



Autogas

Allgemein

"Autogas", nicht zu verwechseln mit "Erdgas" (Methan), ist nichts anderes als Flüssiggas („LPG“ Liquefied Petroleum Gas, Gemisch aus Propan und Butan).

Neu ist die Verwendung von Flüssiggas als Kraftstoff nicht, schon seit langer Zeit wird es in den Niederlanden und in Italien. als Motorentreibstoff genutzt.

Aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung (Kohlenwasserstoffe) ist Autogas mit Benzin verwandt. Bei atmosphärischem Druck gasförmig, geht es bei einem relativ geringen Überdruck von etwa 5 bis 7 bar in den flüssigen Zustand über und kann so in geeigneten Druckbehältern gespeichert werden.

Nachrüstung im Fahrzeug

Um Autogas in einem Verbrennungsmotor verwenden zu können, werden Autogastank, Verdampfer-Druckregler, Gasdosiereinheit, Einspritzeinrichtungen und elektrisches Steuergerät benötigt. Bei den Anlagen der jüngsten Generation wird Autogas nicht mehr gasförmig vom Motor angesaugt, sondern eingespritzt, entweder gasförmig oder neuerdings auch flüssig.

Als Kraftstofftanks kommen spezielle Gastanks mit den vorgeschriebenen Absperr- und Sicherheitseinrichtungen zum Einsatz. Es gibt sie in verschiedenen Größen. Während die zylindrischen Behälter beim Pkw meist in den Kofferraum passen, ist die Unterbringung eines Muldentanks in der Reserverradmulde oder auch unter dem Fahrzeugboden möglich.

Autogasanlagen für benzinbetriebene Pkw sind in der Regel auf bivalenten (wechselweisen) Betrieb ausgelegt. Daher ist es möglich, während der Fahrt, per Umschalter, von Benzin- auf Gasbetrieb und umgekehrt umzuschalten.

In Deutschland fahren rund 65.000 PKW mit Autogas, wesentlich größer ist die Verbreitung z.B. in Italien, Belgien oder Frankreich.

Autogasanlagen eignen sich vorrangig zum nachträglichen Einbau in Benzinfahrzeuge. Im Ausland (Frankreich, England, Niederlande, Italien) sind vereinzelte Modelle auch mit einer entsprechenden serienmäßigen Ausrüstung lieferbar.

Umrüstkosten

Allein dadurch, dass Autogas wesentlich billiger ist kann sich die Umrüstung auf Autogasbetrieb rechnen. Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich vor allem bei Vielfahrern und von Fahrzeugen mit einem hohen Benzinverbrauch.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollte bedacht werden, dass das Fahrzeug nicht zu alt und auch in einem guten Zustand ist, damit sich die Investition für die Autogasanlage noch amortisieren kann. Die Kosten für eine nachträgliche Umrüstung liegen in einer Größenordnung um 2000 Euro, sie sind hauptsächlich vom Fahrzeug- und Anlagentyp sowie der Tankgröße abhängig.

Verbrauch und Leistung

Obwohl der volumetrische Heizwert von Autogas deutlich niedriger liegt als der von Benzin (ca. 40 %) fällt der Mehrverbrauch von Autogas in der Praxis deutlich geringer aus - je nach Motor, Autogasanlage, Gaszusammensetzung und Fahrweise. Im allgemeinen kann man damit rechnen, dass im Gasbetrieb der Verbrauch um ca. 13 bis 18% steigt, es muss auch in der Regel mit einer geringeren Motorleistung gerechnet werden. Die Klopfestigkeit ist mindestens so hoch wie die von Super-Benzin.

Kfz- und Mineralölsteuer

Die Verwendung von Autogas anstelle von Benzin bringt an sich keine Reduzierung der Kraftfahrzeugsteuer, allerdings wird auf dieses Gas bis 2009 nur eine reduzierte Mineralölsteuer erhoben.



Abnahmepflicht / Zulassungsverfahren

Gemäß § 19 StVZO führen Veränderungen an einem Fahrzeug wie der Einbau einer Autogasanlage zum Erlöschen der Betriebserlaubnis, sofern keine Allgemeinen Betriebserlaubnis (ABE) für Fahrzeugteile nach § 22 StVZO für die Anlage nachgewiesen werden kann, oder sofern eine eventuell vorgesehene Einbau-Abnahme (TÜV) nicht durchgeführt wurde.

Beim nachträglichen Einbau einer Autogasanlage sind vom Einbaubetrieb die Anforderungen an die Sicherheitstechnik von Autogasanlagen gemäß den VdTÜV- Merkblättern 750 Teil I bis III oder ECE R67-01 sowie die Anforderungen an das Abgasverhalten von Autogasanlagen (Abgasgutachten) zu beachten. Die Betriebserlaubnis bzw. die TÜV-Abnahme des umgebauten Fahrzeugs werden üblicherweise vom Anbieter der Gasanlage bzw. dem autorisierten Umrüstdienstleister veranlasst.

Umweltaspekte

Autogas ist ungiftig und belastet das Grundwasser nicht.

Neuere Pkw mit einer modernen Autogasanlage können im Gasbetrieb die derzeit gültigen Schadstoffgrenzwerte von Euro 3 und sogar Euro 4, die ab 2005 gelten, einhalten. Manchmal wird angenommen, dass mit Autogas in jedem Fall bedeutend weniger Abgasschadstoffe ausgestoßen werden als mit Benzin, das trifft freilich nicht generell zu. Die Stickoxid-Emissionen sind etwa gleich hoch wie bei Benzinbetrieb

Auch wenn bei Fahrzeugen mit einer sehr guten Reinigungstechnik (Kat) die Emission der "limitierten Schadstoffe" nicht mehr, bzw. nicht mehr deutlich verbessert werden kann, so wird mit Autogas doch immer CO₂ reduziert.

Außerdem ist Autogas gegenüber Benzin vorteilhaft, wenn es um eine Verminderung von Abgasschadstoffen geht, die nicht gesetzlich limitiert sind, wie z.B. die schädlichen aromatische Kohlenwasserstoffe (z.B. Benzol). Übrigens erfolgt die Schadstoff Einstufung eines bivalenten Autos grundsätzlich nach den Emissionen im Benzinbetrieb (Typprüfung) auch wenn die Autogasemissionen niedriger sein sollten da man ja auch mit Benzin fahren kann.

Die Nachteile

Sind gering oder durch Entwicklung entsprechender Techniken beherrschbar: größeres Volumen und Gewicht des Drucktanks, etwas niedrigere Höchstleistung; Sicherheitsprobleme: Der Tank steht unter Druck, das Gas ist schwerer als Luft und kann sich in Kellern und Schächten ansammeln

Die Mehrheit der Bundesländer sieht in ihren "Garagenverordnungen" kein Abstellverbot für Autogasfahrzeuge vor, Ausnahmen stellen Brandenburg, Berlin, Bremen und Saarland dar (sofern dort nicht sicher gestellt ist, dass austretendes Gas gefahrlos ins Freie entweichen kann). Bei nichtöffentlichen Einstellräumen liegen Verbot oder Gestattung im Ermessen des Eigentümers - gegebenenfalls hilft hier ein Hinweis auf die derzeit gültige Fassung der jeweiligen Länder-Verordnung.

Sicherheit

Immer wieder kommt es außerhalb des Fahrzeugsektors zu Brand- und Explosions-Unfällen bei denen Gas im Spiel ist. In diesem Zusammenhang sind manche Autofahrer verunsichert, wenn sie Flüssiggas als Kraftstoff verwenden sollen. 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.

Tankstellen-Netz

In Deutschland gibt es, mit zunehmender Tendenz, derzeit 550 öffentliche Tankstellen, allerdings teilweise auf dem Gelände von Gasversorgungsunternehmen (eingeschränkte Öffnungszeiten). In Ländern wie den Niederlanden, Belgien, Italien, Frankreich, England und Polen besteht ein teilweise recht dichtes Netz, im Gegensatz zu Dänemark, Österreich und Schweiz.

Zu beachten ist noch, dass im Ausland wegen unterschiedlicher Zapfanschlüsse u.U. Adapter erforderlich sind. Vertreten ist der ACME-Anschluss, (z.B. in Deutschland und Belgien), Bajonett (Niederlande) sowie der Dish-Anschluss (z. B. in Italien und Frankreich).



Technische Infos zu Autogas

Allgemein

Kraftstoff für Ottomotoren, auch Flüssiggas oder LPG (Liquified Petroleum Gas) genannt, der aus Propan oder einer Propan/Butan-Mischung besteht (Kohlenwasserstoffe).

Diese bei Raumtemperatur und Normaldruck gasförmigen Kohlenwasserstoffe kann man unter Druck verflüssigen. Sie haben bei 20 Grad C einen Dampfdruck von etwa 9 bzw. 25 bar und werden in Drucktanks aufbewahrt.

Autogas tritt bei der Erdöl- und Erdgasförderung in Erscheinung und wird auch in Erdöl-Raffinerien gewonnen. Es ist wegen seiner hohen Oktanzahl und seiner einfachen Zusammensetzung für Ottomotoren geeignet.

Autogas (LPG) sollte nicht mit Erdgas (CNG oder LNG) verwechselt werden.

An den Zapfsäulen wird dies durch unterschiedliche Füllstutzen ausgeschlossen.

Herstellung Förderung und Verbrauch von Flüssiggas

Flüssiggas ist kein Produkt, das wie Erdöl oder Kohle gefördert wird. Es ist eher ein Begleitprodukt, daß bei der Rohölverarbeitung in Raffinerien und bei der Erdöl- bzw. Erdgasförderung entsteht. Bei der Gasförderung wird nasses Roh-Erdgas in Kondensat und trockenes Erdgas getrennt. Dem trockenen Erdgas wird danach Kohlenstoffdioxid und Schwefelwasserstoff entzogen, so daß hauptsächlich Methan (CH₄) übrigbleibt. Das Kondensat wird zu Propan und Butan weiterverarbeitet. Da die verschiedenen Gase unterschiedliche Siedepunkte besitzen, können sie problemlos durch die Variation von Druck und Temperatur getrennt werden. Durch Destillation werden auch Komponenten wie Schwefelwasserstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasser herausgefiltert.

Eigenschaften von LPG

Flüssiggas wird international als Liquefied Petroleum Gas (LPG) bezeichnet. Im deutschsprachigen Raum werden anstelle von Flüssiggas auch häufig die Begriffe "Treibgas" und "Autogas" benutzt. LPG besteht aus leicht verflüssigbaren Kohlenwasserstoff-Verbindungen (C_nH_m) mit drei oder vier Kohlenstoff-Atomen (C). Es kann sich dabei um eine einzelne Verbindung oder um eine Mischung mehrerer Verbindungen handeln.

Die Hauptbestandteile von Flüssiggas sind:

Propan: C₃H₈

Propen (Propylen): C₃H₆ (mit C-Doppelbindung)

Butan: C₄H₁₀

Buten (Butylen): C₄H₈ (mit C-Doppelbindung)

Propan und Butan sind kettenförmige, gesättigte Kohlenwasserstoff-Verbindungen. Die ungesättigten Kohlenwasserstoffe Propen und Buten weisen eine Kohlenstoff-Doppelbindung auf und sind hinsichtlich ihres Anteils in den Spezifikationen für Flüssiggas begrenzt.

Das Mischungsverhältnis von Propan und Butan ist in Europa unterschiedlich. In Deutschland und Großbritannien hat Propan meist einen Anteil von 95 Vol.-%).

In Frankreich wird hingegen eine 45:55-Mischung (Propan : Butan) bevorzugt. In sehr warmen Landesteilen überwiegt der Butan-Anteil wegen des höheren Siedepunktes

Die Gaslieferanten variieren die Zusammensetzung nach der Umgebungstemperatur. Das Gemisch kann sich demnach je nach Ort und Jahreszeit unterscheiden.

Flüssiggas ist im Normalzustand ein gasförmiges Brenngas, daß unter Druck verflüssigt werden kann. Die Abhängigkeit von Druck und Temperatur wird in der Dampfdruckkurve dargestellt. Flüssiggas hat in Deutschland bei T = 20 °C einen Druck von p = 8 bar. Es besitzt flüssig nur 1/260stel des gasförmigen Volumens. Das bedeutet, daß aus 1.000 Litern Gas etwa 4 Liter Flüssiggas werden.

Im Gegensatz zu Erdgas oder Wasserstoff, die leichter als Luft sind, weist Flüssiggas einen Dichtequotienten zu Luft von LPG/Luft=1,55 auf. Dies bedeutet, daß Flüssiggas "herunterfällt". Es sammelt sich am Boden und



bedarf geeigneter baulicher oder Lüftungstechnischer Maßnahmen, damit sich keine erhöhten Flüssiggasmengen ansammeln.

Die reinen Gase sind geruchlos. Als Abfallprodukt der Industrie ist Flüssiggas geruchbelastet. Gegebenenfalls wird es zur besseren Wahrnehmung mit einer speziellen Substanz versetzt (odoriert), damit eine Leckage wahrgenommen werden kann.

Die Molekülstruktur von Propan und Butan ist im Vergleich zu den verzweigten Ketten herkömmlicher Kraftstoffe (Benzin oder Diesel) relativ einfach.

Zusammensetzung

LPG-Bestandteil Propan

farb- und geruchlos

ungiftig; wirkt in hohen Dosen leicht narkotisierend

flüssiges Propan kann wegen der hohen Verdampfungskälte auf der Haut Erfrierungen hervorrufen.

Kennwerte von Propan

Chemische Summenformel	C_3H_8
Strukturformel	$CH_3-CH_2-CH_3$
Kohlenstoff-Gehalt	81,72Gew.-%
Wasserstoffgehalt	18,28Gew.-%
Molekular-Gewicht	44,09g/mol
Molvolumen	21,94cm ³ /mol
MAK-Wert	1800mg/m ³
Kritische Temperatur	96,8°C
Kritischer Druck	42,6bar
Dichte der Flüssigkeit bei 15°C	530g/l
Dichte des Gases bei 0°C, 1 bar	2,01kg/Nm ³

LPG-Bestandteil Butan

Butan kommt zusammen mit iso-Butan, Butadien und den Butenen als sogenannte C4-Fraktion in Erdöl-Krackgasen und im Erdgas vor.

farb- und geruchlos

in Wasser wenig löslich, in Alkohol und Äther leicht löslich wirkt in größeren Dosen narkotisierend

Kennwerte von Butan

Chemische Summenformel	C_4H_{10}
Strukturformel	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$
Kohlenstoff-Gehalt	82,66Gew.-%
Wasserstoffgehalt	17,34Gew.-%
Molekular-Gewicht	58,12g/mol
Molvolumen	21,50cm ³ /mol
MAK-Wert	2350mg/m ³
Kritische Temperatur	152,1°C
Kritischer Druck	38,1bar

Brenneigenschaften

Bei der Kraftstoffzufuhr in Verbrennungsmotoren weisen Gase gegenüber Flüssigkeiten gewisse Nachteile auf. Flüssiggas ist zwar im Tank in flüssiger Form gespeichert, wird jedoch auf dem Weg zum Motor in einem Verdampfer in den gasförmigen Aggregatzustand überführt und dementsprechend gasförmig ins Saugrohr eingeblasen. Herkömmliche Kraftstoffe (Benzin, Diesel) werden in der Regel über Vergaser oder Düsen als kleinste Flüssigkeitströpfchen der Brennkammer zugeführt. Da die Dichte von Flüssigkeiten sehr viel größer ist als die von Gasen, nimmt gasförmiger Kraftstoff mehr Raum im Saugrohr ein. Das Gas verdrängt dadurch einen Teil der Ansaugluft. Weniger Luft im Verhältnis zur Kraftstoffmenge bedeutet, daß das Gemisch dadurch fetter wird. Soll das Luftverhältnis jedoch beibehalten werden, muß dementsprechend die Kraftstoffzufuhr gesenkt werden. Dies hat insgesamt eine verminderte Zylinderfüllung im Vergleich zum Benzinbetrieb zur Folge. Die Luftzufuhr kann nicht beliebig erhöht werden, da es aufgrund des vorhandenen Querschnittes und des damit verbundenen Strömungswiderstandes Grenzen gibt. Von Vorteil bei der Verbrennung von Flüssiggas ist sein gasförmiger Zustand im Brennraum. Dadurch wird eine homogenere Gemischbildung mit der Luft erreicht, wodurch eine gleichmäßigere Verbrennung ermöglicht wird. Hinzu kommt, daß die niedrigere Brenngeschwindigkeit von LPG einen geringeren Wandwärmeverlust im Flüssiggas-Motor bewirkt, wodurch der Wirkungsgrad leicht angehoben wird. Dies ist bei Benzin- oder Dieseldampf/Luft-Gemischen nicht in gleicher Weise gegeben. Bei der energetischen Betrachtung von Kraftstoffen spielt der Heizwert H_u eine besondere Rolle. Der Heizwert ist der Teil der Wärme, der bei der Verbrennung ohne die im Wasserdampf enthaltene Wärmemenge frei wird. Der Brennwert H_o eines Gases (veraltet: "oberer Heizwert") bezieht sich auf die gesamte Wärme, die bei einer vollständigen Verbrennung eines Kubikmeters Gas frei wird. Die Werte basieren auf dem Normzustand ($T_0 = 273,15 \text{ K}$; $p_0 = 1013,25 \text{ mbar}$). Im Vergleich zu anderen Energieträgern besitzt Flüssiggas einen hohen gewichtsspezifischen Heizwert.



gewichtsspezifischer Heizwert

Propan = 12,9kWh/kg

Butan = 12,7kWh/kg

Erdgas = 13,6kWh/kg

leichtes Heizöl = 10,0kWh/kg

Bezieht man den Heizwert auf das Volumen, haben Propan und Butan deutliche Defizite gegenüber Diesel- oder Benzin-Kraftstoffen. Die Dichte sowie der volumenspezifische Heizwert von Flüssiggas erreichen knapp drei Viertel von vergleichbarem Kraftstoff für Otto-Motoren (Benzin).

Zündgrenzen

Damit es zu einer Verbrennung von Flüssiggas kommen kann, muß sich der Kraftstoff mit Sauerstoff bzw. der Umgebungsluft vermischen. Ein zündfähiges Gemisch liegt nur dann vor, wenn sich das Verhältnis von Kraftstoff und Luft innerhalb bestimmter Grenzen, den sogenannten Zündgrenzen, befindet.

Zündgrenzen in Vol.-%

Propan = 1,7 - 10,9

Butan = 1,4 - 8,5

Erdgas = 6 - 16

Benzin = 1,5 - 7,5

Wasserstoff = 4 - 75

Flüssiggas weist von den gasförmigen Kraftstoffen einen etwa ebenso engen und niedrigen Zündbereich wie Benzin auf. Bei einem Kraftstoffüberschuß kommt es zur unvollständigen Verbrennung. Unverbranntes Flüssiggas kann sich dann an heißen Teilen vom Auspuff entzünden, so daß es zu sogenannten "Fehlzündungen" kommen kann. Im Extremfall kann das Kraftstoff/Luft-Gemisch unverbrannt aus dem Auspuff austreten und sich am Boden sammeln. Springt der Motor beim Start innerhalb von Gebäuden nicht sofort an, sollte auf gute Lüftung geachtet und nicht zu lange gestartet werden. Bei Gasgeruch sollte der Startvorgang wegen der erhöhten Brandgefahr im Umfeld abgebrochen werden. Bei einer unvollständigen Verbrennung könnten außerdem erhöhte Mengen Kohlenstoffmonoxid ausgestoßen werden, wodurch es beim Einatmen zu Vergiftungserscheinungen kommen kann.

Abgase / Gesundheitsgefahren

Erdgas als Kraftstoff schneidet im Vergleich am besten ab. Flüssiggas ist geringfügig besser als der Durchschnitt. Benzin ist geringfügig schlechter und Diesel schlechter als der Durchschnitt. Die Abgase von Diesel-Motoren weisen im Vergleich zu den Otto-Motoren (LPG-, CNG- und Benzin-Betrieb) ein hohes kanzerogenes (krebserzeugendes) Wirkpotential auf. Die krebserzeugende Wirkung der Dieselabgase ist auf die ausgestoßenen Partikel und die zum Teil daran haftenden Substanzen (z. B. Aldehyde, PAH) zurückzuführen. Durch die Einführung von Partikelfiltern für Dieselfahrzeuge läßt sich die Partikelemission (pro gefahrenem Kilometer) und damit die kanzerogene Wirkung auf ein mit Otto-Motoren vergleichbar niedriges Niveau senken. Bis heute ist in diesem Zusammenhang jedoch ungeklärt, in wie weit die Größe der Rußpartikel Einfluß auf die Kanzerogenität hat. Moderne Dieselfahrzeuge stoßen zwar weniger große Partikel aus, kleine Partikel sind jedoch leichter lungengängig, können tiefer in die Lunge eindringen und sich dort festsetzen.



Betankung

Zu den Emissionen von Fahrzeugen zählen auch die Dämpfe, die während des Betankungsvorganges in die Umgebung entweichen. In diesem Punkt gibt es grundlegende Unterschiede zwischen der Benzin- oder Diesel- und Flüssiggas-Betankung. Benzin- oder Dieseldämpfe entweichen aus dem Tank, sobald der Verschluß geöffnet wird. Hinzu kommen die Dämpfe, die während der Betankung austreten sowie verschüttete Anteile durch Überfüllung oder Übersäumen während des Betankungsvorganges. In den letzten Jahren wurden an vielen Tankstellen sogenannte "abgeschlossene Betankungssysteme" eingeführt. Die Zapfpistolen wurden mit Absaugvorrichtungen ausgerüstet, die austretende Dämpfe wieder dem Tanksystem zuführen sollten. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um wirklich abgeschlossene Systeme, weil keine feste Verbindung zwischen Zapfpistole und Fahrzeug vorhanden ist.

Bei Flüssiggas-Tankstellen ist eine gasdichte Verbindung vorhanden, so daß kein Gas entweichen kann. Die bei Benzin- und Diesel-Tankstellen notwendige Bodenversiegelung ist bei LPG-Tankstellen überflüssig.

Für Flurförderzeuge gibt es größtenteils sogenannte Wechselflaschen, die im Bedarfsfall komplett ausgewechselt und zentral von Gasversorgungs-Unternehmen aufgefüllt werden.

Vor- und Nachteile

pro

Flüssiggas gilt als schadstoffarmer Kraftstoff. Es hat einen sehr geringen Schwefelgehalt, einen hohen Reinheitsgrad und verbrennt praktisch rückstandsfrei (kein Ruß).

LPG ist nicht mit Wasser löslich und kann so das Grundwasser nicht gefährden.

Beim Betanken können keine Verschmutzungen des Untergrundes auftreten.

LPG kann bei geringerem Druck (max. 30 bar) als Erdgas (200 bar) oder Wasserstoff (200 bar oder tiefkalt bei T = - 253 °C) gespeichert werden.

Die Verbrennung ist "weicher" (leiser) und gleichmäßiger als bei konventionellen Kraftstoffen.

Die Klopfestigkeit ist relativ hoch, wodurch eine höhere Verdichtung als im Benzin-Betrieb möglich ist.

Die Fahrzeug-Umrüstung ist problemlos möglich und billiger als bei Erdgas-Fahrzeugen.

Im Vergleich zu Benzin und Diesel ist Flüssiggas deutlich billiger.

Contra

Bivalente Fahrzeuge sind für Benzin-Betrieb optimiert und weisen Leistungseinbußen im Flüssiggas-Betrieb auf. Laufleistung der Motoren insbesondere die Ventilschäfte unterliegen da Additive im Kraftstoff fehlen erhöhtem Verschleiss

Die Umrüstung (bivalenter Betrieb) ist mit einer Verringerung der Ladekapazität verbunden, weil ein zusätzlicher Tank eingebaut wird.

Monovalenter Betrieb ist aufgrund der wenigen Tankstellen kaum möglich.

Die Umrüstkosten amortisieren sich nach etwa 30.000 Kilometern.

Es werden nicht sämtliche Modelle aller Automobilhersteller umgerüstet.

Flüssiggas ist schwerer als Luft und sammelt sich am Boden. Es verflüchtigt sich nicht so schnell wie vergleichsweise Erdgas oder Wasserstoff.



Literatur/Quellenverweis

z.T. in Auszügen übernommen aus

- Appel, H., Grundlagen der Kraftfahrzeugtechnik I, Inst. f. Fahrzeugtechnik, Sept. 1996, Berlin
- Bach, C., Heeb, N., Mattrel, P., Mohr, M., Wirkungsorientierte Bewertung von Automobilabgasen, MTZ 59 (1998) 11/98, S. 716-722
- Beitz, W., Küttner, K.-H., Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 17. Auflage, Berlin, Springer-Verlag, 1990, S. D 9ff
- Bosch, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, VDI-Verlag, 21. Auflage, Düsseldorf, 1991
- Breitfeld, J., Erarbeitung, Darstellung und Analyse eines Marktpotentials zum Einsatz von erdgasbetriebenen Fahrzeugflotten im Raum Südbrandenburg, Cottbus, November 1998
- Bundesanstalt für Geowissenschaften u. Rohstoffe, Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1998, Teil 1 u. 2, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, März 1999
- Bundesministerium für Wirtschaft, Energiedaten 97/98, (1998) S. 6
- Campbell C.J., Petroconsultants [Hrsg.], The Coming Oil Crisis, Brentwood (1997)
- Campbell, C.J., Laherrere J.H., Petroconsultants [Hrsg.], The World's Oil Supply 1930-2050, Geneva, 1995
- Clark, Gabelstapler mit Erdgasantrieb, D.I.S. Buch Nr. 5, Mülheim, April 1994
- Council on Environmental Quality, [Hrsg.]: The Global 2000 Report to the President, Washington 1980, Deutsche Ausgabe: Global 2000, Frankfurt/Main 1980
- DVFG, Flüssiggas-Fahrzeuge: Die umweltschonende Alternative zu wirtschaftlichen Bedingungen, Flüssiggas, Strobel-Verlag, 1/2000, S. 10-13
- DVFG/RG, Flüssiggasbetriebene Omnibusse, die umweltschonende und wirtschaftliche Alternative, DVFG, Kronberg, Mai 1999
- Flade, F., Planen mit Flüssiggas, Arbeitsgemeinschaft Flüssiggas (AFG), ISBN: 3922804-29-2, 1998, München
- Geitmann, S., Wasserstoff als Kraftstoff für Fahrzeugantriebe, 1998, Berlin
- Höher, R., Vergleichende Betrachtung von Diesel- und Erdgasantrieben für Nutzfahrzeuge, 1997, Berlin
- Höhlein, B., Klemp, D., Sommersmog und Verkehrsemissionen, Jahresbericht 1995, (1995) Jülich
- Hollemans, B., LPG equipment technology in light and heavy duty vehicles, World LPG Forum, Paris, 1999
- Holthaus, U., Diskussionsbeitrag, Erdgasflotten für Berlin, 28. November 1996, Berlin
- Hygen Industries, Renewable Hydrogen Generation and Vehicle Fueling Systems, 25.4.99
- IAV, LPG-Betriebsanleitung Flüssiggasanlage, IAV GmbH, Berlin, 1999
- IAV a, Erdgastechnologie, IAV GmbH, Berlin, 2000
- IAV b, Vollastermittlung und 8-Mode-Test, Projekt Linde, IAV GmbH, Berlin, 2000
- Impco Media Europe B.V., Prüfbericht Nr. 351-0063-96-FBFE über die Leistung und das Abgasverhalten des erdgas- bzw. flüssiggasbetriebenen Motors, TÜV Bayern, München, 1996
- Linde, Dampfdruckkurve einiger Kohlenwasserstoffe, Spezialgase, Höllriegelskreuth,
- Mangelsdorf, I., Durchführung eines Risikovergleiches zwischen Dieselmotoremissionen und Ottomotoremissionen hinsichtlich ihrer kanzerogenen und nicht-kanzerogenen Wirkung. In: UBA-Berichte 02/99; Erich Schmidt Verlag Berlin, ISBN 3-503-04862-6
- Meadows Dennis, L., The Limits of Growth, Club of Rome, New York 1972
- Mineralölwirtschaftsverband, Kraftstoffe der Zukunft, Mineralölforum, Saphir-Verlag, Hamburg, Jan. 2000, S. 35 (1992)
Gasanwendung, Nr. 3, März 1999, S. 177
- Reinartz, B., Pressemitteilung des VCD, Erdgas sinnvoll für Busse, 30.6.99
- Schödl H., Autobusbetrieb mit Flüssiggas, Wiener Stadtwerke - Verkehrsbetriebe, Wien, 1990
- Schödl H., 35 Jahre Erfahrungen mit Flüssiggas-Bussen, Wiener Linien, Wien, 1999
- Steiger, W., Innovative Antriebskonzepte von VW, Workshop "Innovationspotentiale für umweltfreundliche Pkw", 2./3. März 1998, Wuppertal
- Stieler, C., Praktikum bei der IAV GmbH, FHTW Berlin, März 1998
- UBA a, Zusammenfassung der UBA-Studie: Brennstoffzellenfahrzeuge im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, Berlin, Mai 1999
- U.S. DOE, Liquefied Petroleum Gas Resource Guide, 29. Juni 1998
- Vialle, Liquid Propane Injection, alternative fuel systems, Eindhoven, 2000
- Wennmann, U., Erdgas - alternativer Treibstoff für Flurförderzeuge, Gaswärme März 1999
- Yuasa-Exide, The benefits of battery power versus other fuels, Yuasa-Exide, Inc., USA, 1995



Walther Tankstelle in Gera

-Zug, Grundlagen der Meß- und Prüftechnik in der qualitätsorientierten Fertigung, TU-Berlin, Inst. f. Qualitätswissenschaften, 1997

-ADAC , Autogas - Nicht nur Benzin ist flüssig, München , Juli 2003