

Kapitel 10

Maßnahmen zur Verbesserung von Drehmoment- und Beschleunigungsverhalten bei Abgasturboaufladung

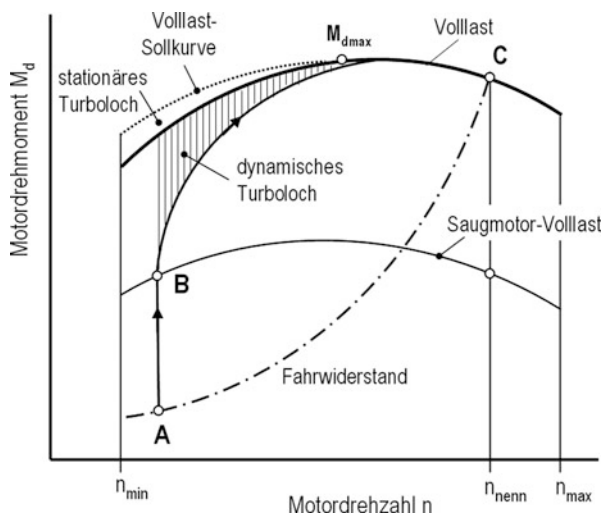
10.1 Ausgangssituation und Gliederung

Wie schon mehrfach ausgeführt, ist es für einen unregelmäßigen Abgasturbolader fester Geometrie nicht möglich, den im Auslegungspunkt gegebenen Ladedruck zu halten, wenn der Motor bei geringerer Drehzahl als im Auslegungspunkt betrieben wird. Um dennoch für einen Fahrzeugmotor einen geeigneten Ladedruck- und damit Drehmomentverlauf über der Motordrehzahl (Volllastkurve) zu erhalten, ist eine Ladedrucksteuerung erforderlich, im einfachsten Fall über ein Wastegate an der Turbine (s. Abschn. 9.3).

Abbildung 10.1 zeigt für einen Fahrzeugmotor mit bestimmter Geometrie (V_H) die Volllastkurve, die er ohne Turbolader erreichen würde (Saugmotor-Volllast) sowie die Volllastkurve bei Abgasturboaufladung. Angenommen, die Ladedrucksteuerung dieses Motors würde über ein Wastegate erfolgen, entspräche der Betriebspunkt bei M_{dmax} dem Auslegungspunkt des Abgasturboladers. Dass, ausgehend von diesem Auslegungspunkt – das Wastegate ist dabei geschlossen –, mit abnehmender Motordrehzahl die Volllastkurve gegebenenfalls stärker abfällt als gewünscht (Volllast-Sollkurve) und relativ stärker als die Saugmotor-Volllastkurve, liegt an der entsprechenden Abnahme der vom Motor an die Turbine gelieferten Abgasenergie. Dieses Drehmomentdefizit zwischen Soll- und Istkurve des stationären Volllastmoments könnte man als *stationäres Turboloch* bezeichnen. Demgegenüber müsste man das im populären Sprachgebrauch als „Turboloch“ bezeichnete Phänomen als *dynamisches Turboloch* bezeichnen. Dieses kommt wie folgt zustande.

Dazu sei zu Abb. 10.1 angenommen, dass das Motorkennfeld zu einem Fahrzeugmotor gehöre, und für das zugehörige Fahrzeug bei einer bestimmten, festen Getriebeübersetzung die eingetragene Fahrwiderstandskurve gelte, die im übrigen durch den Nennleistungspunkt (Punkt C) des Motors gehen möge. Ausgehend von einem stationären Motorbetriebspunkt A, bei sehr geringer Motordrehzahl und entsprechend niedriger Fahrgeschwindigkeit, soll nun das Fahrzeug bzw. sein Motor einer Volllastbeschleunigung unterworfen werden, bis der Betriebspunkt C erreicht ist. Wenn es sich um einen Ottomotor handelt, ist beim Betrieb im (stationären) Betriebspunkt A die Drosselklappe sehr weit geschlossen. Zur Einleitung der Volllastbeschleunigung wird schlagartig die Drosselklappe geöffnet, so dass dem Motor

Abb. 10.1 Dynamischer Drehmomentverlauf im Motorkennfeld bei Fahrzeug-Volllastbeschleunigung eines abgasturboaufgeladenen Motors, schematisch



praktisch ohne Verzögerung der Volllast-„Ladedruck“ des Saugmotors zur Verfügung steht und der Motor in den Betriebspunkt B übergeht. Die im Betriebspunkt B vom Motor an die Turbine gelieferte, gegenüber dem Betriebspunkt A bereits etwas erhöhte Abgasleistung muss nun die Beschleunigung des Turboladers initiieren, damit möglichst bald der Volllast-Ladedruck des aufgeladenen Motors erreicht wird. Dazu gilt es insbesondere die Massenträgheit des Turboladerrotors zu überwinden. Da während dieses Beschleunigungsvorgangs des Turboladerrotors auch die Motordrehzahl ansteigt, verläuft das dynamische Volllast-Drehmoment, ausgehend vom Betriebspunkt B, zunächst unterhalb der stationären Volllastkurve und erreicht diese erst bei einer gegenüber den Motorbetriebspunkten A und B erhöhten Motordrehzahl. Der (schraffierte) Bereich zwischen dynamischer und stationärer Volllastlinie im Motorkennfeld stellt das (dynamische) „Turboloch“ dar. Je kleiner dieses ist, umso schneller ist der beabsichtigte Beschleunigungsvorgang abgeschlossen, der Turbolader und der damit aufgeladene Motor zeigen ein gutes *Ansprechverhalten*. Die schematische Darstellung in Abb. 10.1 kann auch verdeutlichen, dass es mit zunehmendem Aufladegrad schwieriger wird, ein gutes Ansprechverhalten zu erzielen, weil der Abstand der (stationären) Volllastkurve des aufgeladenen Motors zu dessen Saugmotor-Volllast größer wird.

Um für einen abgasturboaufgeladenen Motor zu erreichen, dass dieser schon im unteren und untersten Drehzahlbereich ein hohes Drehmoment darstellen kann (*low-end torque*), und dieses weitgehend auch im dynamischen Motorbetrieb genutzt werden kann, steht eine Vielzahl von möglichen Maßnahmen zur Verfügung. Welche dieser Maßnahmen für welche Motorbauart und Motoreinsatzart am zweckmäßigsten ist, hängt nicht zuletzt auch noch davon ab, ob sie

1. im Wesentlichen nur zum Anfahren, bei schneller Belastung des Motors aus dem Leerlauf heraus, notwendig ist und nur mit bestimmten zeitlichen Abständen angewandt wird. Dies trifft vor allem auf Großmotoren im Schiffsbetrieb zu.

2. in kurzen zeitlichen Abständen, also beliebig oft, benötigt wird, aber keinen zusätzlichen Raumbedarf erfordern soll. Dazu zählen beispielsweise die Methoden der Variablen Turbinengeometrie (VTG).
3. in kurzen Zeitabständen benötigt wird, ein gewisser Raum- und Bauaufwand aber zulässig sind, beispielsweise ein dem Turbolader-Verdichter vorgeschalteter mechanisch angetriebener Verdrängerlader.

Nachfolgend soll eine Gliederung konkreter möglicher Maßnahmen gegeben werden, zum Teil mit Hinweisen auf Abschnitte, in welchen jeweils eine konkrete Maßnahme detaillierter behandelt wird.

Regeleingriffe am Abgasturbolader

- Abblasen von Luft oder Abgas – s. Abschn. 10.2
- Variable Turbinengeometrie (VTG) – s. Abschn. 10.3
- Variable Verdichterengeometrie – s. Abschn. 10.4

Gestufte Abgasturboladersysteme

- Registeraufladung – s. Abschn. 10.5
- Geregelter zweistufiger Aufladung – s. Abschn. 10.6.2

Umschalten von Stau- (bei hoher Last) auf Stoßaufladung [1]

Anwendung eines fremd- oder vom Motor angetriebenen Zusatzverdichters

- dem Verdichter des Turboladers vor- oder nachgeschaltet – s. Abschn. 10.7 (*eBooster*), Abschn. 10.8 (*Twincharger*)
- dem Verdichter des Turboladers parallel geschaltet

Zusatzantrieb des Turboladers

- mechanisch, vom Motor aus über eine Überholkupplung
- durch einen Elektromotor, über eine Überholkupplung, oder auf der Turboladerwelle angeordnet – s. Abschn. 10.9
- ölhydraulisch, über ein auf der Turboladerwelle sitzendes Peltonrad [2]
- durch Umblasen vom Lader in die Turbine, ohne oder mit Aufheizen der Umblaseluft durch einen Wärmetauscher oder eine Brennkammer – s. Abschn. 10.10

Zufuhr von fremd verdichteter Luft – s. Abschn. 10.11

- in die Ladeluftleitung
- in die Ansaugleitung des Turbolader-Verdichters
- in den Laufradkanal des Turboladerverdichters (*Jet-Assist*)
- in die Abgasleitung oder direkt in die Turbine
- direkt in den Zylinder

Kombinierte Aufladung – s. Abschn. 10.12

Variable Steuerzeiten In den nachfolgenden Abschnitten (Abschn. 10.2 – 10.12) wird auf die wichtigsten Maßnahmen näher eingegangen.

Aufladung von Verbrennungsmotoren
Grundlagen, Berechnungen, Ausführungen
Pucher, H.; Zinner, K.
2012, XVI, 371 S. 350 Abb., Softcover
ISBN: 978-3-642-28989-7