

## Autogas

Flüssiggas als Kraftstoff findet Anwendung als Kraftstoff für Ottomotoren. Bereits in den 1970er Jahren war es in Italien sehr verbreitet und ist es bis heute geblieben. Auch die gesamte Autobusflotte der Wiener Verkehrsbetriebe fährt mit Flüssiggas.

Es verbrennt umweltfreundlicher als Benzin. Der Schadstoffausstoß von Stickoxiden beträgt etwa 20 % der Benzinverbrennung, CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindern sich um 15 % und unverbrannte Kohlenwasserstoffe um 50 %. Zudem lassen sich LPG-Abgase durch die bessere chemische Verwertbarkeit bereits bei niedrigeren Temperaturen in Fahrzeugkatalysatoren umsetzen. Flüssiggasbetriebene Gabelstapler dürfen als einzige Fahrzeuge, neben Erdgas-Gabelstaplern, mit Verbrennungsmotor in geschlossenen Räumen betrieben werden. Dieselstapler hingegen emittieren Ruß und hohe Mengen an Stickoxiden.

Im direkten Vergleich mit Benzin entsteht je nach Gasanlage (siehe unten) ein volumetrischer (Liter vs. kg) Mehrverbrauch von 5 bis 20 % für LPG, da Flüssiggas eine geringere Dichte aufweist. Zum Vergleich: Superbenzin mit 95 Oktan hat eine Dichte von ca. 0,76 g/cm<sup>3</sup>, Flüssiggas (rund 108 Oktan) je nach Mischungsverhältnis zwischen 0,51 und 0,56 g/cm<sup>3</sup>. Auf den ersten Blick resultiert daraus ein Mehrverbrauch von 40 %, der jedoch durch den höheren Brennwert des LPG (49 MJ/kg (13,6kWh/kg)) gegen 42 MJ/kg (11,7kWh/kg)) auf theoretisch 20 % verringert wird. Durch den Verbrauch von Startbenzin (und dessen Vernachlässigung in der Verbrauchsberechnung) sinkt der theoretische Mehrverbrauch von 20 % je nach durchschnittlicher Streckenlänge auf praktisch 5-15%.

Zuerst war LPG bei den Taxis (z. B. alle Taxis in Istanbul), später auch im privaten Kfz-Bereich, in den 1980er Jahren in Österreich durch günstige Preise sehr verbreitet. Aufgrund der höheren Besteuerung wurde es in Österreich aber wieder uninteressant. Heute ist Flüssiggas als Kraftstoff in einigen europäischen Nachbarländern (wie BE, NL, GB, PL, IT, F ...) etabliert. In Deutschland hat es eine wachsende Bedeutung. Momentan (Stand 7. Juli 2006) wird Flüssiggas (LPG/Autogas) gegenüber Erdgas (CNG/LNG) zur Verwendung in Kraftfahrzeugen bezüglich des Brennwertes bis Ende 2018 ca. 7 % niedriger besteuert. In Österreich gibt es ab 2006/2007 eine Steuerreduktion nur für Erdgaskraftstoff. In der Schweiz sollen ab 2007 Erd- und Flüssiggas steuerbegünstigt werden. In Deutschland kostet der Liter derzeit zwischen 46 und 75 Cent (Stand 23. Januar 2007) - wobei es hier ein deutliches Nord-Süd-Gefälle gibt. LPG-Tankstellen gibt es z.Zt. 2293 (18. März 2007). Bis zum Jahresende 2007 ist mit einer Anzahl von ca. 3000 Tankstellen in Deutschland zu rechnen.

### Fahrzeugumrüstung

Reserveradmuldentank Eine Umrüstung der PKW auf Flüssiggas (LPG) ist relativ unkompliziert. Fast jedes Fahrzeug mit Ottomotor kann für etwa 1500 bis 3500 Euro, je nach Zylinderzahl, Leistung und der zu erreichenden Abgasnorm, umgebaut werden. Das Leergewicht einer LPG-Anlage beträgt etwa 40 kg.

Für den Tank gibt es verschiedene Einbaumöglichkeiten:

in der Reserveradmulde (34 bis 85 Liter), das Reserverad wird dann durch ein Pannenspray ersetzt

im Kofferraum (60 bis 200 Liter), meist in Zylinderform

Auch Unterflurtanks sind möglich.

Die Reichweite im Gasbetrieb beträgt je nach Tankgröße und Verbrauch 350 bis 1000 km. Beim Umbau bleibt der Benzintank erhalten, so dass das Fahrzeug wahlweise mit Benzin oder Flüssiggas betrieben werden kann (bivalenter Antrieb). Das Umschalten zwischen Benzin- und Flüssiggasbetrieb kann automatisch oder manuell während der Fahrt erfolgen. Mit dem Einbau ist also auch eine erhebliche Reichweitenerhöhung verbunden, sofern auch noch entsprechend Benzin mitgeführt wird.

Einige Umrüster empfehlen zusätzlich den Einbau von Additiv-Beimengern in den Ansaugtrakt, um den Verschleiß der Ventile und Ventilsitze bei der veränderten Kraftstoffart und Verbrennungsbedingungen verringern, da die Verbrennungstemperaturen erheblich über denen von Benzin liegen. Bei einigen Fahrzeugen sind die Ventilsitze so „weich“, das auch mit Additiv-Beimengern wie Flashlube oder dem Ventilschutzadditiv von Liqui Moly die Sitze vorrangig der Auslassventile verbrennen und es zu einem kapitalen Motorschaden kommen kann.

## Technik von Flüssiggasfahrzeugen

Ä

Autogasumbau bei einem Seat Leon. Mit Autogas betriebene Kfz werden entweder mit Benzin gestartet und danach automatisch auf Gasbetrieb umgestellt, um eventuelle Warmlaufprobleme zu umgehen, oder sie laufen direkt mit Autogas. Es wird zwischen Venturianlagen, sequenziellen Anlagen sowie LPI-Anlagen unterschieden.

Die ersten beiden Anlagentypen haben gemeinsam, dass das im Tank unter Druck befindliche flüssige Gas dem Motor über einen Verdampfer und Druckregler gasförmig zugeführt wird. Da das Gas beim Verdampfen stark abkühlt, wird der Verdampfer mit Kühlwasser beheizt. Aus diesem Grund wird bei den meisten Autogasanlagen erst ab ca. 30 °C Kühlwassertemperatur auf Gas umgeschaltet, um ein Vereisen der Gasanlage bei niedrigen Außentemperaturen zu verhindern.

Seit 2004 werden auch LPI-Anlagen angeboten. Diese Systeme fördern mittels einer Kraftstoffpumpe flüssiges Gas unter Druck in einer Ringleitung, von wo es durch Dosierventile in flüssiger Form in den Ansaugtrakt gespritzt wird. Durch die für die Verdunstung aufgenommene Wärme kommt es zu einem Kühleffekt der Ansaugluft, der je nach Last 5 bis 15 Kelvin betragen kann. Dadurch kommt es zu einer geringfügigen Leistungssteigerung (siehe Turbomotor/Ladeluftkühler).

Die Autogasverbrennung erfolgt bei geringeren Schadstoffemissionen und erhöhter Laufruhe. Letztere ist auf die hohe Klopfestigkeit von 105 bis 115 Oktan zurückzuführen.

Zum Thema Sicherheit schreibt der ADAC: „Es gibt keine Hinweise aus der Praxis, dass bei diesen Fahrzeugen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko besteht, auch nicht aus jenen Ländern, wo relativ viele Autogasautos zugelassen sind. Crash- und Brandtests zeigen, dass Autogasautos nicht gefährlicher sind als vergleichbare Benzinfahrzeuge.“ Autogastanks sind mit Rohrabrissventilen ausgestattet. Sollte bei einem Unfall der Tank aus der Halterung gerissen werden und Leitungen abreißen, so werden die entsprechenden Anschlüsse sofort versiegelt. Alle Tanks sind mit Schmelzsicherungen

ausgestattet, sodass im Brandfall Gas kontrolliert entweichen und abbrennen kann, um ein spontanes Bersten des Stahltanks durch große Hitze zu vermeiden.

## Venturitechnik

Die Venturitechnik ist die älteste und preiswerteste Lösung. Hierbei wird ein unterdruckgesteuertes Dosierventil in den Ansaugstutzen montiert und Gas unterdruckgesteuert dosiert. Durch die Verengung des Ansaugquerschnitts ist mit leichtem Leistungsverlust und Mehrverbrauch zu rechnen. Diese Technik ist bis zur Abgasnorm Euro 2 (bzw. z. T. auch D3) ohne Verlust einer Steuerklasse geeignet.

## Teilsequenzielle Anlagen

Teilsequenzielle Anlagen verwenden ein präziseres elektronisch gesteuertes Dosierventil, welches das Gas mittels eines sternförmigen Gasverteilers in die Ansaugstutzen der Zylinder leitet. Eine Querschnittsverengung im Ansaugtrakt und damit ein Leistungsverlust findet nicht statt. Diese Anlagen verfügen häufig über einen eigenen programmierbaren Kennfeldgeber für den Gasbetrieb. Daher lassen sich auch ältere Automobile und Pkw bis zur Schadstoffnorm Euro 3 mit diesem System ausstatten.

## Vollsequenzielle Anlagen

Ä

Vollsequenzielle Anlagen (zur Zeit Stand der Technik) verfügen über ein eigenes Dosierventil je Zylinder. Diese modernen Anlagen verfügen häufig nicht mehr über einen eigenen autonomen Kennfeldrechner, sondern rechnen das im Bordcomputer abgelegte Einspritzkennfeld für Benzin auf äquivalente Gasmengen um. Daher ist die Umrüstung und Programmierung einfacher, erfordert jedoch eine sequenzielle oder gruppensequenzielle Benzineinspritzung. Moderne Fahrzeuge verfügen bereits seit Mitte der 1990er Jahre über diese Technik. Die Einführung der Schadstoffnormen Euro 3 und Euro 4 mit EOBD (Euro-On-Board-Diagnose) machte dann die sequenzielle Benzineinspritzung zwingend erforderlich. Die Abgasnorm Euro 4 wird problemlos erreicht bzw. unterboten (behaupten zumindest die Umrüster). Auf jeden Fall ist eine Abgasbestätigung über die derzeit gültige (bzw. dem Fahrzeug entsprechende) Abgasnorm zu verlangen, da sonst eine Abnahme (TÜV) in Deutschland nicht (bzw. nur sehr schwer, also teuer) zu erhalten ist. Ebenso ist eine Bescheinigung über den korrekten Einbau sowie die Dichtheitsprüfung gemäß VDT 750, etc. zu verlangen. (Dies ist auch bei den vorgenannten Systemen notwendig und bei im Ausland eingebauten Anlagen oft nicht vorhanden.)

## LPI-Anlagen

LPI ist die Abkürzung für Liquid Propane Injection und heißt übersetzt Flüssig-Propan-Einspritzung, also Flüssiggaseinspritzung. Die sequenzielle Gaseinspritzung in flüssiger Form stellt wohl die neueste (sogenannte 5.) Generation der Autogassysteme dar. Der größte Vorteil des Einspritzens in flüssiger Form ist die kühlende Wirkung des verdampfenden Autogases (Innenkühlung) im Verbrennungsraum; hier ergibt sich ein besserer Füllungsgrad in den einzelnen Zylindern und somit ein höherer Wirkungsgrad des Motors gegenüber den anderen Flüssiggassystemen. Als Folge ist ein Leistungsverlust gegenüber dem Benzinbetrieb kaum bzw. gar nicht spürbar. Obwohl diese Technik bereits Anfang der 90er Jahre vorgestellt wurde, gestaltet sich die technische Umsetzung nach wie vor als problematisch.

Die Bezeichnung LPI hat sich der niederländische Hersteller Vialle markenrechtlich schützen lassen. Der Hersteller ICOM bezeichnet die Technik der Flüssiggaseinspritzung daher als JTG.

Bei der Vialle-Anlage wird ein eigenes Kennfeld mittels separatem Steuergerät generiert - verschiedene Felder sollen schon vorgegeben sein.

Das ICom System verwendet LPG Einspritzdüsen die in ihrer Charakteristik den Benzineinspritzdüsen gleichen. Dadurch können die Einspritzzeiten des Benzinsteuergeräts verwendet werden, das Gassteuergerät arbeitet nur als Umschalter zwischen Benzin und Gaseinspritzdüse. Das Einstellen des Gassteuergeräts entfällt hierdurch, jedoch müssen die Gaseinspritzdüsen beim Einbau der Anlage kalibriert werden.

## Betankungstechnik

Zum Betanken eines Autogasfahrzeugs wurden weltweit drei verschiedene Anschlussysteme eingeführt. Je nach Land wird für die Nutzung der Zapfsäule ein entsprechenden Adapter benötigt. Es handelt sich um den ACME-Anschluss ("Europaadapter", Schraubanschluss), den Dish-Anschluss ("Italienadapter", Dish Coupling) und den Bajonett-Anschluss ("NL-Adapter"). Geplant ist ein einheitlicher europäischer Anschluss namens Euronozzle.

Übersicht über die aktuell gebräuchlichen Anschlussysteme:

ACME Belgien, Deutschland, Irland, (teilweise: Österreich)

Bajonett-Anschluss Großbritannien, Niederlande, Spanien

Dish-Anschluss Frankreich, Griechenland, Italien, (teilweise: Österreich), Polen, Portugal, Tschechien, Ungarn, ...

Euronozzle geplant

## Verbreitung

Â

In einigen europäischen Ländern (Niederlande, Belgien, Italien, Polen, Frankreich usw.) sowie der Türkei besteht ein flächendeckendes Tankstellennetz.

In Deutschland gab es im März 2007 bereits über 2300 [2] Autogastankstellen. Die Tendenz ist stark steigend; z.Zt. (März 2007) sind weitere 360 Tankstellen in Planung [3]. Autogastankstellen sind deutlich weiter verbreitet als Erdgastankstellen (Anzahl der CNG-Tankstellen liegt bei ca. 750 [2], E.ON Ruhrgas hat den Bau von bis zu 150 Autobahn-/Autohof tankstellen angekündigt).

## Preise und Kosten

Die Preise für Autogas liegen in Deutschland bei 0,45 bis 0,75 €/l (im Durchschnitt meist bei 0,63 €/l), im Ausland bei 0,30 bis 0,64 €/l.

Bei dem Preisvergleich mit Benzin muss allerdings noch berücksichtigt werden, dass der Literverbrauch bei Flüssiggasbetrieb um etwa 20 % steigt, da Flüssiggas im Vergleich zum Benzin eine erheblich geringere Dichte und somit einen geringeren Brennwert je Liter hat. Daher kann beim Vergleich der Kraftstoffkosten zwischen Benzin/Super und Flüssiggas grob von einer Halbierung der Kraftstoffkosten ausgegangen werden. Ottomotoren können bei Autogasbetrieb etwa die Kraftstoffkosten eines entsprechenden Diesels erreichen oder auch unterbieten.

Autogastankstellen für Firmenflotten können ab etwa 5000 € eingerichtet und mit etwa 40 bis 45 Cent je l beliefert werden. Eine geeichte Zapfsäule samt Datenübermittlung für Kassensysteme kostet etwa 15.000 bis 20.000 €.

## Abrechnungsprobleme beim Tanken

Â

Eine definierte Masse an Gas kostet z. B. in der 11 kg (netto) Propangasflasche 11 € 18 €. Dabei werden Parameter wie Druck und Temperatur nicht angegeben. An einer Autogas-Tankstelle wird das Volumen (Liter) gemessen. Die Dichte und damit die Masse des Gases aber hängt jedoch von der Temperatur ab. Bei einer höheren Temperatur wird weniger Gasmasse eingefüllt. Deshalb ist vom Gesetzgeber zu fordern: Die Literzahl gilt nur bei einem gesetzlich festzulegenden Standarddruck und Standardtemperatur.

## Vergleich Flüssiggas (LPG) und Erdgas (CNG) für Kraftfahrzeuge

## Chemisch

LPG ist Propan/Butan, die Oktanzahl liegt, je nach Butananteil, zwischen (105 ... 115).

CNG ist Methan, Oktanzahl ca. 130.

## Physikalisch

LPG wird bei etwa (5 ... 10) bar Druck flüssig gespeichert (ca. 400 g gasförmiger Kraftstoff je Liter Bruttotankvolumen).

CNG wird gasförmig bei etwa 200 bar gespeichert (ca. 160 g expandierter Kraftstoff je Liter Druckgas-Tankvolumen) und durch einen Hochdruckregler auf 7 bar verringert.

Motorleistung: Jedes Gas (LPG und CNG) verdrängt Luft aus dem Zylinder, dadurch steht für die Verbrennung weniger Sauerstoff zur Verfügung. Im alltagsrelevanten Teillastbereich kann die Motorleistung durch eine homogenere und bessere Zylinderfüllung sogar leicht ansteigen. Bei aufgeladenen Motoren wie Turbos oder Kompressorfahrzeugen kann der Leistungsverlust durch einen höheren Ladedruck und damit eine höhere Sauerstofffüllung kompensiert werden. Die hohe Oktanzahl von deutlich über 100 des LPG und CNG begünstigt diese Maßnahme. Bei klassischen Saugmotoren muss bei beiden Kraftstoffen mit einem vom Kraftstoff abhängigen Leistungsverlust gerechnet werden.

LPG: Ein Molekül Propan verbraucht bei der Verbrennung fünf Sauerstoffmoleküle, ein Molekül Butan deren sechseinhalb. Je nach Gaszusammensetzung bestehen ca. 4 % der Zylinderfüllung aus Autogas. Alte Venturianlagen bzw. deren Dämpse (zulässig nur bis Euro 2) können bis 10 % Leistungsverlust durch zusätzliche Drosselverluste im Ansaugtrakt verursachen. Bei neueren sequenziellen Verdampferanlagen ist theoretisch ein Leistungsverlust von etwa 3,8 % zu erwarten, der in der Praxis jedoch nicht spürbar ist. Eine flüssig einspritzende Anlage kühlt die Luft im Ansaugtrakt herunter, wodurch die Zylinderfüllung (analog zum Ladeluftkühler) verbessert wird. Daher ist oft kein Leistungsverlust messbar oder gar ein leichter Leistungsgewinn zu beobachten.

CNG: Ein Molekül Erdgas verbraucht bei der Verbrennung zwei Sauerstoffmoleküle, daher muss deutlich mehr Erdgas in den Zylinder eindosiert werden es wird mehr Luftsauerstoff verdrängt. Dieser steht folglich zur Verbrennung nicht zur Verfügung und es muss mit einem Leistungsverlust von etwa 12-15% gerechnet werden. Der Leistungsverlust kann sich gerade bei schwach motorisierten Fahrzeugen und hohen Volllastanforderungen deutlich bemerkbar machen.

## Kohlendioxid-Ausstoß

Ä

LPG reduziert den CO<sub>2</sub>-Ausstoß gegenüber Benzinverbrennung um etwa 15 %.

CNG reduziert den CO<sub>2</sub>-Ausstoß gegenüber Benzinverbrennung um etwa 25 %. Bei Motoren, die auf CNG-Verbrennung optimiert werden, ist eine stärkere CO<sub>2</sub>-Reduzierung durch Anhebung der Verdichtung und dadurch bedingte Steigerung des Wirkungsgrades möglich. Im Reservebetrieb unter Benzin tritt dann jedoch ein höherer Verbrauch auf. (stärker als wenn ein Super-Plus optimiertes Fahrzeug unter Normalbenzin fahren muss).

## Tanktechnik

LPG kann in Radmuldentanks ohne Kofferraumverlust nachgerüstet werden. Zylindertanks sind mit Volumina bis über 200 l verfügbar; Radmuldentanks werden je nach Muldengröße bis über 100 l angeboten. Das Nettotankvolumen beträgt 80 % des Bruttovolumens. Dies ist aus Sicherheitsgründen (Ausdehnung im heißen Fahrzeug) erforderlich. Der Prüfdruck dieser Tankanlagen (T<sub>0</sub>V) liegt bei 40 bar mit üblichen Betriebsdrücken von (8 ... 12) bar.

CNG wird in im Kofferraum untergebrachten Zylindertanks oder, wie bei Serienfahrzeugen inzwischen üblich, unterflur oder in auf dem Dach (Nutzfahrzeuge) angeordneten Tanks mitgeführt. CNG-Tanks haben einen Prüfdruck von über 300 bar, der Berstdruck beträgt 600 bar.

Ä

Verbreitung

LPG: Hat die europaweit höchste Verbreitung an Zapfstellen (insbesondere in den Ländern Frankreich, Polen, Spanien, Benelux, Italien und England). Deutschland ist hier EU-weit quasi Schlusslicht, allerdings gibt es auch hier noch immer mehr LPG-Tankstellen als Erdgas-Tankstellen. In Deutschland gibt es nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamts 40.585 Fahrzeuge (Stand: Januar 2006). Diese Zahl gibt aber nur einen Teil der tatsächlich vorhandenen Fahrzeuge wieder, da es sich bei den meisten LPG-fähigen Fahrzeugen um umgerüstete Nicht-OEM-Fahrzeuge handelt, die in den vielen Fällen in den Fahrzeugpapieren mit dem ursprünglichen Schlüssel geschlüsselt und deshalb in der Statistik nicht als bivalente LPG-Fahrzeuge erkannt werden. LPG-Tankstellen gibt es in Deutschland derzeit ca. 2300 (Stand März 2007 [2]).

CNG: Wird derzeit in Deutschland aufgrund der besseren Klimabilanz primär offensiv beworben, obwohl die Zahl der Tankstellen noch immer geringer ist im Vergleich zu LPG (per 1. Januar 2006 38.933 Fahrzeuge in Deutschland (Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt), Schweiz, Österreich, Italien, Argentinien) CNG-Tankstellen gibt es in Deutschland derzeit 750 (Stand März 2007 [2]).

Verteilung

Ä

LPG wird wie Benzin- und Dieselmotoren in der Regel auf der Straße zur Tankstelle transportiert und belastet so den Straßenverkehr. Allerdings ist der Tankstellenbetreiber nicht zwingend an einen regionalen Gasversorger gebunden.

CNG hingegen besteht aus Erdgas und findet seinen Weg zum Verbraucher über Pipelines. Tankstellen erhalten das Erdgas aus dem Netz der örtlichen Gasversorgungsunternehmen; die Aufbereitung zu CNG erfolgt vor Ort. Ländliche CNG-Tankstellen ohne Anschluss an ein Erdgasnetz sind nur schwer bzw. teuer zu versorgen. Hier stellen Bio-Erdgas-Tankstellen eine sinnvolle Alternative dar.

Praktische Konsequenzen

LPG ist als Kraftstoff zwar effektiv etwas teurer als CNG (Dezember 2005 [2]), die Umbauten sind jedoch durch den geringeren Druck und die weltweit höhere Verbreitung deutlich billiger und erzielbare Reichweiten allgemein höher. Wird ein Ottomotor auf Gasbetrieb nachgerüstet, so bietet sich aus Kosten- und Platzgründen häufig LPG an.

CNG ist als Kraftstoff effektiv etwas billiger als LPG (Dezember 2005 [2]) (Faustregel: 1 kg Erdgas = 1,4 l Super = 1,65 l LPG), erfordert jedoch aufgrund des höheren Drucks dickwandigere und damit schwerere Tanks und erlaubt häufig nur geringere Reichweiten, je nach Verbrauch von (240 ... 300) km. Ist ein Fahrzeug ab Werk mit Unterflurtanks ausgestattet, so sind auch bei CNG Reichweiten von über 400 km mit einer Tankfüllung erreichbar. Häufig werden Neuanschaffung und Umrüstung vom örtlichen Gasversorgungsunternehmen gefördert.

Fazit:

Je nach Tankstellenverfügbarkeit, Fahrzeugtyp, Nutzungsprofil und voraussichtlicher Nutzungsdauer muss individuell abgeschätzt werden, welche Technik angebracht ist. Als Faustregel kann festgehalten werden:

Neufahrzeug: unmittelbare Nachrüstung auf LPG oder Serien-CNG (Reichweite monovalenter und bivalenter Fahrzeuge im Erdgasbetrieb bis zu 450 km ohne erneutes Tanken)

Gebrauchtwagen bzw. Langstreckeneinsatz: LPG

Quelle: Wikipedia.org (Gesamter Artikel) (Versionsgeschichte) (Lizenzbestimmungen)

Camping Wohnmobil

Ä