

Kraftstoffverbrauchsmeßeinrichtung für Traktoren und selbstfahrende Landmaschinen zur Optimierung von Konstruktions- und Betriebsparametern

Dipl.-Ing. A. Kirste

1. Möglichkeiten der Kraftstoffverbrauchs-messung

Die Messung des Kraftstoffverbrauchs gewinnt bei der Untersuchung energetischer Prozesse an Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen für Forschung und Entwicklung sowie künftig im Interesse einer optimalen Fahrweise auch während des Betriebs zunehmend an Bedeutung. In Fällen, bei denen die Meßaufgabe eine Zuordnung des Kraftstoffverbrauchs zu anderen zeitlich veränderlichen Größen (z. B. Drehmoment, Zugkraft) erfordert, muß die Kraftstoffverbrauchsmeßeinrichtung ein geeignetes dynamisches Verhalten aufweisen. Ihre Ausgangsgröße muß also praktisch kontinuierlich den Volumenstrom (Durchfluß) abbilden. Eine Möglichkeit zur kontinuierlichen Messung des Volumenstroms besteht im Einsatz von Turbinendurchflußmessern [1]. Fertigungstechnisch und in bezug auf die Meßgenauigkeit ergeben sich Vorteile, wenn für den in Frage kommenden Meßbereich von 1 bis 40 l/h keine vollbeaufschlagten Axialturbinen, sondern Turbinen mit axialer [2] oder tangentialer [3] Teilbeaufschlagung verwendet werden.

Nachteilig erweist sich jedoch bei allen Turbinen der nichtlineare Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Drehzahl, der bei Nichtbeachtung zu u. U. erheblichen Meßfehlern führt, besonders bei der Integration des Durchflusses zur Ermittlung des Gesamtverbrauchs.

Bei Untersuchungen, bei denen die interessierenden Betriebsparameter über einen längeren Zeitraum als stationär anzusehen sind, können diskontinuierliche Volumenmeßverfahren nach dem Kammerprinzip (Hubkolbenzähler ohne oder mit festen Meßwänden – mit Kolben oder mit Metallfaltenbalg) Anwendung finden. Kriterien für die Meßgenauigkeit sind die Größe des Meßkammervolumens in Verbindung mit den die vollständige Füllung signalisierenden Initiatoren sowie die Leck- und Umschaltströme der erforderlichen Umschaltventile. Der Gesamtverbrauch ermittelt sich aus der Summe der relativ kleinen Kammervolumina. Er kann im Prinzip für eine beliebige Meßzeit oder eine beliebige Wegstrecke in Beziehung zu den interessierenden Betriebsparametern gebracht werden. Der geringste Meßfehler ist zu erwarten, wenn der Verbrauch einer festen relativ großen Kraftstoffmasse oder eines entsprechenden Volumens den Beginn und das Ende der Erfassung der übrigen Parameter sowie deren Integration/Summation festlegt (Meßzeit, Wegstrecke u. a.). Bei stationärem Motorbetrieb kann diese hohe Genauigkeit der Verbrauchsmessung durch Wägung (Massevergleich) erreicht werden. Beim mobilen Einsatz ist dieses Verfahren der Massebestimmung nicht einsetzbar. Hier kann nur eine Volumenmessung erfolgen, wie sie im folgenden näher beschrieben wird.

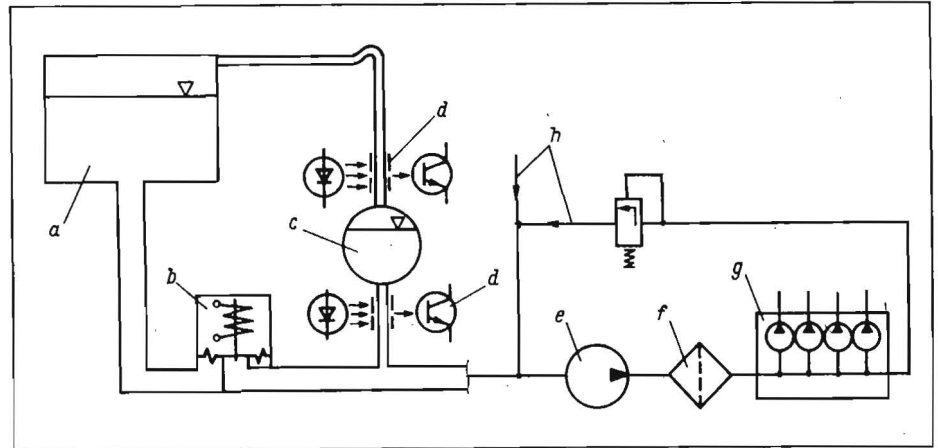


Bild 1. Anordnung der Meßeinrichtung innerhalb der Kraftstoffanlage; a Tank, b Magnetventil, c Meßvolumen, d Lichtschranke, e Förderpumpe, f Filter, g Einspritzpumpe, h Rücklaufleitung

2. Allgemeiner Aufbau der Meßeinrichtung

Beim Pflügen mit einem Traktor ZT 303 waren geringfügige Unterschiede im strecken- bzw. flächenbezogenen Kraftstoffverbrauch bei Variation von Betriebsparametern zu ermitteln. Um einen kleinen Meßfehler zu realisieren, wurde das o. g. Verfahren (Wegstrecke für ein festes, innerhalb dieser Meßstrecke verbrauchtes Kraftstoffvolumen) ausgewählt. Als Meßbehälter der Meßeinrichtung wird ein kugelförmiger Glasbehälter mit rohrförmigen Anschlüssen unten und oben verwendet (Bild 1). Das Volumen wird nach oben und unten durch je eine Lichtschranke an den Anschlußrohren begrenzt. Innerhalb der Kraftstoffanlage des Traktors ist der Glasbehälter unten mit der Verbindungsleitung Tank-Förderpumpe und oben mit dem Luft-raum des Tanks verbunden. In der Verbindungsleitung unterer Meßbehälteranschluß-Tank ist ein Magnetventil angeordnet. Die Rücklaufleitung der Kraftstoffanlage, die im Originalzustand in den Tank führt, wurde mit dem unteren Anschluß des Meßbehälters verbunden.

3. Steuerung der Funktion

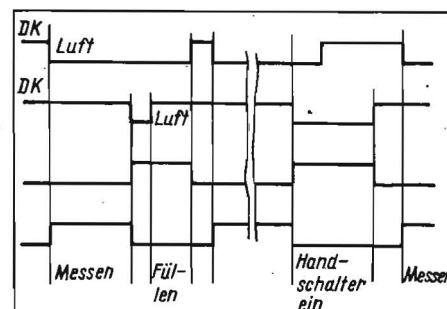
Die Lichtschranken unterhalb und oberhalb des kugelförmigen Glasbehälters haben in

Verbindung mit einer geeigneten Logikschaltung folgende Aufgaben:

- Beginn und Ende des Meßvolumens und damit die Begrenzung der Meßstrecke signalisieren
- nach Leerung des Meßvolumens durch Öffnen des Magnetventils eine erneute Füllung herbeiführen und diese beenden.

Gemäß Schaltfolgediagramm (Bild 2) erscheint am Ausgang der Logikschaltung das Signal „Messen“ Y_M nach der Kraftstoff-Luft-Flanke des oberen Lichtschrankensignals X_O und verschwindet mit der Kraftstoff-Luft-Flanke der unteren Lichtschranke X_U . Gleichzeitig mit dieser Flanke wird das Stellsignal „Füllen“ Y_F aktiv, das die Öffnung des Magnetventils bewirkt. Der Füllvorgang wird mit der Luft-Kraftstoff-Flanke der oberen Lichtschranke beendet. Die Messung kann mit dem Sinken des Kraftstoffspiegels erneut ablaufen. Durch die Schaltverzögerung des Magnetventils ist der Hub des Flüssigkeitsspiegels etwas größer als die Höhendifferenz der Lichtschranken. Das Meßvolumen beträgt 320 cm³, so daß sich Meßstrecken in der Größenordnung < 200 m ergeben. Um besonders bei Schlaglängen, die unwesentlich größer als eine Meßstrecke sind, unmittelbar nach dem Einsetzen mit der Messung beginnen zu können, reagiert die Logik auf ein externes Signal (z. B. Handschalter) mit dem Stellsignal „Füllen“ für die Dauer dieses Eingangssignals. Schaltungstechnisch ist es mit dem Signal X_U der unteren Lichtschranke gekoppelt (Bild 3). Für die Dauer des externen Füllsignals wird der Füllvorgang nicht beim Passieren der oberen Lichtschranke unterbrochen, der Kraftstoffspiegel nimmt die Höhe des Flüssigkeitsspiegels im Tank an. Durch den geringen Schlauchquerschnitt oberhalb der oberen Lichtschranke wird dadurch aber die Einleitung des Meßvorgangs nach Abschalten des Signals nur unwesentlich verzögert. Das Ausgangssignal „Messen“ würde im konkreten Anwendungsfall

Bild 2. Schaltfolgediagramm



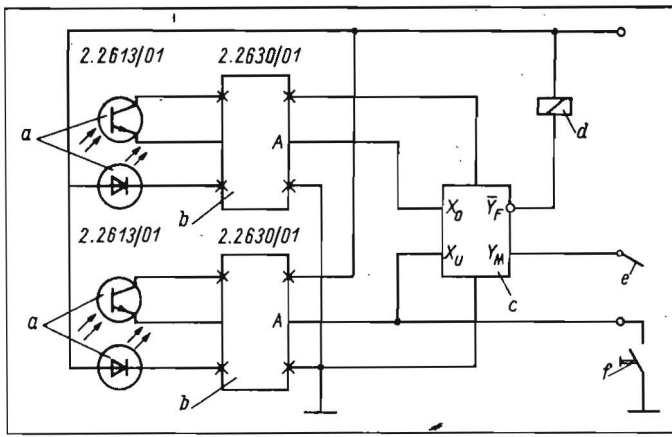


Bild 3. Zusammenschaltung der Funktionseinheiten; a Lichtschranke, b Wechsellichtzwischenverstärker, c sequentielle Logikschaltung (X_U Signal obere Lichtschranke, X_U Signal untere Lichtschranke oder Handschalter, Y_F Stellsignal „Füllen“, Y_M Meßsignal), d Magnetventil, e Meßausgang, f Handschalter „Füllen“

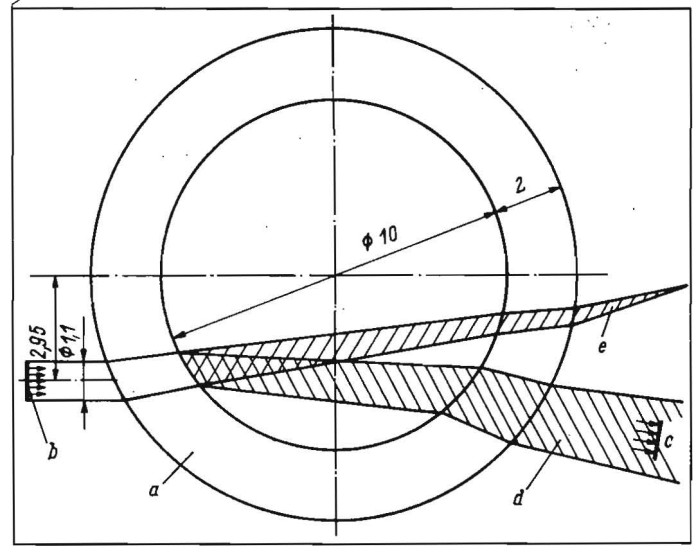


Bild 4. Strahlengang der Lichtschranke; $n_{\text{Luft}} = 1,6$, $n_{\text{DK}} = 1,45$ (Maße in mm); a Glasrohr, b Lichtsender, c Lichtempfänger, d Strahl bei leerem Rohr, e Strahl bei gefülltem Rohr

zur Auslösung von Interrupts (Unterbrechungen zur Steuerung des Betriebsablaufs) eines auf dem Traktor befindlichen Mikrorechners genutzt. Es kann aber in einfachen Meßanordnungen z. B. auch direkt als Torungssignal eines Zählers für Wegimpulse genutzt werden (nur bei anliegendem Meßsignal ist das „Tor“ für Wegimpulse zu einem Zähler passierbar).

4. Gerätetechnische Realisierung

Es wurden zwei handelsübliche Lichtschranken des VEB Meßgerätewerk Beierfeld, Typ 2.2613/01, mit einer maximalen Reichweite von 100 mm in Verbindung mit den vom gleichen Hersteller gelieferten Zwischenverstärkern Typ 2.2630/01 eingesetzt (Bild 3). Jeder Zwischenverstärker enthält einen Generator zur Erzeugung von Wechsellicht im Sender (Lumineszenzdiode), einen Wechselspannungsverstärker und eine Auswerteschaltung zur logischen Bewertung des Empfangssignals (mit Schaltkreis A 301). Durch das Wechsellichtprinzip der Lichtschranke ist diese weitgehend unempfindlich gegenüber der Umgebungshelligkeit. Der Generatorstrom des Zwischenverstärkers kann der Reichweite der Lichtschranke angepaßt werden. Um die Meßeinrichtung unabhängig von dem am Traktor installierten Mikrorechner betreiben zu können und um eine Ein- und eine Ausgabeleitung des Mikrorechners einzusparen, wird die Steuerung der Meßfunktion (s. Abschn. 3) durch eine sequentielle Logikschaltung (Folgeschaltung) vorgenommen. Da diese Schaltung Elemente mit Speicherfunktion enthält, ist sie empfindlich gegenüber Störimpulsen. So erwies sich ein mit TTL-Schaltkreisen aufgebautes Muster im Betrieb als ungeeignet, da es zu Fehlschaltungen führte. Einen wirksamen Störschutz weist der für den prozeßnahen Einsatz ausgelegte Schaltkreis D 410 D auf, mit dem die erforderlichen logischen und Speicherfunktionen realisiert werden konnten (3 Schaltkreise). Vorteilhaft ist, daß die Bordspannung des Traktors von 24 V unstabiliert als Versorgungsspannung der Schaltkreise genutzt werden kann. Durch je eine Transistorstufe werden das Stellsignal für das Magnetventil (24 V) und das Meßsignal (TTL-Pegel) ausgekoppelt. Die Leiterplatte

mit der sequentiellen Schaltung findet in einem Zwischenverstärkergehäuse mit Platz.

5. Anordnung der Lichtschranken

Um mit Hilfe einer Lichtschranke zwischen einer Flüssigkeit (Dieselkraftstoff) und Luft unterschieden zu können, bedarf es einer speziellen Anordnung von Lichtsender und -empfänger am Glasrohr, da Dieselkraftstoff wie andere Flüssigkeiten lichtdurchlässig ist. Während ein durch das Zentrum des zu durchstrahlenden Glasrohrs gehender Strahl ungebrochen auf der anderen Rohrseite wieder austritt, erfährt ein im Winkel $\neq 0^\circ$ zum Zentrumstrahl auf das Rohr auftreffender Lichtstrahl Ablenkungen an den Grenzflächen Luft-Glas und Glas-Luft bzw. Glas-Dieseldieselkraftstoff gemäß dem Brechungsgesetz

$$\sin \alpha : \sin \beta = n_B : n_A$$

Da sich die Brechzahlen für Luft mit $n_L \approx 1$ und für Dieselkraftstoff mit $n_{\text{DK}} \approx 1,45$ wesentlich unterscheiden, tritt der durch das gefüllte Rohr geleitete Strahl an anderer Stelle und unter einem anderen Winkel als bei leerem Rohr aus (Bild 4). In der vorliegenden Meßeinrichtung wurden Sender und Empfänger bei leerem Rohr so justiert, daß sich Eintritts- und Austrittswinkel von rd. 25° ergaben und daß das ausgesendete Licht in ausreichendem Maß den Empfänger erreicht. Zur Verbesserung der Funktion wurden sender- und empfangenseitig die Strahldurchmesser von theoretisch 2,5 mm durch Blenden auf 1 mm verringert. Auf diese Weise erreicht den Empfänger bei gefülltem Rohr kein Wechsellicht.

6. Störeinflüsse

Durch die Wirkungsweise der Kraftstoffförderpumpe bedingt, treten Durchflußschwankungen in der Saugleitung auf, die periodische Schwankungen des Flüssigkeitsniveaus im Meßvolumen hervorrufen. Besonders in der Nähe der Schaltpunkte, an den Lichtschranken – hier beträgt der lichte Durchmesser des Glasrohrs 10 mm –, treten bei mittleren Drehzahlen durch Resonanzen sichtbare Höhengschwankungen und Tröpfchenbildung auf, die beim sofortigen Ansprechen der Logikschaltung zu Meßfehlern

führen würden. Durch Nutzung der einstellbaren dynamischen Störunterdrückung der Schaltkreise D 410 D (externer Kondensator) können diese Störimpulse wirksam unterdrückt werden. Der dynamische Umschaltzeitpunkt bei hoher Impulsfrequenz liegt funktionsbedingt etwa bei einem Impulsdauerverhältnis von Luft zu Kraftstoff wie 8 : 3.

7. Zusammenfassung

Die vorgestellte Kraftstoffverbrauchsmeßeinrichtung für den mobilen Einsatz ist für die Untersuchung stationärer Prozesse vorgesehen, bei denen keine feste Meßzeit bzw. Meßstrecke vorgegeben ist. Die Meßeinrichtung signalisiert Verbrauchsbeginn und -ende eines festen Kraftstoffmeßvolumens, um während dieses Zeitintervalls z. B. die zurückgelegte Wegstrecke, das Integral eines Durchsatzes oder eine geleistete Arbeit messen zu können. Nach Ablauf der Meßzeit erfolgt automatisch die erneute Füllung des Meßvolumens, danach kann sich ein neues Meßzeitintervall anschließen. Die Abtastung des Meßvolumens (Glasbehälter) erfolgt durch Lichtschranken. Eine Folgeschaltung mit den für den prozeßnahen Einsatz ausgelegten Schaltkreisen D 410 D steuert störsicher die Ausgangssignale „Messen“ und „Füllen“. Niveauschwankungen im Meßvolumen durch Pulsation des Durchflusses führen zu keiner Verfälschung des Meßergebnisses.

Literatur

- [1] Cschornack, P.: Probleme und Entwicklungstendenzen der Durchflußmeßtechnik in der Chemie-Industrie. messen – steuern – regeln, Berlin 24 (1981) 8, S. 448–452.
- [2] Pap, E.; Oldenburg, M.: Turbinendurchflußmeßgerät zur Messung kleiner Volumenströme. messen – steuern – regeln, Berlin 26 (1983) 8, S. 441–443.
- [3] Konrad, J.: Zur Kraftstoffmomentanverbrauchsanzeige (KMVA). Kraftfahrzeugtechnik, Berlin (1984) 8, S. 238–241, 247.