



# Flexy-Fuel-Technik



Projektarbeit im Rahmen des 2.Praxissemesters





## **Inhaltsverzeichnis**

- 1. Einleitung**
- 2. Eigenschaften des Ethanols**
  - 2.1 chemische Eigenschaften**
  - 2.2 Emissionen**
- 3. Benzin-Einspritztechnik und Umrüstungsfähigkeit**
- 4. Umrüstmöglichkeiten**
  - FLEXTEK**
  - FULLFLEX GOLD**
  - TOTALFLEX**
  - FLEX TUNE**
- 5. Materialbeständigkeit**
  - 5.1 Kraftstoffführende Materialien**
  - 5.2 Benzinpumpen**
- 6. Erfahrungen aus Schweden**
- 7. Begriffserklärungen**



## 1. Einleitung

Seit der Erfindung des Ottomotors durch Nikolaus August Otto besteht auch schon das Bestreben Ottomotoren mit Ethanol zu betreiben.

Bedingt durch ökonomische Aspekte wurde jedoch über Jahrzehnte das Betreiben von Ottomotoren mit regenerativen Kraftstoffen vernachlässigt.

Durch die in den letzten Jahrzehnten immer knapper werdenden fossilen Ressourcen und durch das immer brisanter werdende Thema der Klimaerwärmung wird seit einiger Zeit nun wieder verstärkt auf Alkohol als Kraftstoff gesetzt.

Brasilien setzt seit Mitte der 70er Jahre noch unter dem Schock der Ölkrise auf Bioethanol..

In Brasilien tanken 2/3 aller Neuzulassungen Ethanol aus Zuckerrohr.

Ford bietet in Schweden schon seit Ende 2001 mit ihren FFV-Modellen die Möglichkeit Ethanol als Kraftstoff einzusetzen.



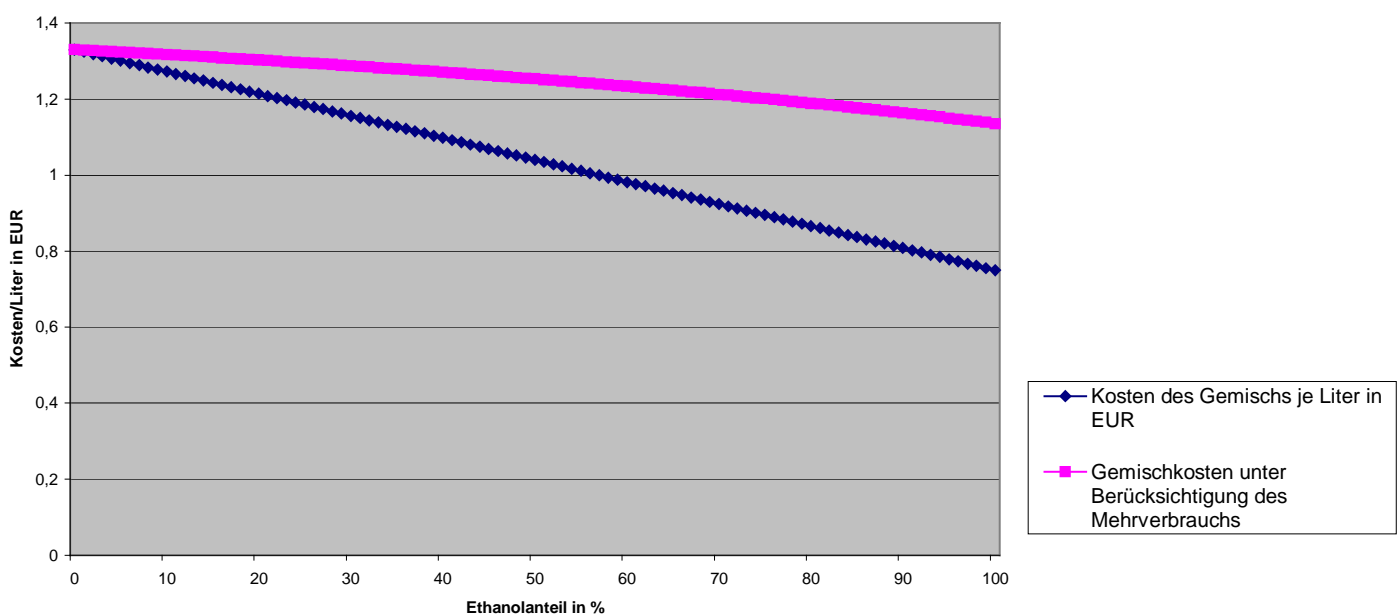
## 2. Eigenschaften des Ethanols

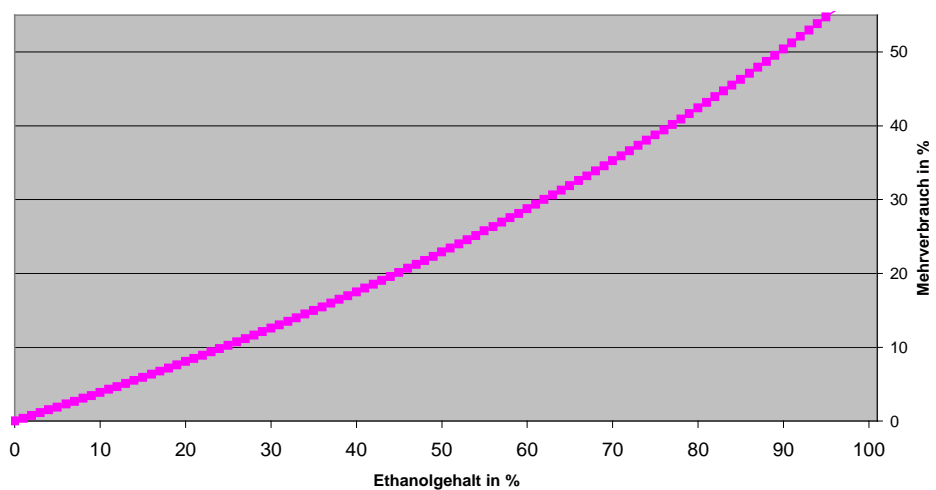
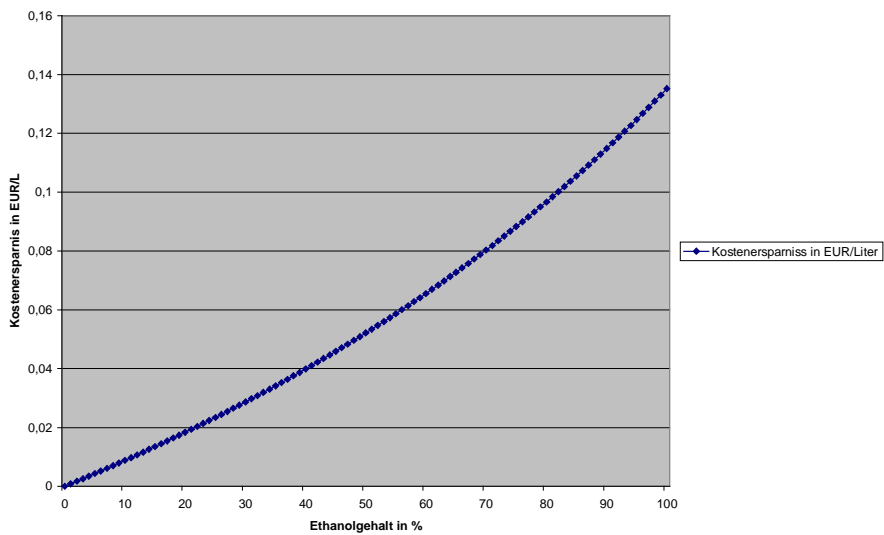
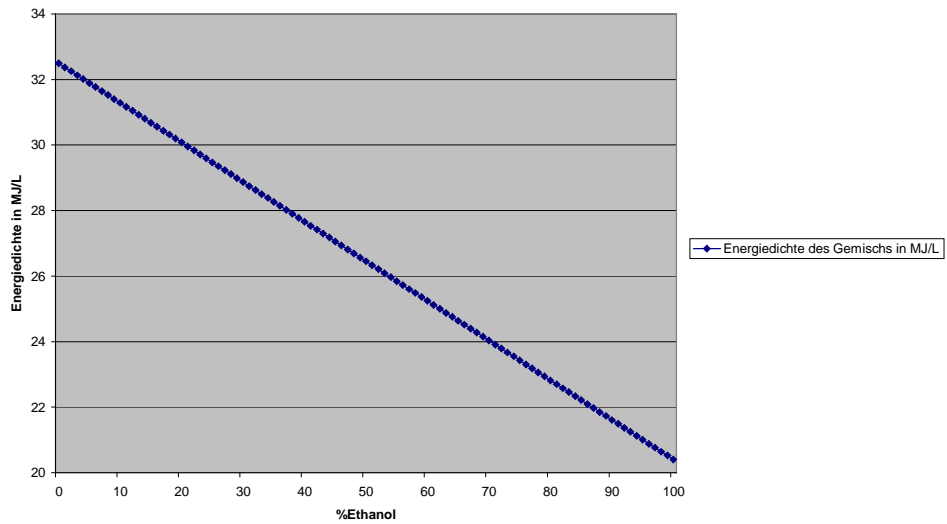
### 2.1 chemische Eigenschaften

<b>Kennwert</b>	<b>Normalbenzin</b>	<b>Ethanol</b>
<b>Dichte (kg/l)</b>	0,74	0,79
<b>Octanzahl</b> (Klopffestigkeit OZ)	91	110
<b>Heizwert (MJ/l)</b>	32,5	20,4
<b>Sauerstoffgehalt</b> (Gewichts-%)	<3	33

Quelle: C.A.R.M.E.N Nachwachsende Rohstoffe  
ISBN:3-7614-2426-4

Nur unter Berücksichtigung des Energiegehalts ergeben sich folgende Werte.  
Bei der Ermittlung folgender Diagramme wurde ein Preis von 1,33EUR /Liter Benzin und 0,75EUR/Liter Ethanol angenommen. Hierbei handelt es sich um theoretisch ermittelte Kennlinien. Der Mehrverbrauch liegt bei E85 in der Regel bei ca. 20%.







## 2.2 Emissionen

Aufgrund der CO<sub>2</sub>-Neutralität der biogenen Kraftstoffe treten während der Nutzungsphase bei diesen Prozessketten keine zu berücksichtigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Trotz der höheren kumulierten N<sub>2</sub>O-Emissionen durch die vorgelagerten landwirtschaftlichen Prozesse schneiden die biogenen Prozessketten bei den klimarelevanten Emissionen besser ab als das konventionelle Referenzsystem. Dies trifft auch auf 15%iges ETBE zu. Bei reinem Ethanol sinken die GWP-Emissionen um etwa 60%.

Die CO-Emissionen sinken schon bei nur 5%igem Ethanol um etwa 20%, bei weiter steigendem Ethanolanteil sinken diese Emissionen bis auf 60%. Dies beruht auf der sauberen Verbrennung aufgrund des Sauerstoffanteils im Ethanol. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen bleiben nahezu konstant, während die CH<sub>4</sub>-Emissionen aufgrund der vorgelagerten Emissionen steigen und sich die NMVOC-Emissionen auf unter die Hälfte verringern lassen. Die SO<sub>2</sub>-Emissionen verringern sich nur geringfügig.

Im Vergleich der biogenen Kraftstoffe untereinander schneidet Ethanol aus Roggen am besten ab, gefolgt von Weizen, Mais und Zuckerrüben.

*Quelle: Gelbes Heft 76 des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten*

Diese Ergebnisse wurden weitestgehend in einer Studie des („schwedischen TÜV’s“) AVL MTC AB im Mai 2006 bestätigt.



### **3. Benzin-Einspritztechnik und Umrüstungsfähigkeit**

Grundsätzlich sind alle „Gemischbildungssysteme“ (Kraftstoff-/Luft) für Ottomotoren für den Betrieb mit Ethanol geeignet.

Als Grundregel gilt: Je mehr Temperatur am Punkt der Gemischbildung vorhanden ist desto besser ist es für den Betrieb mit Ethanol geeignet. Dies ist auf die wesentlich höhere verdampfungsenthalpische Wirkung von Ethanol zurückzuführen.

Bei Gemischbildungssystemen welche außerhalb des Motors oder weit vom Motor entfernt bereits das Gemisch bilden kommt es Erfahrungsberichten aus Schweden zu Folge durchaus auch zu Vereisungen des Umfeldes in dem die Gemischbildung erfolgt.

Die in Kapitel 4 beschriebenen Umrüststeuergeräte sind nur für die Multipoint-Einspritzsysteme vorgesehen die sich als am unproblematischsten herausgestellt haben.

Für alle anderen Gemischbildungssysteme gibt es nach aktuellen Recherchen noch keine Umrüstsysteme auf dem Markt. Eine nachträgliche Umrüstung ist zwar möglich jedoch nicht so einfach wie bei den Multipoint-Einspritzsystemen.

In Brasilien sind jedoch aufgrund der durchschnittlich höheren Umgebungstemperaturen auch mit Vergasern positive Erfahrungen gemacht worden.

Die Ethanoloptimierung wurde hier ab Werk durch größere Bedüsungen der Vergaser und Veränderungen der Düsennadelstellung vorgenommen.

In Schweden gab es zur Umrüstung von Vergasermotoren auch verschiedene Tests. Hier wurde der Vergaser mittels Kühlwasser und in der Startphase elektrisch beheizt.

Entsprechende Isoliermaßnahmen wurden auch vorgenommen.

Somit konnte ein Vereisen des Vergasers vermieden werden und die Betriebssicherheit war weitgehend gewährleistet. Die bisherigen Recherchen ergaben aber dass es auch in Schweden keine käufliche Lösung der Vergaserumrüstung für Ethanolbetrieb gibt.



## 4.Umrüstmöglichkeiten

Es gibt bereits einige Umrüstsysteme für E85 auf dem Markt zu kaufen. Es handelt sich immer um eine elektronische Steuereinheit welche in den Leitungen zu den Einspritzventilen zwischengeschaltet wird. Teilweise wird auch die Lambdasonde als Sensor mit in die Steuerungen hinzugezogen.

### **FLEXTEK**

Für die meisten Fahrzeuge mit Multi-Point Einspritzsystem Elektronik wurde von der brasilianischen Firma AGE entwickelt. Über einen Schalter wird Alkohol oder Benzinbetrieb voreingestellt. Weder Lamdasonde noch Klopfsensor werden unmittelbar als Sensor genutzt. Das Gerät verfügt (optional) über eine spezielle Kaltstartfunktion.



ja nach Fahrzeugtyp kostet das Steuergerät von 516.00\$ bis 978.00\$

[www.flex-tek.eu](http://www.flex-tek.eu)

### **FULLFLEXGOLD**

Vollständig automatisch und programmierbare Steuereinheit für Multi-Point-Einspritzsysteme. Weder Lamdasonde noch Klopfsensor werden unmittelbar als Sensor hinzugezogen.



je nach Fahrzeugtyp von 369.99\$ bis 509.00\$

[www.fullflex.com.br](http://www.fullflex.com.br)





## TOTALFLEX

Vollautomatisch funktionierendes Steuergerät. Eine Manuelle Betätigung ist nicht nötig. Steuergerät das zur Berechnung der Gemischbildung auch die Werte der Lambdasonde nutzt. Das Signal des Klopfensors wird jedoch nicht unmittelbar zur Ermittlung der Parameter verwendet.

Ab Herbst 2007 soll laut Hersteller ein Kaltstartnchrüstsatz verfügbar sein.

Immer wieder tauchen bei den Umrüstungen Probleme mit den Benzinpumpen auf.

Die Firma Totalflex bietet hier ethanolbeständige Benzinpumpen an.



[www.totalflex.de](http://www.totalflex.de)

## FLEX TUNE

Dieses Steuergerät wird in Brasilien hergestellt und findet seinen Absatzmarkt vor allem in den USA.

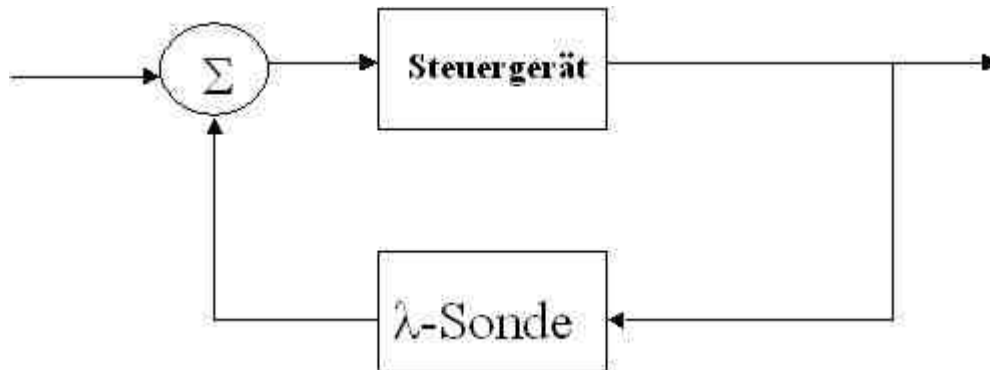
Das Flex Tune Steuergerät ist das einzigste Steuergerät das ein zusätzliches Bedienteil im Fahrzeug erfordert. Dies lässt eine Einstellung der erhöhten Einspritzmenge in neun Stufen zu. Der Hersteller bezeichnet die Stufen 0 bis 4 als „economical mode“ und die Stufen 5 bis 9 als „power mode“. Eine Kaltstartfunktion ist ebenso bereits integriert und wird über eine 3 Sekunden anhaltende Stellung des Zündschlüssels auf ON gestartet. Laut Hersteller wird hier auch nur die Einspritzzeit verlängert.

Auch dieses Steuergerät ist nur für die Multi-Point-Einspritzsysteme verfügbar. Der Hersteller sieht sich jedoch in der Lage in Kürze auch für andere Einspritzsysteme entsprechende Steuergeräte zu liefern.

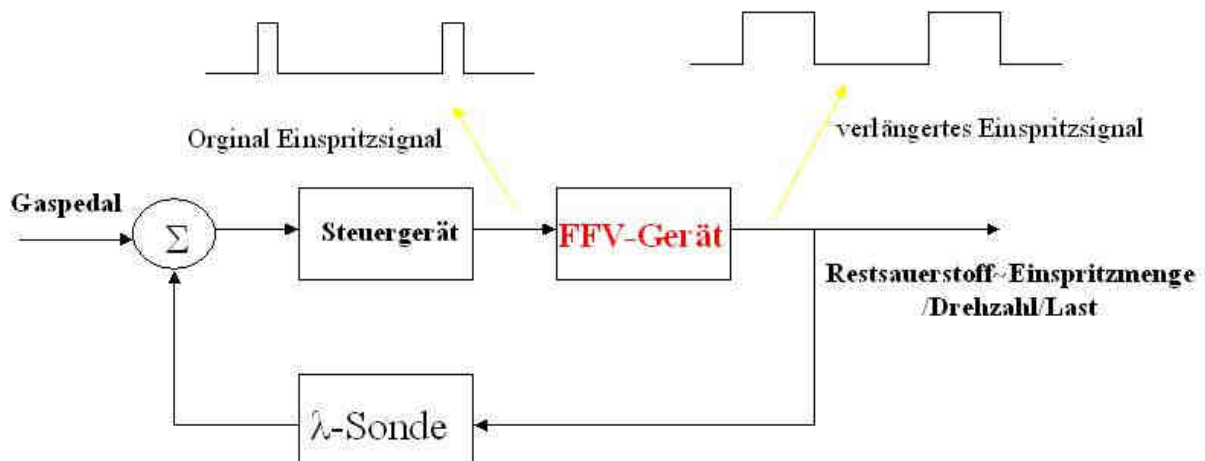


Preis: 549.00\$

<http://www.flextuneusa.com/index.php>



**Regelkreis ohne FFV-Gerät**



**Regelkreis mit FFV-Gerät**



## 5. Materialbeständigkeit

### 5.1 Kraftstoffführende Materialien

	<b>Ethanol</b>	<b>Methanol</b>	<b>Gasoline</b>
<b>Conventional Polyethylene</b>	good	excellent	poor
<b>High-density Polyethylene</b>	excellent	excellent	good
<b>Teflon</b>	excellent	excellent	excellent
<b>Tefzel</b>	excellent	excellent	excellent
<b>Polypropylene</b>	good	excellent	fair
<b>Polymethylpentene</b>	good	excellent	fair
<b>Polycarbonate</b>	good	fair	fair
<b>Polyvinyl Chloride</b>	good	fair	poor

Excellent: Will tolerate years of exposure.

Fair: Some signs of deterioration after one week of exposure.

Good: No damage after 30 days of exposure, should tolerate several years of exposure.

Poor: Deteriorates readily.

NOTE: All tests were made with liquids at 122 deg F.

Quelle: [http://journeytoforever.org/biofuel\\_library/ethanol\\_motherearth/me2.html](http://journeytoforever.org/biofuel_library/ethanol_motherearth/me2.html)

Die Firma **Masterflex** gibt folgende Werkstoffe aufgrund ihrer Prüfungen als ausgezeichnet ethanolbeständig an.

- Hypalon
- Viton
- PTFE
- Neopren
- Kapton
- TPV

und folgende Materialien als ausgezeichnet benzinbeständig:

- Ester-Pur
- Ether-Pur
- Viton
- PTFE
- Kapton

Daraus abgeleitet scheint Viton, PTFE und Kapton am besten für Mischungen aus Ethanol und Benzin geeignet zu sein.

Quelle: [http://www.masterflex.de/de/produktkatalog/Katalog/Register\\_27/Bestaendigkeitsliste/e.htm](http://www.masterflex.de/de/produktkatalog/Katalog/Register_27/Bestaendigkeitsliste/e.htm)

Laut Auskunft des Autohaus Schleiter setzt Ford bei den FFV-Modellen auf Edelstahl als Werkstoff für kraftstoffführende Teile.



## 5.2 Benzinpumpen

Wegen dem durch mangelnde Selbstschmierung erhöhten Verschleiß der Kraftstoffpumpen wurde eine genauere Betrachtung der in den FFV-Fahrzeugen verwendeten Kraftstoffpumpen nötig.

Der deutsche Automobilhersteller **Bajah** baut Toyota FFV-Motoren in ihre Fahrzeuge ein.

*Laut telefonischer Auskunft (Stammsitz in Bad Nauheim) von Bajah liegt der Absatzmarkt der Firma Bajah jedoch weniger in Deutschland sondern eher in den US-Amerikanischen Krisengebieten Sudan, Iran.*

Die Firma Bajah setzt bei den FFV-Modellen hier auf Kraftstoffpumpen der Firma Walbro. Laut telefonischer Auskunft verbaut die Firma Bajah Walbrokraftstoffpumpen des Typs FR4682.

Bei einem Telefonat mit der deutschen Vertretung der Firma Walbro wurde auf die Schwesterfirma TI Automotive verwiesen. Internetrecherchen erbrachten bisher aber noch keine genaueren Auskünfte bezüglich dieses Pumpentyps. Auch nach telefonischer Kontaktaufnahme ergab sich von Seiten der Firma TI Automotive nicht die Möglichkeit entsprechende Datenblätter der Pumpe zu Verfügung zu stellen.



## 6. Erfahrungen

Ein FFV-Umrüstgeräte-Hersteller äußerte sich bezüglich der Funktion seiner Geräte folgendermaßen. Sein Gerät sei darauf ausgerichtet die Ansteuerzeiten der Einspritzventile entsprechend des niedrigeren Energiegehalts von Ethanol zu verlängern. Da die Ausgänge der originalen Motormanagement-Steuerungen auf den Referenzkraftstoff Benzin ausgelegt sind wird mit Ethanol bei Originalkonfiguration die maximale Ausgangsstellgrenze des Motormanagements erreicht. Das bedeutet: Die Einspritzmenge welche mit entsprechenden Ethanol-Benzingemischen erreicht werden sollte um den Regelkreis auf den Sollwert  $\lambda=1$  zu regeln wird nicht erreicht.

Das ist im normalen Benzinbetrieb auch durchaus sinnig. Hiermit wird abgesichert dass im Fehlerfalle der Lambdasonde nur der Maximalwert(Stellgrenze) eingespritzt werden kann, und somit im Fehlerfalle nicht ein viel zu fettes Gemisch verbrannt wird. Für den Ethanolbetrieb jedoch reicht die obere Stellgrenze des Regelkreises nicht aus um die für  $\lambda=1$  erforderliche Kraftstoffmenge zu erreichen.

Durch die Verlängerung der Einspritzdauer wird wieder eine Verbrennung gegen  $\lambda=1$  ermöglicht.

Den erforderlichen Mehrverbrauchsfaktor, der für das aktuell getankte Gemisch benötigt wird, zu ermitteln kann auf verschiedene Arten erfolgen.

Grundsätzlich kann durch eine manuelle Voreinstellung gemäß dem getankten Gemisch ein Faktor gewählt werden welcher sicherstellt dass sich die Lambdaregelung im Regelbereich befindet. Dies erfordert ein aktives Mitdenken des Fahrers.

Eine andere Möglichkeit wäre das Lambdasondensignal bei konstanter Drehzahl abzugreifen und somit softwaretechnisch eine genaue Verlängerung der Einspritzzeit zu berechnen.

Dieses Delay zu realisieren kann auf viele verschiedene Arten passieren.

Regelungstechnisch wäre dies über ein PT1-Glied möglich. Dieses könnte man über einen entsprechend beschalteten Operationsverstärker realisieren.

In der Analogtechnik wäre das entsprechende Delay über ein variables RC-Glied mit Schmitt-Trigger zu realisieren.

Auch die Digitaltechnik würde über A/D-Wandler und nachgeschaltetem Registerspeicher zahlreiche Möglichkeiten bieten dieses Delay-Glied digital zu realisieren. Über einen Quarztaktgeber und dementsprechender Zählermöglichkeit ließe sich hiermit eine beliebig fein abgestimmte Möglichkeit bieten dies auch in integrierten programmierbaren Schaltkreisen zu realisieren. Unter anderem ist auch eine Realisierung durch Microcontroller eine betriebssichere, kostengünstige und variable Möglichkeit dieses Delay zu realisieren. Bei dieser Variante würde die Taktzeit des Quarzes und die Rasterung des A/D-Wandlers über die Genauigkeit des Delays entscheiden.



Dennoch wird unter Fachleuten dazu geraten auch die Einspritzdrücke zu erhöhen was das Kaltstartverhalten maßgeblich verbessert.

Als Faustregel: doppelter Einspritzdruck 1,4 fache Menge. Also 40% höhere Einspritzmenge bei doppeltem Einspritzdruck. 40% entsprechen wiederum in etwa der niedrigeren Energiedichte von E85.

Laut einschlägigen Erfahrungen sollte man um ein Optimum zu erreichen sowohl am Druck als auch an der Einspritzdauer Nachjustierungen vornehmen. Wenn jedoch an beiden Parametern eingestellt wird dann natürlich nicht den doppelten Einspritzdruck einstellen. Der Druck wird dann verändert um das Kaltstartverhalten zu verbessern und die Einspritzzeit wird verändert um die geringere Energiedichte auszugleichen und um wieder  $\lambda=1$  zu erreichen.



## 7. Begriffserklärungen

### **Oktananzahl**

Die Oktanzahl ist ein Maß für die Klopfestigkeit. Sie beschreibt die Eigenschaft der Selbstzündung durch die Eigenerwärmung beim Verdichtungsakt. Die Zahlen Referenzieren auf den Volumen-%-Anteil des Stoffs Isooktan. Bei bis zu 100% Kann also durch Interpolation von Referenzmessungen die Oktanzahl bestimmt werden.

Schwieriger wird es bei Oktanzahlen von über 100. Hier befindet man sich nicht mehr im Definitionsbereich. Diese Werte müssen also durch Extrapolation ermittelt werden. Bei den durch Extrapolation ermittelten Oktanzahlen spricht man deshalb auch von Blendoktanzahlen.

### **Zentraleinspritzung**

Eine Einspritzdüse im Ansaugkrümmer versorgt alle Zylinder mit Gemisch.

### **MPI (multipoint injektion)**

Gängiges Einspritzsystem bei dem jeder Zylinder über ein eigenes Einspritzsystem verfügt. Durch MPI kann ein für jeden Zylinder gleichmäßigeres Gemisch und geringerer Kraftstoffverbrauch erzielt werden, als dies bei der Zentraleinspritzung der Fall ist.

### **sequentielle Einspritzung**

Unter einer sequentiellen Einspritzung versteht man das zeitlich versetzte Einspritzen der für einen Arbeitstakt erforderlichen Kraftstoffmenge unmittelbar vor den jeweiligen Einlassventilen der Zylinder.

### **Gruppeneinspritzung**

Unter einer Gruppeneinspritzung versteht man ein zeitgleiches Einspritzen des pro Arbeitstakt erforderlichen Kraftstoffs (unmittelbar vor den Einlassventilen) für mehrere Zylinder. Zum Beispiel wird bei einem 4-zylinder der Zyl.1 und der Zyl.3 zeitgleich mit Kraftstoff versorgt. Die Einspritzung für Zyl.2 und Zyl.4 erfolgt ebenfalls zeitgleich, jedoch zu einem späteren Zeitpunkt.

### **Simultaneinspritzung**

Die Simultaneinspritzung spritzt unmittelbar vor den Einlassventilen für alle Zylinder zeitgleich den Kraftstoff ein. Jedoch findet pro Kurbelwellenumdrehung ein Einspritzvorgang statt. Pro Einspritzvorgang wird jedoch nur ein Teil der für den Arbeitstakt erforderlichen Kraftstoffmenge eingespritzt. Also für 2 Kurbelwellenumdrehungen finden 2 Einspritzvorgänge statt welche zusammen wieder die erforderliche Einspritzmenge für einen Arbeitstakt ergeben.

### **Enthalpie**

Die Enthalpie ist ein Maß für die Energie eines thermodynamischen Vorgangs. Die Enthalpie setzt sich aus der inneren Energie und der Volumenarbeit (Druck/Volumen).

Hier: Beim Wechseln des Aggregatzustandes von flüssig auf gasförmig wird Kälte „freigesetzt“.



## **Blendoktanzahl**

Die Blendoktanzahl gibt an wieviel%-Volumenanteil Isooktan sich in einer Mischung mit n-Heptan befinden muß damit er die gleiche Klopfestigkeit aufweist wie der zu prüfende Kraftstoff.

Sprich 100 Oktan entspricht 100% Isooktan. Also kann eigentlich keine Oktanzahl höher als 100 gemessen werden. Extrapoliert man den Verlauf des %-ROZ-Verlaufs über den Definitionsbereich hinaus kann sich jedoch durchaus eine Referenz zur Ermittlung der Oktanzahl ergeben.