1 Einleitung

Vor dem Hintergrund aktueller Debatten über Klimaschutz und CO_2-Reduktion rückt das Thema Leichtbau und Effizienzsteigerung in vielen Bereichen der Automobilindustrie wieder verstärkt in den Vordergrund der Entwicklung. Betrachtet man die Entwicklung der letzten ca. 20 Jahre, so ist es durch mechanische sowie elektronische Flexibilisierung der am Verbrennungsprozess beteiligten Organe wie Einspritzung, Aufladung, Ladungswechsel, u.a. gelungen, die Leistungsdichte auch im Großserieneinsatz signifikant zu erhöhen, den spezifischen Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und damit die Energieeffizenz der Motoren zu steigern. /19/

Die erreichten Verbesserungen des Wirkungsgrades lassen sich, identische Fahrleistungen vorausgesetzt, nicht in gleichem Maße auf den Kraftstoffverbrauch neuer Fahrzeuggenerationen übertragen. Die Hauptursache ist die stetige Gewichtszunahme der Fahrzeuge:

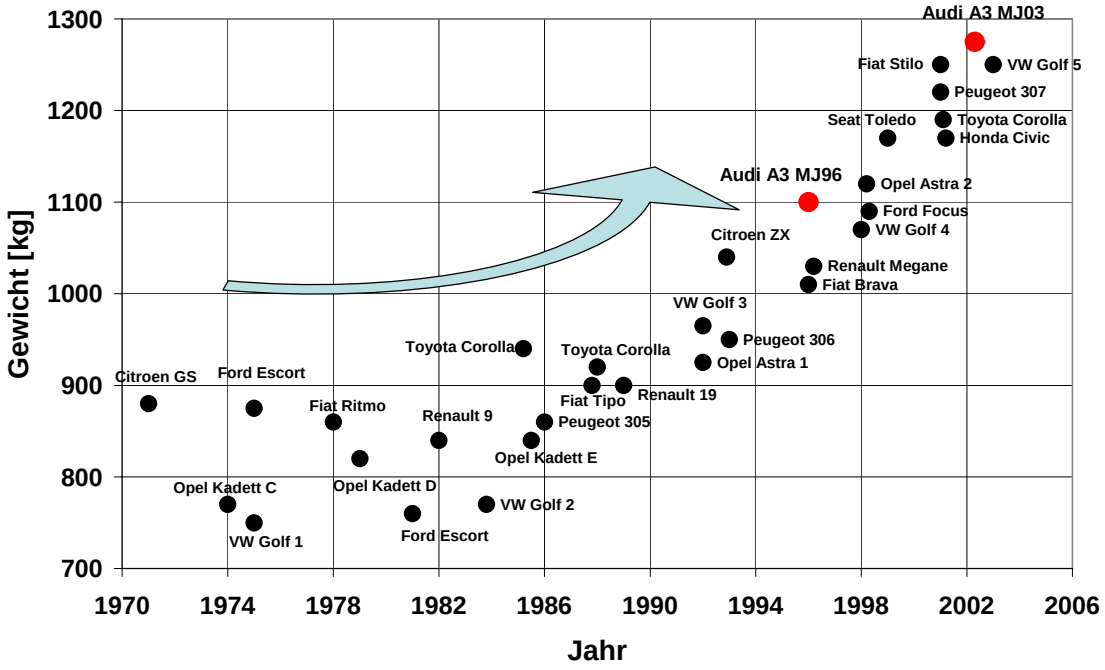

Bild 1.1: Entwicklung Fahrzeuggewichte in der Kompaktklasse /1/

Für diese Gewichtszunahme sind vor allem der gestiegene technische Aufwand zur Einhaltung der gesetzlich geforderten Abgas- und Geräuschgrenzwerte, sowie der steigenden Kundenanforderungen bezüglich Komfort und Fahrleistungen verantwortlich. Da die Anforderungen teilweise konträr sind, kommt es zu einem Kreislauf welcher die so genannte Gewichtsspirale darstellt /3/. Durch fortwährende Anpassung der Fahrzeugkomponenten an neue Randbedingung sowie entsprechende Anpassung der Motorisierung zur Sicherstellung einer zumindest gleichwertigen Fahrdynamik, kommt es trotz vermehrtem Einsatz von Leichtbauwerkstoffen zu einem Gewichtszuwachs.

Neben der angesprochenen Effizienzsteigerung des Motors und des gesamten Antriebsstrangwirkungsgrades durch Reibungsreduzierung sowie Optimierung von Ladungswechsel und Brennverfahren, kommen zur Minimierung der Fahrwiderstände die Verminderung des Luft- und Rollwiderstandes, die Reduzierung des Gewichtes sowie die Optimierung der Energieströme für Hilfsaggregate wie Klimaanlage oder Lenkung in betracht /5/:

Bild 1.2: Kraftstoffverbrauchsanteile im Gesamtfahrzeug /5/

Aus Bild 1.2 wird deutlich, dass das Fahrzeuggewicht mit 12% neben der Effizienzsteigerung des Motors den zweithöchsten Anteil der optimierbaren Verbrauchsanteile im Fahrzeug darstellt. Bis zu 75% der Fahrwiderstände hängen im MVEG-Verbrauchszyklus vom Fahrzeuggewicht ab /4/,/6/. Die Potentiale zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches durch Luftwiderstandsreduzierung sowie Reduzierung von Fahrzeugstirnfläche und Rollwiderstand erscheinen aufgrund der schon erreichten intensiven Verbesserungen sowie weiterer Vorgaben, wie z.B. funktioneller Nutzen und Raumangebot eines PKW, bereits heute weitestgehend ausgeschöpft. Demzufolge werden die weitere Verbesserung des thermodynamischen sowie mechanischen Wirkungsgrades beispielsweise durch Aufladung, Reduzierung der Reibung im Antriebsstrang /2/ sowie Energie- und Wärmemanagment, als auch die Reduzierung der Fahrwiderstände durch Gewichtsreduzierung weiterhin die Hauptaufgaben zukünftiger Entwicklungen sein.

Dem Zylinderkurbelgehäuse kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Zum einen ist es mit bis zu 5% der Fahrzeugmasse eines der schwersten Bauteile eines PKW und damit ein für die Gewichtsreduzierung attraktives Bauteil. Zum anderen verursacht der im ZKG gelagerte Kurbeltrieb mit den Hauptlagerungen, der Kolbengruppe sowie den Zylinderlaufflächen einen großen Anteil der im Antriebsstrang auftretenden Reibung /7/,/8/. Bei frontangetriebenen Fahrzeugen kommt ein weiterer Aspekt hinzu: Aufgrund der ungünstigen Achslastverteilung (Frontlastigkeit), bedingt durch weit vom Schwerpunkt entfernten Massen wird das Fahrverhalten des Fahrzeugs negativ beeinflusst, was eine Gewichtsreduzierung insbesondere im Frontbereich nahelegt /9/.

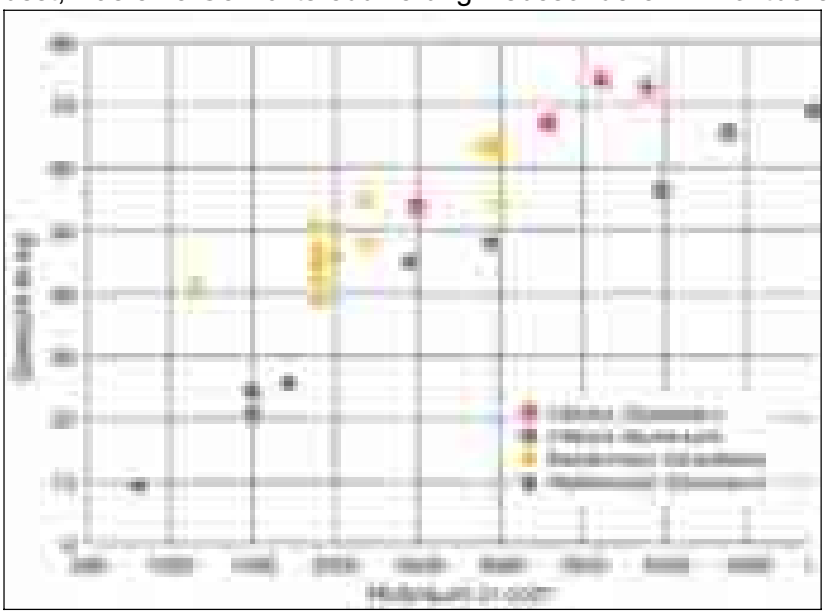

Bild 1.3: Gewicht von Zylinderkurbelgehäusen unterschiedlicher Motoren /19/

Bezogen auf das Zylinderkurbelgehäuse als auch wegen anderer Grundmotorkomponenten entsteht ein Interessenskonflikt zwischen der Entwicklung einer hohen Leistungsdichte zur Verbesserung des thermodynamischen Wirkungsgrades und den immer höheren Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Funktionssicherheit der Komponenten des Grundmotors. Das Potential der eingesetzten konventionellen Leichtbaustrategien wie dem Stoffleichtbau und Gestaltleichtbau /4/ stößt dabei bereits weitestgehend an Grenzen /10/. Durch die Substitution von Graugusswerkstoffen durch Aluminium am Zylinderkurbelgehäuse konnten hier in den letzten Jahren Gewichtsreduzierungen von ca. 50% realisiert werden (Bild 1.3).

Bei hochbelasten Motoren werden jedoch u.a. aus Festigkeitsgründen weiterhin Eisenwerkstoffe verwendet, wie beispielweise die Zylinderkurbelgehäuse der aufgeladenen AUDI-Otto und Diesel-

motoren zeigen /11/,/12/,/13/. Zur Verringerung des Fahrzeug- und Motorgewichtes werden daher zwangsläufig neue Strategien wie der Verbundleichtbau nötig /4/. Alternativ zum monolithischen Einsatz von Gusseisen oder Aluminium werden dabei sogenannte Hybridkonstruktionen ausgeführt, bei denen die Hauptkräfte belastungsgerecht im Zylinderkurbelgehäuse durch Eingussteile, welche zumeist aus Eisenwerkstoffen bestehen, aufgenommen und mit einem Leichtmetall z.B. Aluminium oder Magnesium umgossen werden. An Reihenmotorzylinderkurbelgehäusen wurden so weitere Gewichtsreduzierungen von ca. 20-25% gegenüber reinen Aluminiumausführungen respektive über 60% gegenüber reinen Graugussausführungen realisiert. /14/,/15/,/16/,/17/

Die höheren absoluten Gewichtseinsparungen legen die Anwendung dieser Leichbaustrategie an großvolumigen, gewichtsintensiven V-Motorzylinderkurbelgehäusen nahe, wie sie hauptsächlich in Fahrzeugmotoren oberhalb der Mittelklasse zum Einsatz kommen (vgl. Bild 1.3). Des Weiteren besteht bei diesen Fahrzeugen ein geringerer Kostendruck. Gegenüber dem Reihenmotor ist beim V-Motor der Ausgleich des Bankversatzes über durchgehende Verschraubungskonzepte bei nahezu identischen Hauptlagerbreiten kaum möglich. Der Bauraum für die Integration von Verstärkungsstrukturen im Hauptlagerbereich sowie zwischen Zylinderrohren und Kurbelwangenfreigang ist sehr begrenzt. Bei geometrisch ähnlichen Verhältnissen wie bei Reihenmotoren müssen in einer Hauptlagerwand die Kräfte von 2 Zylindern aufgenommen werden.

Aufgrund der multifunktionalen Anforderungen an das Kurbelgehäuse in Verbindung mit den komplexen Fertigungsprozessen, ist eine simulatorische Auslegung und Bewertung neuer konstruktiver Ansätze im Entwicklungsprozess zur Erschließung der Potentiale hinsichtlich Leichtbau, Verformungen und Festigkeit unerlässlich /3/,/18/,/19/. Ziel ist es, bevor erste Prototypen-Teile entstehen, den Produktentstehungsprozess und die Belastungen im späteren Motorbetrieb durch Simulation zu analysieren und zu optimieren (Frontloading) um so Fehler in der Konstruktion und Fertigung zu vermeiden sowie Entwicklungszeiten zu verkürzen. Besonders die Verknüpfung der Prozesskette aus Produktentstehung und späterem Motorbetrieb in der Simulation stellt dabei eine große Herausforderung dar.