

Anforderungen an mechanische Aufladegeräte für PKW-Motoren

Dipl.-Ing. I. W. Janthur VDI, Rüsselsheim

Zusammenfassung

Mechanische Aufladegeräte für Motoren stehen nicht nur in Konkurrenz zueinander, sondern besonders auch zur etablierten Turboaufladung. Um erfolgreich aufgeladene Motoren zu bauen, muß das Ladegerät dem Motor angepaßt werden. Dies betrifft Wirkungsgrad, Abstimmung, Ladereigenschaften, Motoreigenarten und Einbauraum. Entscheidenden Einfluß auf eine Produktionsentscheidung haben aber auch die Gesamtkosten der Systeme, die bei mechanischer Aufladung durch die Einbaumöglichkeiten und den Riemenantrieb mitbestimmt werden.

Aus den Betriebserfahrungen, die bisher mit den mechanischen Ladegeräten gemacht wurden, können die Eigenschaften eines idealen Laders abgeleitet werden.

1. Nutzen der Aufladung

1.1 Aufladung: Größere Leistung aus kleineren Motoren.

Im heutigen Personenkraftwagen spielen die Motorleistung und das Motordrehmoment eine bedeutende Rolle, da sie Einfluß haben auf den Fahrkomfort, die Beschleunigung, die Elastizität, die Geräuschentwicklung, auch auf das Image, den Charakter des Fahrzeuges, das Interesse des Kunden. Die Motorleistung kann verändert werden durch Hubraum, Drehzahl und Mitteldruck im Zylinder.

Wenn die Möglichkeiten der Vergrößerung des Hubraumes durch Änderungen an Kolbendurchmesser, Hub und Zylinderzahl ausgeschöpft sind und eine weitere Drehzahlerhöhung nicht mehr in Frage kommt wegen hohen Massenkräften, Bearbeitungstoleranzen oder erhöhter Reibung, muß der Mitteldruck im Zylinder durch bessere Beatmung erhöht werden. Dies wird möglich durch Maßnahmen in den Ansaugkanälen und 4-Ventil-Zylinderköpfe. Sind alle diese Maßnahmen durchgeführt, dann bietet nur noch die Aufladung der Motoren weiteres Potential zur Leistungssteigerung [1].

1.2 Lademöglichkeiten generell

Für die Aufladung sind bisher im wesentlichen vier verschiedene Prinzipien bekannt:

Schwingrohraufladung

Turbolader

Complex

Mechanische Lader

1.2.1 Schwingrohraufladung

Dies kann einfach und kostengünstig durch auf eine bestimmte Drehzahl abgestimmte Saugrohrängen erfolgen, wie in Bild 1 gezeigt. Dabei ein breiteres Drehzahlband abzudecken ist mit geschalteten Saugrohren verschiedener Länge möglich und in Produktion.

1.2.2 Turbolader

Die Turbolader haben eine lange Entwicklung hinter sich und werden mittlerweile sehr häufig eingesetzt. Sie nutzen über eine Turbine die Abgasenergie für den Antrieb eines Schleuders (Bild 2). Ihr Wirkungsgrad ist sehr hoch. Da ihr Ansprechverhalten zu wünschen übrig läßt, geht die Tendenz daher zu kleinen Ladern mit geringem Trägheitsmoment. Allerdings sind damit Nachteile im Wirkungsgrad verbunden.

Turbolader haben eine den Pkw-Motoren entsprechende Lebensdauer und Zuverlässigkeit erreicht. Sie sind einfach einzubauen. Die Voraussetzungen sind nur geänderte Krümmer und Luftführungen sowie meist eine Översorgung. Bestimmte Anforderungen an die Lage sind zwar vorhanden, aber nicht besonders schwer zu erfüllen.

1.2.2.1 Kombinierte Aufladung

Die kombinierte Aufladung ist eine Verbindung aus Turboaufladung und Schwingrohraufladung (Bild 3). Dies ist deshalb interessant, weil die Schwingrohraufladung ohne Verzögerung anspricht. Damit wird der Turbolader schneller mit Abgas versorgt, liefert schneller Ladedruck, der Motor liefert schneller Leistung und damit wieder mehr Abgas. Verschiedene Arten der Schwingrohranordnung sind denkbar und in Produktion oder Entwicklung [2],[3].

1.2.3 Complex

Der Complex bezieht die benötigte Energie aus dem Abgas. Dabei wird die Frischluft direkt vom Abgas komprimiert. Dies läuft in einem mit etwa vierfacher Motordrehzahl drehenden Zellenrad ab.

(Bild 4) Aufwendig an dieser Art der Aufladung ist, daß der Rotor zur Synchronisation mit einem Riemen angetrieben werden muß. Damit ist die Lage des Complex am Motor sehr genau von äußeren Bedingungen bestimmt:

Frischlufztu- und -abfuhr

Abgaszu- und -abfuhr

Riementrieb mit einer Riemenebene von der Kurbelwelle

parallele Lage zur Kurbelwelle.

Das Gerät ist schwer und neigt wegen seiner einseitigen Befestigung zu Schwingungen. Complexgeladene Motoren sprechen schnell an, wenn auch nicht ganz so wie entsprechend größere Saugmotoren.

1.2.4 Mechanische Lader

Mechanische Lader entnehmen die Energie für die Aufladung der Kurbelwelle. Sie haben den Vorteil, proportional mit der Motordrehzahl anzusprechen. Da die Energie, die an der Kurbelwelle abgenommen wird (Bild 5), relativ hochwertiger ist als z.B. Abgasenergie, ist im allgemeinen zu erwarten, daß Motoren mit mechanischer Aufladung bei gleicher Motorbelastung (indizierte Leistung) eine niedrigere Maximalleistung haben als Motoren mit Turboaufladung.

1.3 Motorbauart

Die Aufladung bei Otto- und Diesel-Motoren ist etwas unterschiedlich:

1.3.1 Diesel

Die Leistung des Dieselmotors wird über die Kraftstoffmenge geregelt. Er hat keine Drossel im Ansaugtrakt. Abgasturboaufladung führt zu Leistungs- und Wirkungsgradverbesserungen. Abgasgedrucktverluste, die durch den Lader bedingt sind, können bei entsprechender Auslegung durch den Ladedruck auf der Einlaßseite wieder ausgeglichen werden. Nachteilig sind die Kosten für die Aufladeaggregate und für die Änderungen am Motor.

Der Complex-Druckwellenlader wird nur an Dieselmotoren ebenfalls eingesetzt. Da die Ladeluft durch den Kontakt mit dem Abgas etwas mehr aufgeheizt wird als beim Turbo, kommt weniger Luft in den Zylinder. Dadurch ist die mögliche Maximalleistung geringer als beim Turbo [4].

Auch die mechanische Aufladung von Dieselmotoren ist möglich, aber sie wird solange kaum Zukunft haben, wie vom Dieselmotor in erster Linie Sparsamkeit erwartet wird.

Ein mechanischer Lader hat aufgrund des bereits angesprochenen Antriebs von der Kurbelwelle und damit der Benutzung hochwertiger Energie einen Verbrauchsnachteil gegenüber Turboladern.

1.3.2 Otto

Beim Ottomotor ergibt sich dadurch ein anderes Bild, daß er durch Drosselung der Luftmenge geregelt wird: es besteht trotz entsprechender Auslegung eines Turboladers keine Möglichkeit, die Antriebsverluste durch den Druck auf der Einlassseite auszugleichen, denn der Ladedruck wird im Teillastbereich weggedrosselt. Beanstandet wird hier oft das gegenüber den Saugern etwas verzögerte Ansprechen. Dennoch kommt der turboaufgeladene Ottomotor wegen seiner Kompaktheit als leistungsgesteigerte Variante zunehmend zum Einsatz.

Der Complex hat sich für den Einsatz an Ottomotoren nicht bewährt. Die große Übersetzung und das große Trägheitsmoment des Rotors überfordern bekannte Riementreibe. Außerdem führt die gegenüber dem Turbokonzept höhere Temperatur der Ladeluft zu erhöhter Klopfneigung.

Die mechanische Aufladung dagegen könnte sich eher lohnen, wenn die vom Ottomotor erwartete Leistung und sofortiges Ansprechen erreicht werden [5].

1.4 Motorgröße

Auch die Motorgröße spielt in Bezug auf die jeweils vorteilhafteste Aufladungsart eine Rolle:

Bei sehr großen Motoren (Schiffsdiesel, LKW) haben sich die Turbolader völlig durchgesetzt. Diese Motoren werden in einem sehr engen Drehzahlband betrieben. Schnelles Ansprechen ist nicht so wichtig, vielmehr wird auf optimalen Wirkungsgrad ganz besonderer Wert gelegt.

Für Pkw-Motoren gilt ähnliches: große Motore haben bereits ein hohes Grunddrehmoment. Das Ansprechverhalten ist ähnlich dem eines Saugmotors. Gefragt ist hauptsächlich Leistung im oberen Drehzahlbereich. Hier kann also vorteilhaft wieder der Turbolader eingesetzt werden.

Dies ist bei kleinen Motoren anders: Die Fahrzeugmasse ist relativ zum Hubraum größer, das Beschleunigungsverhalten läßt Wünsche offen. Hier kann ein sofort ansprechender mechanischer Lader vorteilhaft eingesetzt werden. Als Grenze des Hubraumes, bis zu der mechanische Lader eingesetzt werden können, gilt heute etwa 2,0 Ltr.

2. Mechanische Ladegeräte

2.1 Mechanische Aufladung

Es wurde bisher bereits eine Vielzahl von mechanischen Lader vorgestellt und auch an Motoren eingesetzt:

2.1.1 Strömungsmaschinen

Strömungsmaschinen mit einem Verdichter wie am Turbolader, aber mechanisch angetrieben, benötigen sehr hohe Drehzahlen. Da sie nicht so hoch drehen wie entsprechende Turbolader, sind sie größer als diese. Bei niedrigen Drehzahlen sinkt ihr Luftdurchsatz stark ab. Daher wird verschiedentlich versucht, durch variable Antriebe diesen Nachteil auszugleichen.

2.1.2 Verdrängerlader

2.1.2.1 Flügelzellenlader

Flügelzellenlader verschiedener Bauarten sehen einfach aus, haben aber entweder Reibung und damit Verschleiß an den Flügeln, oder sie haben zu viele Spalte, die den Wirkungsgrad beeinträchtigen.

2.1.2.2 Roots-lader

Roots-lader sind einfach im Aufbau und verschiedentlich auch erfolgreich eingesetzt worden. Bisher ist es jedoch nicht gelungen, ihren Wirkungsgrad so zu verbessern, daß sie - außer für Spezialmotoren - eine ernsthafte Konkurrenz zum Turbolader wurden.

2.1.2.3 Wankel/Kemira

Ähnlich im Aufbau wie die Roots-Lader sind die Lader von Kemira nach Ideen von F. Wankel. Unterschiedlich ist die Rotorform. Sie ergibt etwas günstigere Kantendichtungen.

2.1.2.4 Ro-Lader

Ebenfalls auf eine Idee von F. Wankel geht der Drehkolbenverdichter Ro-Lader zurück. Dabei laufen zwei Rotoren mit unterschiedlichen Drehzahlen (Verhältnis 2:3) ineinander. Problematisch ist die Durchbiegung der balkenartig ausgebildeten Teile des äußeren Rotors. Diese bestimmt letztlich Baulänge, Durchmesser und Drehzahl.

2.1.2.5 Pierburg

Ähnlich wie der Ro-Lader ist der Pierburg-Lader aufgebaut, jedoch mit dem Drehzahlverhältnis 3:4. Aufgrund der etwas anderen Geometrie ist es dabei möglich gewesen, die Durchbiegung des äußeren Läufers zu beherrschen.

2.1.2.6 G-Lader

Von VW entwickelt, in größeren Stückzahlen produziert und eingesetzt wird der G-Lader, ein Spiralverdichter, der eine Art Wobbelbewegung ausführt. Der Lader hat einen recht großen Außendurchmesser und läßt sich nur sehr aufwendig herstellen.

2.1.2.7 Sprintex

Einer der wenigen Schraubenverdichter, die bisher von uns untersucht wurden, war der Sprintex. Leider war jedoch seine Lebensdauer bisher nicht ausreichend.

2.2 Wirkungsgrad

Die Fahrwiderstandslinie z.B. eines Opel Corsa (Bild 6) zeigt bei 90 km/h einen Leistungsbedarf an der Kurbelwelle von nur etwa 12 kW, bei 120 km/h etwa 23 kW. Betrachtet man das Lastkollektiv eines Pkw-Motors, dann zeigt sich, daß eigentlich nur selten Aufladung erforderlich ist, während der Messung des Kraftstoffverbrauchs sogar nie. Verlangt ein leer mitlaufender Lader bereits eine Leistung zwischen 1 und 2 kW, mithin etwa 10 % der für den Vortrieb aufgewendeten Leistung, bedingt dies einen um diese 10 % höheren Kraftstoffverbrauch. Daraus folgt für die Wirkungsgrade von Ladern (Bild 7):

2.2.1 Niedrige Lasten:

Bei niedrigen Lasten und niedrigen oder hohen Drehzahlen soll der Lader geringstmögliche Reibleistung haben.

2.2.2 Hohe Lasten und niedrige Drehzahlen:

Die Anforderungen an Lader bei hohen Lasten und niedrigen Drehzahlen gehen in Richtung besonders hohen Ladedrucks und geringer Aufheizung. Hier ist gefordert, daß die Förderkennlinien möglichst steil sind, so daß sich mit der Schlucklinie des Motors eine günstige Charakteristik ergibt.

2.2.3 Hohe Lasten und hohe Drehzahlen:

Bei hohen Lasten und hohen Drehzahlen möchte man den besten Wirkungsgrad haben, allerdings sind wesentlich höhere Ladedrücke als im unteren Drehzahlbereich ebenfalls unerwünscht. Wenn der Ladedruck hier nicht wegeregelt werden soll, bestimmt dieser Betriebsfall die Auslegung der Ladergröße.

2.2.4 Innere Verdichtung

Bei hohen Ladedrücken ist eine innere Verdichtung von Vorteil. Da jedoch der Belastungsfall im Pkw selten diese hohen Drücke erfordert, ist der Wert der inneren Verdichtung nicht nachgewiesen. Vorteilhaft wäre demnach ein Lader, der eine den Wünschen des Motorherstellers anpaßbare innere Verdichtung haben könnte.

2.3 Anpassung

Lader müssen der Motorgröße und der Lage im Motorraum angepaßt werden können. Lader sind daher so zu konzipieren, daß dies leicht geschehen kann. Dabei ergeben sich verschiedene Möglichkeiten, insbesondere das Fördervolumen anzupassen:

2.3.1 Über Drehzahl

Die Anpassung über die Drehzahl scheint zunächst bei weitem die einfachste. Grenzen sind meist die Lagerbelastungen. Vorteilhaft wäre auch noch eine Anpassung an die Ladercharakteristik mit größerer Übersetzung im unteren Drehzahlbereich und kleinerer oben. Dazu wäre ein zusätzliches Getriebe mit variabler Übersetzung notwendig, das aufwendig ist, zusätzlich Platz erfordert und nicht gerade billig ist.

2.3.2 Über Länge

Bei Ladern, die über die Länge angepasst werden können, ist dies eine einfache Methode. Grenzen sind dabei die zur Verfügung stehende Länge sowie die drehzahl- oder ladedruckbedingte Durchbiegung von Bauteilen und die Bearbeitungsmöglichkeiten.

2.3.3 Über Durchmesser und/oder über Exzentrizität

Die Anpassung über den Durchmesser ebenso wie die über die Exzentrizität erfordern meist umfangreiche Änderungen der Werkzeuge und der Bearbeitung. Sie bedeutet praktisch die Entwicklung eines neuen Aufladegerätes.

2.4 Regelung

Bei Ottomotoren wird die Regelung des Motors durch die Drosselung der einströmenden Luft vorgenommen (Bild 8).

2.4.1 Drosselklappe hinter Lader

Eine einfache Drosselklappe hinter den Verdichter zu setzen ist nur bei turboaufgeladenen Motoren möglich. Das System ist selbstregelnd, denn geringer Luftdurchsatz führt zu geringem Abgas. Damit steht wenig Energie für den Antrieb des Turboladers zur Verfügung.

Bei mechanischer Aufladung würde dieses einfache System zu hohen Drücken an der Drosselklappe mit hohen Verlusten führen.

2.4.2 Drosselklappe hinter Lader mit Umluftleitung

Deswegen muß bei mechanischen Ladern eine Umluftleitung um den Lader herum geöffnet werden, wenn kein Ladedruck gebraucht wird. Ungünstig bei dieser Art der Regelung ist, daß der Lader immer die volle Luftmenge umpumpt. Spaltverluste und damit auftretende Temperaturerhöhungen wirken sich auf die volle Luftmenge aus. Daher ist es bei Verwendung eines Ladeluftkühlers zweckmäßig, auch die nur umgepumpte Luft durch den Ladeluftkühler zu leiten. Dies System ist so bei VW in den G-Lader-Motoren im Einsatz.

2.4.3 Drosselklappe vor Lader

Sinnvoller erscheint es, die Drosselklappe vor den Lader zu verlegen. Dies bedingt allerdings, daß der Lader und alle Leitungen bis zum Saugrohr sowohl druck- als auch unterdruckfest sind. Dies ist problematisch, wenn bei Ladeluftkühlung Verbindungsschläuche verwendet werden, die zusammenfallen können, oder wenn Öl aus der Ölschmierung bei Unterdruck in den Ansaugluftstrom gelangen könnte.

2.4.4 Drosselklappe vor Lader mit Umluftleitung

Bei vor dem Lader liegender Drosselklappe wird eine geringe Verbesserung noch durch eine Umluftleitung erzielt, durch die Druckunterschiede ausgeglichen werden können. Da die Wirkungsgradverbesserungen in diesem Bereich nicht bedeutend sind, darf das System nicht teuer sein. Nachteilig ist, daß bei einer weiter vom Motor entfernt liegenden Drosselklappe die Wahrscheinlichkeit von Undichtigkeiten und die Füllungszeit des Systems zunimmt.

2.4.5 Drossel im Lader

Bei manchen Ladern besteht die Möglichkeit, statt einer Drosselung eine Mengensteuerung im Lader selbst vorzunehmen. Dies wäre interessant, muß jedoch ebenso einfach und sicher wie eine Drosselklappe sein. Vorteilhafterweise ergäbe sich dadurch die Rückgewinnung der sonst an der Drosselklappe vernichteten Energie. Auch die Umluftleitungen könnten entfallen.

2.5 Kupplungseinsatz

Um die Verluste im Lader bei Teillast zu vermindern, wird immer wieder vorgeschlagen, Kupplungen einzusetzen, die den Lader, meist elektromagnetisch, abschalten. Ähnliche Kupplungen gibt es z.B. für Klimakompressoren. Nur ist die Schalthäufigkeit bei Klimakompressoren wesentlich geringer. Außerdem spielt die Schaltzeit eine bedeutende Rolle.

Beträgt die gesamte Zeit bis zum vollständigen Einkuppeln und anschließendem Ladedruckaufbau mehr als 1/2 sec., ist es wenig wahrscheinlich, daß Kunden dieses System als befriedigend empfinden. Dazu kommen die recht hohen Kosten für die Kupplung.

3. Motorpackage

Eine wesentliche Rolle beim Einsatz aller Arten von Ladern spielt die Anordnung im Motorraum (Bild 9).

3.1 Motorpackage im Rahmen

Bei kleineren Fahrzeugen ist der Motor häufig quer eingebaut. Ob ein durch einen zusätzlichen Riemetrieb verlängerter Motor überhaupt noch in das Fahrzeug passt, wird durch die Breite des Rahmens bestimmt. Änderungen am Rahmen für einen Lader sind sehr investmentintensiv.

3.2 Einbaurichtung

Zu beachten ist ferner die Einbaurichtung des Motors. Bei einem flüchtigen Blick in den Motorraum scheint oft Platz vorhanden zu sein. Dieser wird aber beim Einbau z.B. durch weiter unten liegende Aggregate abgedeckt. Besondere Probleme entstehen immer bei den sogenannten Full-Dressed-Versionen, also den Varianten, bei denen alle denkbaren Hilfsaggregate am Motor unterzubringen sind.

3.3 Kombination mit anderen Geräten

Da die Riemenebenen die Motorlänge mitbestimmen und der Platz rund um den Motor sehr knapp ist, sollten Lader mit anderen Geräten hintereinander anzubringen sein. In erster Linie ist eine Kombination mit dem Generator interessant, der etwa mit doppelter Motordrehzahl läuft (Bild 10). Nachteilig ist dabei, daß die Möglichkeit der Laderanpassung über die Drehzahl stark eingeschränkt wird und der Lader so ausgelegt werden muß, daß er das gesamte erforderliche Moment übertragen kann.

3.4 Antrieb

Für den Antrieb von mechanischen Ladern kommen nur Riemen und hier am besten Keilrippenriemen in Frage. Dabei sollte gleich an eine mögliche Spannvorrichtung gedacht werden. Solange, wie kein allen Anforderungen entsprechender Lader angeboten wird, ist sicher kein Motorhersteller bereit, seine Motoren auf Ketten- oder Zahnradantrieb umzurüsten. Zu beachten ist auch die Drehrichtung von Motor und Aufladegerät.

3.5 Kurbelwellenfestigkeit

Das vordere Ende der Kurbelwelle kann oft nur mit viel Aufwand im Durchmesser größer gemacht werden. Die Lagergröße, Dichtungen, Ölpumpendurchmesser, Absätze, Bündel und die Größe der zentralen Schraube bestimmen den Kurbelwellenzapfen. Hohe zusätzliche Kräfte können nicht mehr beherrscht werden. Lader mit sehr hohem Antriebsbedarf und entsprechend hohen Trummkräften wirken sich nachteilig auf die Kurbelwellenfestigkeit aus. Die notwendigen Änderungen an der Kurbelwelle müssen bei der Kalkulation mit betrachtet werden.

3.6 Ölversorgung

Eine Ölversorgung des Laders ist möglich, aber nicht sehr erwünscht. Jedoch ist die Laderlebensdauer so auszulegen, daß der einwandfreie Betrieb während der Lebensdauer des Motors gewährleistet ist.

3.7 Befestigung

Am Motorblock sind selten freie Befestigungsmöglichkeiten vorhanden. Es ist mit Beschleunigungen bis zu 30 g zu rechnen. Die Befestigung des Laders muß daher die maximalen Beschleunigungen berücksichtigen, spannungsfrei, produktionsicher und toleranzmäßig leicht beherrschbar sein. Hier ist wichtig, daß der Laderhersteller die Wünsche des Motorherstellers schnell und einfach erfüllt. Eine interessante Alternative wäre auch die Integration des Laders in das Ansaugrohr des Motors.

4. Kosten und Lebensdauer

Beim Einsatz von Ladegeräten spielen die Kosten eine ganz entscheidende Rolle. Wollen mechanische Lader mit Turboladern konkurrieren, dann müssen sie als Gerät billiger sein als entsprechende Turbolader.

4.1 Vergleich Turbolader

Turbolader sind mittlerweile aufgrund der großen Stückzahlen, der Fertigungsautomatisierung und der erheblichen Konkurrenz sehr billig geworden. Bei einem Systemvergleich müssen noch die Kosten für den Abgaskrümmen und die Ölversorgung berücksichtigt werden.

Motoren mit mechanischen Ladern benötigen allerdings ähnlich hochwertige Abgaskrümmen. Außerdem sind die Kosten für den Riemenantrieb des mechanischen Laders mit Spannrolle und ggf. Umlenkrolle den Laderkosten hinzuzurechnen.

4.2 Lebensdauer

Die Lebensdauer von Otto-Motoren wird mit mindestens 150 000 km angenommen, wobei die Hersteller bei der Motorerprobung die unterschiedlichsten Prüfprogramme fahren. Dabei muß davon ausgegangen werden, daß der Hersteller seine Prüfvorschriften nicht ändert, denn er verläßt sich auf diese Erfahrungen.

5. Betriebserfahrungen

Bei Opel wurden die verschiedensten Lader erprobt und mit Turboladern verglichen. Am Dieselmotor sind Turbolader in Produktion, auch liegen bei der Adam Opel AG umfangreiche Erkenntnisse über den Comprex vor.

5.1 Geräusche

Turbolader wirken geräuschemindernd. Während die Ansaugseite gegenüber der Saugversion nicht wesentlich verändert werden muß, muß abgasseitig für einen verminderten Gegendruck gesorgt werden. Dies erfordert die Unterbringung einer modifizierten Auspuffanlage, die vor allem größeren Rohrdurchmesser aufweisen muß.

Bei mechanischen Ladern stellt sich häufig eine Ansaugluftpulsation ein. Wenn die Drosselklappe vor dem Lader liegen kann, werden die Druckschwingungen durch die Drosselklappe so vermindert wie beim Saugmotor. Bei Drosselklappen hinter dem Lader treten oft kaum beherrschbare Geräusche auf.

Ist keine Ansaugpulsation vorhanden, kann das bisherige Dämpferfiltersystem übernommen werden. Jedoch werden kaum geräuschliche Verbesserungen erzielt.

5.1.1 Pulsationen

Wenn Lader systembedingt Pulsationen haben, kann es auch noch zu Interferenzen mit dem Ansaugen des Motors selbst kommen (Bild 11). Dadurch ist auch bei konstanter Drehzahl nicht immer eine gleichmäßige Ladedruckentwicklung gewährleistet. Abhilfe kann durch entsprechend große Vorvolumen geschaffen werden. Prinzipiell von Vorteil sind in dieser Hinsicht Lader mit wenig oder gar keinen Pulsationen.

5.2 Leistungsaufnahme

Die Leistungsaufnahme aller von uns bisher geprüften Lader war höher als erwartet, besonders im Teillastbetrieb.

5.2.1 Kraftstoffverbrauch

Damit war auch der Kraftstoffverbrauch höher als der entsprechender Turbomotoren.

5.3 Ansaug- und Auspuffsystem

Das Ansaugsystem muß keine wesentlichen Änderungen erfahren, wenn ein pulsationsfreier Lader zur Verfügung steht oder die Drosselklappe vor dem Lader angeordnet werden kann. Andernfalls müssen Maßnahmen wie auch bei hubraumgrößeren Motoren ergriffen werden.

Zur Entwicklung eines entsprechenden Auspuffsystems bestand bisher bei uns keine Möglichkeit, da die Untersuchungen wegen anderer Mängel der Systeme und fehlender Wirtschaftlichkeitserwartungen nicht bis zur Produktionsreife betrieben werden konnten. Im Gegensatz zum Turbomotor muß aber damit gerechnet werden, daß das Auspuffsystem aufwendiger wird (Fehlen der geräuschmindernden Wirkung der Turbine). Zusätzlich wird die Abgastemperatur bei mechanisch geladenen Motoren höher als bei Turbomotoren.

5.4 Verdichtungseinfluß

Aufgeladene Motoren haben generell eine niedrigere nominelle Verdichtung als Saugmotoren. Dies ist nötig, um Klopfen bei der Verbrennung zu verhindern. Außerdem wird meist später gezündet als beim Saugmotor. Dadurch wird das Auslaßsystem thermisch stärker belastet als beim Saugmotor. Obwohl dies für jede Art der Ottomotoraufladung gilt, hat der Turboladernotor Vorteile, denn er nutzt die thermische Energie der Abgase und hat die niedrigere indizierte Leistung.

5.5 Längere Übersetzung

Aufgeladene Motoren mit gutem Ansprechverhalten können bei gleicher Getriebeganzahl eine längere Übersetzung erhalten. Dies führt zu höheren Geschwindigkeiten bei gleichen Drehzahlen. Dadurch können die Nachteile des Kraftstoffverbrauch wenigstens teilweise ausgeglichen werden, die durch die abgesenkte Verdichtung und ggf. durch die Laderantriebsleistung bedingt sind.

5.6 Ansprechverhalten

Das Ansprechverhalten der von uns eingebauten Motoren war bisher nicht voll befriedigend. Dies lag i.a. am unzureichenden Wirkungsgrad des Laders. Aber auch weitere Dinge, z.B. die nicht völlige Abdichtung der Umluftleitung, führten zu Ladedruckverlusten und damit zu Mängeln.

5.7 Ladeluftkühlung

Ladeluftkühlung verbessert den Gesamtwirkungsgrad des Ladersystems erheblich und sollte für jeden aufgeladenen Motor angewendet werden. Neben den üblichen Luft-Luft-Kühlungen sind auch Wasser-Luft-Systeme in Serie. Sie benötigen einen zusätzlichen Wärmetauscher sowie eine Wasserpumpe.

5.8 Motortemperaturen

Die Motorraumtemperaturen im direkten Vergleich sind bisher nur abgeschätzt worden. Es kann aber davon ausgegangen werden, daß die Probleme mit Turboladern nur geringfügig größer sind als die mit mechanischen Ladern. Die mechanischen Lader selbst werden im Motorraum Umgebungstemperaturen von mindestens 130^O C ausgesetzt sein.

Da für gleiche Leistung an der Kurbelwelle die indizierte Motorleistung bei mechanisch aufgeladenen Motoren größer ist als bei Turboaufladung, werden die Kühlmitteltemperaturen höher sein bzw. es können nur geringere Anhängelasten zugelassen werden.

5.9 Lebensdauer

Die bisher bei Opel vorgestellten Lader haben bisher noch nicht die Phase einer echten Lebensdauererprobung erreicht.

6. Der optimale Lader

Der optimale Lader läßt sich damit folgendermaßen beschreiben:

- einfach,
- klein, besonders im Durchmesser,
- mit kleinem Trägheitsmoment
- steile Förderkennlinien,
- kostengünstig,
- kombinierbar mit einem weiteren Aggregat, vorzugsweise dem Generator,
- auf den Motor abzustimmen auch über die Länge,
- reibungslos (reibungsarm),
- integrierbar in das Ansaugrohr,
- pulsationslos oder mit motorsynchronen Pulsationen,
- druck- und unterdruckfest für Drosselklappe vor dem Lader oder
- mit regelbarem Durchsatz und Energierückgewinnung,
- Umluftleitung integriert, vollständig dichtend,
- variable innere Verdichtung und zu guter letzt

- von einem Hersteller, der flexibel ist und somit bereit zu einer gemeinsamen Entwicklung von Motor plus Aufladegerät.

Literaturverzeichnis

- [1] K. Zinner, Aufladung an Verbrennungsmotoren, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, ISBN 0-387-10088
- [2] F. Indra: Kombinierte Aufladung an einem Personenwagen-Ottomotor hoher Literleistung, MTZ 40 (1979) 12, Seite 581-584
- [3] G. Cser: Double Resonance System (D.R.S.), eine neue Abwandlung der kombinierten Aufladung, Tagungsunterlagen zur 3. Aufladetechn. Konferenz, Zürich 1988,
- [4] F. Indra: Vergleich von Abgasturbo- und Complex-Aufladung an einem PKW Dieselmotor, Tagungsunterlagen zur 3. Aufladetechn. Konferenz, Zürich 1988,
- [5] I. Janthur: Einsatz mechanischer Lader im Vergleich zum Turbolader beim kleinvolumigen Ottomotor, VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 12, Nr. 122, 1989
- [6] Pinkus, O. and Wilcock, D.F.: Strategy for Energy Conservation through Tribology, Amer. Soc. of Mech. Engr., New York 1978

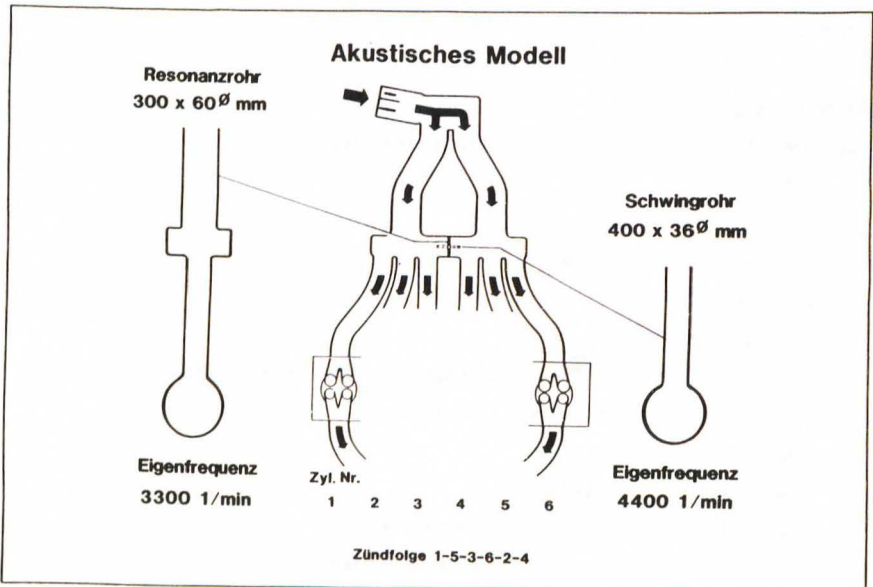


Bild 1: Schwingrohraufladung am Opel 3.0 ltr. 4V-Motor

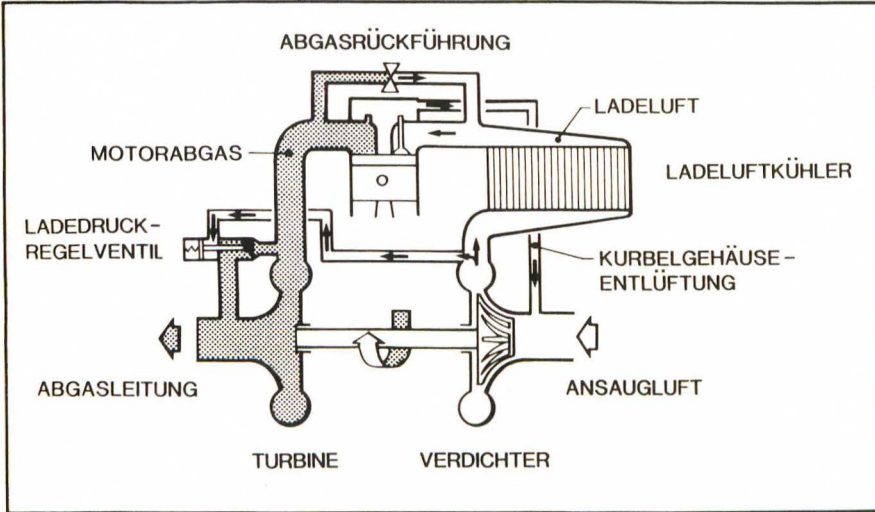


Bild 2: Schema Abgasturboaufladung

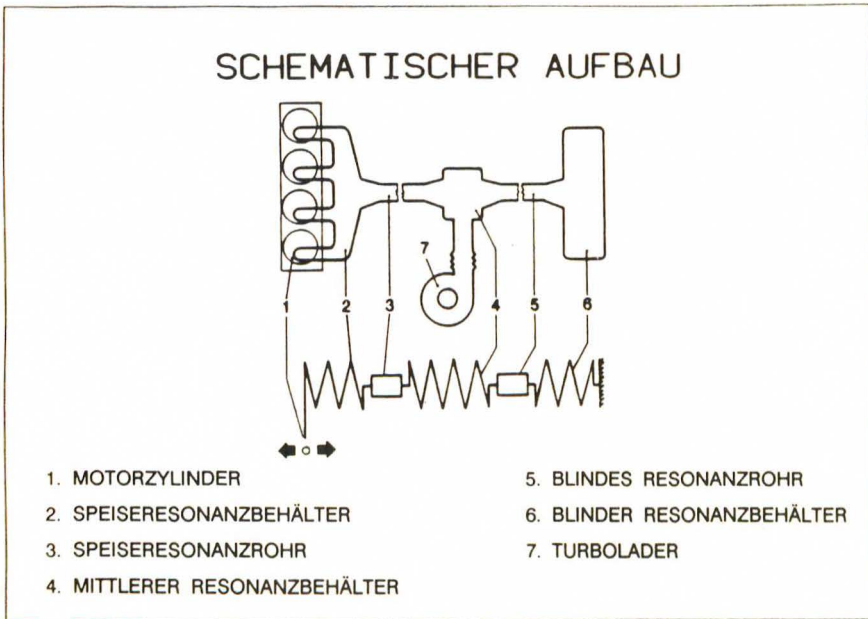


Bild 3: Schematischer Aufbau Doppelresonanzsystem

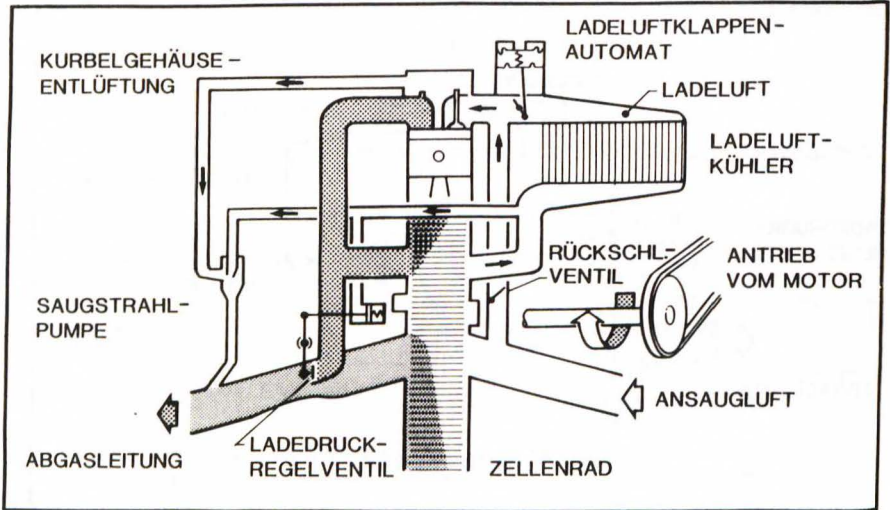


Bild 4: Schema Compress-Druckwellenlader

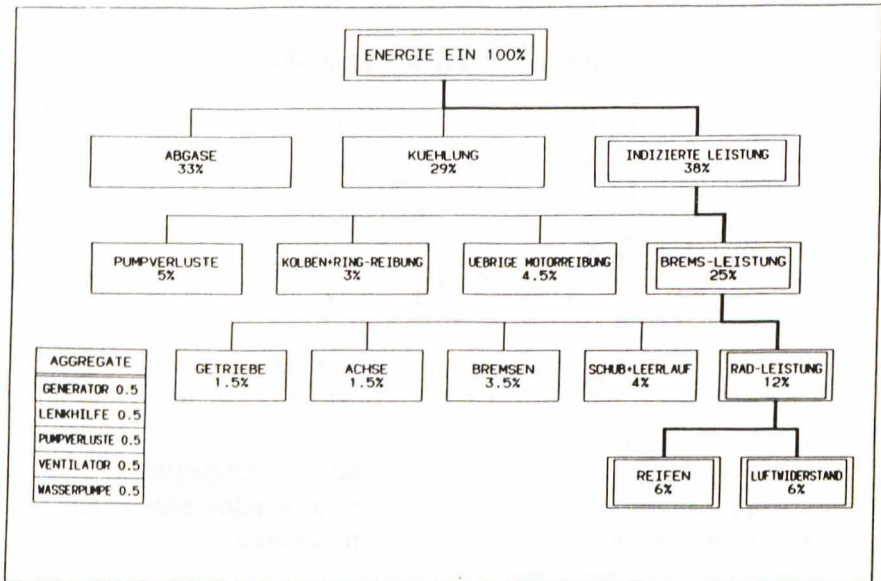


Bild 5: Energieaufteilung im Pkw-Verbrennungsmotor [6]

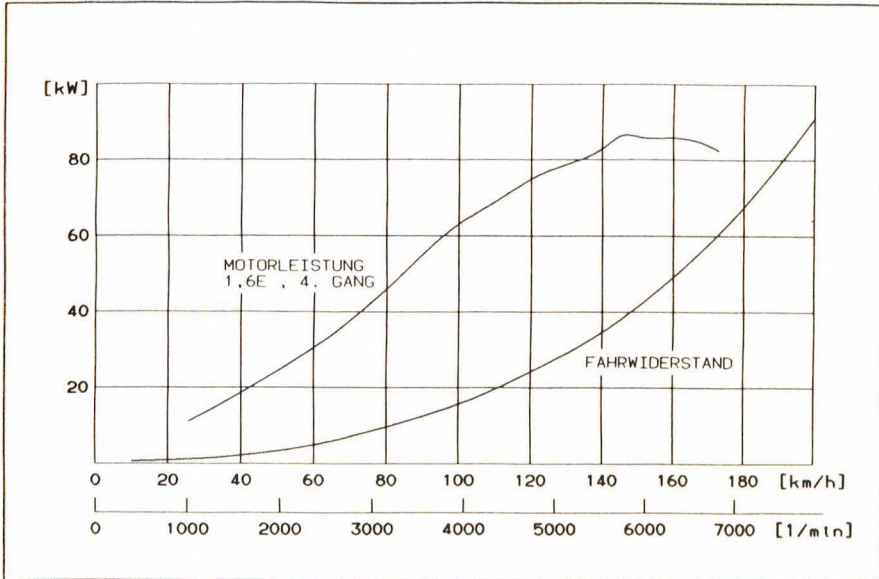


Bild 6: Fahrwiderstand und Motorleistung Opel Corsa

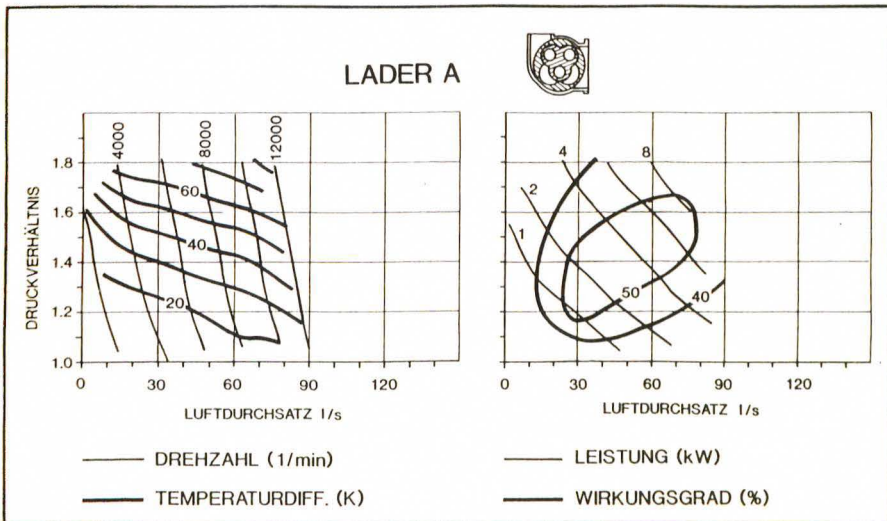


Bild 7: Typisches Laderkennfeld

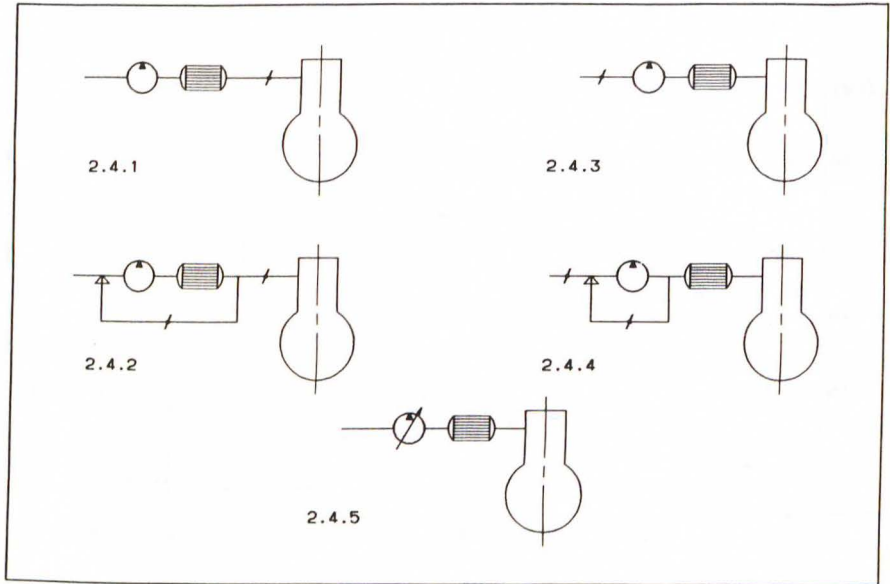


Bild 8: Regelungsmöglichkeiten am aufgeladenen Otto-Motor

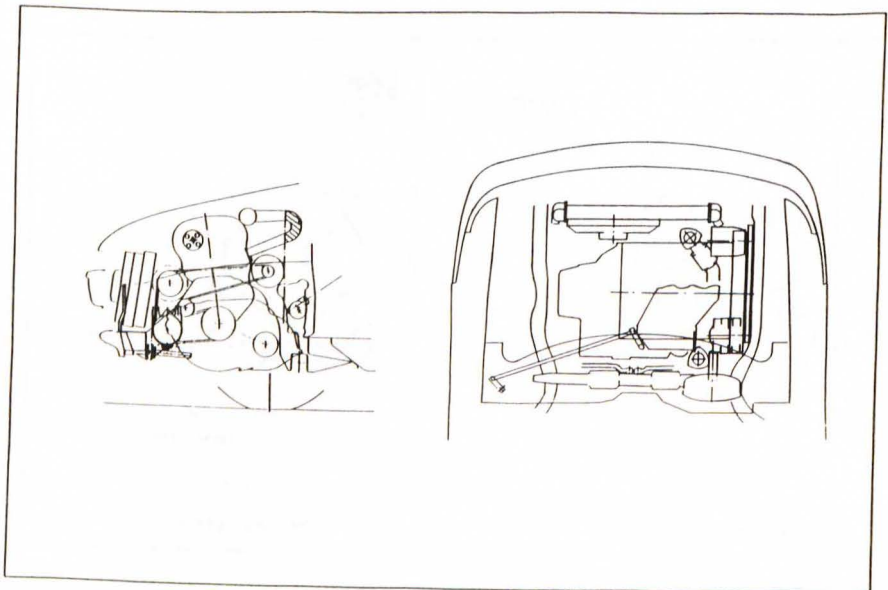


Bild 9: Motorraumpackage

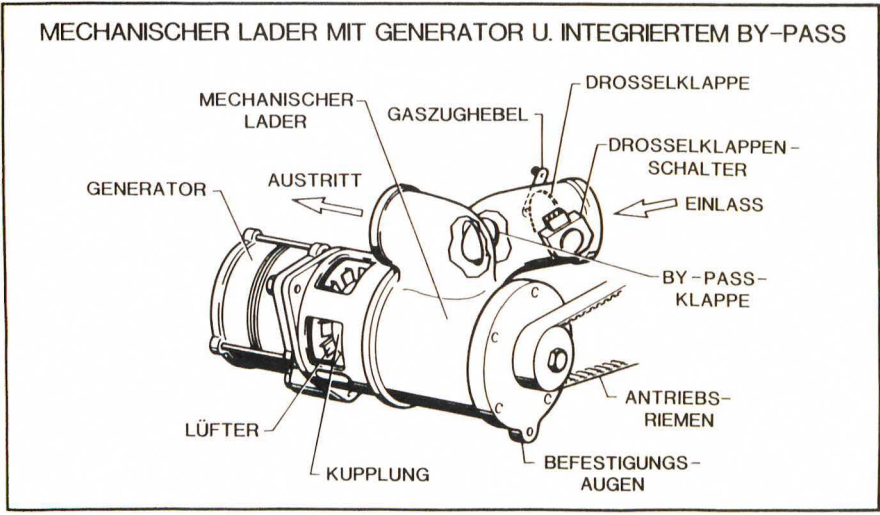


Bild 10: Lader mit Generator

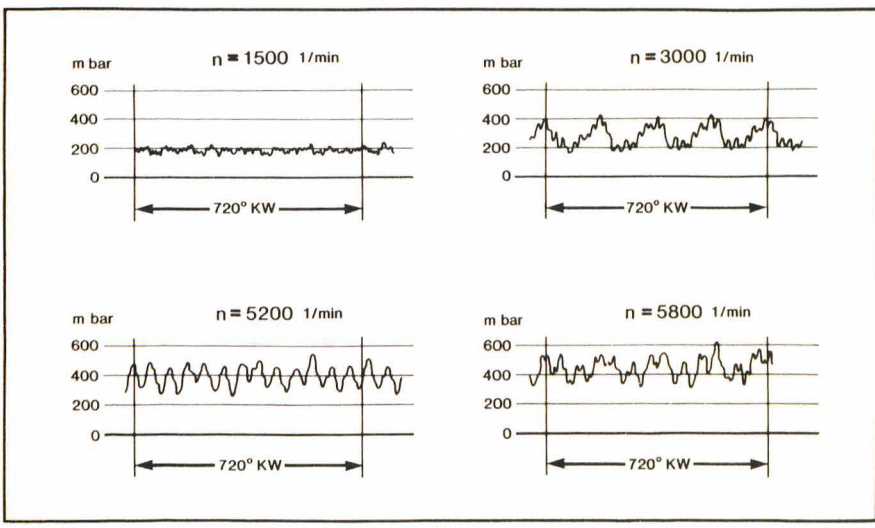


Bild 11: Pulsationen im Saugrohr