

Der zunehmende Einsatz leistungsstarker Traktoren läßt international das Anwenden von Abgasturboaufladern an Traktorenmotoren erwarten.

Bei Traktoren ist die Abgasturboaufladung neuerdings bei Motorleistungen über 150 PS anzutreffen und läßt eine Leistungssteigerung um max. etwa 30 Prozent zu.

Auch unsere Landtechniker müssen sich nach Einführung des Traktors K-700, neben anderen Neuerungen, mit dem an Traktormotoren neuartigen Abgasturboauflader befassen und sich für die Nutzung und Instandsetzung gründliche Kenntnisse aneignen.

Dabei ist die Abgasturboaufladung (ATL) an Fahrzeugmotoren nicht neu, denn bereits 1911 bis 1914 hat der Schweizer Büchi umfangreiche Versuche mit Gasturbinen angestellt, die als Arbeitsgas die Abgase von Dieselmotoren nutzen [1]. Die Leistung dieser Turbinen nutzte man wiederum zum Verdichten der Ansaugluft dieser Motoren.

1926 wurden erstmals Diesellokomotiven mit Abgasturboaufladung ausgestattet, und seit etwa 10 bis 15 Jahren findet sie an großen Dieselmotoren in LKW, Bussen und auch in PKW weiterreichende Verwendung.

### 1. Grundsätzliches zum Verwenden der Abgasturboaufladung

Beim nicht aufgeladenen Dieselmotor ist es schwierig, eine Leistungssteigerung ohne Rauchentwicklung zu erreichen, denn beides bedingt, daß bei der Verbrennung mit zunehmender Einspritzmenge auch eine Mehrmasse an Luft in die Zylinder zu fördern ist. Der für eine rauchfreie Verbrennung erforderliche Luftüberschuß darf nicht unterschritten werden, was aber beim Saugmotor oft vorkommt. Durch das Erfordernis einer rauchfreien Verbrennung wird eine obere Grenze für den mittleren Arbeitsdruck gesetzt. An dieser Grenze scheitert die Leistungssteigerung beim Saugmotor. Seine Leistung kann durch Hubraumvergrößerung oder Drehzahlerhöhung gesteigert werden, wenn der mittlere Arbeitsdruck konstant bleiben muß. Eine Hubraumerweiterung führt aber zu größeren, schwereren und teureren Motoren. Höhere Drehzahlen sind für größere Traktormotoren nicht ohne Nachteile realisierbar, und die von der Drehzahlsteigerung aufgeworfenen Konstruktionsprobleme verschärfen sich mit zunehmender Motorgröße.

Will man solche Maßnahmen zur Leistungssteigerung nicht anwenden, so kann das Problem nur mit Hilfe von vorver-

dichteter Ansaugluft gelöst werden. Zur Realisierung dieses Ziels bietet sich der Luftverdichter an, der je Arbeitsspiel eine größere Luftmasse in die Zylinder fördert, was zur Folge hat, daß die für die Leistungssteigerung erforderliche größere Treibstoffmenge rauchfrei verbrennt. Im Ergebnis entsteht ein höherer, effektiver Mitteldruck  $p_e$  und damit nach der Gleichung

$$P_e = k V_H n p_e \quad (1)$$

eine größere Motorleistung.

Die Maschinen, mit denen Zusatzluft in die Zylinder gebracht wird, nennt man Verdichter oder Lader. So ein Lader wird entweder mechanisch vom Motor oder von den Abgasen des Motors angetrieben. Letztere werden Abgasturboauflader genannt und haben sich grundsätzlich als wirtschaftlichstes Mittel zur Leistungssteigerung der Verbrennungsmotoren durchgesetzt.

Das Ziel jeder Abgasturboaufladung ist:

- höhere Hubraumleistung
- Senken des Masse-Leistungs-Verhältnisses
- Erhöhen der Durchschnittsgeschwindigkeit und des Beschleunigungsvermögens des Traktors
- Senken des spezifischen Kraftstoffverbrauchs.

### 2. Aufbau und Wirkungsweise

Eine Turboladergruppe an Verbrennungsmotoren besteht aus Abgasturbine, Verdichter, Gehäuse und Verbindungsleitungen zum Motor. Die Schaltung und die Wirkungsweise gehen aus Bild 1 hervor.

Die heißen Abgase des Motors durchströmen die Abgasturbine und versetzen diese dabei in Drehung. Auf gleicher Welle mit ihr sitzt der Verdichter (Kreisellader), der die Frischluft ansaugt und in die Zylinder drückt.

Verwendet werden für Fahrzeugmotoren fast ausnahmslos Radialturbinen (Bild 2), bei denen die Abgase die Turbine radial durchströmen.

Während bei den Motoren die potentielle Energie der Verbrennungsgase für die Kolbenbewegung sorgt, wird zum Drehen der Turbine die kinetische Energie der Abgase genutzt.

Die Energie wird folgendermaßen auf die Turbine übertragen: Beim Durchströmen der Laufschaufeln wird der Gasstrom durch die gekrümmten Schaufeln umgelenkt (Bild 2). Dabei üben die Gasteilchen infolge der Fliehkraftwirkung Normalkräfte auf die Schaufelelemente aus, durch die die Drehbewegung des Turbinenrads erzeugt wird. Bei Radialturbinen mit sich verengenden Laufschaufelkanälen (Bild 2) treten neben den Aktionskräften infolge der Fliehkraftwirkung des umgelenkten Gasstrahls noch durch die Geschwindigkeitserhöhung und Gasausdehnung verursachte Reaktionskräfte auf. Bei der Geschwindigkeitserhöhung müssen die Gasteilchen nämlich beschleunigt werden, wobei sie auf die Laufschaufeln nach dem Impulssatz eine Rückstoßkraft ausüben:

$$F_R = \frac{m v}{t} \quad (2)$$

Dabei bedeuten:

- $F_R$  Rückstoß- oder Reaktionskraft
- $t$  Durchströmzeit
- $m$  ausgestoßene Gasmasse
- $v$  Geschwindigkeit der Gasmasse.

(Fortsetzung von Seite 198)

gehörigen Geräte stellen im wesentlichen eine Kombination von bisher bereits bekannten Vorstellungen und Baugruppen dar. So wurde beispielsweise das Frontsitzsystem mit dreieckigen Schnellkupplungen in einem Entwurfskonzept des Amerikaners R. H. Tweedy bereits in den 60er Jahren bekannt, dem die Intrac-Fahrzeuge erstaunlich ähnlich sind. Praktisch ausgeführte Fahrzeuge ähnlicher Bauart sind beispielsweise mit dem Unimog und Fahrzeugen von Carraro, County (FC 1004) und Lely bekannt. Die Deutz-Hitch entspricht dem seit Jahren bekannten Accord-Automatiksystem, und das Intrac-Automatik-Getriebe ist ein von Linde-Güldner bereits länger gebautes hydrostatisches Getriebe.

In Auswertung aller dieser Erkenntnisse dürfte aber ein interessantes Fahrzeug für die Bedingungen in der Landwirtschaft kapitalistischer Länder entstanden sein.

Ing. H. Schulz

A 8887

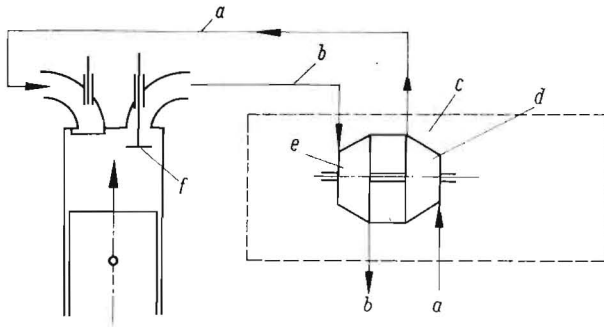


Bild 1. Schaltung eines Abgasturboaufladers mit einem Viertaktmotor: a Ladeluft; b Abgase; c Abgasturbolader; d Kreiselverdichter; e Abgasturbine; f Auslaßventil

Bild 2. Abgasturbolader für den Motor JaMZ 238 des Traktors K-700 im Schnitt; a Turbinengehäuse, b Schaufelkranz, c Turbinenläufer, d Dichtungsring der Turbinenwelle, e Einsatzscheibe am Turbinengehäuse, f innere Wärmeschirmwand, g Lagergehäuse, h Läuferwelle, i Stützlager, k Deckel des Lagergehäuses, l Stützflansch, m Ölrückstreichring, n Dichtung der Läuferwelle, o Dichtung des Einströmstutzens mit Schutzsieb, p Mutter des Verdichterläufers, q Einströmstutzen, r Verdichterlaufrad, s Verdichtergehäuse, t Leitschaufel, u Deckel des Verdichtergehäuses, v Sperrring, w Gleitlager, x Sperrring, y äußere Abschirmwand

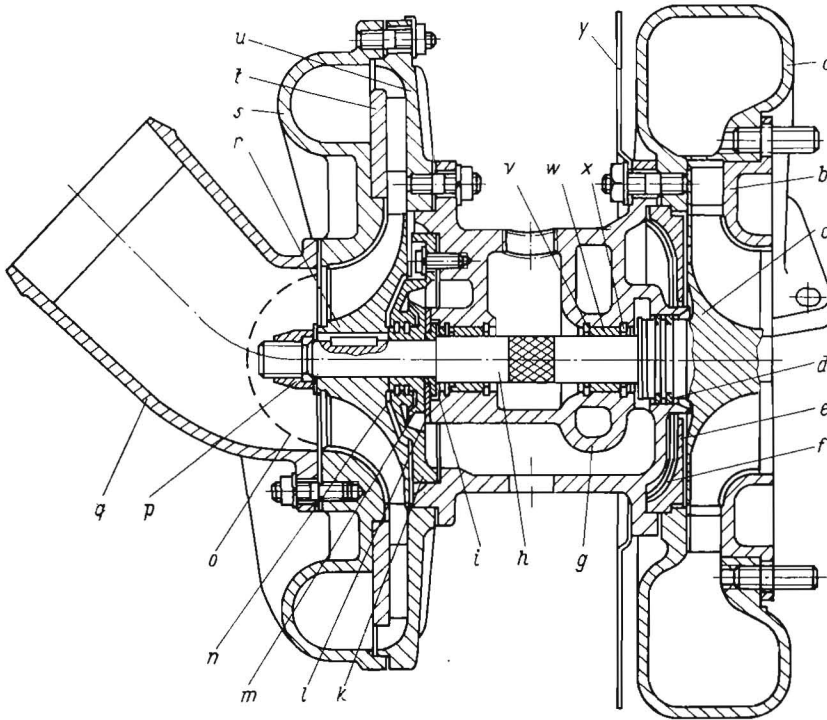
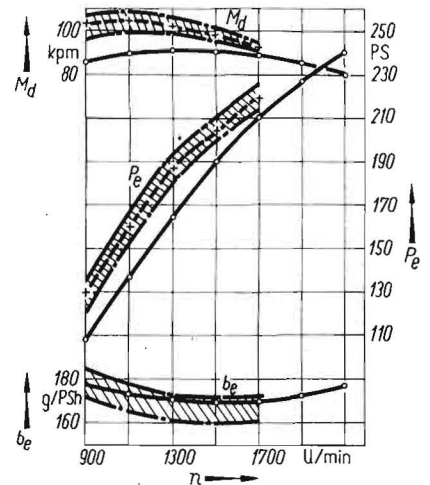


Bild 3. Vollastkennlinien: -○- JaMZ-238, -+ - JaMZ 238 NB



Abgasturbinen, bei denen diese beiden Kraftwirkungen auftreten, werden als Überdruck- oder Reaktionsturbinen bezeichnet, wohingegen Turbinen ohne Kanalverengung Gleichdruck- oder Aktionsturbinen genannt werden [2].

Der Abgasturbolader regelt sich im Betrieb selbsttätig, denn wird durch Betätigen des Fahrfußhebels mehr Kraftstoff eingespritzt, dann steigt die Energie der Abgase, so daß der Aufladeüberdruck wächst und dem Motor zum Verbrennen der reichlicher eingespritzten Kraftstoffmenge eine ausreichende Luftmenge zur Verfügung steht.

Auf einige Nachteile eines Turboladers muß aber hingewiesen werden. Beim plötzlichen Beschleunigen des Motors setzt die volle Luftförderleistung des Laders erst später ein, weil Turbine und Lader zunächst auf höhere Drehzahlen beschleunigt werden müssen. Zum Beschleunigen wird aber bekannterweise vielfach die volle Kraftstoffmenge eingespritzt, so daß es durch den momentanen Luftmangel zu einem schwarzen Rauchstoß kommen kann. Der stark abfallende Ladedruck bei niedriger Motordrehzahl und Vollförderung verschlechtert ebenfalls das Luft-Kraftstoff-Verhältnis, was wiederum zur Rauchbildung und zu hohen Abgastemperaturen führt.

Um diese Mängel zu beheben, wird bei verschiedenen Motorenherstellern die Einspritzpumpe mit einem vom Ladedruck beeinflussten Vollastanschlag ausgerüstet [3].

### 3. Einiges über den Aufbau des Abgasturboladers am K-700

Der Motor für den Traktor K-700 ist aus dem 8-Zylinder-Dieselmotor JaMZ-238 entwickelt worden und erhielt die Typenbezeichnung JaMZ-238 NB. Dieser Motor wurde den

Bedingungen der Landwirtschaft angepaßt und bei verringerter Drehzahl durch Abgasturboaufladung bei 1700 U/min auf eine Leistung von 220 PS gebracht [4]. Bild 3 zeigt die Vollastkennlinien beider Motoren. Es ist zu erkennen, daß durch die Turboaufladung die Leistung und das Drehmoment erhöht, die Elastizität des Motors verbessert und der spezifische Kraftstoffverbrauch gesenkt wurde. Erreicht wurde ferner das Absenken der Drucksteigerungsgeschwindigkeit  $dp/da$  auf Werte unter  $4 \text{ kp/cm}^2 \cdot \text{KW}$ , wodurch sich die Triebwerksbelastung und der „Dieselschlag“ verringern. Der maximale Verbrennungsdruck  $p_{z \text{ max}}$  bei der Aufladung steigt etwa proportional mit dem Aufladedruck an (Bild 4). Der Abgasturbolader mit der Bezeichnung TKR-11 mit Durchmessern von 110 mm des Turbinen- und Verdichterrads (vor 1970 wurde der Lader TKR-13 verwendet) ist am Motor auf der Schwungradseite angeordnet (Bild 5).

Der Turbolader (Bild 2) besteht aus einem einstufigen Radialverdichter, der mit einem Aufladeüberdruck von 0,35 bis 0,65  $\text{kp/cm}^2$  arbeitet, und einer Radialturbine.

Hauptbaugruppen des Turboladers sind das Ladergehäuse, der Läufer, das Verdichtergehäuse und das Turbinengehäuse. Das Turbinen- und Verdichterrad befinden sich an den Enden einer gemeinsamen Welle, die zweifach gelagert ist. Das Verdichterrad ist halbhoft aus einer Alu-Legierung gegossen und besitzt radiale Schaufeln. Das Rad ist auf die Welle aufgeschraubt und zusätzlich mit einer Paßfeder und Mutter gesichert.

Der Verdichter besitzt einen Austrittsleitschaufelring, der zwischen dem Deckel und dem Gehäuse des Verdichters angeordnet ist. Das Verdichtergehäuse ist aus einer Aluminium-

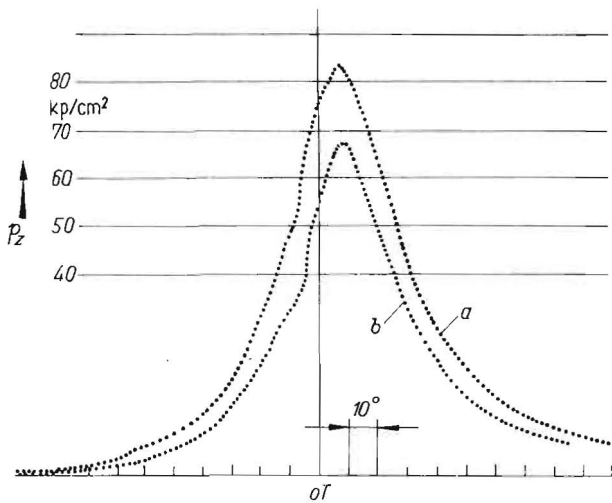


Bild 4  
Indikatorgramme  
des Motors  
a mit Aufladung;  
b ohne Aufladung

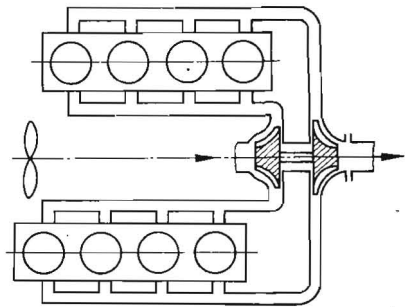


Bild 5  
Laderanordnung  
am Motor  
JaMZ-238 NB

legierung gegossen und besteht aus zwei Luftsammel-Halbschnecken. Die Austrittsstutzen des Verdichters sind mit den beiden Ansaugrohren des Motors über biegsame Schläuche verbunden. An der Stirnfläche des Verdichtergehäuses ist der Lufteströmstutzen befestigt, der innen mit einem Schutzsieb versehen ist.

Das Turbolaufrad ist halb offen, aus einer warmfesten Legierung gegossen und hat radiale Schaufeln. Das Turbinengehäuse besteht aus legiertem Grauguß. Die Abgase werden über sich verengende Kanäle an den Düsenkranz herangeführt.

Der Abgasturbolader besitzt schwimmende Gleitlager aus Bronze mit Druckschmierung. Sie sind im Graugußgehäuse frei beweglich eingesetzt und gegen axiale Verlagerungen mit federnden Sperrringen gesichert. Das Lagergehäuse hat einen Kühlkanal, der mit dem Motorkühlsystem verbunden ist. Der Läufer des Verdichters ist gegen axiale Verlagerung mit einem auf der Verdichterseite gelegenen Stützlager gesichert. Die beschriebenen konstruktiven Details sind im Bild 2 dargestellt [5].

#### 6. Betrieb und Abstellen von Turbomotoren

Fahrer von Turbomotoren müssen wissen:

- Wenn ein Turbomotor stark raucht, dann arbeitet meistens der Lader nicht einwandfrei. Man kann aber ohne Gefahr weiterfahren, wenn man den Kraftstoff sparsamer eingespritzt. Es darf kein Vollgas gegeben werden [6].
- Das Abstellen eines Turbomotors nach längerer starker Belastung darf erst erfolgen, wenn der Motor einige Minuten ohne Belastung bei mittlerer Drehzahl läuft. Es ist nicht zulässig, daß ein belasteter Motor kurzzeitig stillgesetzt wird, denn hierbei arbeitet der Läufer des Laders nach Stillstand des Motors weiter, wobei aber die Ölzufuhr zu seinen Lagern sofort bei Stillstand des Motors unterbrochen wird [7].

#### Literatur

- 1/ Proche, C. G.: Entwicklungsgeschichte der Benzinmotoren mit Turboaufladung. Automobil Revue Nr. 26 v. 15. Juni 1972
- 2/ Autorenkollektiv: Fachkunde für Kraftfahrzeugschlosser. Berlin: VEB Verlag Technik 1966
- 3/ Haefeli, R.: Saurer-Berna-Diesel mit Turboaufladung. Automobil Revue Nr. 43 v. 7. Oktober 1971
- 4/ Reznikov, M. L. u. V. B. Galgovskij: Motor JaMZ-238 NB für den Traktor K-700. Traktory i Sel'chozmasiny (1972) H. 3
- 5/ Betriebsanleitung des Traktors K-700. VEB Handelskombinat agrotechnik Cottbus 1969
- 6/ Domina, Th. D.: Fahrtechnik für LKW- und Busfahrer. München: Verlag H. Vogel 1966
- 7/ —: Abgasturbolader. Wir machen es so. (1971) H. 3 A 8888

Ing. K. Burghardt\*

## Aufbau und Wirkungsweise von Linearmotoren

Oftmals müssen rotierende Bewegungen mit Hilfe von Rädern, Seilen, Zahnstangen u. a. in geradlinige Bewegungen umgewandelt werden. Diese mechanischen Wandler unterliegen einer bestimmten Störanfälligkeit und sind ständig zu warten. Linearmotoren sind in der Lage, unmittelbar geradlinige Bewegungen zu erzeugen.

### 1. Aufbau eines Linearmotors

Der Linearmotor hat ein Stator- oder Primärteil und ein translatorisches Teil — Sekundärteil, das dem Rotor einer Asynchronmaschine entspricht.

Schneidet man den Stator einer Asynchronmaschine längs auf und streckt ihn, so erhält man das Primärteil eines Linearmotors (Bilder 1 und 2).

Das Sekundärteil des Linearmotors ist ein stromdurchflossener Leiter. Es kann ähnlich aufgebaut sein wie das Primärteil, oder es ist eine Platte aus elektrisch leitendem Material.

\* Applikationsingenieur im VEB Elektromotorenwerk Dresden

### 2. Wirkungsweise von Linearmotoren

Unterschiede der Wirkungsweise bestehen zwischen Gleichstrom- und Drehstromlinearmotoren. Die prinzipielle Wirkungsweise soll am Gleichstromlinearmotor erläutert werden, weil bei diesem Motor keine Parameter auftreten, die zeitlich veränderlich sind.

#### 2.1. Wirkungsweise von Gleichstromlinearmotoren

Es wird von einem Aufbau entsprechend Bild 3 ausgegangen. Auf den Polschuhen der Primärteile befindet sich eine Wicklung. Diese Wicklung wird von einem Gleichstrom  $I_1$  durchflossen. Damit bildet sich zwischen den Polschuhen ein starkes magnetisches Gleichfeld aus. Die beiden Pole ziehen sich an.

Diese Kraft muß konstruktiv beachtet werden. Sie ist wesentlich größer als die Schubkraft des Linearmotors. Diese Anziehungskraft wird nicht weiter betrachtet.

Zwischen den Polen des Gleichfelds befindet sich ein elektrischer Leiter — das Sekundärteil. Das Sekundärteil wird von einem Gleichstrom  $I_2$  durchflossen. Damit bildet sich um