkbar.

### FUNKTIONWEISE

Im Sektor der schnelllaufenden Zweitakt-Ottomotoren werden heutzutage überwiegend umkehrgespülte Zweitaktmotoren gebaut. Vereinfacht lässt sich die Konstruktion durch die Bauteile Kolben, Pleuel, Kurbelwelle und Zylinderkopf mit gegenüberangeordneten Überström- und Auslasskanälen beschreiben. Um ein Arbeitsspiel innerhalb einer Kurbelwellenumdrehung durchführen zu können, findet der Ladungswechsel im Bereich des unteren Totpunktes statt. Der Kolben übernimmt durch das Öffnen und Schließen der Kanäle die Steuerung des Ladungswechsels. Die Spülung erfolgt durch die Erzeugung eines Druckgradientens. Hierzu wird in den meisten Konstruktionen das Zusammenwirken von Kurbelgehäuse und oszillierenden Kolben als

Hubkolbenkompressor genutzt. Sind beide Kanäle geöffnet, kann der Ladungswechsel stattfinden. Das Frischgas steigt an der den Überströmkanälen gegenüberliegenden Zylinderwand Richtung Zylinderkopf, wird daran umgelenkt und strömt in den Auslasskanal. Hierbei finden Kurzschlussströmungen zwischen Überström- und Auslassschlitzen statt, was zu erhöhten Kohlenwasserstoffemissionen führt. Des Weiteren werden diese Strömungen durch das Schließen der Auslass- nach den Überströmkanälen begünstigt. Erst jetzt kann der Verdichtungsprozess beginnen. Bei Motoren dieser Bauart werden durch die Verwendung von Direkteinspritzverfahren versucht die jeweiligen Abgasemissionen einzuhalten. Eine weitere Möglichkeit Kurzschlussströmungen zu minimieren kann durch alternative Spülkonzepte wie auch geeignete Motorkonstruktionen erfolgen. [van Basshuysen, Richard; Schäfer, Fred, Hrsg.: Handbuch Verbrennungsmotoren. 7. Auflage, Springer Verlag, Wiesbaden, 2015]

### DOPPELKOLBENKONZEPT

Der Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD befasst sich daher unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Rieg mit der Entwicklung eines konstruktiven Lösungskonzeptes zur Verminderung der Abgasemissionen von Zweitaktmotoren. Eine mögliche Variante stellt ein Zweitaktmotor dar, der nach dem Doppelkolbenprinzip arbeitet. Bei dieser Konstruktion teilen sich zwei Kolben einen gemeinsamen Brennraum. Dessen Konstruktion ermöglicht es, dass der Auslasskolben dem Einlasskolben vorausseilt. Somit wird der Auslassschlitz vor dem Einlassschlitz geschlossen und die Möglichkeit einer Kurzschlussströmung und

somit der Kohlenwasserstoffemission erheblich reduziert. Nach dem Schließen des Auslassschlitzes kann über den Einlass zudem eine zusätzliche Aufladung erfolgen. Diese Konstruktion wurde vom Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD aufgegriffen und überarbeitet. Bild 1 zeigt den Aufbau des Doppelkolbenmotors.

### PRÜFSTAND UND SIMULATION

Am Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD wurde ein Prototyp mit 500 cm<sup>3</sup> des Zweitakt Doppelkolbenmotors nach Bild 1 entwickelt, konstruiert und gefertigt. Zur Prüfung der mechanischen Komponenten, Validierung der numerischen Simulationsmodelle und Erfassung von

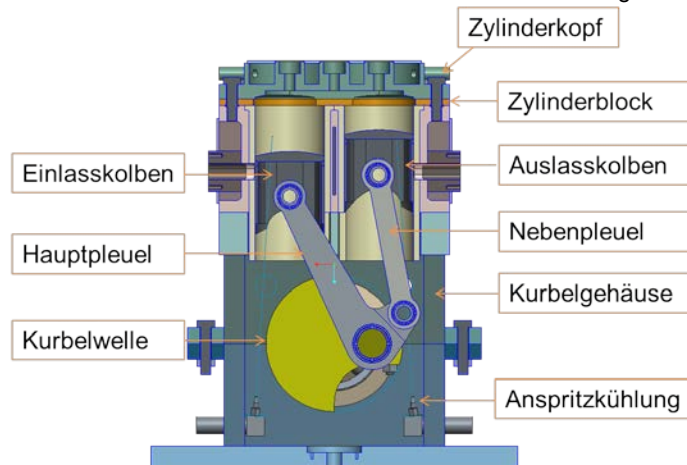


Bild 1 Doppelkolbenmotor nach Prof.Dr.-Ing. Rieg

realitätsnahen Randbedingungen erfolgte ein Prüfstands Aufbau. Bisherige Untersuchungen am Motorenprüfstand bestätigen das Konzept wie auch bereits angestellte Simulationen des Prototypenmotors. Durch die adaptierte Zwangsumlaufkühlung kann die Abwärme bis zu einer Antriebsleistung von 7 kW zufriedenstellend abgeführt werden. Bisherige Messungen der CO- und HC-Emissionen - als Indikatoren von Kurzschlussströmungen - ergaben gegenüber einem konventionellen vergaserbetriebenen Vergleichsmotor einen signifikant geringeren Ausstoß von unverbrannten Kohlenwasserstoffen wie

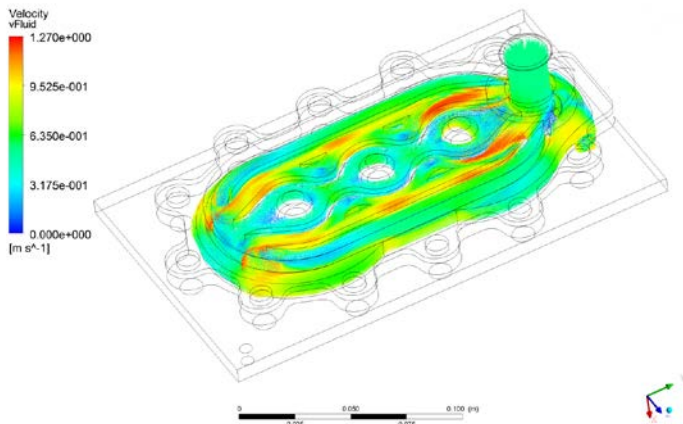


Bild 3: Strömungssimulation Zylinderkopf

auch eine deutliche Verringerung der Kohlenstoffmonoxid Emissionen.

Aufbauend auf den bisher positiven und vielversprechenden Ergebnissen soll mittels numerischer Simulationsmodelle eine schrittweise Optimierung der Motorkomponenten erfolgen. Hierzu wurde nicht nur ein thermisches Strömungsmodell zur Optimierung der Zylinderkopfkühlung erstellt sondern auch transiente Verbrennungsmodelle zur Ermittlung der innermotorischen Strömungsvorgänge. Durch die Validierung des thermischen Strömungsmodells zur Motorkühlung konnte bereits durch die Neugestaltung des Zylinderkopfs die abgegebene Leistung auf 33 kW gesteigert werden.

Dies wird nach Bild 2 durch die Einbringung gezielter Strömungsführungen und deutlich höhere Strömungsgeschwindigkeit wie auch eine gleichmäßigere Verteilung des Fluids im Zylinderkopf erreicht. Darüber hinaus konnten Gebiete mit sehr geringen Durchflussgeschwindigkeiten auf ein Minimum reduziert werden. Die Validierung der innermotorischen Simulationsmodelle soll eine schrittweise Optimierung weiterer Motorkomponenten ermöglichen.

#### FAZIT UND AUSBLICK

Der Prüfstandbetrieb eines bereits gefertigten Forschungsmotors zeigt erste positive Auswirkungen bezüglich der Minimierung von Kurzschlussströmungen. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die mechanische Leistung durch Optimierung des Zylinderkopfes - mittels am

Prüfstand validierter numerischen Strömungssimulationen - auf 33 kW gesteigert werden konnte. Hierzu müssen im nächsten Schritt Messungen der Abgasemissionen erfolgen. Zur weiteren Reduktion von Kurzschlussströmungen werden im Anschluss die am Ladungswechsel beteiligten Komponenten mittels transienter Strömungs- und Verbrennungsmodelle optimiert.

Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg  
 M.Sc. Pascal Diwisch  
 Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant  
 Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD,  
 Zentrum für Energietechnik (ZET)  
 Universität Bayreuth