

λ (Lambda), ein kleiner Überblick...

Da sich quer durch alle möglichen Foren, welche sich mit Verbrennungsmotoren beschäftigen, immer wieder das Thema λ -Messung und Fragen zu diesem Thema finden lassen, will ich hier einen kleinen Artikel zu dieser Thematik schreiben, der evtl. etwas Klarheit in die Sache bringt.

Fangen wir mal recht weit vorne an, mit den grundlegenden Zusammenhängen der Gemischbildung, bzw. Zusammensetzung.

Was Bedeutet eigentlich λ (Lambda), AFR, A/F und F/A??

Bei jedem TÜV-Termin mit einem neueren KFZ will der Prüfer im Leerlauf immer den λ 1-Wert sehen...

Der 1-Wert ist erreicht, wenn das Verhältnis zwischen Luft und Kraftstoff bei ca. 14,7:1 liegt, was bedeutet, dass der Kraftstoff genau die Menge an Luft hat um vollständig zu verbrennen.

Um genau zu sein werden 14,7KG Luft zusammen mit 1 KG Kraftstoff verbrannt.

Ist mehr Luft vorhanden, so wird der λ -Wert größer, ist weniger Luft vorhanden, so wird der λ -Wert kleiner.

Man spricht hier von fettem Gemisch wenn ein Luftmangel, von magerem Gemisch, wenn Luftüberschuss herrscht.

Also wie folgt.

0,8.....1.....1,2

Fett λ 1 mager

Wobei das Verhältnis 14,7:1 auf normalem Kraftstoff basiert – hier ist nicht Normal oder Super gemeint, sondern Benzin ohne Zusatz von Bioethanol (Stichwort E10, dazu später mehr)
Im gleichen Atemzug wird immer der A/F-Wert oder AFR (Air/Fuel-Ratio genannt).

Der AF-Wert errechnet sich $\lambda \times 14,7$

Hierzu eine kleine Tabelle (am Ende noch eine feiner aufgelöste Version).

λ	AFR
0,7	10,3
0,8	11,0
0,8	11,8
0,9	12,5
0,9	13,2
1,0	14,0
1,0	14,7
1,1	15,4
1,1	16,2
1,2	16,9
1,2	17,6
1,3	18,4
1,3	19,1

Ganz gelegentlich findet man noch Programme oder Tuner, die mit FAR, also Fuel/Air-Ratio arbeiten, was aber aus der Logik heraus eher unpraktisch ist, da die Zahlenwerte sehr klein werden.

Rein mathematisch betrachtet ist es natürlich egal, aber das hat sich so eingebürgert – wieder die Tabelle dazu:

λ	AFR	FAR
0,7	10,3	0,048
0,8	11,0	0,051
0,8	11,8	0,054
0,9	12,5	0,058
0,9	13,2	0,061
1,0	14,0	0,065
1,0	14,7	0,068
1,1	15,4	0,071
1,1	16,2	0,075
1,2	16,9	0,078
1,2	17,6	0,082
1,3	18,4	0,085
1,3	19,1	0,088

Wer z.B. noch einen neueres Mitglied der MOPAR-Familien zu stehen hat (bei mir unser aktuelles Alltagsfahrzeug ein 2010'er DODGE RAM 1500), der wird evtl. mit den Produkten der Firma <https://www.diablosport.com/> zu tun haben, in meinem Fall mit dem Trinity, einem Tuningtool, mit dem man alles Mögliche anstellen kann.

Hier wird teilweise mit FAR als Zielwert der λ -Regelung gerechnet.

Ich hatte in einem vorherigen Beitrag erwähnt, dass der Wert 14,7:1 nicht mehr ganz stimmt, denn die heutigen Kraftstoffe E5 und E10 haben die Werte 14,6:1 und 14,4:1, was aber nicht extrem entscheidend ist, für unsere Betrachtung.

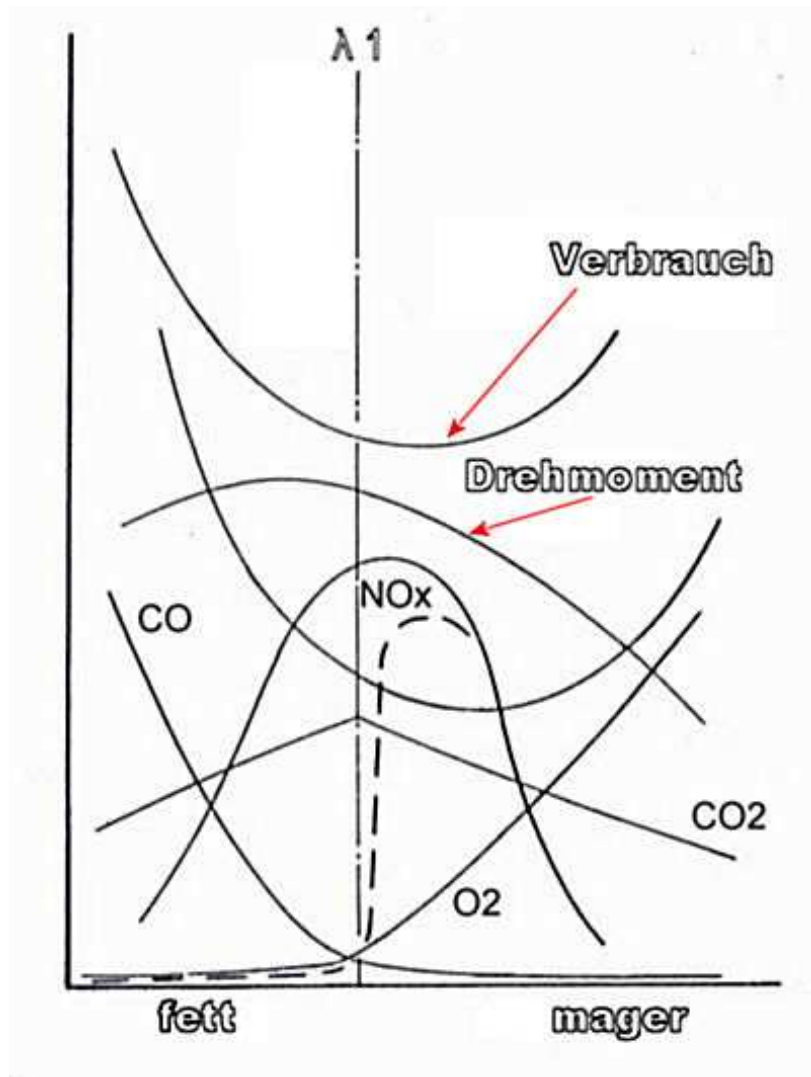
Unsere „alten Schätzchen“ haben zum einen keine Einspritzungen (zumindest im Originalzustand) und zum anderen keine Lambdaregelung.

Was sie aber haben sind Vergaser und die wollen eingestellt werden und sein.

Und einen Vergaser ein zu stellen erfordert, meiner Meinung nach, deutlich mehr Erfahrung als das Einstellen einer Einspritzung wie z.B. diese hier https://www.holley.com/products/fuel_systems/fuel_injection/sniper_efi/

Worum es hier aber gehen sollte ist nicht die Abstimmung eines Vergasers, sondern um die Erfassung der Verbrennungswerte.

Dazu möchte ich folgende Grafik zeigen, welche den Zusammenhang zwischen Drehmoment, Stickoxid (NOx), Kohlemonoxid (CO) und λ verdeutlicht:



Wie wir sehen können, liegt das größte Drehmoment im „fetten“ Bereich, wobei hier gleichzeitig der Kohlenmonoxid-Wert stark steigt und der Stickoxid-Wert fällt. Was aber auch ins Auge sticht, ist der Verbrauch.

Somit wäre es „eigentlich“ wünschenswert einen Kompromiss zu treffen, was die Gesetzgeber auch gemacht haben, jedoch in einem Bereich, in dem die Abgasreinigung über einen Katalysator optimal funktioniert – dieser Bereich liegt zwischen 0,97 und 1,03.

Allerdings ist es ein Trugschluss, dass man mit $\lambda = 1$ seinem Motor in der Beschleunigungsphase etwas Gutes tut.

Wir sehen in dem Diagramm, dass im fetten Bereich (abhängig vom Motor und dessen verbrennungsrelevanten Komponenten) das höchste Drehmoment bei ca. 0,82 – 0,85 liegt – gleichzeitig ist es noch wichtig zu wissen, dass ein weiterer Zusammenhang zwischen Gemisch und Abgastemperatur besteht.

Innerhalb der zündfähigen Gemischgrenzen (man kann das Gemisch ja nicht unendlich fett oder mager machen) wird das Abgas mit zunehmender Anfettung kühler und mit Abmagerung heißer.

Also ist die Richtung, die wir gehen wollen eigentlich klar – wir haben keine Katalysatoren, wollen Leistung und einen thermisch gesunden Motor.

Also wird man unter Last immer versuchen den Motor auf die fette Seite zu stellen.

Ideal ist meistens, zumindest rechnerisch ein Wert um 0,85, in der Praxis sogar noch fetter, da der zusätzliche Kraftstoff durchaus zur Kolbenbodenkühlung verwendet wird.

Im Crusingbetrieb und unter Teil-Last sieht das allerdings etwas anders aus, hier geht man ruhig auf die etwas weniger fette Seite – aber wie schon gesagt, Vergaserabstimmung ist ein ganz anderes Thema.

Kommen wir jetzt mal auf die verschiedenen Messsysteme zu sprechen.

Es gibt generell zwei Arten von Systemen, wenn man mobil messen möchte:

- Messsystem mit λ -Sprungsantwortsonde
- Messsystem mit λ -Breitbandsonde

Die beiden Sondentypen unterscheiden sich im Aufbau der chemischen Messzelle, in ihrem Einsatzzweck, für den sie konzipiert wurden und in ihrer Genauigkeit.

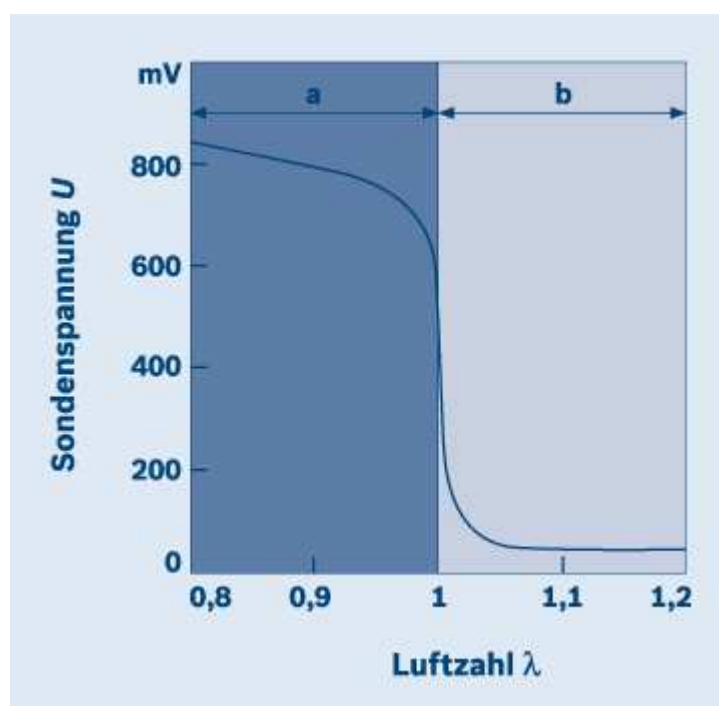
Hierzu gibt es einen kleinen guten Artikel: http://www.bosch-lambdasonde.de/de/lambdasonde_funktion.htm

Hier und auch in anderen Foren wird immer wieder versucht eine genaue Messung und/oder Abstimmung mit einer Sprungantwortsonde durch zu führen.

DAS FUNKTIONIERT NUR SEHR BEDINGT, es sei denn Ihr fahrt keinen MOPAR, sondern einen 3'er BMW, der meistens nach 22:00 bei der Fastfoodkette Eurer Wahl parkt.... Da muss es nur hübsch blinken, denn einen Tauschmotor gibt's zur Not an jeder Ecke ;-)

Aber das wollen wir ja nicht, also schauen wir etwas genauer hin.

Hierzu die Kennlinie einer Sprungantwortsonde:



Wie man sehen kann ist die größte Änderung im Bereich von λ 1 – was ja auch nicht weiter verwunderlich ist, da sie genau für diesen Einsatzzweck entwickelt wurde.

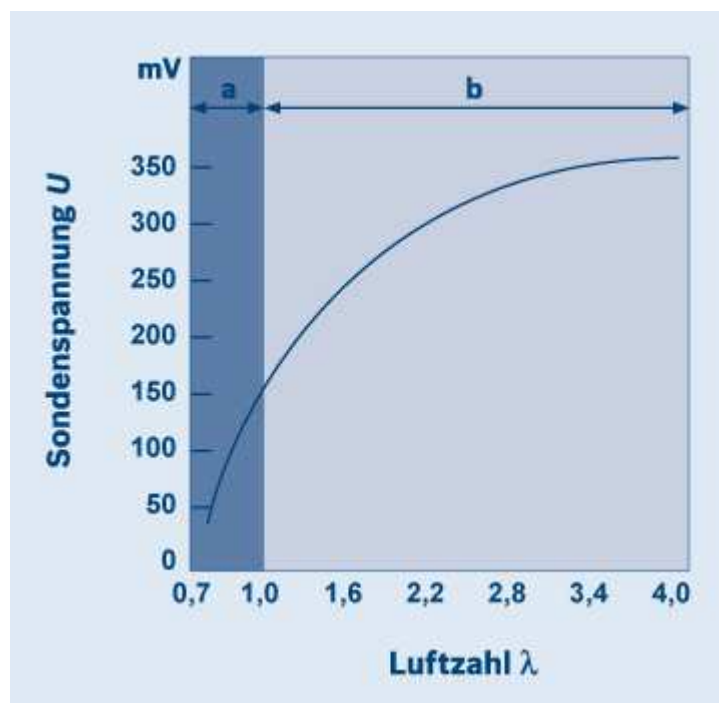
Was viele 08/15 Hersteller machen ist den für uns relevanten Bereich von 0,8-0,95 signaltechnisch zu verarbeiten, zu linearisieren und zu filtern was zur Folge hat, dass wir einen Messwert erhalten, der unstabil, ungenau und schlichtweg nur als Schätzwert zu verwenden ist.

Das wollen wir ja wohl nicht – also greifen wir zum richtigen Messwerkzeug, der Breitbandsonde.

Hier wird, wie der Name schon sagt ein recht breiter Bereich verhältnismäßig linear abgebildet.

Somit muss der Nutzsignalbereich lediglich noch etwas linearisiert werden und schon haben wir ein sehr gutes Messinstrumentarium, welches nicht nur schnell, sondern auch genau anzeigt.

Hier wieder die Kennlinie zur Breitbandsonde:



Es gibt bei den Breitbandsonden jedoch auch Unterschiede, welche primär im Messbereich und der Geschwindigkeit, mit der sie eine Gemischänderung erkennen begründet sind.

Die wichtigen sind:

- Bosch LSU 4.2 (günstig, jedoch langsam)
- Bosch LSU 4.9 (noch günstig, etwas schneller)
- Bosch ADV (etwas teurere Analytiksonde, sehr schnell)
- NTK L2H2 (mittleres Preissegment, relativ schnell)
- NTK LZA09-E1 (günstig, relativ schnell)

Jedoch ist nicht nur der eigentliche Sensor entscheidend, sondern natürlich auch die Auswerteelektronik und die zugehörige Anzeige.

Ich verwende zum Abstimmen mehrere Systeme, abhängig davon, ob ich Daten aufzeichnen möchte, oder nur während der Fahrt Werte sehen will.

Im Fahrzeug selber haben sich analoge Rundinstrumente sehr gut bewährt, da man hier sehr gut Tendenzen erkennen kann. Für Datenaufzeichnungen ist das natürlich irrelevant, da diese hinterher am PC ausgewertet werden.

Bei der Auswahl der richtigen Gerätschaften muss man sich eben selber die Karten Legen, was man erreichen will oder muss.

Ein wichtiger Aspekt, speziell für unsere Fahrzeuge – wird hier auch gelegentlich diskutiert – bleibt die Anzeige im Fahrzeug oder wird sie nur ein/zwei Mal im Jahr verwendet.

!!! Eine Sonde darf nie ohne die entsprechende Elektronik in der Abgasflut verbleiben !!!

Eine Breitbandsonde ist ein sehr empfindliches Gebilde, welche eine komplexe Steuerung zur Aufheizung und Auswertung hat.

Ebenso ist die Einbaulage unbedingt zu beachten.

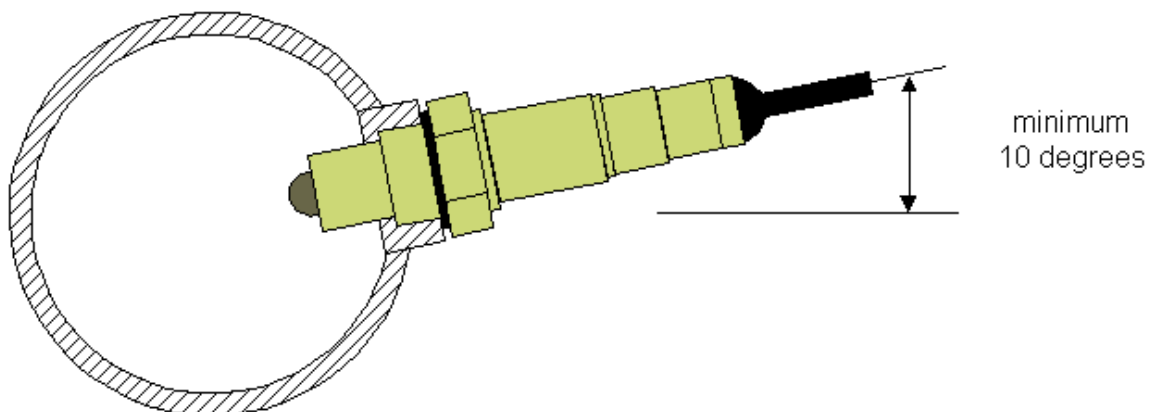
Der Träger der chemischen Messzelle ist aus Keramik und es gibt hier den sogenannten Dew-Point, der Taupunkt, welcher erst erreicht werden muss, bevor die Sonde verlässliche Werte liefern kann (komplexe Aufheizfunktion, u.A. um den Bruch der Keramik durch Feuchtigkeit im System zu verhindern).

Wird die Sonde falsch in das System eingebaut, kann es sein, dass entstandene Kondensate im Abgassystem auf die Messzelle tropfen und beim Aufheizen ebenfalls ein Bruch der Keramik und damit die Zerstörung der Sonde die Folge ist.

Deswegen muss die Sonde generell immer nach den folgenden Kriterien eingebaut werden:

- Mittensenkrecht zum Abgas
- Niemals über Kopf
- Nicht im Randstrom
- Mindestens um 10° nach unten geneigt.

Dazu wieder ein kleines Bild:



Wer den Einschweisstutzen selber setzen möchte, sollte sich also vorher genau überlegen wo und vor Allem, ob hinterher auch noch eine Montage möglich ist. Ebenso sollte man einen Gewindeschneider M18x1,5 zur Hand haben, denn der Stutzen wird sich leicht verziehen. Und mit Kupfer/Silber/Keramikpaste sehr sparsam umgehen und nur einen leichten Film auf das Gewinde aufbringen, KEINESFALLS auf den Sensorkopf der Sonde.

Wichtig ist auch, dass der Gummierte Bereich am Ende der Sonde auf keinen Fall isoliert werden darf!

Hier habe ich es schon erlebt, dass eine bemitleidenswerte LSU 4.9 mit Auspuffband eingewickelt wurde und den Hitzetod starb (nach ca. 15min).

Die Wahl der Sondenposition ist auch sehr wichtig – als vernünftige Position hat sich eine beruhigte Zone nach dem Krümmer herausgestellt, ca. 10-30cm nach dem Zusammenführen der einzelnen Rohre, vor einer ggf. vorhandenen Crossover-pipe.

Also z.B. so:



Kommen wir jetzt zu den brauchbaren Systemen.

Vorab muss man selber wissen, ob man jeden Abgasstrang separat oder beide Gleichzeitig messen will. Eine parallele Messung hat natürlich einige Vorteile, kostet aber mehr.

Zu empfehlen sind die Produkte von:

<http://www.innovatemotorsports.com/products.php>

<https://www.merx-tuning.de/breitbandanzeige-racing-premium-serie.html>

http://www.lambda-tuning.de/zeitronix_breitbandlambdasonde.html

Diese Systeme, je nach Ausführung liegen so ab 180€ aufwärts.

Wer mehr ausgeben will/kann/muss, der greift zu einem der Produkte von ETAS (habe ich selber seit Jahren im Einsatz):

https://www.etas.com/de/products/es63x-technical_data.php

Dieses Thema könnte man sicher noch unendlich weiter ausführen, jedoch wollte ich hier mal vorab einen kleinen Überblick geben.

Ich hoffe das habe ich erreicht.

Gruß Eckhard aka Psychoduster (kommt von meinem Spitznamen Psycho und eben dem Duster ;-)

Anhang:

λ	AFR	FAR
0,700	10,3	0,048
0,725	10,7	0,049
0,750	11,0	0,051
0,775	11,4	0,053
0,800	11,8	0,054
0,825	12,1	0,056
0,850	12,5	0,058
0,875	12,9	0,060
0,900	13,2	0,061
0,925	13,6	0,063
0,950	14,0	0,065
0,975	14,3	0,066
1,000	14,7	0,068
1,025	15,1	0,070
1,050	15,4	0,071
1,075	15,8	0,073
1,100	16,2	0,075
1,125	16,5	0,077
1,150	16,9	0,078
1,175	17,3	0,080
1,200	17,6	0,082
1,225	18,0	0,083
1,250	18,4	0,085
1,275	18,7	0,087
1,300	19,1	0,088