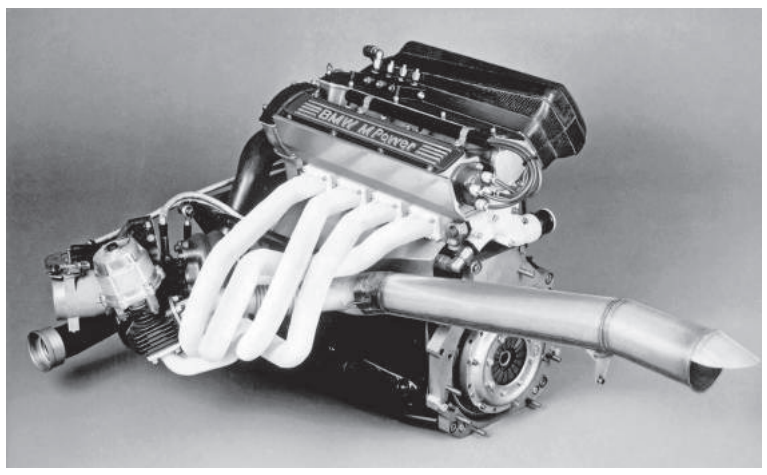
DOWNSIZING UND DIE WIRK

Seit fast zehn Jahren reduziert man vor allem in Europas Autoindustrie verkleinerte Verbrenner behalten dank Turboaufladung mindestens ihr

Ein turbogeladener Downsizing-Motor erzeugt grundsätzlich drei Effekte: Erstens bietet der in seinen Abmessungen kleinere Motor weniger Oberflächen zur Wärmeabgabe. Er wirkt also im thermodynamischen Sinne auf einen adiabatischen Prozess hin. Das heisst, ein solcher Motor tauscht mit seiner Umgebung weniger Wärme aus. Als zweiter Effekt ist bei einem Downsizing-Motor der Reibungsverlust geringer und er hat im Vergleich zu anderen Verbrennungsmotoren einen besseren Wirkungsgrad. Denn bekanntlich stellt die Triebwerkreibung einen signifikanten Energieverlustbeitrag dar, der zum allgemein schlechten Wirkungsgrad eines Verbrenners beiträgt.

Verkürzt dargestellt, erzeugen also weniger und kleinere Motorkomponenten weniger Reibung. Dies gilt gerade im urbanen Fahrzeugeinsatz speziell für den Leerlauf, wo Motorleistung nur zum Betrieb der Nebentriebe und zur Überwindung der Motorreibung erzeugt wird. Dieser Effekt reduziert sich durch die zunehmend verbreitete Stopp-Start-Automatik. Und drittens wird beim Turboaufladungsprozess die Energie zur Motoraufladung dem Abgasstrahl des Verbrenners entzogen, was punkto Effizienz „ optimal ist. Im Vergleich dazu entweichen beim Saugmotor um die 30 % der Treibstoffenergie in Form von kinetischer und Wärmeenergie ungenutzt durch den Abgasstrang. Gleichzeitig wird beim Turbo dem niedergehenden Kolben weniger Pumparbeit abverlangt.



Legendärer Formel-1-Turbo von BMW, hier aus der Saison 1983.
© Alle Fotos zVg.

Mit der Turbo-May-Aufladung hatte ein 2.3-L-Ford Capri neu 180 PS.

Mercedes-AMG A45 2016.

Subaru Impreza WRX STI.

Aus Racing und Tuning

Um die beim Downsizing aktuell angewandte Technik und ihre Auswirkungen zu verstehen, ist ein Blick in die Geschichte zu werfen. In der Sprache der Informationstechnik (IT) gesprochen, war die Frühzeit der Aufladung, die zunächst hauptsächlich auf dem Hochleistungssektor im Rennsport und im Strassentuning boomte, «Turbo 1.0». Etwa zur Formel 1 sei an dieser Stelle ans 1.5-L-Turboreglement erinnert, in der Tuningszene bekannte Fahrzeuge waren etwa der «Turbo May» auf Basis des Ford Capri oder auch die aufgeladenen Schnitzer- oder Alpina-BMW.

Regelrechter Technologieprotagonist der ersten Stunde in Sachen Turbolader war das deutsche Maschinenbau-Unternehmen Kühnle, Kopp & Kausch AG (kurz KKK), doch man sollte bereits die folgende «Turbo 2.0»-Phase als eigenständige Firma nicht überleben. KKK wurde 2006 von Siemens Power Generation übernommen, die Turboladersparte für Kraftfahrzeuge war bereits 1997 im heute führenden Borg-Warner-Konzern aufgegangen.

Hohe Verbräuche

Entwicklungsseitig geprägt war diese Ära durch die mangelnde Triebwerkstandfestigkeit und das systemtypisch schlechte Ansprechverhalten vor allem in Zeiten rarer elektronisch gesteuerter Eingriffsmöglichkeiten. Astronomische Verbräuche waren üblich. Dabei kam der Treibstoff nicht vorwiegend der Leistungserzeugung zugute, sondern er leistete einen Beitrag dazu, via Innenkühlung zu vermeiden, dass diese «Internals» frühzeitig den Hitzetod starben.

Auf die Spitze trieb dieses Konzept sicher der vierzylindrige BMW M11/12, an dem der Autor im Team von Paul Rosche am Ende des Motorlebenszyklus noch mitgearbeitet hat. Der auf einem Serienblock basierende Rennmotor gab in der Formel 1 im Zusammenspiel mit extrem klopffesten Treibstoffen bei 1.5 l Hubraum über 1000 PS ab.

Skandinavische Anläufe

«Turbo 2.0» kam dann nach den turbogeladenen Tuning-Kleinserien zum Serieneinsatz bei damals «motorarmen» Herstellern. Marken mit vergleichsweise kleinen Stückzahlen hatten in den späten 1970er- und den frühen 1980er-Jahren oft nur Vierzylinder mit maximal 2000 cm³ Hubraum zur Verfügung.

Als Beispiel seien die Skandinavier Volvo und Saab genannt. Um im wachsenden Segment grösserer leistungsstärkerer Limousinen mitspielen zu können, entwickelten sie turboaufgeladene Motoren. Diese Aggregate schwammen leistungsmässig im Teich mit den von BMW gepuschten Reihensechszylindern und momentenmässig teils sogar im eher von Daimler geschobenen Achtzylindersegment. Mangelnde Standfestigkeit und überhöhte Verbräuche sorgten aber dafür, dass daraus nie eine Erfolgsstory wurde.

Turbo und Rallyesport

Schub für den Turbo brachten während dieser ganzen Phase spezifische Turboreglemente, speziell im Rallyerennsport. Früh sorgten hier OEM wie z. B. Audi und Lancia und später auch die japanischen OEM Subaru und Mitsubishi für ein Zwischenhoch der Turbotechnologie. Unter anderem das turbogeladene 2-L-World-Rallye-Car erzeugte hier Nachdruck nicht nur in den Zylindern, sondern trieb mit Homologationsserien bis zu 2500 Fahrzeuge mit dieser Technologie auf die Strasse.

Der flächendeckende Einzug der Einspritztechnologie, neue Werkstoffe sowie eine immer bessere simulatorische Entwicklungsmethodik liessen die Technologie durch bessere Verbräuche und höhere Lebensdauer erwachsen werden. Sie wurde so eine Art frühes Schaufenster für die Hochaufladungsmotorwelt, wie sie sich heute darstellt. Die turbogeladenen Subaru Impreza mit 2.5-L-Boxer- und die 2-L-Reihenmotoren in den Evolutionsstufen des Mitsubishi Lancer zeigten schon um die Jahrtausendwende mit Literleistungen von 150 PS/l das Potenzial auf, das dann 15 Jahre später unter dem Schlagwort «Downsizing» in Europa in grösseren Umfang auf die Strasse kam.

Regulatorien als Triebfeder

Die Ära «Turbo 3.0» bzw. der Downsizing-Motor kam durch stetig wachsende Anforderungen an die Abgasqualität ins Laufen. Diesem Druck ausgesetzt, erinnerten sich die Entwickler der grossen OEM an die im breiten Volumensegment schon fast vergessene Aufladetechnologie mittels Turbo. Der kleinere, «adiabatere» Motor half nicht nur durch weniger Austauschflächen Wärme im Motor zu halten, sondern er sorgte vor allem auch für reduzierte Reibung. Das wurde besonders bei der plötzlich möglichen Reduzierung der Zylinderzahl von sechs auf vier deutlich.

Ferner halfen ein einfacherer Aufbau und die reduzierte Teilezahl die schmerzhafte Erhöhung der Produktionskosten zu reduzieren, welche die Turboaufladung mit sich brachte. Kopfschmerzen bereitete dieses Thema den Konzernen jedoch

Ein Turboprofi

Dr. Ulrich W. Schiefer (*1958), MBA, studierte Luft- und Raumfahrttechnik und war mehrere Jahre für BMW im Rennsport tätig, unter anderem ab 1985 als Aerodynamiker in der Formel 1. Bei BMW Motorsport war er 1999 beim Sieg der 24 Stunden von Le Mans (F) Gesamtprojektleiter. Der heutige Geschäftsführer und Inhaber der At-Track GmbH in Stuttgart (D) – Herstellerin von Auto-/Motorrad-Hybriden – war zudem Vorstand Entwicklung bei Aston Martin sowie Gründer der Porsche Engineering Group. Schiefer zeichnete bislang für die Entwicklung von mindestens 22 Fahrzeugen verantwortlich.

UNG DES TURBOS

e mit Downsizing Verbräuche und Emissionen. Auf diese Weise
Niveau an Leistung und Drehmoment oder sie legen gar noch zu.

«Turbo 2.0» in Autos der frühen 1980er-Jahre wie dem Volvo 760 GLE.

Dank Turbo auch ein Bergrenner: Porsche Cayenne Turbo mit 550 PS.

nicht nur auf der Kostenseite, sondern vor allem auf der Marketingseite. Gerade auch in Deutschland, dem «Nachkriegs-Wirtschafts-Wunderland», hatte sich ein proportionaler Bezug von Hubraum und Familieneinkommen eingeschliffen, der beinahe einem naturwissenschaftlichen Hauptsatz gleichkam. Die entsprechende Gleichung war, dass, so wie 3.0 Liter Hubraum zu einem leistungsstarken Sechszylinder gehören, gleichzeitig dessen Fahrer längst dem Status eines Sachbearbeiters nach oben entkommen sein musste.

Weniger Zylinder sind kein Problem

Doch nichts da: Plötzlich steckte in Mittelstandsikonen vom Schlage eines BMW 530i oder Mercedes-Benz E320 ein kleiner rumpliger Vierzylinder. Die Marketingexperten der Konzerne merkten aber schnell, dass es den Kunden nicht interessierte, wie viele Töpfe da am Werk sind. Ja mehr noch, häufig wussten sie gar nicht, wie viele Zylinder ihr Auto hat. Durch den Erfolg dieser Fahrzeuge mit zwar kleineren, aber nicht minder leistungsstarken Motoren an der Verkaufsfront, wurden anderslautende computergestützte Kundenkorrelations-Statistiken regelrecht ad absurdum geführt.

An dieser Stelle angekommen, könnte man sich wundern, dass bei den aus Phasen 1.0 und 2.0 turboerfahrenen Ingenieuren kein Warnlicht anging. Doch wahrscheinlich waren solche Experten in den Werken gar nicht mehr verfügbar. So brach quasi, ohne eine «Schutzimpfung» in den Antriebsentwicklungsbereichen der Hersteller, epidemieartig das Turbofieber aus. Dabei hätte man aus den beiden ersten Phasen der Turboentwicklung wissen können, dass das gleichsam mühelose Drehen am Turborad bezahlt werden muss und die Aufwand-Nutzen-Relation nicht zwangsläufig positiv ausfällt. Diese Erkenntnis gilt sowohl für den Käufer als auch für den Hersteller. Dies umso mehr, als heute nicht nur in der Währung «Cost of Ownership» Herstell- und Beschaffungskosten bezahlt werden müssen, sondern insbesondere auch in Partikelzahlen und Gramm CO_2/km.

Es macht Spass

Gewiss ist die Auswirkung der Aufladung durch Wirkungsgradverbesserung wegen der regenerativen Nutzung der Energie des Abgasstrahls unzweifelhaft segensreich. Am besten kommt dieser positive Effekt dann zum Tragen, wenn das Lastkollektiv eines Konstantläufers zugrunde liegt. Zum Beispiel profitiert der Grosstraktor, der mit 80 % der Maximalleistung einen Pflug mit vielleicht 20 Scharen 50 km durch die Taiga oder die amerikanischen Weizenstaaten schleppt, davon vollumfänglich und dankt das mit reduzierten Emissions- und Verbrauchsniveaus. Aber ganz im Gegensatz dazu wird ein heutiger Strassen-PW hochdynamisch betrieben.

Eigene Untersuchungen haben zudem ergeben, dass der Downsizing-Motor sogar Ursache für ein nicht nutzen-, sondern spassgetrieben dynamisiertes Fahrverhalten ist. Nach dem Motto «Wer kann, der kann!», geniessen viele Lenker gerne den Boost, der nach dem typischen kurzen Delay – ein Handynutzer würde von «Latency» sprechen – mit einsetzendem Turboschub progressiv ansteigt. Es macht doch einfach Spass, das im Extremfall 2.5 t schwere SUV zwischen den Ampeln auf 70 km/h hochzutreiben und mit dem eisernen Griff der 8-Kolben-Bremssättel wieder jäh zum Stehen zu bringen, während die Familie eher mit Halsverspannungen darauf reagiert.

Wider seiner Prägung

Doch hier liegt nun die Krux. Der Verbrennungsmotor ist an sich – speziell im Vergleich zum Elektroantrieb – ein recht stoisches und träges Instrument. Dies gilt umso mehr für den turbogetriebenen Motor, muss er doch erst auf das Ergebnis des hochlaufenden Motors in Form eines beschleunigten Abgasstromes warten. Dieser wiederum hängt von einer Vielzahl vorangehender Prozesse ab wie z. B. Füllung, Einspritzung, Verbrennung usw. Heute gibt es natürlich ein stark erweitertes Instrumentarium in Form von Vielganggetrieben, Doppelkupplungen oder auch inkrementell hoher Fördermengen dank hohen Einspritzdrücken.

Doch wer glaubt, dass dies gratis ist, träumt. Auch hier sind die hochdynamischen Übergänge des Schaltprozesses nicht nur in Fahrzeuggestehungskosten zu begleichen. Dieser Einsatz an Mehrleistung ist durch erhöhte Verbräuche, grösseren Abgasausstoss – und nicht zu vergessen höherer Verschleiss – zu bezahlen. So zeigen etwa Statistiken von Garantieverlängerungsversicherern und den Pannendiensten auf, dass Schäden am Motor, speziell aber bei der Aufladung und der Einspritzung, seit Jahren stark zunehmen (Quelle: Verein Deutscher Ingenieure VDI; VDI-Nachrichten, Juni 2016).

Es drohen teure Schäden

Das Eintrittsrisiko eines potenziellen Laderschadens und der entsprechende Beseitigungsaufwand sind hoch, die drohenden Reparaturkosten können mit über 2000 Euro veranschlagt werden. Dass diese Gefahr besteht, erstaunt nicht, denn der heutige Turbomotor ist ein äusserst komplexes «Piece of Technical Art». So dreht etwa in einem Smart die Turbomaschine mit über 300 000/min und sie wird von einem über 1000 Grad heissen Abgasstrahl und einem möglichst kalten Frischgasstrom durchströmt, welche die auf einer fliegenden Welle sitzende Turboräder beaufschlagen. Die ganze Unit wird laufend malträtiert durch vertikale Schlechtwegkräfte und, als wäre das nicht genug, sie ist dauernd den Präzessionskräften eines sportlich gelenkten und beschleunigten Autos ausgesetzt.

Und sollte in einzelnen Ländern das Euro-6c-Szenario in stringenter Form greifen, wonach Autos im Realeinsatz auf ihr Abgasverhalten untersucht werden (Real Driving Emissions, RDE), können auf Hersteller und/oder Fahrzeughalter gegebenenfalls signifikante Risiken lauern, wenn bei Turbos durch ihre Charakteristik, sich zu verschlechtern, mit der Zeit die Abgaslatte reisst und einen Austausch nötig macht, lange bevor sie am «End of Life» angekommen sind.

Der «richtige» Motor

Trotz aller Begeisterung für die Downsizing-Technik hat das Umdenken längst eingesetzt. Da mutet es dann fast schon kindlich naiv an, wenn auf den grossen europäischen Motorensymposien renommierte Motorenentwickler – als wäre es eine geniale Erfindung – nach jahrelangem Kleinreden des Motors jetzt von «Rightsizing» reden und konstatieren, dass ein kleines Auto einen kleinen Motor, ein mittleres einen mittleren und ein grosses einen grossen Motor braucht.

Würde man den Aufwand betreiben, alle Aspekte abzuwägen, könnte man zum Schluss kommen, dass ein Turbolader eigentlich in vielen Grossserien-PW nichts verloren hat. Auch könnte einen das Gefühl beschleichen, dass die Antriebsdynamik, welche die Industrie den Kunden beim Verbrenner via Turbo zur Verfügung gestellt hat, wohl erst im Elektroauto ohne Reue geniessbar wird.

Ulrich W. Schiefer