Entwicklung eines Zylinderdruckmesssystems zur Analyse von Kolbenmaschinen

Eric Fehse, Thomas Schäfer, Daniel Fiß

Motivation und Zielstellung

Der Zylinderdruckverlauf liefert wichtige Informationen über die Arbeitsprozesse von Kolbenmaschinen. Ziel ist die Entwicklung eines flexibel anpassbaren Messsystems zur kurbelwinkelbezogenen Erfassung und Auswertung des Zylinderdrucks für den späteren Einsatz am thermomechanischen Stromspeicher (TMS) im Zittauer Kraftwerkslabor. Die Erprobung erfolgt zunächst an einem modifizierten Kleinkompressor mit Luft als Arbeitsmedium.

Messystem und Demonstrator

Ein Drucksensor misst den Druck im Zylinder des Kleinkompressors. Eine Gabellichtschranke erkennt bei jeder Umdrehung eine definierte Kolbenposition und ermöglicht so die Zuordnung der Druckwerte zum Kurbelwinkel. Ein Mikrocontroller (ESP32) erfasst die Signale und überträgt diese an einen PC. Eine Python-Anwendung stellt den Druckverlauf über dem Kurbelwinkel (p-α-Diagramm) und dem berechneten Zylindervolumen (p-V-Diagramm) dar.



Abb.: Druckmessung am Zylinder



Abb.: Referenz am oberen Totpunkt

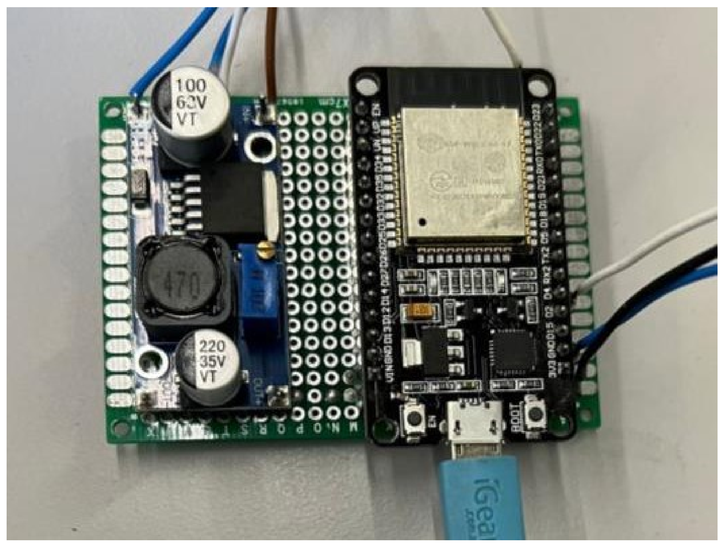


Abb.: Messelektronik mit ESP32

- DMP320, Messbereich 0–10 bar
- Einstellzeit < 0,5 ms
- Direkter Zugang zum Zylinderraum

- Optischer Impuls je Umdrehung
- Drehzahl und Zykluszuordnung
- Halterung aus dem 3D-Drucker

- Spannungsteiler und DC/DC-Wandler
- Abtastrate im Versuch: ca. 2 kHz
- Datenspeicherung und PC-Auswertung

Ergebnisse der Erprobung

Das Messsystem erfasst den zyklischen Zylinderdruck mit einer Abtastrate von etwa 2 kHz und ermöglicht die Zuordnung zum Kurbelwinkel. Die dargestellten Druckverläufe machen Verdichtung und Entspannung sichtbar und liefern Hinweise auf den Beginn des Ausschiebens.

Die Erprobung erfolgte während der Behälterbefüllung bis zur Abschaltung bei 4 bar Behälterdruck. Die folgenden Diagramme zeigen einen Arbeitszyklus (eine Kurbelwellenumdrehung) 88 s nach Messbeginn.

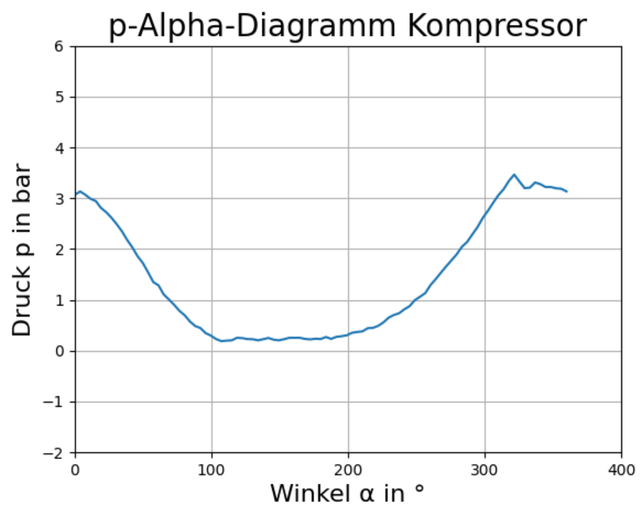


Abb.: p-α-Diagramm eines Arbeitszyklus (Originaldiagramm aus der Diplomarbeit)

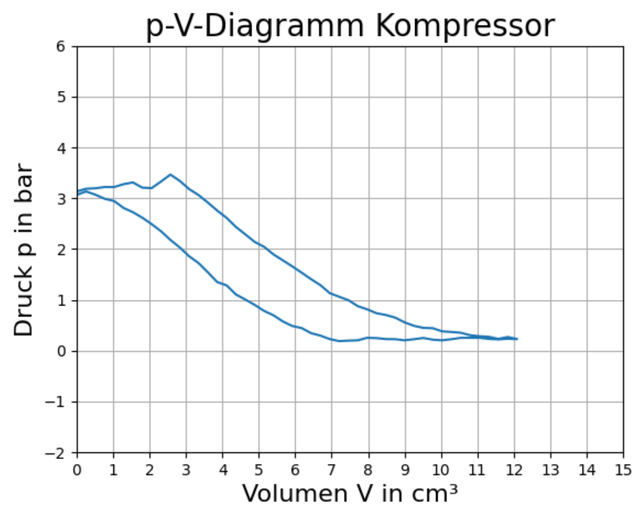


Abb.: p-V-Diagramm eines Arbeitszyklus (Originaldiagramm aus der Diplomarbeit). V bezeichnet den berechneten Hubvolumenanteil ohne Totraum.

Anwendungspotenzial und Weiterentwicklung

- Prozessverständnis: Verdichtung, Entspannung und Ventilvorgänge untersuchen.
- Betriebsvergleich: Druckverläufe verschiedener Betriebszustände vergleichen.
- Entwicklung: Messdaten als Grundlage für die Optimierung von Kolbenmaschinen nutzen..
- Lehre: Kolbenbewegung, Druck und Volumen anschaulich verknüpfen.

Nächste Schritte:

- temperaturgeeignete Sensorik für die dampfbetriebene TMS-Anlage
- Bestimmung der Messunsicherheit
- Echtzeitanzeige auf einem mobilen Display

Quelle und Abbildungen: E. Fehse, Diplomarbeit „Entwicklung und Demonstration eines Zylinderdruckmesssystems für Kolbenmaschinen“, HSZG, 2023/2024.
IPM · Fachgebiet Messtechnik / Prozessautomatisierung · https://ipm.hszg.de