

DIE TECHNIK DES 3-LITER AUTOS

Michael Dick

Volkswagen AG, Wolfsburg

Schon 1991 kommunizierte Dr. Piech seine Vision eines Fahrzeuges mit einem Verbrauch von nur drei Litern. Nicht nur Volkswagen, sondern auch viele andere Automobilhersteller arbeiteten eifrig an einer technischen Umsetzung. Volkswagen konnte im Sommer 1999 als erster Hersteller ein entsprechendes Serienfahrzeug anbieten: den drei-Liter Lupo.

Dieses Fahrzeug zeichnet sich dabei nicht nur durch den geringen Spritverbrauch aus, sondern erfüllt zudem auch alle Kriterien eines Serienfahrzeuges, wie Sicherheit, Komfort, Zuverlässigkeit und Fahrspaß.

Doch bevor ich tiefer in die Umsetzung des Projektes einsteige, möchte ich ein paar Betrachtungen über die Entwicklung eines Kraftfahrzeuges vorausschicken, die insbesondere in der Konzeptphase wichtig sind:

- Gerade im Laufe der letzten Jahre bzw. Jahrzehnte wurden Forderungen nach einer guten **Umweltverträglichkeit** unserer Fahrzeuge immer stärker. Gerade das Thema der Schadstoffemissionen wird in einzelnen Ländern sehr unterschiedlich behandelt. In der Diskussion ist die Verminderung von einzelnen, im Abgas vorhandenen Schadstoffen bis hin zur Forderung des ZEV, dem Zero Emission Vehicle.
- Einen weiteren Aspekt in der Umweltdiskussion stellt die **Verringerung des Geräuschniveaus** im Fahrzeug aus Komfortgründen und außerhalb des Fahrzeuges zur Lärminderung insbesondere in Wohnsiedlungen und Städten dar.
- **Kundenorientierung** ist bei der Entwicklung eines Kraftfahrzeuges wesentlich, da ein festgelegtes Kundenprofil insbesondere die konzeptionelle Phase beeinflusst.

Ausgehend vom Nutzen bzw. dem Nutzer des Fahrzeuges müssen Innenraumabmessungen, Sitzposition, Fondsitzeverhältnisse und Kofferraummaße ausgebildet sein. Bei der Formgestaltung im Innenraum und der Außenhaut wird zunächst Einfluß auf die Ästhetik und Anmutung des Fahrzeuges genommen. Aber auch hier sind Rahmenbedingungen vorhanden, die durch festgeschriebene Gesetze oder einfach durch die Benutzungsfreundlichkeit bestimmt werden. Sei es beispielsweise die Position und Größe von Leuchten, Rückspiegel und Kennzeichen seitens des Gesetzgebers oder einfach die Übersichtlichkeit beim Einparken.

Sensibilität beweist der Kunde auch beim Thema Sicherheit. Dabei sind Maßnahmen zur Verbesserung der aktiven und passiven Sicherheit, also der Unfallverhinderung und der Unfallfolgenverminderung, gefragt.

Unsere Kundenbefragung ergab zum Thema Sicherheit folgende Forderungen:

- 78% legen Wert auf Airbags
 - 73% wollen das Sicherheitsniveau eines Kleinwagens, welches sich beispielsweise durch gute Crash-Ergebnisse auszeichnet
 - 67% fordern ABS
- und auch 67% wollen Seitenaufprallschutz.

Darüber hinaus haben wir die Kunden auch nach Ihren Ausstattungswünschen in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit befragt:

- der Kofferraum steht mit 66% an erster Stelle
- mit 62% kommt als nächstes die Viersitzigkeit
- noch 45% wünschen sich eine Servolenkung
- ein Viertürer ist nur noch für 25% wichtig

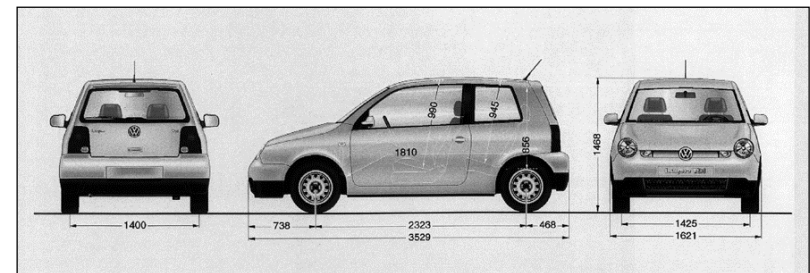


Abb. 1: Packagedaten

Wie Sie sehen steht bei einem 3-Liter Fahrzeug insbesondere die Alltagstauglichkeit mit dem Transport von 4 Personen und Gepäck bei unserem Kunden ganz oben.

Das noch nicht einschätzbare Kundenverhalten und die bei einer kompletten Neuentwicklung eines minimal-verbrauchenden Fahrzeuges entstehenden hohen Kosten führten zu der Entscheidung, aus einem normalen Serienfahrzeug ein 3-Liter Fahrzeug zu entwickeln. Aus der

Fahrzeugalette von Volkswagen hatte der Lupo das größte Potential, durch entsprechende Maßnahmen die 3-Liter-Marke zu unterschreiten.

Durch die positiven Erkenntnisse zur aktiven und passiven Sicherheit, zum Fahrkomfort und zum Kundennutzen konnten wir auf ein anerkanntes Fahrzeugkonzept zurückgreifen. An dieser Stelle sei gleich vermerkt, daß dennoch ca. 80 % des Serien-Lupo mehr oder weniger verändert wurden.

Der Kunde sollte keinerlei Abstriche bei den Fahrzeugeigenschaften machen müssen. Die grundsätzlichen Basiswerte wie Radstand, Innen- und Außenmaße oder das generelle Design-Konzept wurden übernommen.

Für die Veränderungen am Serien-Lupo lag der Ansatz über die Formel für die Beeinflussung des Kraftstoffverbrauches zu Grunde, die Sie hier sehen können.

$$B_e = \frac{\sum b_e \cdot \frac{1}{\eta_{ü}} \cdot (\sum \text{Fahrwiderstände}) \cdot v \cdot dt}{\sum v \cdot dt}$$

Strecke

b_e spezifischer Kraftstoffverbrauch (g/kWh)
 $\eta_{ü}$ Übertragungswirkungsgrad des Triebstranges

Abb. 2:
Beeinflussung des Kraftstoffverbrauches

Der Motor beeinflusst durch den Wirkungsgrad seiner Verbrennung den Kraftstoffverbrauch. Entscheidend dabei ist der Gesamtprozeß von der Vorbereitung des Kraftstoff-Luft-Gemisches bis zum Ausstoß. Die Einflußmöglichkeiten beim Getriebe sind eine Veränderung der Übertragungsverluste und das Übersetzungsverhältnis. Und als letzte kraftstoffverbrauchsbeeinflussende Größe die Summe der Fahrwiderstände, mit denen ich jetzt in die Umsetzung beim 3-Liter Lupo einsteigen werde.

Der Fahrwiderstand setzt sich zusammen aus dem Rollwiderstand, dem Luftwiderstand, dem Beschleunigungswiderstand und dem Steigungswiderstand. An der Gleichung ist sehr gut erkennbar, daß

- durch **Verbesserung der Aerodynamik**
- und durch **Verminderung des Rollwiderstandes**

der Verbrauch gesenkt werden kann. Wesentlichen Einfluß hat die Fahrzeugmasse, eingehend im Roll-, Beschleunigungs- und Steigungswiderstand, zu der ich später noch kommen werde.

Es gibt folgende Faustregel : Bei einem durchschnittlichen Serienfahrzeug führen jeweils 10% Verringerung des Gewichtes, des Luftwiderstandes und des Rollwiderstandes zu etwa 6%, 3%, 2% Verbesserung des Kraftstoffverbrauches.

Der Rollwiderstand entsteht durch Formänderungsarbeit an Rad und Fahrbahn, beeinflusst durch Veränderung der Masse und den Reifen. Die auf leichte Alu-Felgen montierten Reifen sind deutlich schmaler als bei herkömmlichen Fahrzeugen. Weiterhin spielt auch die spezielle Gummimischung und das neue Trägermaterial aus Kevlar Gewebe statt Stahl eine Rolle. Diese Kombination verleiht dem Reifen besondere Leichtlauf Eigenschaften.

Gesamtfahrwiderstand	=	
Rollwiderstand	=	$m_g \cdot g \cdot f_R$
+ Luftwiderstand	=	$\rho L \cdot A \cdot c_w \cdot v^2 / 2$
+ Beschleunigungswiderstand	=	$b \cdot (m_g + \Sigma m_{rot})$
+ Steigungswiderstand	=	$m_g \cdot g \cdot \sin \alpha$

Abb. 3: Gesamtfahrwiderstand

Beim Reifen wird aber schon deutlich, daß ein Bauteil zugleich Einfluß auf alle Widerstände haben kann:

- Leichtlauf Eigenschaften reduzieren den Rollwiderstand
- schmaler bedeutet leichter und weniger Masse
- schmaler bedeutet weniger Luftwiderstand

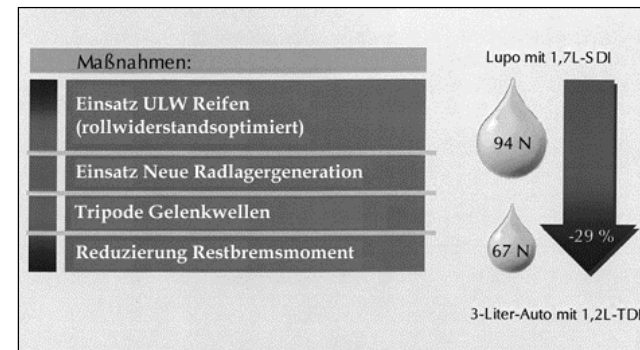


Abb. 4: Abbau Rollwiderstand

Zusammenfassend sehen Sie in Abbildung 4, durch welche Maßnahmen der Rollwiderstand reduziert wurde. Neben den veränderten Reifen setzten neue Radlager mit besonderen Leichtlauf Eigenschaften ein. Durch die neue Auslegung der Vorderradbremsen konnte das Restbremsmoment herabgesetzt werden. Es entsteht, wenn die Brems scheiben bei schon gelöstem

Bremspedal die Bremsscheibe berühren. Gegenüber dem Lupo SDI bedeutet dies in Summe eine Reduzierung von 29%. Der Lupo hat als Referenzfahrzeug einen 1,7l Saug-Diesel-Direkteinspritz-Motor mit 44 kW.

Seitens der Aerodynamik befasst man sich mit allen Vorgängen, die bei Um- und Durchströmung eines Fahrzeuges beobachtet werden und somit den Luftwiderstand beeinflussen.

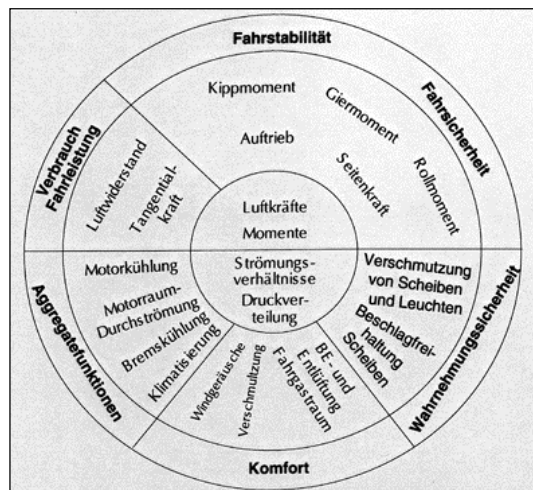


Abb. 5:
Aerodynamische Einflüsse auf Fahrzeugfunktionen

In Abbildung 5 sehen Sie sehr schön die aerodynamischen Einflüsse auf Fahrzeugfunktionen. Zentral angeordnet sind die Quellen. Über die fahrzeugtechnisch beeinflussbaren Größen im mittleren Kreis gibt es eine Auswirkung auf den äußeren Kreis, auf das, was der Kunde erlebt.

Ein einfaches Beispiel: Ausgehend von den Strömungsverhältnissen verschmutzen die Scheiben und Leuchten, was sich negativ auf die Wahrnehmungssicherheit auswirken kann. Im Klimawindkanal in der Technischen Entwicklung in Wolfsburg werden die Auswirkungen von formtechnischen Veränderungen auf Funktionalität erfaßt und weiterentwickelt.

Beim Luftwiderstand kann ein Fahrzeughersteller den Luftwiderstandsbeiwert c_w als Maß für die aerodynamische Formgüte und die projizierte Fahrzeugfläche A beeinflussen. Verände-

rungen des c_w -Wertes ergeben sich durch aerodynamische Einzelmaßnahmen. Dachaufbauten und Durchströmungen beispielsweise verschlechtern, hingegen Bodenverkleidungen verbessern den c_w -Wert.

Beim 3-Liter Fahrzeug wurden diverse Maßnahmen zur Reduzierung des Produktes $c_w \times A$ umgesetzt. Um Luftverwirbelungen am Rad zu vermeiden erhielt das Seitenteil eine strömungsgünstigere Form, die man am weiter heruntergezogenen Schwellerbereich erkennt.

Günstigen Einfluß haben auch die modifizierte Abrisskante an der Heckklappe, der in den hinteren Stoßfänger integrierte sogenannte Diffusor, sowie das geänderte Lüftungsgitter und der anmodellerte Frontspoiler. Diese Maßnahmen und der Einbau von rechteckigen Blinkleuchten sind zudem noch markante Unterscheidungsmerkmale des drei-Liter Lupo zum normalen Serienmodell.



Abb. 6: Strömungsverlauf



Abb. 7: Heckströmung

Durch alle hier dargestellten Maßnahmen konnte der c_w -Wert des drei-Liter Lupo von 0,33 auf 0,29 reduziert werden. Die sogenannte Luftwiderstandsfläche $c_w \times A$ beträgt gegenüber dem Lupo SDI mit 0,64 m^2 nur 0,57 m^2 , das bedeutet eine Reduzierung um 11% und das ist in seiner Klasse ein Spitzenwert.

Durch Maßnahmen in der Konstruktion und der Auswahl geeigneter leichter Werkstoffe wurde trotz systembedingter Zusatzausrüstung, beispielsweise dem automatisierten Getriebe, das Gewicht des Lupos drastisch verringert. Ca. 150 kg wurden gegenüber dem Lupo SDI eingespart.

In der Übersicht Abbildung 8 wird die Verteilung der Gewichtsreduzierungen auf die Bereiche aufgezeigt. Gegenüber den 980 kg beim Lupo SDI senkten wir das Gewicht beim Motor um 26 kg, im Fahrwerk um 60 kg, bei der Karosserie um 50 kg und in der Ausstattung um 18 kg. Bei der Elektrik ergaben sich keine Gewichtsveränderungen. Das Ergebnis ist eine Gewichtseinsparung von 15% gegenüber dem Lupo SDI.

Als Leichtbauwerkstoff setzte verstärkt Aluminium ein. Die Nutzung der positiven Gewichtsvorteile des Aluminiums erfordert aber ein gewisses Know-How. Aluminium ist auf Grund des niederen Elastizitätsmoduls für die tragende Rohbaustruktur weniger geeignet. Blech-

dicken oder auch Querschnittsabmessungen müßten im Vergleich zum Stahlbau vergrößert werden, um die gleichen Effekte zu erzielen. Außerdem sind in der Produktion die veränderten Werkstoffkennwerte zu beachten: die Leitfähigkeit für Wärme und elektrischen Strom ist dreifach größer, die Festigkeit eines Schweißpunktes um die Hälfte geringer. Nebenbei verursacht die Gewichtsreduzierung durch den Einsatz von Aluminium erhöhte Materialkosten, da ein Kilogramm Aluminium das Dreifache von Stahl kostet.

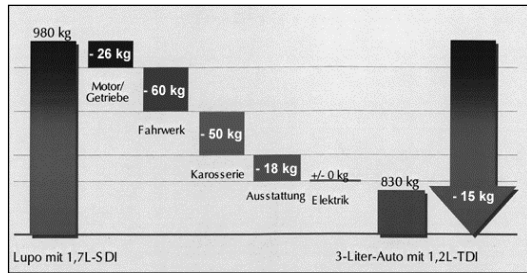


Abb. 8: Verringerung Leergewicht

Der Einsatz von Leichtbaumaterialien wie zum Beispiel Aluminium bei der Karosserie hat wie gerade angedeutet Auswirkungen auf die allgemeinen Anforderungen eines Fahrzeuges. Die Karosseriesteifigkeit soll bezüglich Verwindung und Durchbiegung möglichst groß sein, um elastische Verformungen an den Ausschnitten für Türen und Klappen klein zu halten. Schwingungen der Karosserie infolge von Anregungen durch Räder, Motor oder Antriebsstrang können im Resonanzfall den Fahrkomfort wesentlich beeinflussen. Die Eigenfrequenz der Karosserie und ihrer schwingungsfähigen Komponenten muß durch Versickerungen, Wanddicken und Querschnittsänderungen verstimmt werden, so daß Resonanzen und deren Folgen minimiert werden.

Wechselbeanspruchungen sind gerade beim Einsatz von verschiedenen Werkstoffen zu betrachten. Die im Fahrbetrieb einwirkenden Kräfte können zu Einrissen am Tragwerk oder zum Versagen von Schweißpunkten führen. Besonders gefährdete Zonen sind Lagerstellen von Fahrwerkskomponenten und Antriebsaggregaten.

Eine explizit zu analysierende Beanspruchung des Fahrzeuges ist die Unfallbeanspruchung. Hier zu Ihrer Information dargestellt, die Verteilung der Unfallfahrzeuge auf die Kollisionsarten. Bei Kollisionen muß die Karosserie in der Lage sein, möglichst viel kinetische Energie in Formänderungsarbeit umzuwandeln, ohne daß die Fahrgastzelle wesentlich verformt wird. Neben den zu beachtenden gesetzlichen Bestimmungen hat jeder Automobilhersteller eigene

fahrzeugspezifische Methoden zur Optimierung des Deformationsverhaltens und zur Erhöhung der Festigkeit der überlebenswichtigen Fahrgastzelle.

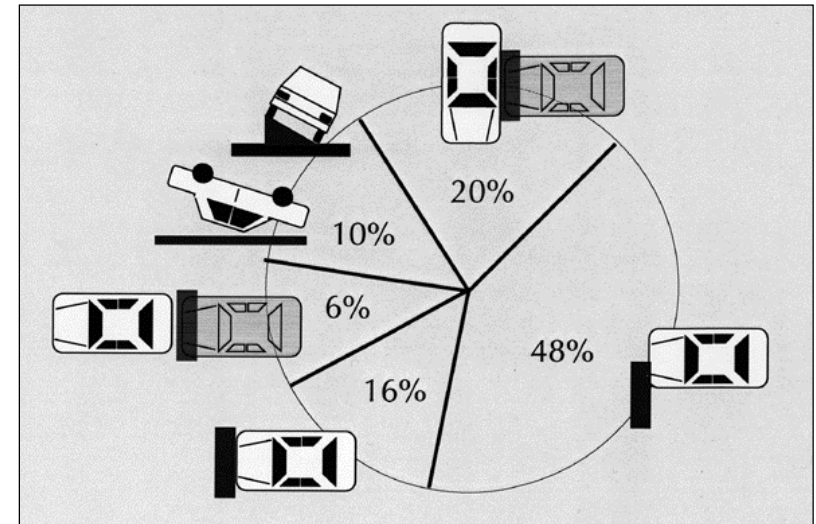


Abb. 9: Verteilung der Unfallfahrzeuge nach Kollisionsarten

Die sehr guten Ergebnisse im Fahrverhalten und in der Festigkeit des Serien-Lupo waren für den 3-Liter Lupo zu übernehmen. Weiterhin hatte der Erhalt der passiven Sicherheit zu jedem Zeitpunkt Priorität vor dem Einsatz von Leichtbauelementen. Die beispielsweise vom ADAC durchgeführten Crashversuche wiesen mit 4 Sternen eine deutliche Wettbewerbsüberlegenheit des 3-Liter Lupo nach.

Der ADAC-Test prüft nach einheitlichen Verfahren des Euro NCAP den Insassenschutz bei Seiten- und Frontalcrash, sowie den Fußgängerschutz oder Schutz kleiner Kinder. Die Bewertung erfolgt nach einem Punktesystem. Die Darstellung des Verletzungsrisikos erfolgt durch farbige Männchen.

Die **Grundstruktur** aus dem Serien-Lupo blieb deshalb zu 100% unangetastet erhalten. Beispielsweise Längsträger, A- und B-Säulen, sowie der Dachaufbau wurden unverändert belassen. Konstruktive Maßnahmen wurden dort angedacht, wo sinnvollerweise Leichtbauma-

terialien Verwendung fanden, aber keine negativen Auswirkungen auf die Sicherheit nachgewiesen werden konnten.

Jedes Bauteil am Serien Lupo wurde also auf sein Leichtbaupotential und dessen Auswirkungen untersucht und auch bisher Undenkbare wurde diskutiert und realisiert. Nutzbringend konnten wir gerade bei diesem Thema auf den Erfahrungsschatz unserer Audi-Kollegen beim Audi A8 zurückgreifen.

Der Einsatz von Aluminium bei den zwei Türen brachte eine Gewichtsersparnis von 16 kg. Ebenfalls aus Aluminium sind Frontklappe und Kotflügel – Ergebnis 8 kg. Besonders hinweisen möchte ich auf die Heckklappe. Ein Bauteil, komplett in Leichtbauweise aber mit zwei unterschiedlichen Werkstoffen: innen Magnesium, außen Aluminium.

Neue Technologien, die heute im 3-Liter Auto noch einmalig sind, sollen zukünftig auch in unsere Volumenmodelle einfließen. Liebe zum Detail zeigt eine aus Aluminium gefertigte Gasdruckfeder, die im 3-Liter Lupo gleich dreimal eingesetzt ist und unter anderem das Öffnen und Halten der Heckklappe unterstützt. Gerade im Technologie-Transfer erwarten wir ausschlaggebende Impulse auch für andere Modelle im Volkswagen Konzern. Die Großserienfahrzeuge gewinnen durch den Einsatz von wettbewerbsüberlegender Technik und Qualität. Aufwendige und teure Bauteile, die zunächst für das 3-Liter Auto konstruiert wurden, können durch die Übernahme in unsere Volumenmodelle weiterhin von einer Kosteneinsparung profitieren. Beispielhaft für den Transfer von neuen Technologien sind die Heckklappe oder andere Aluminium-Anbauteile.

Aufwendige innovative Verfahren, die bislang nur in Oberklassefahrzeugen Verwendung fanden, etablierten sich auch bei der Herstellung des 3-Liter Lupo. Bei der Heckklappe werden die Einzelteile mit Hilfe der Falz- und Klebetechnik aneinandergesetzt. Andere Verbindungstechniken sind die Stanz-Niet-Technik beispielsweise bei den Türen oder das Laserschweißen am Dach und bei den Seitenteilen. Qualität drückt sich hier nicht nur durch eine dauerhafte Verbindung, sondern auch die hohe Präzision aus.

Aber auch das Fahrzeuginnere wurde mit geschulten Leichtbaublicken verändert. Das Lehnengestell der komfortablen Sitze besteht vollständig aus Aluminium und spart 7 kg. Das Lenkrad des Drei-Liter Lupo ist teilweise aus Aluminium und teilweise aus Magnesium.

Vielleicht werden sie überrascht sein, aber im Fahrwerksbereich wurden rund 60 kg eingespart. Zum Erhalt der aktiven Sicherheit war das Ziel natürlich, ein optimales dynamisches Verhalten durch eine gut abgestimmte Fahrwerkskonstruktion zu erlangen. Die Einflußgrößen dabei sind Radführung, Federung, Lenkung und Bremsen.

Der Drei-Liter Lupo verfügt über eine Leichtbau-Vorderachse mit Mc-Pherson Federbeinen, die um 11 kg leichter ist. Bremstrommeln hinten und Bremssattel vorn sind aus hochfestem Aluminium hergestellt. An den Bremsen werden über 7 kg eingespart.

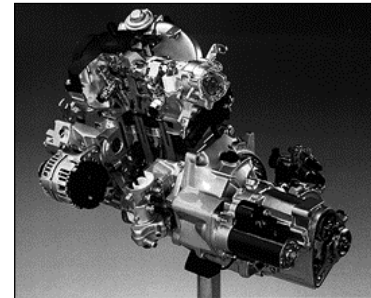


Abb. 10: Leichtbau bei Motor und Getriebe

Auch bei **Motor und Getriebe** greifen Maßnahmen zur Gewichtsminimierung. Der Zylinderblock ist aus Aluminium und in ihm sind Grauguß-Zylinderlaufbuchsen eingegossen. Sogar bei der Abgasanlage wurden die Leichtbaupotentiale ausgenutzt. Die aus Korrosionsgründen in Edelstahl gefertigte Anlage benötigt aufgrund des kleinen Motorhubraumes nur einen Schalldämpfer. Optimierte Wandstärken der Abgasrohre und ein aus Stahlblech statt Guß bestehender Abgaskrümmers tragen zusätzlich zur Gewichtsminimierung bei.

Beim automatisierten Schaltgetriebe wurden beispielsweise die Wellen hohl gebohrt, Bohrungen am Tellerrad angebracht oder der Ölinhalt durch Gehäuseveränderungen vermindert.

Ürsprünglich sollte auch ein kleineres Tankvolumen Gewicht einsparen. Durch die erfolgreichen Leichtbaumaßnahmen und den hohen Wirkungsgrad des Motors war es möglich, statt eines ursprünglich geplanten Kraftstofftanks mit 20 Liter Volumen, den 34-Liter-Tank der Serie zu übernehmen. Der große Vorteil für den Kunden: er kann mit einer Tankfüllung über 1000 km zurücklegen.

Alle bisher genannten Maßnahmen zur Reduktion der Fahrwiderstände sind nur der erste Schritt zur Verbrauchsreduzierung. Ich möchte Ihnen jetzt vorstellen, welche Maßnahmen an Motor und Triebstrang den Kraftstoffverbrauch senken.

Der 1,2l TDI-Motor ist ein 3-Zylinder-Reihenmotor mit 45 kW auf Basis des 4-Zylinder-Reihenmotors. Der Verzicht auf einen Zylinder führt zu weniger Baulänge des Motors, zu weniger Gewicht, zu weniger Bauteilen – und mit ihnen zu geringeren mechanischen Verlusten. Die einzelnen Brennräume sind größer, was deren Effizienz erhöht.

Je höher der Druck, desto feiner zerstäubt der Kraftstoff, desto besser vermischt er sich mit Luft, desto effektiver und desto sauberer verbrennt er. Das ist die grundlegende Argumentationskette für das **Pumpe-Düse-Verfahren** zum Einspritzen des Kraftstoffes, welches wir erstmalig 1998 im Passat erfolgreich einsetzten. Aber wie bewerkstelligen wir die Einspritzung des Kraftstoffes mit einem Druck von ca. 2000 bar?

Jeder Zylinder verfügt über sein eigenes Pumpe-Düse-System im Zylinderkopf. In der Pumpe-Düse-Einheit ist die druckerzeugende Pumpe mit der Einspritzdüse und der Steuereinheit zu einem Bauteil zusammengefaßt. Dadurch kann die übliche Druckleitung entfallen.

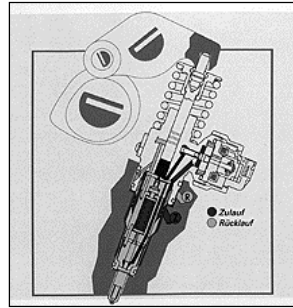
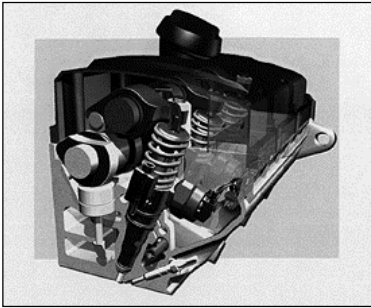


Abb. 11 und 12:
Zylinderkopf mit Pumpe-Düse-Elementen und ein Pumpe-Düse-Element

Die für jede einzelne Verbrennung benötigte Kraftstoffmenge wird in zwei Teilmengen aufgespalten. Die Voreinspritzung leitet die Verbrennung ein, die Haupteinspritzung erfolgt einige Grad Kurbelwinkel später. Die Voreinspritzung verringert durch die Dämpfung des steilen Druckanstieges im Verbrennungsraum die Geräusche und Emissionen. Der Druckaufbau, der Einspritzbeginn und die eingespritzte Kraftstoffmenge werden vom Motormanagement über die Magnetventile gesteuert. Das Pumpe-Düse-Verfahren halten wir derzeit für das effektivste Einspritzsystem mit noch hohem Entwicklungspotential sowohl hinsichtlich Verbrauch als auch Emissionen.

Die **Emissionen** sind beim drei-Liter Lupo auf das niedrigste Niveau abgesenkt worden. Gegenüber einem konventionellen 1,6 Liter-Benzin-Motor verringert sich der Kohlenwasserstoffausstoß um 75 % und das Kohlenmonoxyd-Aufkommen sogar um 85%. Erstmals wurde bei einem PKW der Grenzwert des Kohlendioxid-Ausstoßes von 90g pro Kilometer unterschritten. Mit seinen aktuellen Abgaswerten erfüllt der 1,2-Liter Motor die strenge Abgasvorschrift D4 und durch weitere Optimierungen demnächst auch EU-4.

Neben dem effektiven Einspritzverfahren erzielen wir eine Verbesserung der Reibungsverluste durch Rollenkippebel an der Nockenwelle, spezielle Legierungen für die Pleuellagerung oder den Einsatz eines speziellen Leichtlauf-Öls. Insgesamt erreicht der Motor einen einmaligen Wirkungsgrad von 45%. Dabei erhöht allein der Einsatz der Pumpe-Düse-Technik den Wirkungsgrad auf einen Schlag um mehr als 5%.

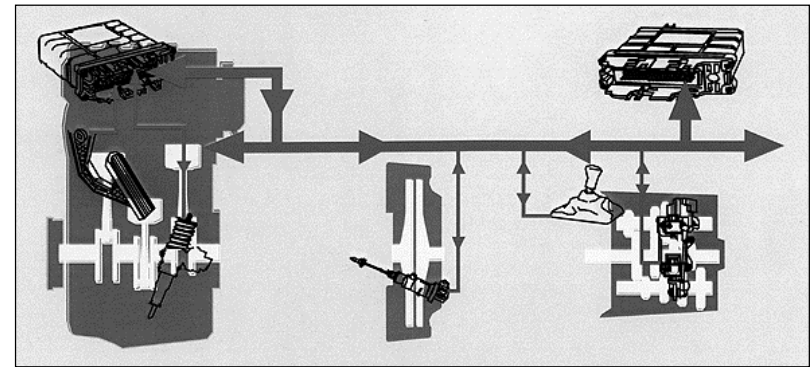


Abb. 13: Die Direktschaltung DS 085

Damit der sparsame Motor stets zuverlässig in seinen verbrauchsgünstigen Betriebspunkten arbeitet, wird er mit einem direktschaltenden **Getriebe** zu einem leistungsfähigen Antriebsstrang kombiniert. Um einen derart optimierten Antriebsstrang zu realisieren ist der Einsatz eines wirkungsgradoptimierten Getriebes zwingend erforderlich. Die Einbußen im Wirkungsgrad eines Automatikgetriebes waren allerdings für die Entwicklung des Drei-Liter-Autos völlig ausgeschlossen. Deshalb wurden neue Wege gegangen und ein manuelles Schaltgetriebe automatisiert.

Grundlage für die Kraftübertragung ist ein Fünfgang-Handschaltgetriebe. Die Gänge allerdings werden nicht wie üblich von Hand geschaltet, sondern von einem hydraulischen Gangsteller, den Sie hier rechts unten sehen. Ein Kupplungs-Pedal ist nicht vorhanden, die Kupplung wird ebenfalls von einer Hydraulik bedient, dargestellt in der Mitte. Das elektronische Getriebe-steuergerät oben rechts übernimmt die Koordination. Auf der linken Seite schematisch Motor-steuergerät, Gaspedal und Einspritzung.

Rein technisch betrachtet schaltet das automatisierte Getriebe wie ein herkömmliches Handschaltgetriebe. Das heißt, zwischen den Schaltstufen wird das Antriebsmoment kurz unterbrochen. Für den Fahrer zunächst etwas ungewöhnlich, da er normalerweise manuell eingreift. Aber neben diesem Automatik-Modus, bei dem auch noch zwei Programme unterschieden wer-

den, findet der Fahrer auch die Möglichkeit wie bei einer Tiptronik selber zu schalten, bildlich hier durch den Gangsteller angedeutet.

Statt des üblichen Schalthebels gibt es einen elektronischen Wählhebel mit zwei Gassen. In der linken Gasse bestimmt der Fahrer durch Tippen von „+“ oder „-“, das Hoch- oder Herunterschalten selbst. Der jeweils eingelegte Gang wird im Kombiinstrument angezeigt.

Steigerung des Fahrkomforts werden dem Fahrer allerdings einige Schaltvorgänge abgenommen. Ohne Zutun wird der erste Gang eingelegt, wenn das Fahrzeug steht. Vergißt der Fahrer hochzuschalten und dreht der Motor zu hoch, wird der nächst höhere Gang eingelegt. Wird umgekehrt die Leerlaufdrehzahl erreicht, wird zurückgeschaltet. Das Steuergerät verhindert zudem noch unsachgemäßes Schalten.

Die rechte Gasse enthält die Positionen „Stop“ für Parken, „R“ für Rückwärts, „N“ für Leerlauf und „E“ für Economy. Zusätzlich befindet sich in der Mittelkonsole eine „Eco-Taste“ zum Ein- und Ausschalten des Spar-Betriebes im Automatik-Modus.

In der Position „E“ mit eingeschalteter „Eco-Taste“ fährt der Lupo im sparsamen **Economy-Modus**. Er bedeutet, daß die Schaltpunkte verbrauchsoptimal gewählt werden. Der Motor arbeitet vorzugsweise im Bereich des niedrigsten Verbrauchskennfeldes. Wird volle Kraft gebraucht, beispielsweise zum Überholen, so läßt sie sich durch „Kickdown“ jederzeit abrufen.

Zudem ist im Economy-Modus die sogenannte Stop-Start-Funktion aktiv. Der Motor stellt sich nach vier Sekunden automatisch ab, wenn der Fahrer das Bremspedal tritt, beispielsweise an einer Ampel. Beim Loslassen des Pedals springt er sofort wieder an und die Fahrt kann fortgesetzt werden.

Nimmt der Fahrer während der Fahrt das Gas weg, so kuppelt die Elektronik aus. Der Wagen rollt im Freilauf ohne Verbindung zum Motor. Dieser läuft solange sparsam im Leerlauf weiter. Beim Tritt auf das Bremspedal wird wieder eingekuppelt, um die Bremswirkung des Motors zu nutzen. Gleichzeitig sinkt hier der Verbrauch auf Null, da jeder Dieselmotor eine Schubabschaltung besitzt, wodurch bei bremsendem Motor kein Kraftstoff eingespritzt wird.

Wenn der Schalthebel in Position „E“ ist, kann durch den „Eco-Taster“ auf der Mittelkonsole auch der sportlichere Automatikmodus aktiviert werden. Der Motor arbeitet mit höheren Schaltdrehzahlen, die Stop-Start-Funktion ist deaktiviert und das Getriebe schaltet im Schiebetrieb nicht den Leerlauf ein, so daß der Motor beim Gaswegnehmen bremst.

Der Fahrer kann also aus drei Betriebsmöglichkeiten auswählen, die den Charakter des Fahrzeuges bestimmen und natürlich auch über den Verbrauch entscheiden.

Endgültig bestimmend für den Verbrauch, das möchte ich hier noch mal hervorheben, ist die individuelle Fahrweise des Fahrers. Der minimalste Verbrauch ist im ECO-Modus, also Automatik und ECO-Betrieb mit sogar weniger als 2,99 Liter pro 100 km erreichbar.

In einer unabhängigen Sparrally, die im letzten Jahr von Prominenten in und um München durchgeführt wurde, hat sich beispielsweise folgende Verbrauchsverteilung ergeben. Wie sie sehen Verbräuche unter 3 Litern mit 2,4 bis zu 2,9 Litern pro 100 Kilometer.

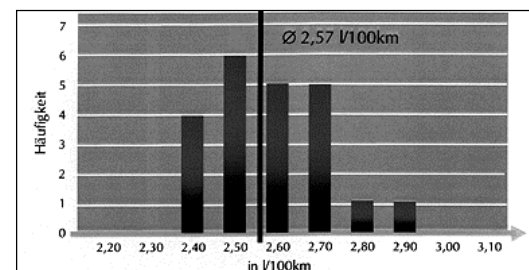


Abb. 14: Auswertung des Kraftstoffverbrauchs bei der Rallye Starnberg (104 km)

Und dabei muß der Kunde auf nichts verzichten, was er nicht schon aus dem normalen Serien-Lupo kennt und bekommt noch innovativere Technik dazu.

Lassen Sie mich hier nur nennen: die Viersitzigkeit, ABS, Gurtstraffer, Doppellairbag, Kopfstützen hinten, Aluminium-Räder, ein Direktschaltgetriebe mit Tiptronik. Also aus Kundensicht ein vollwertiges Fahrzeug. An dieser Stelle möchte ich Ihnen einen Ausschnitt aus einem Kundenbrief, der bei uns am 15. März diesen Jahres einging, vorlesen: „Denn, obwohl ein Wolf, wenn auch bloss ein kleiner, frisst unser Lupo wirklich nur kleinste Mengen, ist

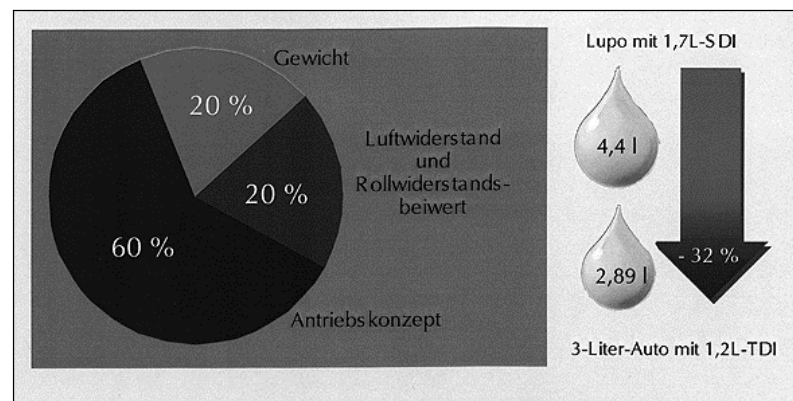


Abb. 15: Anteil der beteiligten Massnahmen am geringen Verbrauch

absolut handzahn, kommt immer sofort, schnurrt leise wie eine Katze, kann auch mal einen Überholspurt hinlegen, ist anschiemig und, natürlich, winterfest.“

Zum Abschluß werden Sie fragen, welche Maßnahme sich wie in der Reduzierung des Kraftstoffverbrauches auswirkt. Der Motor hat mit 60% den größten Anteil an der Verbrauchsreduzierung. Mit jeweils 20% sind die Gewichtsreduzierung und die Minimierung des Luftwiderstandes und Rollwiderstandsbeiwertes beteiligt. Gegenüber einem Lupo SDI eine Kraftstoffeinsparung von 32%.

Daß die Vorstellung des 3-Liter- Lupo mit dem unglaublichen Verbrauch von der Presse nicht einfach nur hingenommen wurde, können Sie sich sicherlich vorstellen und vielleicht haben Sie auch die gemischte Presse verfolgt. Alle renomierten Automobilzeitschriften, unter ihnen Mot, Autobild, AMS, ADAC-Motorwelt und auch andere publizierende Zeitschriften wie der Stern nahmen das Drei-Liter-Auto unter die Lupe. Berichtet wurde von bestätigenden Testverbrauch-Versuchen, über die Bestätigung des Fahrspaßes, beispielsweise in der Segelphase bis zu kritischen Stimmen, die trotz der Sparsamkeit den hohen Preis des 3-Liter Lupo bemängelten.

Und trotzdem oder vielleicht auch gerade deswegen liegt der Verkauf des 3-Liter-Lupo hoch über unseren Erwartungen von 3000 bis 4000 Fahrzeugen pro Jahr. Seit der Einführung im Juli gab es bis Ende Februar 2000 5.592 Auftragseingänge. An den Kunden wurden inzwischen 4.675 Fahrzeuge ausgeliefert.

Dabei stellt sich die Demographie der Käufer wie folgt dar:

- ca. 74% sind männlich
- das Durchschnittsalter beträgt 44 Jahre
- das Durchschnittseinkommen liegt mit 5.916 DM etwas höher als beim normalen Lupo-Kunden
- die Kunden zeichnen sich durch eine deutlich bessere Ausbildung
- und einem höheren Anteil an Geschäftsführern bzw. leitenden Angestellten aus.

Genutzt wird der 3-Liter Lupo bei 54% der Käufer als Erstwagen und bei 27% als Zweitwagen.

Natürlich gaben auch die ersten Kunden Ihr Feed-Back zu Ihrem neuerworbenen Produkt. 80% der Käufer waren mit Ihrem Wagen zufrieden. Insbesondere überzeugt durch den Kraftstoffverbrauch, die guten Fahr- und Motoreigenschaften und den guten Fahrkomfort. 75% aller Fahrten machten die Kunden im Automatik-Modus, wobei davon sogar 79% zudem noch im besonderen Spar-Modus fuhren. Auch Kundenwünsche sind bei diesem Auto vorhanden. Die Kundenwunschlister führen an: eine Servolenkung, die Klimaanlage, eine Zentralverriegelung und auch ein Schiebedach. An der Umsetzung sind wir, wie Sie sich sicherlich vorstellen können, schon dran.

Natürlich soll das Drei-Liter-Auto keine Spar-Eintagsfliege bleiben. Mit neuen Konzepten, wie der Benzin-Direkteinspritzung arbeiten wir an Sparprojekten auch für Benzin-Motoren. Alle

anderen Sparideen des 3-Liter Lupo versuchen wir für unsere anderen Großserienprodukte zu nutzen. Den Ausblick auf ein 2-Liter- oder sogar 1-Liter Auto vermag ich Ihnen leider nicht zu geben.

Zum Abschluß bleibt eigentlich nur festzuhalten, daß die eigentliche Herausforderung im Projekt 3-Liter Auto darin bestand, Leichtbaumaßnahmen, innovative Antriebstechniken und Maßnahmen zur Fahrwiderstandsreduzierung perfekt miteinander abzustimmen. Der Schlüssel zum Erfolg, 3-Liter Verbrauch in einem maximalen Fahrzeug, war die Integration der verbrauchsreduzierenden Einzelmaßnahmen zu einem Gesamtkonzept, dem 3-Liter Lupo.