



# Falsche Mischung

Der Artikel „AusgeDleNt“ in ASP 9/2006 löste bei vielen mit LPG-Umrüstung beschäftigten Betrieben Verunsicherung aus. Als Fortsetzung ein Überblick zur derzeitigen Situation und zur Rechtslage.

**S**elbst Automobilclubs, Verbraucher- und Industrieverbände, Überwachungsorganisationen, ja sogar einschlägige Ministerien und Ämter sind über die derzeitigen Verordnungen zu LPG-Fahrzeugen nicht oder nur unzureichend informiert. Das ist das übereinstimmende Ergebnis der Recherchen von ASP. Weil diese Situation für die gesamte Kfz-Branche unhaltbar ist, hat sich ASP bei der EU in Brüssel informiert, welche Verordnungen für die Homologation und den Betrieb von LPG-Fahrzeugen derzeit rechtskräftig anzuwenden sind. Die Rechtslage ist überaus kompliziert. Hersteller, die LPG- oder CNG-Gas-

anlagen für Kfz auf den Markt bringen wollen, haben diese conform der Norm ECE-R 115 prüfen zu lassen. Ergänzend hierzu müssen Flüssiggasanlagen (LPG) der Norm ECE-R 67 und Erdgasanlagen (CNG) der Norm ECE-R 110 entsprechen.

## Informationen im Internet

Eine Übersicht aller aktuellen Richtlinien, die bisher zur internationalen Harmonisierung der technischen Vorschriften für Kfz erlassen wurden, findet sich auf der Internetseite des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung unter [\[vbs.bund.de/Verkehr/Strasse-,1446/Kfz-technische-Vorschriften.htm\]\(http://vbs.bund.de/Verkehr/Strasse-,1446/Kfz-technische-Vorschriften.htm\). Dort können auch die aktuellen Revisionen zu den Normen ECE-R 67, 110 und 115 nachgelesen werden.](http://bm-</a></p></div><div data-bbox=)

Vor allem die Norm ECE-R 115 ist für die Homologation von LPG-Anlagen von höchster Bedeutung. Geht aus ihr u. a. unter Punkt 6.1.2.4 doch hervor, wie die Emissionsprüfung für LPG-Fahrzeuge durchzuführen ist. Wesentlich für Messung und Wiederholbarkeit des Ergebnisses ist die Verwendung von genormten Prüfkraftstoffen. Diese sind ein bestimmtes Bezugsbenzin und die Bezugsgase LPG A und LPG B. Um welche Be-

zugsgase es sich hier genau handelt, geht aus der ECE-R 115 jedoch nicht hervor. Hier findet sich lediglich ein Verweis auf die ECE-R 83, wo die Prüf-gase festgelegt werden.

Unter Punkt 6.1.3.2 findet sich in der ECE-R 115 noch ein weiterer Hinweis, der in Bezug auf die Verwendung der Bezugsgase LPG A und B von besonderer Relevanz ist. Hier wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bei der Prüfung auf dem Rollenprüfstand die Leistung des zu prüfenden Basisfahrzeuges bei Verwendung von LPG (Bezugsgas A oder B) gegenüber der bei Benzin gemessenen Leistung fünf Prozent niedriger sein muss. Da die Leistungsausbeute eines Motors wesentlich vom Kraftstoff abhängt, ist die normgerechte Festlegung der Prüfkraftstoffe auch in Hinblick auf die Abgasemissionen von Bedeutung.

Nach ECE-R 115 wird bezüglich der Zusammensetzung der Bezugskraftstoffe auf die ECE-R 83 verwiesen. Dort finden sich im Anhang 10a zwei Tabellen, aus denen die Bezugskraftstoffe hervorgehen. Nach diesen Tabellen ist LPG A ein Gemisch aus 30

$\pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan und LPG B aus  $85 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan.

Entsprechend einer Auskunft des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz werden, Bezug nehmend auf die Auskunft des TÜV Pfalz Verkehrswesen GmbH, Typprüfstelle Lamsbheim, bei Typprüfungen von Autogasanlagen entsprechend der EU-Richtlinie 70/220/EWG, geändert durch die Richtlinie 2003/76/EG vom 11. August 2003, eben diese Prüfgase verwendet. Auch nach Auskunft des ADAC, Abteilung Fahrzeugtechnik, und des

Kraftfahrt-Bundesamts sind das die für die Homologation von LPG-Anlagen derzeit eingesetzten Prüfgase.

Wer jedoch versucht, entsprechend der in diesen Auskünften genannten Richtlinien und Verordnungen eine Autogasanlage für ein Neufahrzeug homologieren zu lassen, kann das nach diesen Richtlinien nicht. Denn bereits im letzten Jahr wurden, wie der Referatsleiter Automobilindustrie, Generaldirektion Unternehmen und Industrie der Europäischen Kommissi-

on in Brüssel, Dr. Schulte-Braucks, gegenüber ASP bestätigte, neue Verordnungen zur Homologation von LPG-Anlagen in Neufahrzeugen von der EU erlassen. Hierbei handelt es sich vor allem um die Richtlinie 2005/78/EG, die in Zusammenhang mit der „Mutter“-Richtlinie 2005/55/EG zu sehen ist. Die Richtlinie 2005/78/EG wurde von der Bundesrepublik Deutschland durch Verweis auf das Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften im „Verkehrsblatt“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Heft 7/2006, Seite 343, Reihe 41, umgesetzt. Die Richtlinie 2005/78/EG stellt im Wesentlichen eine Ergänzung und Korrektur der Richtlinie 2005/55/EG dar. Die Richtlinie 2005/78/EG wurde u. a. auch notwendig, wie in der einleitenden Begründung unter Punkt 9 zu lesen ist, um „den Flüssiggas (LPG)-Bezugskraftstoff neu zu spezifizieren, um der Marktentwicklung ab dem 1. Januar 2005 Rechnung zu tragen“.

### Definition der Bezugsgase

Nach dieser jetzt gültigen Richtlinie müssen die Bezugsgase LPG A und B (Tabelle 3 A und 3 B) folgende Zusammensetzung aufweisen: LPG A:  $50 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan, und LPG B:  $85 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan.

Mit dieser Verordnung wurde vor allem das u. a. nach ECE-R 83 spezifizierte Bezugsgas LPG A wesentlich verändert. Der Propan-Anteil wurde um 20 Vol.-Prozent angehoben bzw. Butan um 20 Vol.-Prozent verringert.

Nach Punkt 4.1.5 der „Mutter“-Richtlinie 2005/55/EG muss anhand dieser Bezugskraftstoffe nachgewiesen werden, dass der Ursprungsmotor die Emissionsanforderungen gemäß Anhang IV mit jeder im Markt befindlichen Gaszusammensetzung erfüllt, ohne dass zwischen den einzelnen Prüfungen eine Neueinstellung der Kraftstoffzufuhr erfolgt. Aus dieser neuen Rechtssituation ergeben sich für

**Die falsche Kalibrierung der LPG-Anlage hat auch Auswirkung auf den Benzinbetrieb**



LPG-Motoren laufen nicht selten zu mager oder zu fett

Bilder: Schoch



LPG-Steuerg r te reagieren nur in engem Rahmen auf unterschiedliche Kraftstoffgemische

die Verbraucher, Werkstätten, Händler und Hersteller vollkommen neue Voraussetzungen, die erfüllt werden müssen, damit die LPG-Anlagen im Praxisbetrieb auch einwandfrei funktionieren können.

An erster Stelle steht hier der Kraftstoff selbst. Er dürfte entsprechend der in den Verordnungen 2005/55/EG und 2005/78/EG vorgeschriebenen Verfahrensweise zur Homologation von LPG-Anlagen in Neufahrzeugen lediglich in einer Bandbreite von 50 Vol.-% Propan und 50 Vol.-% Propan bis 85 Vol.-% Propan und 15 Vol.-% Butan an Tankstellen angeboten werden. Für beide Gase, Propan und Butan, bedeutet das eine Varianz von 35 Vol.-%. Um es klar auszudrücken: Der Butananteil sollte lediglich zwischen 15 und 50 Vol.-%, der Propananteil zwischen 50 und 85 Vol.-% schwanken, um den bei der Homologation vorgegebenen Bezugskraftstoffen, insbesondere für die Emissionsmessung und damit auch der Kraftentfaltung des Motors, zu entsprechen.

Nach Auskunft von Dr. Schulte-Braucks regeln die Richtlinien 2005/55/EG und 2005/78/EG lediglich die Typzulassung und die (LPG)-Treibstoffqualität für die Homologation. Die an das LPG gestellten Anforderungen betreffen damit ausschließlich das Testverfahren. Zudem sind die Mitgliedsstaaten nicht verpflichtet, ein bestimmtes LPG tatsächlich auf dem Markt anzubieten. Die rechtliche Grundlage hierfür bietet die DIN EN 589 (vgl. ASP 9/2006). Tatsächlich werden an den Tankstellen LPG-Kraft-

stoffe verschiedenster Mischungen angeboten. Ein Grund hierfür ist die Jahreszeit. LPG-Kraftstoffe müssen nach der DIN EN 589 u. a. zu jeder Zeit und unter allen klimatischen Bedingungen immer einen Manometerdampfdruck von 150 kPa aufweisen. Um diese Vorgabe zu erfüllen, muss der Anteil von Propan, das in LPG der Druckgeber ist, entsprechend erhöht oder verringert werden. Eine andere Ursache können „logistische Gründe“ sein. Welche das sind, wird aber nicht benannt. Eine Anfrage bei der Esso-Raffinerie nahe Ingolstadt, zur Besichtigung der Produktion und Abfüllung von LPG-Kraftstoffen, um die Logistik der LPG-Produktion zu recherchieren, wurde zwar positiv beantwortet, jedoch wurde als frühester Besuchstermin, wegen hoher Arbeitsbelastung der Belegschaft, der Spätfrühling 2007 genannt.

Nach Auskunft einiger Kraftstoffproduzenten und nach Vorlage diverser Gastankstellen-Lieferscheine wurden im Jahr 2006 LPG-Gemische ausgeliefert, die bis zu 95 Vol.-% Propan oder bis zu 60 Vol.-% Butan enthalten. Hierbei ist besonders interessant, dass die Auslieferung des Gemisches 95/5 nach DIN 51622 (so genanntes Camping- oder Heizgas) zur Verwendung als Autogas mehrfach bestätigt wurde. Nach gültigem Steuerrecht und wie auch der ADAC bestätigt, darf jedoch nur Kraftstoff nach

der DIN EN 589 an Tankstellen und Verbraucher als Kraftstoff für Kfz ausgeliefert bzw. verkauft werden. Darüber hinaus wurde das LPG-Gasgemisch 95/5, das wegen seines hohen Propan-Anteils ein ausgesprochenes Wintergas wäre, auch noch in den Monaten April bis September ausgeliefert.

### Mischungsverhältnis

Wie wichtig das Mischungsverhältnis von Propan und Butan ist, zeigen folgende Erläuterungen. Die meisten Autogasanlagen arbeiten nach dem Verdampferprinzip, d. h. sie verdampfen zuerst das flüssige Gas, um es dann über die Dosierventile in den Ansaugtrakt zu blasen. Das zunächst flüssige Gas im Tank drückt sich vorher jedoch durch seinen Eigendruck durch die Sicherheitsventile, Filter und Leitungen bis zum Verdampfer, wo es mit Hilfe von heißem Kühlwasser vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht. Propan hat einen Siedepunkt von minus 42 Grad Celsius und baut auch

bei tiefen Temperaturen ausreichenden Tankdruck auf. Reines Butan jedoch hat einen Siedepunkt von null Grad Celsius und könnte folglich bei Minusgraden keinen Druck mehr aufbauen. Aus diesen Gründen wird dem Kraftstoff im Sommer mehr Butan und im Winter mehr Propan beigemischt,

denn Butan hat je Liter einen höheren Heizwert und steigert bei gleichem Tankinhalt die Reichweite. Propan hingegen kann generell im Sommer wie Winter gefahren werden.

Doch der Teufel steckt im Detail. Propan ist ein Kohlenwasserstoff mit der chemischen Formel  $C_3H_8$ , Butan hat die Formel  $C_4H_{10}$ . Das bedeutet, Propan benötigt fünf Sauerstoffmoleküle, um mit Luft vollständig zu Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und Wasser ( $H_2O$ ) zu verbrennen, Butan jedoch sechs-

Sämtliche  
LPG-  
Kraftstoffe  
müssen  
der Norm  
DIN EN 589  
entsprechen

einhalb. Bekanntlich nehmen ideale Gase nur ein von der Teilchenzahl abhängiges Gasvolumen ein – Propan und Butan verhalten sich nach der Verdampfung ideal. Jedoch verbrauchen die Gase unterschiedliche Mengen an Sauerstoff und damit Luft. Wird aus den bekannten Stoffeigenschaften errechnet, wie viele Liter Luft ein Liter eines gasförmigen Kraftstoffs zur vollständigen Verbrennung benötigt, so erhält man etwa 24 Liter für Propan und 31 Liter für Butan.

### Korrekturbedarf: 13%

Zwischen einer 95/5-Winter- und einer 40/60-Sommer-Gasmischung ändert sich der Luftbedarf um rund 16 Prozent. Durch Strömungseffekte in den Injektoren und unterschiedliche Durchsätze durch leicht unterschiedliche Strömungseigenschaften der Gase bedingt, ist diese Zahl um etwa 20 Prozent nach unten zu korrigieren, da Butan etwas zäher durch die Ventile und Leitungen strömt. Jedoch verbleibt immer noch ein theoretischer Korrekturbedarf von rund 13 Prozent zwischen den Mischungen 95/5 und 40/60, der von vielen Umrüstern anhand der Langzeitkalibrierfaktoren auch praktisch bestätigt werden kann. Was bedeutet das in der Praxis? Eine normale Verdampferanlage wird im Sommer vom Umrüster betankt und folglich auf ein Sommergas 40/60 abgestimmt, die Anlage läuft perfekt. Nun nähert sich der Winter, der Tankstellenbetreiber wird mit 95/5 beliefert oder der Fahrer kommt an eine Tankstelle, die ganzjährig das Wintergas 95/5 anbietet. Der Kennfeldrechner im Pkw weiß, bei welcher Drosselklappenstellung und Drehzahl die Einspritzdüse wie lange geöffnet werden muss. Allerdings basieren diese Einstellungen auf einem 40/60-Sommergas. Das 95/5-

**Zu magerer Einstellung führt zu Temperaturanstieg und Verbrennung der Ventile**



Wintergas braucht jedoch weniger Luft zur vollständigen Verbrennung. Lambda steigt an, der Motor läuft zu mager. Zudem erhöhen sich mit steigendem Lambda auch die Abgastemperaturen. Der Motor läuft zu heiß und verbrennt auf Dauer die Auslassventile, auch wenn er zunächst sparsam ist und mit wenig Mehrverbrauch gegenüber dem Benzinbetrieb glänzt.

Glücklicherweise besitzt der Pkw eine Lambda-Regelung, die in weiten Bereichen des Kennfeldes ein zu mageres Gemisch anfettet und somit schlechten Abgaswerten und langfristige Motorschäden vorbeugt. Jedoch hat jede Lambda-Korrektur motor- und herstellereinspezifische Grenzwerte, bis zu denen eine Korrektur seitens der Elektronik als plausibel angenommen und nachkorrigiert wird. Werden diese Grenzwerte überschritten oder wird bei Vollgas gar keine Lambda-Korrektur vorgenommen, so können Gemische magerer als erwünscht verbrennen. Folglich kann ein auf Sommergas abgestimmter und auch vollgasfester Motor abmagern und die Auslassventile zerstören, ohne dass

die Motorelektronik eingreift. Auf der anderen Seite wird ein unter Wintergas abgestimmter Motor bei Betankung mit Sommergas tendenziell zu fett laufen, was dem Motor weniger schadet als den Abgaswerten und über den Mehrverbrauch auch dem Geldbeutel des Fahrers. In dem Dreieck Fahrer-Umrüster-Tankstelle hat in Summe keiner einen Fehler begangen und dennoch ist das Ergebnis ggf. unbefriedigend.

Von dem beschriebenen Effekt des stark von der Kraftstoffzusammensetzung abhängigen Luftbedarfs sind in ähnlicher Größenordnung auch neuere, flüssig einspritzende Gasanlagen betroffen. Der Umfang des Problems hängt stark vom Design der Injektionsdüsen ab und welche Flüssiggasmenge, abhängig von der Kraftstoffzusammensetzung, bei gegebenem Vordruck durch die Düse fließt.

Die Auswirkungen der verschiedenen LPG-Gemische beschränken sich jedoch nicht nur auf den Gasbetrieb. Sie nehmen auch Einfluss auf den Benzinbetrieb. Dies liegt vor allem an der derzeitigen Technik bei der Einspritzzeit-Hochrechnung. So ist es nach wie vor für den Gasbetrieb notwendig, dass das Benzinsteuergerät unverändert weiterarbeitet. Hierzu müssen die Einspritzsignale an der



Benzineinspritzdüse gekappt und über einen Einspritzemulator, der über Widerstände und Spulen verfügt, in Wärmeenergie umgewandelt werden. Mit diesem Trick wird erreicht, dass das Benzinsteuergerät im Gasbetrieb ohne Fehlermeldung und/oder negative Einflüsse auf die OBD bzw. Endstufe des Benzinsteuergerätes weiter die Einspritzzeiten-Steuerung aufrechterhalten kann.

### Kennfeldanpassung

Die adaptiven Integratordaten und das multiplikative Kennfeld des Steuergerätes werden im Benzinbetrieb den motorischen Bedingungen, wie z. B. Alterung, Verschleiß, Abgasverhalten, Kraftstoffqualität und Lambdaregelung, angepasst. Die Verstellweite des multiplikativen Kennfeldes sollte jedoch nicht mehr als plusminus fünf Prozent bei der steten Adaption eines alternden Motors abweichen.

Im Gasbetrieb muss dabei das Gassteuergerät so justiert werden, dass die Gassteuerung exakt der Steuerung des Benzinbetriebes entspricht. Deswegen muss es über eine angeschlossene Lambdasonde verfügen, um eine direkte Nachregelung des Abgasverhältnisses auf Lambda wie im Benzinbetrieb zu erreichen. Ist das

Auch Tankstellenbetreiber wissen oft nichts von der Zusammensetzung des LPG-Gemischs

Gaskennfeld jedoch in den verschiedenen Lastverhältnissen nicht ordentlich justiert oder es wird im Fahrbetrieb ein LPG-Kraftstoff verwendet, der erheblich von den Homologations-Bezugskraftstoffen abweicht, registriert das das Benzinsteuergerät und verstellt seine multiplikativen Kennfelder so lange, bis über die Benzineinspritzsignale das Gassteuergerät diesen Mangel über eine verlängerte oder verkürzte Gaseinblaszeit nachvollzieht und ausgleicht. Das kann es softwaretechnisch jedoch nur in den Grenzen, die von den verwendeten Homologationsgasen vorgegeben sind. Die direkte Folge hieraus ist, dass sich auch das Benzinsteuergerät verstellt und mit den verstellten Kennfeldern auch während des Benzinbetriebs weiterarbeitet. Dies führt fast immer zu schlechten Motorbetriebsbedingungen und im Endstadium zu Motorschäden.

Zur schnellen Nachjustierung ist das Benzinsteuergerät nicht in der Lage. Die adaptive Kennfeldjustierung benötigt meist Tage bis Wochen, bis das Benzinsteuergerät selbstständig seine Kennfelder nachjustiert hat. Es wird immer wieder von Seiten der Gasanlagenimporteure darauf hingewiesen, dass die OBD hierauf sofort mit einer Fehlermeldung aufmerksam macht. Das ist dann nicht der Fall, wenn die OBD für viele Betriebsbedingungen bewusst abgeschaltet wird.

Da nachweislich die beiden oben genannten LPG-Gemische, aber auch viele andere (alle entsprechend der DIN EN 589 und DIN 51622) an Autogastankstellen in Deutschland erhältlich sind, verstärken sich die Probleme vor dem Hintergrund der bisher angewendeten Homologations-Regelungen für Autogasanlagen.

So finden sich auf Deutschlands Straßen zurzeit drei LPG-Fahrzeuggruppen:

### Drei Fahrzeuggruppen

1. LPG-Neufahrzeuge, die nach den Richtlinien 2005/55/EG und 2005/78/EG homologiert sind. Sie benötigen für einen störungsfreien Betrieb ein LPG-Gemisch, das zwischen  $50 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan und  $85 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan liegt.
2. Fahrzeuge, die gemäß der ECE-R 83 homologiert sind: Sie benötigen ein LPG-Gemisch, das zwischen  $30 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan und  $85 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan liegt.
3. LPG-Altfahrzeuge, die einst auf LPG nach DIN 51622 (Heizgas) eingestellt worden sind (vor 03.2004). Sie

benötigen ein LPG-Gemisch, das zwischen  $95 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan und  $70 \pm 2$  Vol.-Prozent Propan und Rest Butan liegt.

Das bedeutet, je nach Richtlinie, nach der ein LPG-Fahrzeug homologiert wurde, benötigt es seinen passenden Kraftstoff für einen störungsfreien Betrieb. Aufgrund

der mehrfach veränderten und ergänzten Richtlinien bleibt den Gasanlagenherstellern derzeit nichts anderes übrig, als Gasanlagen zu entwickeln, die selbstständig adaptiv in Verbindung mit einer Lambdasonde arbeiten. Solche Gasanlagen könnten auf die verschiedenen Gasgemische, die auf dem Markt erhältlich sind, im Gasbetrieb reagieren und somit effektiv auch ein Verstellen der Benzinkennfelder verhindern. Nur über diesen Umweg könnten die Probleme, die sich aus zu fett oder zu mager laufenden Motoren (Emissionsverhalten und Lebensdauer) ergeben, nachhaltig gelöst werden.

*Marcel Schoch*

LPG-Anlagen müssen den europäischen Normen ECE-R 115 und ECE-R 67 genügen