

# ATZ

Juni 1997  
ISSN 0001-2785

D 10810

## AUTOMOBILTECHNISCHE ZEITSCHRIFT

für Forschung, Entwicklung, Konstruktion, Versuch und Produktion

*Mercedes-Benz  
Brake Assist*

*Schweißpunkte bei  
Karosseriemodellen*

*Nutzfahrzeug-  
Bremselektronik*



### Audi duo – das erste

VWGoA - Ex. 1003  
Volkswagen Group of America, Inc. - Petitioner

**DOCKET  
ALARM**

Find authenticated court documents without watermarks at [docketalarm.com](http://docketalarm.com).

# Der Audi duo – das erste serienmäßige Hybridfahrzeug



Bild 1: Die Technik des Audi duo

Fig. 1: Sketch of the Audi duo

Von Franz-Josef Paefgen  
und Marius Lehna

Als Resultat einer Entwicklung über mehrere Fahrzeuggenerationen bringt Audi nun ein Hybridfahrzeug in Serie. Dieses kann wahlweise mit einem Elektromotor oder von einem Turbodieselmotor mit direkter Einspritzung betrieben werden. Derzeit gibt es zum Verbrennungsmotor keine Alternative, die auch nur annähernd die gewohnten Fahrleistungen und Reichweiten bietet. Das Hybridautomobil stellt jedoch eine Lösung dar, die vom Fahrer kaum Umgewöhnung verlangt und dennoch innerhalb von Städten und Siedlungen ein emissionsfreies und geräuscharmes Fahren ermöglicht.

## 1 Einleitung

Im heutigen gesellschaftlichen Umfeld ist das Auto als Mittel der individuellen Mobilität unverzichtbar [1]. Außerdem spielt es zur Darstellung von Status und Lebenseinstellung eine wesentliche Rolle. Viele Entwicklungen in der Automobilindustrie zielen darauf ab, die Auswirkungen des motorisierten Individualverkehrs auf die Umwelt möglichst gering zu halten. Dabei gibt es verschiedene Ansätze, die zu prüfen, zu erproben und zu vergleichen

### 1.1 TDI mit Biodiesel

Die Verwendung von Pflanzenölmethylester gehört heute zum Stand der Technik. Die Qualität des alternativen Kraftstoffs ist in der Vornorm DIN V 51606 geregelt. Im Vergleich zum herkömmlichen Dieselmotor werden die Emissionen von Partikeln, Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid reduziert, während eine leichte Zunahme an Stickoxiden hingenommen werden muß. Die zur Verfügung stehenden Anbauflächen erlauben die Substitution eines nur geringen Anteils an petro-

### 1.2 Erdgas

Der Verbrennungsmotor mit Erdgas bietet bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen zwar Vorteile im Vergleich zu Benzin, erreicht jedoch nicht die günstigen Werte des Turbodieselmotors mit direkter Einspritzung. Für eine brauchbare Reichweite benötigt Erdgas ein zu großes Tankvolumen. Auch die entsprechende Infrastruktur zur flächendeckenden Versorgung fehlt noch. Erdgas stellt deshalb für Automobile keine befriedigende Lösung dar, bietet jedoch Chancen für Nutzfahrzeuge, die regel-

Hybridfahrzeug

The Audi duo –  
the First Hybrid Car  
Ready for Production



Die englische  
Version dieses  
Aufsatzes lesen Sie  
in **ATZ worldwide**.  
Sie können das  
englischsprachige  
Supplement der  
ATZ abonnieren.

Abo-Hotline:  
++49 / 6 11 /  
78 78 151

1.3 Wasserstoff

In Brennstoffzellen wird die chemische Energie einer Verbrennungsreaktion direkt in elektrische Energie umgewandelt. Dementsprechend werden hohe elektrische Wirkungsgrade erreicht. Für die Anwendung im Automobil kommen Polymer-Elektrolytmembran-Brennstoffzellen zum Einsatz, die sich durch hohe spezifi-

sche Stromdichte und kompakte Bauweise auszeichnen. Bis zum Serieneinsatz ist jedoch noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten, die voraussichtlich noch Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird. Für die weitere Zukunft ist dies jedoch die vielversprechendste Technik [4].

1.4 Elektroantrieb

Die Möglichkeiten des Elektroantriebs hängen in entscheidendem Maß von der Verfügbarkeit geeigneter Batterien ab. Derzeit werden keine Batterien angeboten, mit denen man ein Automobil unter Beibehaltung der gewohnten Fahrleistungen mit ähnlicher Reichweite betreiben könnte.

1.5 Hybridantrieb

Ausgehend von dieser Situation gibt es offensichtlich in naher Zukunft keine Alternative zum Verbrennungsmotor. Nischenlösungen, die das herkömmliche Auto nicht ersetzen können, sondern zusätzlich in Gebrauch kommen, sind nach unserem Verständnis keine Entlastung für die Umwelt. Spürbare Verbesserungen sind nur mit Konzepten zu erzielen, die in

entsprechenden Fahrzeugen mit heutigem Standard zum Einsatz kommen können. Daher sehen wir es als sinnvoll an, den Verbrennungsmotor mit einem Elektroantrieb zu kombinieren. So kann einerseits innerhalb von Städten und Siedlungen emissionsfrei gefahren werden, andererseits bleibt aber auch die Mobilität auf langen Strecken gewährleistet. Das in Bild 1 gezeigte Hybridfahrzeug Audi duo stellt die erste serienreife, alltagstaugliche Variante dieser Idee dar.

2 Technische Beschreibung  
des Audi duo

Bild 2 zeigt den langen Weg des Audi duo zur Serienreife. Bereits 1989 präsentierte Audi einen duo auf Basis des Audi 100 Avant quattro. In komplett überarbeiteter Form wurde dann 1991 die zweite duo-Generation dargestellt, mit der umfangreiche Feldversuche mit ausgewählten Fahrzeugnutzern durchgeführt wurden. Die Erprobung der Technik und Prüfung der Akzeptanz führten zur Entwicklung der dritten Generation und zur Serienreife.



Bild 2: Drei wichtige Entwicklungsschritte zum Serieneinsatz des duo

Hybridfahrzeug

Der Audi duo ist als Parallelhybrid ausgeführt. Der Antrieb wird also entweder durch das Turbodiesel- oder das Elektro- Aggregat erzeugt. Beide Aggregate arbeiten unabhängig voneinander. Dies bietet im Elektroantrieb den Vorteil, daß er vor Ort völlig emissionsfrei betrieben werden kann.

2.1 Basisfahrzeug

Ausgangsbasis für den duo ist der Audi A4 Avant mit Frontantrieb und Vierzylinder-Turbodieselmotor mit direkter Einspritzung (66 kW). Dieser Antrieb gilt hinsichtlich Leistung und Sparsamkeit als vorbildlich und kann selbstverständlich auch mit Pflanzenölmethylester betrieben werden. Der TDI-Motor ist über eine konventionelle Einscheiben-Trockenkupp- lung mit dem Fünfgang-Schaltgetriebe verbunden. Allerdings schaltet der Fahrer ohne Kupplungspedal, da ein hydraulisches Kupplungsmanagement für auto- matisches Kuppeln sorgt.

Das Basisfahrzeug wird um einige für den duo spezifische Umfänge ergänzt. Dazu gehört unter anderem die Batteriewanne anstelle der Reserveradmulde und verschiedene Aufnahmen für die zusätzliche Elektronik. Das höhere Fahrzeuggewicht wurde natürlich bei der Auslegung und Abstimmung von Fahrwerk und Bremsen berücksichtigt. Mit der Verwendung dieses Serienfahrzeugs ist sichergestellt, daß keine Kompromisse hinsichtlich Fahr- eigenschaften, Sicherheit, Reichweite, Raumangebot und Komfort gemacht werden. Der Fahrzeuginnenraum wird durch die zusätzlichen Komponenten praktisch nicht beeinträchtigt. Die Veränderung im Laderaum ist nur bei direkter Gegen- überstellung mit dem herkömmlichen Fahrzeug erkennbar. Der Kraftstoff- behälter wurde auf ein Volumen von 42 Liter verkleinert.

Zur Beibehaltung der Lenkkräftunter- stützung wird ein elektrohydraulisches System eingesetzt. Bremsservo, An- tiblockiersystem und elektronische Diffe-

rentialsperre stehen ebenfalls uneinge- schränkt zur Verfügung. Eine kraftstoff- betriebene Zusatzheizung sorgt dafür, daß auch beim Einsatz als Elektrofahrzeug der Innenraum beheizt und die Scheiben be- schlagfrei gehalten werden.

2.2 Batteriesystem

Die Auswahl des Batteriesystems bestimmt letztlich das ganze Konzept, denn das Bat- teriesystem hat maßgeblichen Einfluß auf die erzielbare Reichweite und die instal- lierbare Motorleistung sowie auf das Ge- samtgewicht, die Fahrleistungen und den Preis des Fahrzeugs. Da der duo als Seri- enfahrzeug angeboten werden soll, ist auch die Frage nach der Serientauglichkeit von großer Bedeutung. Um das optimale Bat- teriesystem auszuwählen, wurden die ver- fügbaren Konzepte nach den Kriterien Energiedichte, Leistungsdichte, Betrieb- stemperatur, Lebensdauer, Sicherheit, Um- weltverträglichkeit, Preis und Stand der Technik verglichen. Die wichtigsten Daten der Systeme sind in Bild 3 dargestellt.

Von den noch in Entwicklung befindlichen Batterien scheiden für diesen Anwen- dungsfall die Natrium-Nickel-Chloridbat- terie wegen ihrer hohen Betriebstempera- tur und die Zink-Brom-Batterie wegen zu geringer Leistungsdichte und Wirkungs- grad aus. Vielversprechend stellen sich hin- gegen das Nickel-Metallhydrid-System so- wie die Lithium-Batterie dar. Diese Kon- zepte werden weiterhin verfolgt und auch im praktischen Einsatz erprobt. Unter den bereits serientauglichen Systemen zeichnet sich die Nickel-Cadmium-Batterie durch hohe Leistungs- und Energiedichte aus. Sie kommt jedoch wegen der Verwendung von Cadmium nicht in Frage.

Somit stehen als Serienprodukte derzeit nur Bleibatterien zur Verfügung. Diese bieten eine Reihe von Vorteilen: War- tungsfreiheit, niedrige Betriebstempera- tur, guter Lade- und Entladewirkungs- grad sowie günstiger Preis. Bei der im duo eingesetzten Blei-Vlies-Batterie ist der Elektrolyt in einer Vliesmatte gebunden,

wodurch auch bei Unfällen keine Säure auslaufen kann. Auch das bereits eta- blierte vollständige Recycling von Bleibat- terien stellt einen entscheidenden Plus- punkt dar. Das ausgewählte Batterieele- ment besteht aus 22 in Reihe geschalteten Modulen und ist in einer Wanne unter der Ladefläche untergebracht. Es liefert 264 V Spannung und 10 kWh Kapazität. Dies entspricht im Stadtverkehr – je nach Fahrweise – einer Reichweite von bis zu 50 Kilometern.

Ein Batterie-Management-System (BMS) übernimmt die Steuerung und Überwa- chung aller Lade- und Entladevorgänge. Hierzu werden ständig Daten von allen 22 Modulen gesammelt und verarbeitet. Mit BMS wird die Batterie geschont, wodurch sich eine längere Lebensdauer ergibt. Trotz der hohen Belastung der Batterie in einem Hybridantrieb gehen wir von einer Lebensdauer von mindestens drei Jahren für die Batterien aus.

Im Kombiinstrument wird permanent der aktuelle Ladezustand der Batterie ange- zeigt, so daß der Fahrer jederzeit ablesen kann, wann nachgeladen werden muß. Das Aufladen kann an jeder haushaltsüb- lichen Steckdose erfolgen, wobei die Ver- wendung preiswerten Nachtstroms be- sonders sinnvoll ist. Das Ladekabel ist un- trennbar mit dem Fahrzeug verbunden. Solange es mit einer Stromquelle verbun- den ist, kann das Auto nicht gestartet wer- den. Auch die beim Bremsen freiwerden- de Energie wird zum Laden der Batterie genutzt. Der Elektromotor arbeitet dann ebenso wie im TDI-Betrieb als Generator.

2.3 Elektromotor

Bereits bei der Konzepterstellung wurde klar, daß ein den Ansprüchen genügender Elektromotor nicht auf dem Markt ver- fügbar war. Deshalb entschied man sich, eine neue Maschine zu entwickeln, die in Zusammenarbeit mit der Universität Leoben und der Firma Siemens realisiert wurde. Es handelt sich um eine perma- nenterregte Synchronmaschine, die mit

Batterietyp	Energiedichte (Wh/kg)	Leistungs- dichte (W/kg)	Betriebstem- peratur- be- reich (°C)	Lade- und Entladewir- kungsgrad (%)	Lebensdauer (Zyklen)	Kosten* (€/kWh)	Entwick- lungsstand
Blei-Gel	40	75	-20...+60	75 - 90	800	250	Serienprodukt
Blei-Vlies	40	75	-20...+60	75 - 90	800	250	Serienprodukt
Nickel-Cadmium	80	200	20...+50	80 - 90	1000 - 2000	1300	Serienprodukt
Nickel- Metallhydrid	100	100	0...+40	80 - 90	1000	1000	Serienprodukt
Makrom- Nickel-Chlorid	40	80	+40...+270	70...+80	1000 - 1500	100	Prototypen
Zink-Brom	100	100	0...+40	80 - 90	1000	1000	Prototypen

Bild 3: Vergleich der Batteriesysteme

Fig. 3: Comparison of battery systems

## Hybridfahrzeug

Wasser gekühlt wird. Sie zeichnet sich durch gute Wirkungsgrade im Teil- und Überlastbereich, hohe spezifische Leistung, großen Drehzahlbereich, geringes Gewicht, niedrigen Platzbedarf, fahrgerechte Konstruktion sowie Verschleiß- und Wartungsfreiheit aus. Alle diese Kriterien werden bei vertretbaren Kosten erfüllt.

Mit einem Gewicht von nur 22 Kilogramm leistet der Elektromotor 21 kW. Er ist kurzfristig bis 35 kW überlastbar und erreicht ein Drehmoment von 20 Nm. Der E-Motor arbeitet mit maximal 10000 Umdrehungen pro Minute. Das in das Getriebegehäuse integrierte sogenannte Vorgelege paßt diese Drehzahl den Anforderungen des Antriebsstrangs an, Bild 4. Da der Elektromotor auf die Getriebeeingangswelle wirkt, kann der Fahrer auch im Elektroantrieb alle Gänge des Getriebes nutzen.

### 2.4 Betriebswahlschalter

Der Audi duo bietet dem Fahrer drei Betriebsmöglichkeiten, die er an einem Schalter in der Mittelkonsole anwählen kann:

1. Nur Dieselmotor
2. Nur Elektrobetrieb
3. Hybridantrieb.

Beim Hybridantrieb erfolgt der Wechsel der Antriebsarten automatisch je nach Anforderungen des Fahrbetriebs. Für lange Strecken wird normalerweise ausschließlich der Dieselmotor benutzt. Bewegt man sich in Gegenden, wo herkömmlich angetriebene Fahrzeuge stören oder nicht zugelassen sind, läßt sich auf reinen Elektrobetrieb schalten.

Die Normalstellung, die nach dem Start automatisch aktiv ist, repräsentiert den Hybridantrieb. Je nach Anforderungen des Fahrbetriebs wird vollautomatisch zwischen Elektro- und Dieselantrieb gewechselt. Bis zum Kick-Down-Punkt übernimmt die Synchronmaschine den Antrieb. Durch kräftiges Gasgeben wird dann ruckfrei auf den Dieselmotor umgeschaltet. Im Stadtverkehr, insbesondere im Stop-and-Go, kommen die Vorteile des Elektroantriebs voll zum Tragen, denn dieser benötigt nur dann Energie, wenn das Fahrzeug auch tatsächlich bewegt wird.

Die Einbindung eines zusätzlichen Antriebs in ein vorhandenes Fahrzeug erfordert eine komplexe Antriebssteuerung, die in Bild 5 dargestellt ist.

### 3 Fahrleistungen

Im Dieselmotor erreicht der duo ähnliche Fahrleistungen wie das Basisfahrzeug. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 170

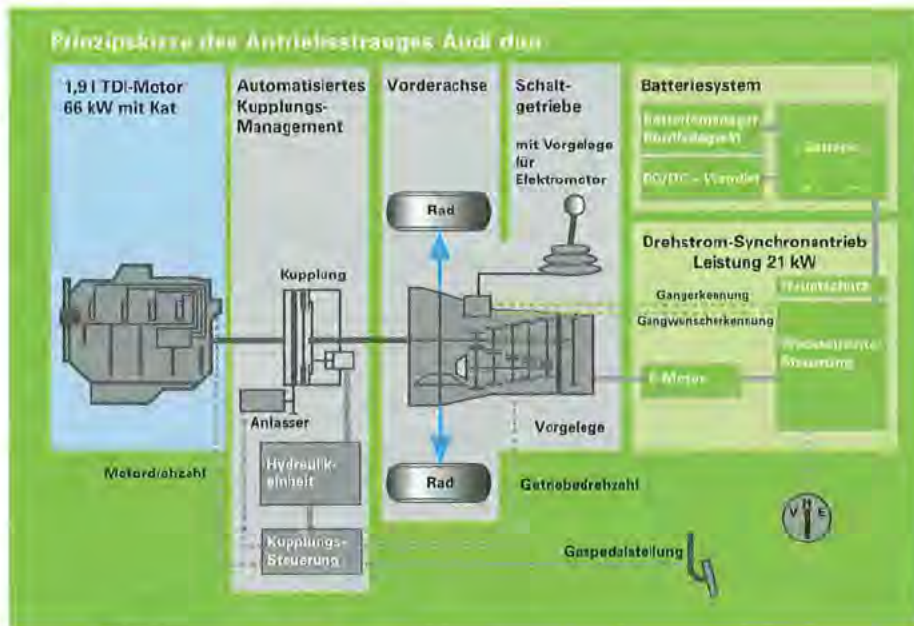


Bild 4: Prinzipdarstellung des Antriebsstrangs

Fig. 4: Sketch of the drive train principle

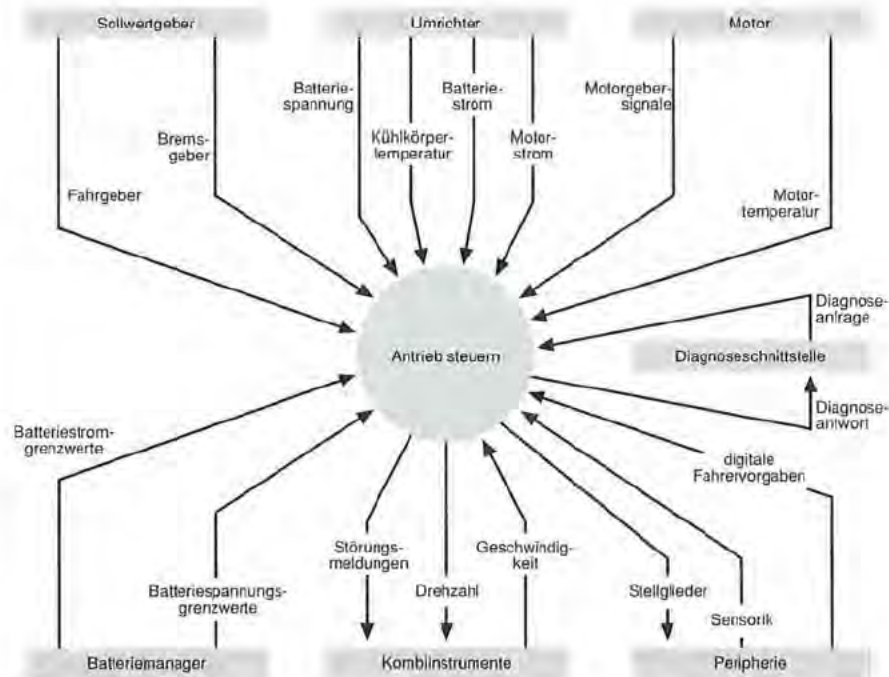


Bild 5: Regelstruktur der Antriebssteuerung

Fig. 5: Sketch of the drive train management

Elektrobetrieb läßt sich der duo in 9,5 Sekunden von 0 - 50 km/h beschleunigen; die Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird elektronisch begrenzt, um ungewolltes Entladen der Batterie bei Überlandfahrten zu vermeiden. Die Reichweite mit dem Dieselmotor beträgt mehr als 700 Kilo-

### 4 Ganzheitliche Betrachtung

Ein Fahrzeug mit zwei Antrieben ist zwangsläufig schwerer als ein herkömmliches. Da ein im Kraftstoffverbrauch führendes Basisfahrzeug gewählt wurde

# Explore Litigation Insights

Docket Alarm provides insights to develop a more informed litigation strategy and the peace of mind of knowing you're on top of things.

## Real-Time Litigation Alerts



Keep your litigation team up-to-date with **real-time alerts** and advanced team management tools built for the enterprise, all while greatly reducing PACER spend.

Our comprehensive service means we can handle Federal, State, and Administrative courts across the country.

## Advanced Docket Research



With over 230 million records, Docket Alarm's cloud-native docket research platform finds what other services can't. Coverage includes Federal, State, plus PTAB, TTAB, ITC and NLRB decisions, all in one place.

Identify arguments that have been successful in the past with full text, pinpoint searching. Link to case law cited within any court document via Fastcase.

## Analytics At Your Fingertips



Learn what happened the last time a particular judge, opposing counsel or company faced cases similar to yours.

Advanced out-of-the-box PTAB and TTAB analytics are always at your fingertips.

## API

Docket Alarm offers a powerful API (application programming interface) to developers that want to integrate case filings into their apps.

## LAW FIRMS

Build custom dashboards for your attorneys and clients with live data direct from the court.

Automate many repetitive legal tasks like conflict checks, document management, and marketing.

## FINANCIAL INSTITUTIONS

Litigation and bankruptcy checks for companies and debtors.

## E-DISCOVERY AND LEGAL VENDORS

Sync your system to PACER to automate legal marketing.