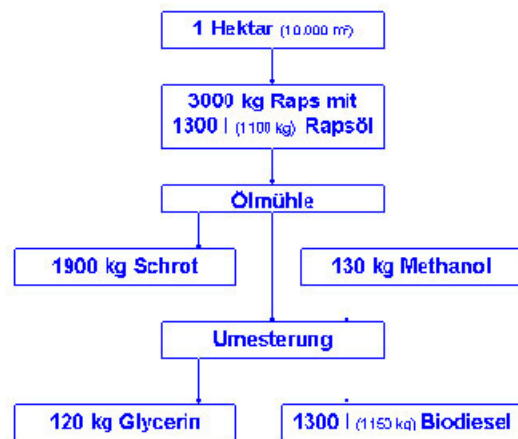


Biodiesel

Aufgabe

Biodiesel, eigentlich müsste er 'Rapsölmethylester' (siehe rechts) heißen, ist als (zum größten Teil) nicht fossiler Kraftstoff umweltfreundlich, weil er aus nachwachsendem Raps gewonnen wird, der bei seinem Wachstum genau so viel Kohlendioxid verbraucht, wie bei der Verbrennung erzeugt wird. Die Umbauarbeiten z.B. zum Schutz der Leitungsmaterialien halten sich in Grenzen, bzw. werden vom Hersteller gegen geringen Aufpreis erledigt. Es gibt nur geringe Minderleistung und keine Schwefelverbindungen. Überhaupt sind die Emissionen (Partikel, CH und HC) in der Regel geringer. Außerdem ist Sauerstoff enthalten, was für die möglichst saubere Verbrennung im Motor einen Vorteil darstellt. Trotzdem ist die Erzeugung von Biodiesel nicht die Lösung unserer Umweltprobleme. Es stehen nicht genügend Anbauflächen zur Erzeugung eines nennenswerten Anteils am Kraftstoffbedarf zur Verfügung. Vielleicht kann der Biodiesel irgendwann ca. 5% des Dieselanteils in Deutschland übernehmen. Außerdem sind die Subventionen (Bauern und Steuernachlass bis zu 1 Milliarde Euro) sehr hoch. Der Preis an der Tankstelle ist ein politischer Preis.



Funktion

Biodiesel ist ähnlich wie **Bremsflüssigkeit** hygroskopisch und wirkt auf lackierte Flächen wie ein Lösungsmittel. Der Betrieb mit Biodiesel muss vom Hersteller ausdrücklich freigegeben sein, sonst gibt es keine Garantie bei Schäden an der Einspritzanlage. Der Betrieb mit reinem Biodiesel ist - nicht nur im Winter - bei Fahrzeugen der neueren Diesel-Generation nicht immer unproblematisch, auch wenn diese die Herstellerfreigabe besitzen. Ihm müssen dann noch mehr Additive beigemischt werden. Vorsicht also bei Betrieb von Sommer-Biodiesel im Winter. Bei tiefen Temperaturen empfiehlt es sich, normalen Dieselkraftstoff zu tanken bzw. beizumischen. Die Cetanzahl ist zwar höher, aber leider ist der Heizwert geringer. Dies kann bis zu 8% Mehrverbrauch bedeuten. Eine Zukunft hat Biodiesel auf jeden Fall, wird es doch schon jetzt dem normalen **Dieselmotorkraftstoff** beigemischt. Auch wenn es hoch subventioniert wird, es macht uns unabhängiger vom Erdöl.

Kraftstoff aus Pflanzenöl

Aufgabe

Rapsöl ist wohl in keinem Fall vom Hersteller freigegeben. Bezüglich CO₂-Emissionen hat es die gleichen Vorteile wie der ebenfalls nachwachsende Biodiesel. Die Umrüstung kostet zwischen 2500 (Pkw) und 5000 Euro (Lkw). Sie betrifft Veränderungen am Einspritzsystem (Druck und andere Düsen) und besonders bei der Vorwärmung. Schwieriger werden diese Veränderungen bei Common Rail und Pumpedüse sein (in Vorbereitung).



Funktion

Schwierig ist auch die Beschaffung von Pflanzenöl. Während man einen Pkw zur Not noch mit Literflaschen aus dem Supermarkt (ca. 50 Cent/l) betanken kann, ist dies bei Lkw wohl unmöglich. Also bleibt nur die Bestellung größerer Einheiten (ca. 43 Cent/l) mit häuslicher Lagerung oder für Tankstellen bei Speditionen. Bei der Berechnung der Ersparnis muss also auch noch der Aktionsradius einbezogen sein.

Die Umrüster versprechen, alle Schwierigkeiten beim Winterbetrieb überwunden zu haben. Werkstätten berichten allerdings immer noch von Schäden am Einspritzsystem. Die (ohnehin bei Diesel geringen) Emissionen an Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoff sollen um 50% geringer sein. Außerdem wird ein deutlich geringerer Rußausstoß in Aussicht gestellt.

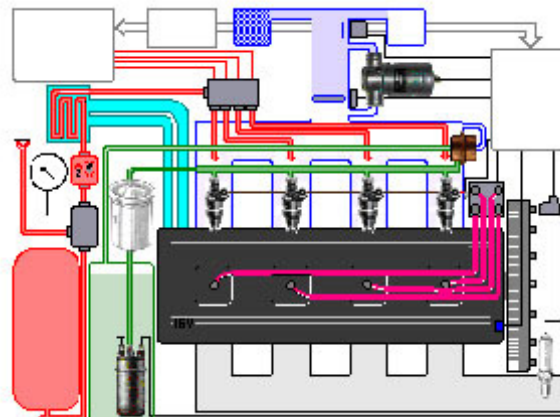
Die wirtschaftlichen Vorteile beruhen auf der unterschiedlichen Besteuerung von Pflanzenöl gegenüber normalem Kraftstoff. Es wird die Mineralölsteuer eingespart. Dies allerdings nur, solange der Anteil der Rapsölfahrer(innen) relativ klein bleibt. Je mehr es werden, desto größer die Bereitschaft des Gesetzgebers, diese Lücke zu schließen.

Autogasbetrieb

Aufgabe

Vielfahrer freuen sich an dem deutlich geringeren Kraftstoffpreis (2005: ca. 0,50 Euro/kg gegen 1,20 Euro/Liter) bei im Gegensatz zum **Dieselmotor** gleich bleibenden Steuern und dem auch in den meisten Nachbarländern dichten Tankstellennetz. Sogar ein Umbau kann

sich lohnen. Während die variablen Kosten bei Erdgasbetrieb auch durch geringeren Verbrauch günstiger sind, ist die Umrüstung trotz Erdgas-Förderung bei Autogas günstiger. Es gibt auch Nachrüstsätze nur für die Reserveradwanne. Genau wie beim **Erdgasbetrieb** bleibt das Motoröl sauberer und die Zündkerzen müssen seltener gewechselt werden müssen. Weil Autogas schwerer als Luft ist, gibt es gesetzliche Beschränkungen für Tiefgaragen. Ansonsten kostet der größere Zusatztank zwar Raum, ist aber wegen der sehr geringen Druckbelastung von 5 - 15 bar relativ leicht. Nur für den Kaltstart muss immer noch mindestens eine Restmenge Benzin an Bord sein.



Funktion

Es gibt (monovalente) Fahrzeuge für den reinen Autogasbetrieb wie z.B. Gabelstapler. Auf der Straße fahren allerdings, wenn es sich nicht gerade um Stadtbusse oder Taxen handelt, meist nur Fahrzeuge, die zwischen Autogas und Benzin umschaltbar sind (bivalenter Antrieb). Wegen der zu geringen Verdichtung im Benzinbetrieb ist bei dieser Antriebsart mit einem Mehrverbrauch von ca. 10% zu rechnen. Moderne Motoren mit **Klopfsensoren** können prinzipiell besser abschneiden. Ein gemeinsames oder wie oben im Bild ein besonders für den Autogasbetrieb zuständiges Steuergerät sorgt über Magnetventile für die Verdampfung und Druckreduzierung. Über Düsen gelangt das Autogas abhängig von Saugrohrdruck, Lamdasondenspannung, Drosselklappenstellung, Motordrehzahl u.a. in die Saugrohre der einzelnen Zylinder.

Entwicklung

Die ersten nachgerüsteten Anlagen erhielten neben dem Tank mit dem Füllanschluss noch den Druckminderer und den Wärmetauscher, der nur in damaligen Motorräumen unterzubringen war. Dann wurde der Vergaser abgebaut und ein Stück Ansaugleitung mit Flanschen und Düsen rundum zwischengeschaltet. Über einen zusätzlichen Unterdruckanschluss ist eine Mengensteuerung möglich. Ein Magnetventil ermöglicht die Abschaltung.

Das System überlebte auch noch die Einführung der Lambdaregelung. Dazu musste allerdings die Gaszufuhr elektronisch über Schrittmotoren geregelt werden. Es war sogar schon ein Diagnoseanschluss möglich.

Dann wurde es endgültig Zeit für die Gas-Einspritzung. Es begann mit Zentraleinspritzung und führte - wie beim Benziner auch - zur Mehrpunkteinspritzung (Bild oben). Vorläufiges Ende der Entwicklung ist das Einspritzen von flüssigem Autogas, bei dem der Verdampfer eingespart wird.

Erdgas

Aufgabe

Die noch vorhandenen Erdgasvorkommen sind eindeutig höher als die von Erdöl. Es gibt Länder wie z.B. Italien, wo Erdgas mit etwa 400.000 Nutzern (2005) wesentlich stärker akzeptiert ist als in Deutschland (30.000 Nutzer). Vorteilhaft sind die modernen Einspritzsysteme mit Lambdaregelung, erlauben sie doch, evtl. vorhandene Unterschiede in der Erdgasqualität auszugleichen. Zurzeit wächst auch das Tankstellennetz, an das bei der zurzeit geringeren Reichweite von Erdgas-Fahrzeugen eigentlich höhere Anforderungen gestellt werden. Abgesehen von der Verriegelung der Kupplung unterscheidet sich Erdgas tanken nicht sehr vom gewöhnlichen Tanken (Bild). Doch ein wenig, denn die Finger bleiben - im Vergleich z.B. zum Dieselmotorkraftstoff) sauberer und der Tank wird je nach Druckverhältnissen an der jeweiligen Tankstelle unterschiedlich voll.



Funktion

Die Energiedichte von Erdgas aus Methan-Ethan (ca. 90 zu 10%) beträgt mit dem niedrigsten Kohlenstoffgehalt aller Kohlenwasserstoffe nur etwa 60% von Benzin. Zum Dieselmotorkraftstoff ist der Abstand noch größer. In Volumen ausgedrückt vervierfacht sich die Tankgröße. Deshalb reicht die Tankfüllung eines durchschnittlichen bivalenten Fahrzeugs auch nur etwas mehr als halb so weit wie bei Benzinbetrieb. Die Tankstelle in der Nähe wird also häufiger gebraucht.

Auch hier ist manches anders. Der Tankvorgang lässt zwar keine unangenehmen Gase frei werden, dauert aber etwa doppelt so lange. Der Aufwand für die Tankstelle ist größer, muss doch das Erdgas zunächst getrocknet und gefiltert werden, bevor es auf ca. 200 bar komprimiert in den Speicher gelangt. Allerdings ist bei einem Anschluss an das Gasnetz kein Tankwagen mehr nötig.

Günstig für den monovalenten (nur Erdgasbetrieb) Fahrbetrieb ist die sehr hohe Motoroktanzahl von 120. Damit wäre bei entsprechend ausgelegtem Ottomotor vielleicht sogar eine geringe Verbrauchseinsparung und Leistungssteigerung möglich. Ein bivalentes System, das über den Klopfsensor auf die Zündung einwirkt, kann dieses Potenzial meist nicht ganz nutzen. Hier bleibt nur die Hoffnung auf die **variable Verdichtung**. Auch die Füllkapazität und damit die Reichweite lässt sich verbessern. Zwar werden die Fülldrücke wohl so schnell nicht erhöht, aber es könnten, entsprechend dem Flugzeugbau, Holme und andere (ungefährdete) Teile der Karosserie für die Füllung genutzt werden. Je mehr potentielle Käufer es gibt, umso mehr wird die Automobil-Industrie schon bei der Konstruktion von Fahrzeugen auf sie reagieren.

Erdgasbetrieb

Vorteile

Durch Erdgasbetrieb können die Kosten durch Umschalten von Benzin auf Ergas für **Vielfahrer** um deutlich mehr als 50% gesenkt werden. Derzeit (2005) steht einem Literpreis von ca. 1,20 Euro bei Benzin ein kg-Preis von ca. 75 Cent bei Erdgas gegenüber. Die reduzierte Mineralölsteuer ist bis 2020 garantiert. An einer Erdgas-Tankstelle ist der Kunde wirklich noch König und wird sogar mit Gutscheinen u.a. gelockt.



Umweltfreundlich sind erdgasbetriebene Fahrzeuge allemal. Das sieht man schon daran, dass bei Erdgasbetrieb das Öl sauberer bleibt und die Zündkerzen seltener gewechselt werden müssen. Da Erdgas im Gegensatz zu Autogas leichter ist als Luft gibt es keine generellen gesetzlichen Beschränkungen für Tiefgaragen.

Nachteile

Man muss eine Explosion wirklich nicht fürchten. So viele Bauteile, die allein der Sicherheit dienen, hat wohl kaum ein anderes System im Kfz. Zusätzlich ist Erdgas mit Geruchsstoffen versetzt. Ausströmendes Erdgas ist dadurch leicht wahrzunehmen, entsprechende Maßnahmen können lange vor Bildung eines zündfähigen Gemischs eingeleitet werden. Die Gasbehälter (Bild 2) aus Stahl und neuerdings auch aus Faserverbundstoffen werden für eventuelle Unfälle einer Stoßprüfung unterzogen. Schwerer im wahrsten Sinn des Wortes wiegen die Nachteile des höheren Fahrzeuggewichts, des bei nachträglichem Einbau geringeren Nutzraums und der Kosten für den Umbau bzw. für das umgerüstete Neufahrzeug, der deutlich höher als bei **Autogas** ist. Zusätzliche Nachteile: zurzeit max. 300 km Aktionsradius bei Erdgasbetrieb. Unterschiedlich ist die/das Drehmoment/Leistung/Wirkungsgrad bei Erdgasbetrieb. Es gibt Motorsteuerungen die das geänderte Zündverhalten von Erdgas (Oktan­zahl 120) so gut nutzen, dass kein Unterschied zum Benzinbetrieb spürbar ist. Bei monovalentem Betrieb kann der Motor noch besser auf den andersartigen Kraftstoff ausgelegt werden. Vielleicht wird mit der Einführung der **variablen Verdichtung** auch bei bivalentem Betrieb die höhere Oktanzahl von Erdgas noch besser nutzbar sein. Auch müssen die Zusatz­tanks nicht immer kostbaren Nutzraum verschlingen, wenn dafür den Anteil des Benzintanks verringert wird. Deshalb und auch wegen der hohen Kosten (2500 - 3500 Euro) ist eine Nachrüstung nicht sehr sinnvoll. Besser ist die komplette Konstruktion ab Auslieferung.

Funktion

Erdgas wird in einem oder mehreren dickwandigen Behältern (Bild 3) unter einem Druck von ca. 200 bar gespeichert. Sind diese unter dem Fahrzeugboden angebracht, so müssen sie alle 5 Jahre gegen relativ hohe Gebühren geprüft werden. In der Leitung folgen ein Manometergeber zur Tankanzeige und der Anschluss für den Einfüllstutzen. Dieser ist nicht kompatibel zu dem von Autogas-Anlagen, die erheblich niedrigeren Druck (max. 20 bar) haben. Es folgen das Sicherheitsventil und ein weiteres Ventil, das den Hochdruck abhängig von der Kühlmitteltemperatur auf ca. 8 - 10 bar reduziert. Es gibt Fahrzeuge für den reinen Erdgasbetrieb und zwischen Erdgas und Benzin umschaltbare (bivalenter Antrieb). Letztere können über ein gemeinsames oder wie oben im Bild zwei getrennte Steuergeräte verfügen. Das Erdgas-Steuergerät sorgt über Magnetventile für die Eindüsung in die Saugrohre der einzelnen Zylinder abhängig von Saugrohrdruck, Lamdasondenspannung, Drosselklappenstellung und Motordrehzahl. Gestartet wird meist mit Benzin und vereinzelt schon direkt mit Erdgas. Bei Störungen im Erdgassystem oder dessen Druckabfall unter ca. 10 bar wird automatisch auf Benzin umgeschaltet. Wegen der Temperaturabnahme durch Druckminderung muss das Erdgassystem an den Kühlmittelkreislauf angeschlossen sein.

Wasserstoffbetrieb



Aufgabe

Mit den bisher verwendeten (fossilen) Energieträgern geht es irgendwann einmal zu Ende. Schon jetzt sind die Nachteile der ziemlich einseitigen Abhängigkeit vom Erdöl zu spüren. Vielleicht ist es politisch noch mehr als von der Größe der Vorräte her geboten, aus dieser Sackgasse heraus zu steuern. Was passiert mit denjenigen auf der Welt, die unseren Komfort und unsere Mobilität noch nicht haben?

Wir brauchen langfristig Fahrzeuge, die ohne herkömmliche Energie auskommen und vor allem **ohne Kohlendioxid** im Abgas. Herkömmliche Techniken reduzieren deutlich die Schadstoffe, haben aber keine nennenswerten Fortschritte bei den Kohlendioxid-Emissionen gebracht.

Funktion

Das Bild oben zeigt eine noch relativ einfach zu realisierende Möglichkeit. Hier ist ein Verbrennungsmotor in einem Bus auf Wasserstoffantrieb umgestellt. Wasserstoff steht im Gegensatz zum heutigen Kraftstoff unbegrenzt zur Verfügung und hat eine Oktanzahl, die ungefähr der des Normalbenzins entspricht. Er gehört zu den erneuerbaren Energieträgern. Da die elektrische als ebenfalls erneuerbare Energie nicht beliebig lange gespeichert und beliebig weit transportiert werden kann, zeichnet sich ein Vorteil für den Wasserstoff ab.

Nachteilig sind bei diesem Projekt die Lagerung und der Transport. Während Wasserstoff stationär in großen Tanks unter Druck gehalten werden kann, reicht bei Fahrzeugen die Energiedichte nicht aus. Eine gewisse Reichweite wäre z.B. bei sehr hohem Druck zu erzielen. Da bei Unfällen auf keinen Fall hochexplosiver Wasserstoff austreten darf, müssen die Behälter sehr stabil und damit schwer sein.



Eine andere Möglichkeit ist die Verflüssigung von Wasserstoff, wobei aber die Temperatur dauerhaft unter -250°C bleiben muss. Dies gelingt mit Isoliermaterial z.B. aus der Raumfahrt drei Tage lang, aber danach entweicht Energie oder sie wird zur

Abkühlung gebraucht. Das nebenstehende Bild zeigt den Einfüllstutzen für solch einen Wasserstofftank.

Derzeit wird die Brennstoffzelle in Busse als Versuchsträger eingebaut, die bei 350 bar ca. 200 km Reichweite erzielen, also bedeutend weniger als die von Dieselmotoren angetriebenen. Etwas Erfolg versprechender ist die Anlagerung von Wasserstoff im Tank an Metallhydride oder sogar an flüssigen Stoffen, z.B. Borax. Zwei Tanks im Fahrzeug wären dann erforderlich und man würde dann an der Tankstelle nicht nur eine Flüssigkeit aufnehmen, sondern gleichzeitig auch abgeben.

Brennstoffzellen-Fahrzeug



Vorteile

Das hört sich richtig gut an. Die **Brennstoffzelle** kann in einer serienmäßigen A-Klasse-Langversion mit leicht erhöhtem Boden vier Personen und etwas Gepäck mit einer Tankfüllung ca. 150 km weit transportieren. Die Bedienung ähnelt der einer stufenlosen Automatik und es ist mit 65 kW eine (elektronisch begrenzte)

Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h erreichbar. Einzig die Beschleunigung lässt trotz 210 Nm Drehmoment wegen der über 300 kg Mehrgewicht Wünsche offen.

Während wir uns hier noch im Versuchsstadium befinden, kann man anderswo die Brennstoffzelle schon kaufen. Als Privatmann, um z.B. irgendwo draußen längere Zeit mit dem Laptop zu arbeiten und bei Fahrzeugen als besonders leiser Motor für ein U-Boot.

Funktion

Die A-Klasse von Mercedes ist natürlich von Beginn an ein wenig auf diesen Einsatz vorbereitet worden. Kaum ein anderes Fahrzeug hat einen doppelten Boden (Sandwich-Bauweise) dieser Ausprägung. Das Streben nach Höhe sieht man dem Auto von außen an. So sitzen die Insassen auf zwei Aluminium/Kevlar-Gastanks (350 bar), einer luftgekühlten NiMh-Batterie als Puffer und der Brennstoffzelle, die zu ihrer eigenen Schonung etwas mehr Leistung hat, als der Motor maximal benötigt. Hinzu kommt im Fahrzeugboden noch ein umfangreiches Systemmodul zur Steuerung der hydraulisch/pneumatischen und elektrischen Vorgänge. Dazu gehören auch wichtige Sicherheitseinrichtungen gegen Wasserstoffleckagen und z.B.

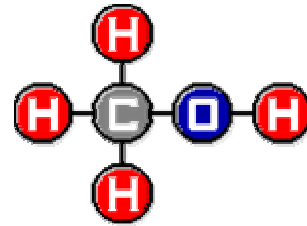
Hochspannungsübertragung auf die Karosserie bei Unfällen.

Im Motorraum ist der Verbrennungsmotor einem wesentlich kleinere Elektromotor tief unten am Achsantrieb gewichen, dessen Übersetzung zu den Antriebsrädern steht's gleich bleibt. Ein riesiger Kühler unter der Motorhaube erinnert an die Arbeitstemperatur der Brennstoffzelle von 80°C. Davon dürfte dann auch die Innenraumheizung profitieren. Die Luftfilterkapazität wurde verdoppelt. Auch die serienmäßige Batterie ist geblieben. Als Zusatzaufgabe sorgt sie für eine Beheizung in der Brennstoffzelle. Sonst wäre ein sofortiger Fahrtantritt bei Temperaturen unter 5°C nicht möglich. Natürlich hat ein Brennstoffzellenauto auch einen Auspuff, denn irgendwie muss flüssiges/dampfförmiges Wasser ins Freie gelangen.

Das Betanken ist in Aufwand und Zeit mit heutigen Fahrzeugen vergleichbar. Um die Reichweite zu erhöhen, sind Tanks mit 700 bar geplant. Auch wenn man von einem Serienfahrzeug als Basis ausgeht, die Veränderungen - natürlich alle in Handarbeit - sind erheblich. So darf man dem Projekt den Preis von beinahe 1 Million Euro nicht anlasten. Fährt man allerdings mit dem Auto, so geht einem der Preis nicht aus dem Kopf...

Methanolbetrieb

Kraftstoffart	Spez. Heizwert (kJ/kg)	Dichte bei 15°C (g/cm ³)	Luftbedarf kg/kg
Benzin	42.700	0,745	14,7
Methanol	19.700	0,795	6,5



Vorteil

Methanol wird unter Druck und Wärme z.B. aus **Erdgas** hergestellt. Damit würden wir von Erdölvorkommen unabhängiger. Der **Verbrennungsmotor** kann leicht auf Methanolbetrieb umgestellt werden. Gegenüber dem **Wasserstoff** hat Methanol den Vorteil, dass zurzeit (2005) schon mehrere Zehntausend Tonnen jährlich produziert werden. Methanol kann auch in **Brennstoffzellen** mehr oder weniger direkt in Strom umgewandelt werden. Allerdings hat die anfänglich relativ positive Einstellung der Kfz-Entwickler Methanol gegenüber inzwischen deutlich nachgelassen. Im Moment haben Kraftstoffe auf Ethanolbasis z.B. wegen ihrer höheren Verdampfungswärme mehr Beachtung.

Funktion

Der Siedepunkt von Methanol liegt zwischen dem von leichtsiedendem Benzin und Diesel. Es ist für den Menschen sehr giftig und hat nur knapp den halben Energiegehalt von Benzin/Diesel, ein Fünftel von Wasserstoff. Wird eine Brennstoffzelle direkt mit Methanol betrieben, so entsteht - anders als bei Wasserstoff - das schädliche CO. Um dieses in CO₂ umzuwandeln, muss man die - ohnehin schon teure - Membrane der Brennstoffzelle mit sehr viel mehr zusätzlichen Katalysator-Werkstoffen versehen. Leider sinkt durch diese ganzen Prozesse auch der Wirkungsgrad.

Natürlich wäre der komplette Aufbau eines Tankstellennetzes für gashaltige Stoffe sinnvoller. Vielleicht ist der Erdgasbetrieb von Fahrzeugen hier eine Hilfe. Aber solange ein dichtes Netz von Wasserstoff-Tankstellen bzw. die Herstellung von Wasserstoff über Photovoltaik im eigenen Haus nicht vorhanden ist, muss eventuell auf Methanol als Treibstoff zurückgegriffen werden. Es kann getankt werden und gibt dem Fahrzeug einen beachtlichen Aktionsradius. Wahrscheinlich ist die Energiedichte z.B. von Dieselmotoren mit z.T. über 1000 km Aktionsradius ohnehin nie wieder erreichbar. Es gibt einen weiteren Grund für die Anwendung von Methanol. Zusammen mit einer Brennstoffzelle tritt es in Konkurrenz zum Akku. Wenn z.B. sehr langer Betrieb eines Laptops ohne Stromversorgung gefragt ist, so könnte sich die Brennstoffzelle trotz des sehr hohen Preises lohnen. Im Fahrzeug ist man wohl erst ab 2025 so weit. Es gibt allerdings schon erste Versuche, mit der Brennstoffzelle die Kombination Generator/Batterie zu ersetzen.

Spezifischer Heizwert 19.900 kJ/kg (Mittelwert)

Hybridantrieb

Aufgabe

Den Hybridantrieb gibt es schon sehr lange, allerdings nicht zum Kraftstoff sparen, sondern um Rennen (1919) zu gewinnen. Die Energieeinsparung von realistischen 10% - aber nur im Stadtverkehr - steht bei Umstellung auf Hybridantrieb nicht im Vordergrund, soll aber zusätzlicher Anreiz zum Kauf eines solchen, sicherlich teureren Fahrzeuges sein. Erheblich ist die Minderung von Emissionen, besonders z.B. im Stau. Diese Antriebsart scheint in USA zu boomen. Manche Städte lassen nur noch Hybridfahrzeuge ohne Bezahlung herein. Eine bessere Lösung auch auf längeren Strecken wäre wohl die **Brennstoffzelle**, aber das wird wohl noch etwas dauern.



Vorbereitung

Von Hybridantrieb spricht man, wenn neben dem herkömmlichen Fahrzeugmotor noch ein anderer - möglichst auf einer anderen Energieform basierender Motor ganz oder teilweise mit antreibt. Schon jetzt sind Neuerungen in Fahrzeugen und/oder in Entwicklungslabors sichtbar, die für den Einstieg in die Hybridtechnik in naher Zukunft gewiss hilfreich sind. Die Einführung des 42-V-Netzes, kürzer bauende Getriebe bzw. Motoren und automatisch betätigte Kupplungen und Getriebe zählen dazu. Auch die Entwicklung neuer, bei geringerem Gewicht leistungsfähigerer Batterien muss hier genannt werden.



Entwicklung

Starter, Generator und Schwungrad werden wohl durch **einen** Elektromotor ersetzt werden, der auf die Verbindung zwischen Motor und Getriebe zugreift (paralleler Hybrid). Über Riementrieb auf die Kurbelwelle zugreifende Systeme sind wohl nur für die Zeit der Umstellung zu erwarten. Um direkt auf die Kurbelwelle zugreifen zu können, muss der Elektromotor aber nicht unbedingt zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe angeordnet sein. Er kann auch am Ende die Hauptwelle des Getriebes antreiben. Beim seriellen Hybridsystem gibt es keine Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Antrieb.

Er ist mit dem Generator verbunden. Selbstverständlich muss die Abgabe- und Speicherleistung der herkömmlichen **Batterie** gesteigert werden. Hier jedoch unterscheiden sich die Systeme. Während 'milde' Hybride nur von etwas mehr als der Verdoppelung der Batteriekapazität bei stark erhöhter Abgabeleistung ausgeht, ist diese bei anderen Systemen erheblich, natürlich zu Lasten des Gewichts.

Aufgabenverteilung

Als **Generator** erhält der Elektroantrieb die zusätzliche Aufgabe, auch bei Bremsvorgängen elektrische Energie ins Netz einzuspeisen. Er kann sie Energie schonender in Form von Bewegungsenergie speichern und sie direkt beim Beschleunigen wieder abgeben, ohne das elektrische System zu belasten. Als Starter wird er wohl nicht nur bei Fahrtantritt, sondern auch bei Zwischenstopps, Stau und starker Beschleunigung aktiv werden. Letzteres würde auch den Einbau leistungs- und drehmomentschwächerer Motoren ermöglichen.

Sogar das **Zweimassenschwungrad** und die für den Dreizylinder typische(n) **Ausgleichwelle(n)** könnten entfallen, wenn der Elektromotor bei entsprechender Ansteuerung auf die Drehschwingungen von Motor bzw. Getriebe beruhigend einwirkt. Auch lässt sich der Gewichts- und Raumnachteil dadurch verringern, dass man wegen dem zusätzlichen Drehmoment des E-Motors längere Übersetzungen wählt und Gänge einspart. Z.B. auch den Rückwärtsgang, der ausschließlich von E-Motor übernommen wird. Denkbar ist sogar ein zweiter E-Motor, der mit der bisher nicht angetriebenen Achse verbunden wird und den **Allradantrieb** teilweise ersetzt. Dieses Prinzip wird beim derzeit stärksten Lkw der Welt angewandt. Ein Dieselmotor erzeugt Strom und vier elektrische Radmotoren sorgen für die Fortbewegung. Eines ist jedenfalls all diesen Systemen gemein: Man sammelt bei Überlandfahrten elektrische Energie, die man in emissionsträchtigen Situationen zusammen mit oder ohne Verbrennungsmotor einsetzt. Zusätzlich kann man den leistungsstarken Verbrennungsmotor mit dem drehmomentstarken E-Motor in bestimmten Betriebsbereichen kombinieren.

Ausblick

Bei der Entwicklung von Fahrzeugen und besonders beim Kauf steht noch zu sehr die maximale Leistungsabgabe des Motors und nicht dessen Drehmomentverlauf im Vordergrund. Dabei ist doch die maximale Leistung im Alltag nur selten nötig. Moderne Fahrzeuge mit günstigem Luftwiderstandsbeiwert brauchen nur ca. 30 kW für 120 km/h auf ebener Autobahn. Wenn die höhere Leistung nur zeitlich begrenzt und nicht dauerhaft eingesetzt wird, hat der Hybridantrieb mit zunehmendem Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung und -speicherung eine Zukunft. Hier sind kleine Triebwerke mit **Aufladung** denkbar, deren Drehmomentschwäche im unteren Bereich durch zusätzlichen Elektroantrieb verbessert wird. Der Hybridantrieb muss auch im Überlandverkehr attraktiv werden.

Wichtig

Durch gezielte Fördermaßnahmen der japanischen Regierung und drohende Abgasbestimmungen z.B. in Kalifornien gibt es (2004) mehrere serienmäßige Fahrzeuge mit Hybridantrieb, sogar schon in der zweiten Generation (2. Bild oben).

Hybridantrieb (Zusatzinformation)

Aufgabe

Nach Abmessungen, Lage und sogar ein wenig nach der Gehäuseform könnte es sich um ein Getriebe mit Achsantrieb beim Quermotor handeln. Und doch ist der innere Aufbau auch im Vergleich zu einem Automatikgetriebe sehr verschieden. Der Hypoidantrieb übernimmt hier neben den Aufgaben des Starters und Generators auch die des Wechselgetriebes. Es entsteht zusätzlich eine stufenlose Automatik. Die durch den relativ kleinen und deshalb verbrauchsgünstigen Verbrennungsmotor erzielbare Beschleunigung wird ein wenig durch den Einsatz von Aluminium und sonstiger Gewichtseinsparung und besonders durch Hinzuschalten des Elektromotors entscheidend verbessert. In der Höchstgeschwindigkeit zahlt sich der geringe Luftwiderstand des Fahrzeugs aus.



Funktion

Der Motor wird unten links angeflanscht und treibt den Planetenradträger eines einfachen Planetensatzes (grüner Punkt) an. Der Rotor des Elektromotors (roter Punkt) ist mit dem Hohlrad dieses Planetengetriebes und mit der Mehrfachkette zum Achsantrieb und der Generator 1 (blauer Punkt) ist mit dem Sonnenrad verbunden. Herausragende Besonderheit des Motors ist die durch den variablen Öffnungswinkel des Einlassventils veränderbare Verdichtung von bis zu 13 : 1. Damit kann der Motor verbrauchsgünstig gefahren und fast unmerklich in den Kraftfluss integriert werden. Auch die Bremsen sind für günstigen Verbrauch optimiert, da bei leichtem bis mittlerem Anbremsen zunächst nicht die Bremse, sondern der Generator aktiviert wird. Dies und das Zusammenspiel von Motoren und Generator wird per Computer vollautomatisch gesteuert. Einzige Eingriffsmöglichkeit ist das Erzwingen von Elektroantrieb, das aber nur unter ganz bestimmten Bedingungen (z.B. bis max. 45 km/h) möglich ist, und die Motorbremse bei Bergabfahrt. Alle Getriebeübersetzungen entstehen durch das Zusammenspiel der drei Hauptkomponenten, sogar der Rückwärtsgang. Dieser verhindert auch die zurzeit noch die volle Addition der Drehmomente von Verbrennungs- und Elektromotor, vermutlich mit Rücksicht auf den nachgeschalteten Kraftverlauf.

Daten

Bauteil	
Gewicht der Batterie	41 kg
Spannung der Batterie	200 V
Nennspannung des Elektromotors	500 V
Leistung des Elektromotors	50 kW
Drehmoment des Elektromotors	400 Nm
Max.-Drehzahl des Elektromotors	10.000 1/min
Leistung des Benzinmotors	57 kW 5.000 1/min
Drehmoment des Benzinmotors	115 Nm 4.000 1/min
Hubraum des Benzinmotors	1,5 Liter
Gewicht des Benzinmotors	86 kg
Beschleunigung 0 - 100 km/h	10,9 s
Höchstgeschwindigkeit	170 km/h

Elektroantrieb

Der Antrieb ist ein Dreiphasen-Asynchronmotor mit max. 190 Nm Drehmoment und 66 kW Leistung. Der 'Tank', eine 280 kg schwere Lithium-Ionen-Batterie, ermöglicht 150-200 km Reichweite, wenn man es nicht besonders eilig hat. Gegenüber dem gleichen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor sind Beschleunigung und Leistung etwas reduziert. Sie wären es noch mehr, wenn nicht Dach und Motorhaube besonders leicht und Hinterachse und Bremsen aus Aluminium gebaut wären. So bleibt es bei einem Mehrgewicht von ca. 100 kg. Interessant ist an diesem Elektroantrieb noch im Gegensatz zu anderen das Getriebe mit nur einem Gang. Andere Elektroantriebe nehmen ein Wechselgetriebe zur Hilfe. Gut kombinieren lassen sich die **Elektrische Servolenkung** und der elektrische Zuheizung.

