

Lambda-Anzeige

und Abstimmungstips



Startseite

Aprilia RSV
Mille

[klein, stark,
schwarz](#)

Ducati 750 SS
Nuda

[Modifikationen
technische Daten
Anzugsmomente
Seitenständerumbau](#)

[Brembo Bremsen
Tuning
KEIHIN FCR-
Vergaser](#)

Ducati Links
[Ventileinstellung
Gebrauchteile
\(Motalia\)](#)

DR 350 SHC

[Modifikationen
Dell'orto-PHF36-
Vergaser](#)

DR350 Links
[Ludwig Geromiller](#)

Allgemeine
Technik

[Lambda-Sonde
Batterie-Infos
Reifenhaftung
Kettenöler
Brembo Bremsen
Tuning](#)

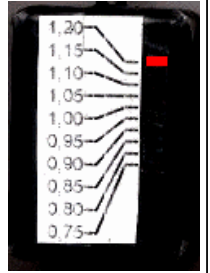
Technik-Links

[Phils
Schrauberseite
DRM-Technik-
FAQ
Volkis Vergaser
FAQ
Sprit-FAQ
diverse ÖL Artikel](#)

Sonstiges und
Blödsinn ;-)

Inhalt

[Was ist ne Lambda-Sonde?](#)
[Wozu braucht man die Sonde?](#)
[Wie funktioniert die Sonde?](#)
[Wie sieht die Sonde aus?](#)
[Warum Abstimmen?](#)
[Abstimmung mittles Lambda-Anzeige](#)
[Einbau der Sonde](#)
[Aufbau der Anzeige](#)
[verbesserte Anzeige](#)
[FAQ](#)
[Literatur](#)
[Bezugsquellen](#)
[Hinweis](#)



Was ist ne Lambda-Sonde?

Eine Lambdasonde ist ein Sensor zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts im Abgas. Im Ottomotor wird Benzin mit dem Luftsauerstoff verbrannt. Das Benzin besteht aus einer Mischung verschiedener Kohlenwasserstoffe C_xH_y , wobei die längsten Ketten üblicherweise im Bereich des Oktan C_8H_{18} liegen. Bei einer optimalen Verbrennung oxidieren diese Kohlenwasserstoffe zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O).

Die Reaktion sieht dabei so aus: $C_xH_y + (x+y/4) O_2 \implies x CO_2 + (y/2) H_2O$

Da das Benzin nun eine Mischung verschiedener Kohlenwasserstoffe ist, gibt man statt der Anzahl der benötigten Sauerstoffmoleküle das **Massenverhältnis** an. Das **stöchiometrische Verhältnis**, bei dem alles Benzin mit allem Sauerstoff reagiert, liegt für den handelsüblichen Sprit (Normal und Super) bei **14,7:1**, so daß also 1 kg Benzin auf 14,7 kg Luft kommt. Das **Volumenverhältnis** ist dabei rund 9000:1, also 9000 Liter Luft auf einen Liter Benzin.

Die Luftzahl λ (Lambda) ist dann definiert als:
$$\text{Luftzahl } \lambda = \frac{(M_{\text{Luft}} / M_{\text{Kraftstoff}})_{\text{aktuell}}}{(M_{\text{Luft}} / M_{\text{Kraftstoff}})_{\text{stöchiometrisch}}}$$

Ein Lambda-Wert von **1** entspricht also gerade der Zusammensetzung für eine optimale Verbrennung. Bei einem Lambda-Wert von > 1 steht mehr Luft zur Verfügung, als für die Verbrennung nötig wäre. Das nennt sich dann **mageres Gemisch**. Ein Benzinüberschuß bedeutet **fettes Gemisch** und wird durch Lambda-Werte < 1 charakterisiert. Der Lambda-Wert beschreibt also die Gemischzusammensetzung im Einlaß, die Sonde mißt jedoch die Abgaszusammensetzung. Normalerweise stehen beide Werte im direkten Zusammenhang (s.u.), Löcher im Auspuff oder ein Sekundärluftsystem (SLS) verfälschen aber die Anzeige, nicht jedoch den eigentlichen Lambda-Wert.

[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Wozu braucht man die Sonde?

Zur Bestimmung des aktuellen Gemischs. Bei Katalysator-Motoren hängt dann ein Regelkreis dran, der das Gemisch immer im sog. Katalysatorfenster bei $\lambda=1$ hält. Bei Moppedts ohne Katalysator hilft die Sonde aber auch bei der Vergaserabstimmung. Es geht dann jedoch nicht mehr darum den Lambda-Wert konstant bei eins zu halten, sondern dem Motor last- und drehzahlabhängig ein für diese Betriebsbedingungen optimales Gemisch zuzuführen. Dieses Gemisch liegt aber in den seltensten Fällen bei $\lambda=1$. Man benötigt dazu eine Anzeige des Lambda-Werts und kann im realen Fahrbetrieb Aufschluß über die Vergaserabstimmung erhalten.

[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Wie funktioniert die Sonde?

Die Sonde ist ein potentiostatischer Sensor und besteht aus zwei Platin(Pt)-Elektroden, die durch eine Festelektrolyt getrennt sind. Die aktive Pt-Elektrode steht mit dem Abgas in Kontakt und an ihr findet eine katalytische Reaktion statt, bei der sich Sauerstoff-Ionen bilden. Das Elektrolyt (üblicherweise Yttrium stabilisiertes Zirkondioxid aka YSZ) ist ein

Ionenleiter für Sauerstoffionen. Durch die Ionenwanderung entsteht dann eine Spannung
$$U_{th} = \frac{RT}{2F} \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{p_{O_2}^{Luft}}}{\sqrt{p_{O_2}^{Abgas}}} \right)$$

[Erste Hilfe](#)
[Fahrschulen](#)
[Nordschleife](#)
[P/T\(Kathinka,t\)-Funktion](#)
[Virus-Warnung](#)

Ein paar Bilder

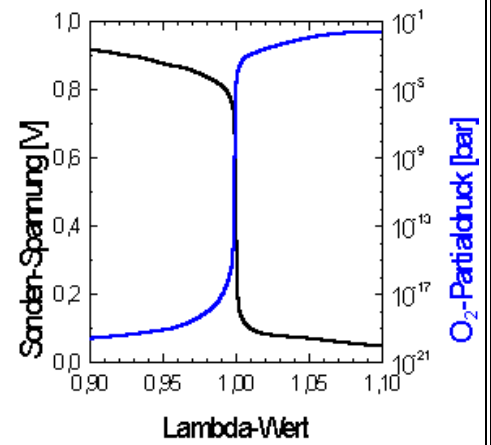
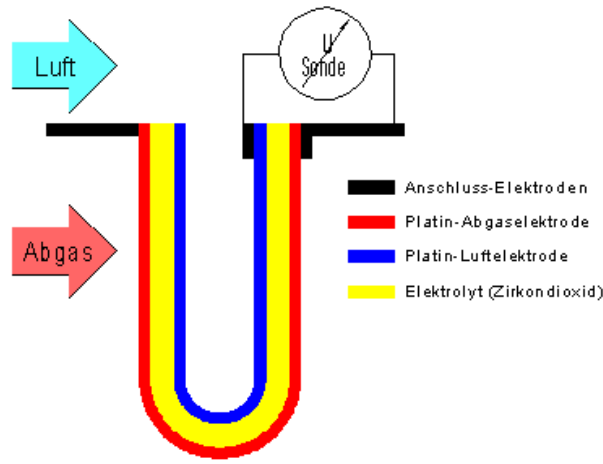
[MFTTMXP](#)
[MFTTMY2k](#)
[Aufbau der Duc](#)

Was es sonst so im Netz gibt:

[News](#) - drm, was sonst
[Die Rocker](#)
[DRM-FAQ](#)
[WFWL](#)
[Links](#)
[Saufen :*\)](#)

[Disclaimer](#)
 (Haftungsausschluss)

zwischen den Elektroden (Nernst-Gleichung), die direkt gemessen werden kann.



[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Wie sieht die Sonde aus?

Es gibt Planarsonden und Fingersonden, wobei im KFZ-Bereich fast nur Fingersonden zum Einsatz kommen. Die meisten Fingersonden verwenden eine sehr ähnlich Bauform. Hier sind mal die Typen von [NTK](#) und Bosch abgebildet.



Das Einschraubgewinde in den Krümmer ist üblicherweise ein M18x1,5 Gewinde. Die Sonden sind in verschiedenen Ausführungen zu bekommen, die sich in der Anzahl der Anschlußleiter unterscheiden:

- 1 Kabel: Signalkabel, Masse über Gehäuse
- 2 Kabel: Masse als Leiter herausgeführt
- 3 Kabel: eingebaute Heizung, Masse über Gehäuse
- 4 Kabel: eingebaute Heizung, Masse als Leiter

Ich verwende eine 3-Kabel Sonde vom Typ NTK OZA30-D1, die in Deutschland über [Uni-Fit](#) unter der Bezeichnung OX-103 vertrieben wird.

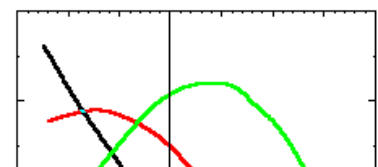
[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Warum Abstimmen?

Weil die richtige Vergaserabstimmung einen großen Einfluß auf **Motorleistung**, **Spritverbrauch** und **Schadstoffausstoß** hat.

Motorleistung und Spritverbrauch:

In jedem Umdrehungs-Zyklus saugt der Motor eine bestimmte Gemischmenge an. Die Energie, die bei der Verbrennung dieser Menge entsteht bestimmt das aktuelle Drehmoment des Motors, aus dem sich mit der Drehzahl die Leistung ergibt. Bei gegebener Drehzahl wird die Leistung daher direkt über den Energieinhalt der Zylinderfüllung bestimmt. Erhöht man die Spritmenge im Gemisch



(Fett), dann reicht der Sauerstoffgehalt zwar nicht mehr für eine vollständige Verbrennung aus, der Energieinhalt steigt jedoch etwas. Daher ergibt sich im fetten Bereich bei $\lambda \sim 0,85$ die beste Leistung eines Motors. Bei weiterer Anfechtung verringert sich die Leistung wieder, da der zusätzliche Sprit nicht mehr verbrannt werden kann, aber eine Kühlung des Motors bewirkt, die die Leistung verringert. Mehr Sprit in einer Zylinderfüllung bedeutet jedoch auch mehr Spritverbrauch bei gegebener Drehzahl. Anders herum verringert eine Gemischabmagerung den Spritverbrauch drastisch. Bei einer leichten Abmagerung des Gemischs ($\lambda > 1$) findet eine sehr vollständige Verbrennung statt, die für hohe Verbrennungstemperaturen sorgt. Die stärkere thermische Ausdehnung der Zylinderfüllung sorgt für einen weichen und langsamen Leistungsabfall. Möchte man nun die maximale Leistung aus einem Liter Sprit bekommen, so muß man die Leistung pro Verbrauch bestimmen und erhält den sog. Wirkungsgrad. Dieser Wirkungsgrad zeigt ein Maximum bei $\lambda \sim 1,1$. Mit dieser Einstellung läßt sich ein Motor am spritsparendsten bewegen.

Der Benzinverbrauch eines Motors hängt jedoch auch sehr stark von der Auslegung und dem Wirkungsgrad des Motors selber ab. Im unteren Drehzahlbereich treten hohe Spülverluste auf, die den Füllungsgrad des Brennraums verringern und für geringeres Drehmoment und höheren spezifischen Verbrauch sorgen. Dazu kommt, daß in diesem Bereich die Ansaug-Strömungsgeschwindigkeit sehr gering ist und zu schlechter Gemischbildung führt, die durch Anfechtung ausgeglichen werden muß. Das treibt den spezifischen Verbrauch zusätzlich hoch. Die Beste Zylinderfüllung und damit auch das maximale Drehmoment sorgen auch für die beste Treibstoffausnutzung. Dazu kann der Motor grade in diesem Bereich sehr effektiv angestimmt werden. Im obersten Drehzahlbereich treten dann verstärkt Strömungsverluste auf und das Gemisch muß zur Motorkühlung auch wieder fetter werden. Das treibt den spez. Verbrauch wieder hoch. Die Daten der Grafik entstammen der MO 2/2001 und beziehen sich auf eine Kawa Z1300.

Abgasverhalten:

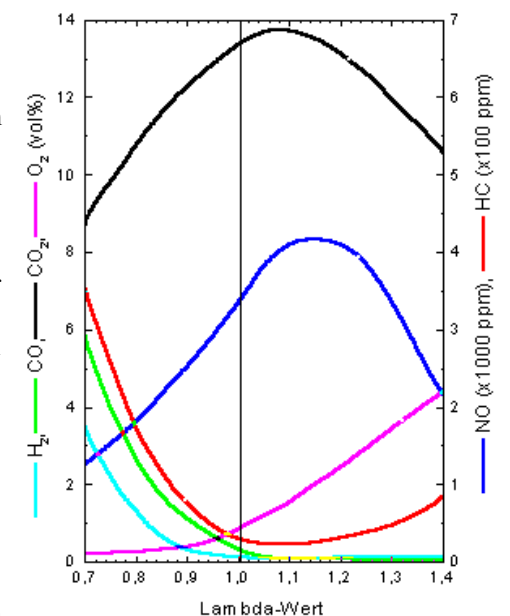
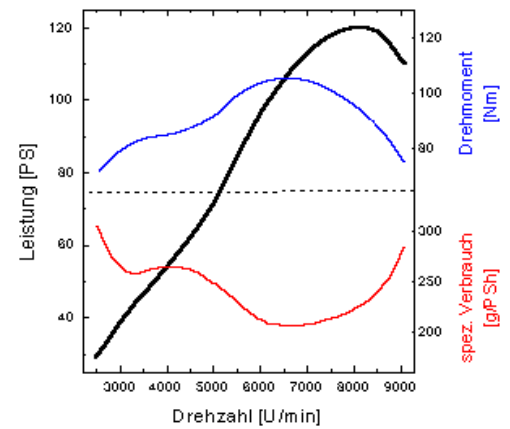
Bei einer idealen Verbrennung entstehen "nur" CO_2 und Wasserdampf, aber die Verbrennung läuft nicht optimal ab. Schuld daran ist zum einen die Gemischhomogenität: Vergaser oder Einspritzanlage erzeugen fein verteilte Sprittröpfchen in der Ansaugluft. An diesen Tröpfchen ist das Gemisch daher fett, zwischen ihnen dagegen zu mager. Durch konstruktive Maßnahmen am Motor versucht man das Gemisch gut zu verwirbeln und baut z.T. dazu noch Quetschkanten im Brennraum um ein homogenes Gemisch zum Zündzeitpunkt zu erhalten. Zum anderen besteht das Gemisch nicht nur aus Sprit und Sauerstoff, sondern aus Luft, die zu 78% aus Stickstoff besteht. Unter hohen Temperaturen kann nun der Sauerstoff auch mit dem Stickstoff reagieren. Dieser Sauerstoff steht dann nicht mehr für die Verbrennung zur Verfügung. Die höchsten Temperaturen entstehen aber nun mal bei optimaler Verbrennung, so daß die beste Verbrennung mit den höchsten CO_2 -Werten im leicht mageren

Bereich bei $\lambda \sim 1,1$ liegt.

Die kleinen Einzelhubräumen von Motorradmotoren weisen jedoch ein sehr günstiges Verhältnis von kühlender Zylinderfläche zum heißem Innenraum auf, so daß im Vergleich zu Dosenmotoren sehr wenig NO entsteht.

Im fetten Bereich findet man dagegen stark ansteigende CO-Werte, weil das Sauerstoffangebot nicht ausreicht um den Sprit vollständig zu verbrennen. Gleichzeitig steigt auch der Anteil unverbrannten Sprits, der als Bruchstücke der Kohlenwasserstoffe (HC) und als Wasserstoff H_2 zum Auspuff heraus kommt. Der Anstieg der HC-Werte bei sehr magerer Einstellung $\lambda > 1,2$ zeigt ebenfalls, daß hier die Verbrennung wieder unvollständig wird.

Die Grafik zeigt die prozentuale Zusammensetzung des Abgases durch die Verbrennungsbedingungen, wieviel Schadstoffe absolut aus dem Auspuff kommen wird durch den Spritverbrauch bestimmt. Dazu mal eine einfache Abschätzung: Bei einem Lambda-Wert von $\lambda = 0,85$ hat man einen CO-Gehalt von rund 2 vol%, das Volumenverhältnis liegt bei diesem λ bei etwa 7500:1, also 7500 Liter Luft pro Liter Sprit. Bei einem Spritverbrauch von rund 6 l/100 km ergibt sich ein Gemischdurchsatz von etwa 450 l/km, die auch zum Auspuff heraus kommen. Der Volumenanteil von 2 % CO bedeutet dann 9 Liter CO, das mit einer Dichte von etwa 1,23 g/l einen CO-Ausstoß von 11 g/km ergibt.



Stimmt man nun diesen Motor auf einen Lambda-Wert von $\lambda = 1,1$ ab, so würde der gleiche Gemischdurchsatz zu einem Verbrauch von $\sim 4,5$ l/100 km führen, für die gleiche Leistung am Rad muß man jedoch das Gas weiter aufdrehen, so daß sich etwa ein Verbrauch von 5,5 Litern und ein Gemischdurchsatz von 550 Liter pro km ergibt. Der CO-Gehalt bei $\lambda = 1,1$ liegt bei etwa 0,1 vol%, der absolute Ausstoß damit bei 0,7 g/km. **Achtung:** Dieser mittlere Ausstoß ist **nur bedingt** mit denen im ECE R40-Zyklus ermittelten vergleichbar. Dieser Zyklus simuliert einen sehr langsamen innerstädtischen Stop-and-Go-Verkehr, bei dem die Motoren zugunsten eines guten Rundlaufs (s.u.) recht fett abgestimmt werden.

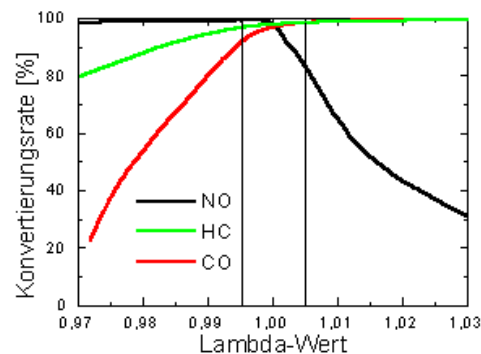
Bei den anderen Schadstoffen kann man den mittleren Ausstoß äquivalent abschätzen, jedoch kommen bei den HC-Werten noch die sog. Spülverluste hinzu, die für erhöhte Werte sorgen wenn unverbrannter Sprit während der Ventilüberschneidung in den Auspuff gelangt. Die geringsten Spülverluste weist ein Motor im Bereich des max. Drehmoments auf. Auf Leistung ausgelegte Motorradmotoren mit weitem Drehzahlbereich haben besonders im unteren Drehzahlbereich sehr hohe Spülverluste.

Randbemerkung: Katalysator

Im Katalysator werden die Schadstoffe an einer Platin-Schicht nachoxidiert. Er wandelt CO in CO_2 , NO in N_2 und O_2 und HC in H_2O und CO_2 um. Für alle drei Schadstoffe (3-Wege-Kat) klappt das aber nur in einem sehr schmalen Katalysatorfenster bei $\lambda = 1 \pm 0,005$.

Nachteil dabei ist natürlich, daß grade in diesem Bereich weder die optimale Leistung, noch der beste Wirkungsgrad erreicht werden. Gegenüber einem gut abgestimmten Motor wird beim Beschleunigen daher weniger Leistung zur Verfügung stehen und bei normaler Fahrt wird er mehr Benzin verbrauchen.

Ein ungeregelter Kat an einem auf Leistung (fett) abgestimmten Motorrad wird dagegen hauptsächlich die eh sehr geringen NO-Werte senken und die hohen HC-Werte nur geringfügig verbessern können. Bei den CO-Werten ist er ziemlich nutzlos.



[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Abstimmung mittels Lambda-Anzeige

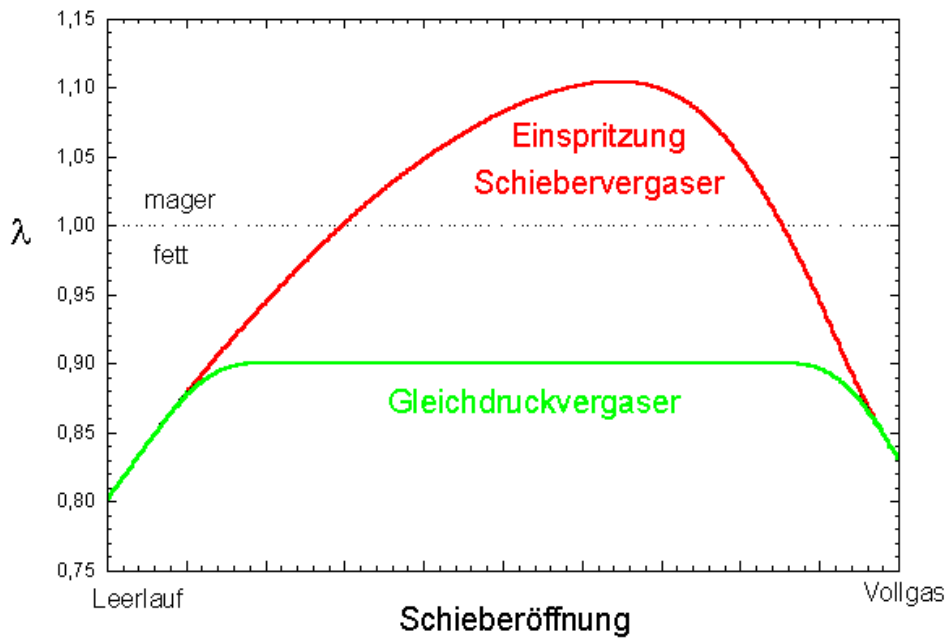
Die Abstimmung, besonders im Teillastbereich hängt von der verwendeten Vergaseranlage und persönlichen Vorlieben ab. Technisch vorgegeben ist nur die Abstimmung im Leerlauf und bei der maximalen Leistung, also bei hoher Drehzahl und Vollgas. Dazwischen ist man, je nach Vergasertyp, in der Abstimmung relativ frei.

Leerlauf: Hier hat man aufgrund der sehr langsamen Strömungsgeschwindigkeit im Ansaugkanal mit sehr schlechter Gemischbildung und daher unvollständiger Verbrennung zu kämpfen, so daß das Gemisch etwas angefettet werden muß. Ein Lambdawert von $\lambda \sim 0,85$ entspricht dabei noch den üblichen CO-Vorschriften. Eine etwas fettere Einstellung von $\lambda \sim 0,8$ kann aber zu einem besseren Startverhalten und Rundlauf führen.

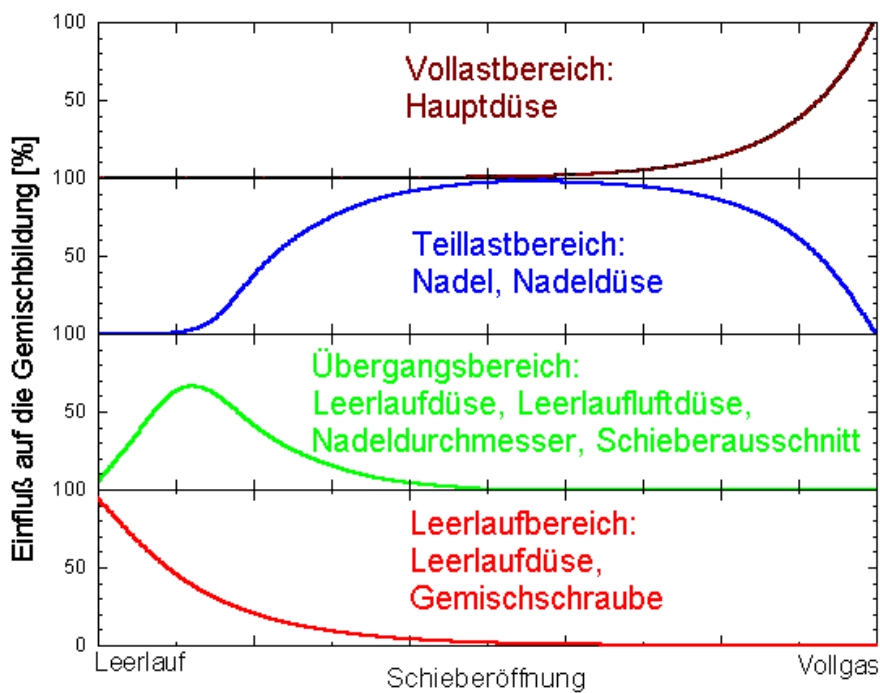
Vollast: Hier sollte das Gemisch ebenfalls etwas fetter sein um die Verbrennungstemperatur abzusenken. Außerdem gibt der Motor ja bei einem Lambdawert von $\lambda \sim 0,85$ seine beste Leistung ab.

Aus diesen Grenzwerten und dem Leistungskriterium ergibt sich der Vollast-Verlauf, der mit einem gleichmäßigen Lambda-Wert von $\lambda \sim 0,85-0,90$ für viel Leistung sorgt. Jedoch arbeitet der Motor ja bei $\lambda \sim 1,1$ am wirtschaftlichsten, da hier der optimale Wirkungsgrad erreicht wird. Deshalb kann im mittleren Drehzahlbereich, also im Bereich des maximalen Drehmoments, und bei Teillast das Gemisch magerer eingestellt werden. Der Motor dankt es einem mit einem geringeren Spritverbrauch und besseren Abgaswerten.

Gleichdruckvergaser können jedoch nicht zwischen den Lastzuständen unterscheiden. Die Schieberöffnung wird nur durch die Ansaugströmung bestimmt, die von Gasgriff (Drosselklappe) und Drehzahl abhängt. Halbgas bei maximaler Drehzahl führt zu einer identischen Schieberstellung wie Vollgas bei mittlerer Drehzahl. Daher muß hier ein Kompromiss zwischen guter Beschleunigung aus mittleren Drehzahlen ($\lambda < 1$) und geringen Spritverbrauch und gute Abgaswerte ($\lambda > 1$) gewählt werden, der meist um $\lambda \sim 0,9$ liegt. Aus diesem Kompromiss ergeben sich auch die recht schlechten Abgaswerte bei CO und HC der heutigen Mopeds, die meist mit Gleichdruckvergasern ausgestattet sind. Bei Schiebervergasern und Einspritzanlagen ist man freier in der Einstellung. Hier sollte der Teillastbereich deutlich magerer abgestimmt werden, dafür aber bei Vollgas in allen Drehzahlbereichen ein Lambda-Wert von $\lambda \sim 0,85$ beibehalten werden.



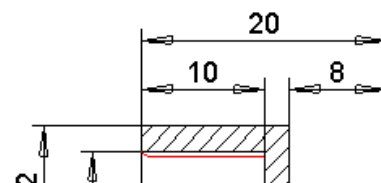
Auf die Abstimmung haben je nach Last verschiedenen Elemente des Vergasers Einfluß. Diese Grafik zeigt den Zusammenhang schematisch für einen Gleichdruckvergaser. Bei Schiebervergasern, die mit variabler Strömung im Ansaugtrakt zu kämpfen haben, wirken sich noch die Verhältnisse zwischen Sprit- und Luftdüsen in den jeweiligen Bereichen aus.



[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Einbau der Sonde

Die Sonde wird in den Krümmer eingebaut. Da die Sonden eine recht hohe Arbeitstemperatur brauchen, sollte der Ort recht nah am Auslaß gewählt werden. Oder man verwendet eine beheizte Sonde. Schweißadapter sind bei den Sondenvertreibern erhältlich.



Bei den Ducati Modellen ist im Krümmer bereits ein Zugang vorgesehen, der jedoch ein sehr kleinen Gewinde (G1/8") besitzt. Ich habe mir aus Sechskant-Messing einen Adapter gedreht. Das Schutzrohr der Sonde ist jedoch viel zu dick und passt nicht in den Adapter. Es muß daher entfernt werden und die Keramik freigelegt werden. An der Funktion der Sonde ändert das nix, aber sie wird dadurch natürlich mechanisch sehr empfindlich. Sobald der Adapter auf die Sonde geschraubt ist, ist sie aber wieder recht gut geschützt.

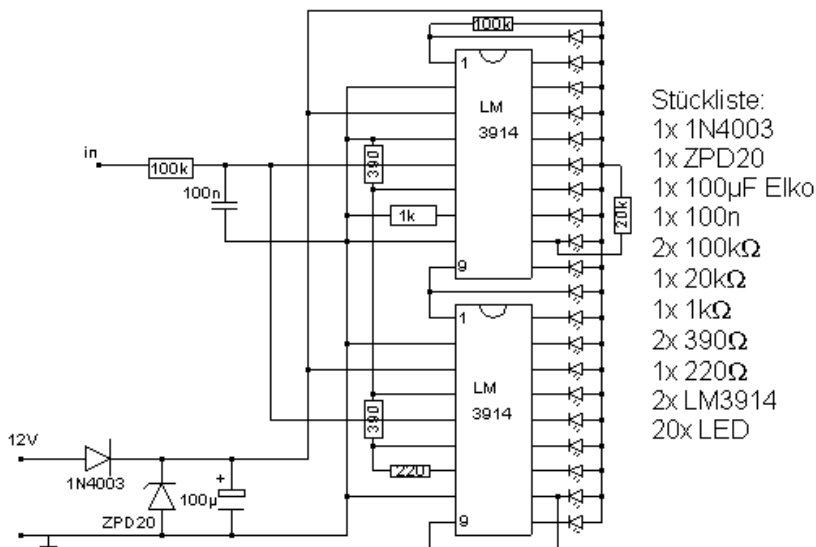
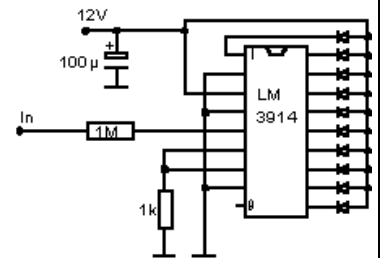
[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Aufbau der Anzeige

Zur Anzeige ist jedes Voltmeter geeignet das einen **hohen Innenwiderstand** besitzt. Die Sonde kann nämlich kaum Strom erzeugen. Einfach Digitalvoltmeter mit einen Innenwiderstand von $20\text{M}\Omega$ sind gut geeignet, Analoge der unteren Preisklasse meist jedoch nicht, da sie einen zu geringen Innenwiderstand haben. Aufgrund der Sondenkennlinie ist jedoch ein analoges Instrument deutlich besser abzulesen, da man den Trend erkennen kann.

Eine Lichtorgel aka Bargraph läßt sich leicht selber bauen. Mit dem LM3914 steht ein genauer Spannungsteiler mit integrierten LED-Treibern zur Verfügung. Durch die eingebauten Spannungsreferenz von 1.2V und den hohen Eingangswiderstand läßt sich die Sonde auch direkt anschließen. Bedingt durch die Sondenkennlinie ist die Auflösung im fetten und mageren Bereich aber mit 10 LEDs nicht besonders gut, so daß man die Auflösung verbessern sollte.

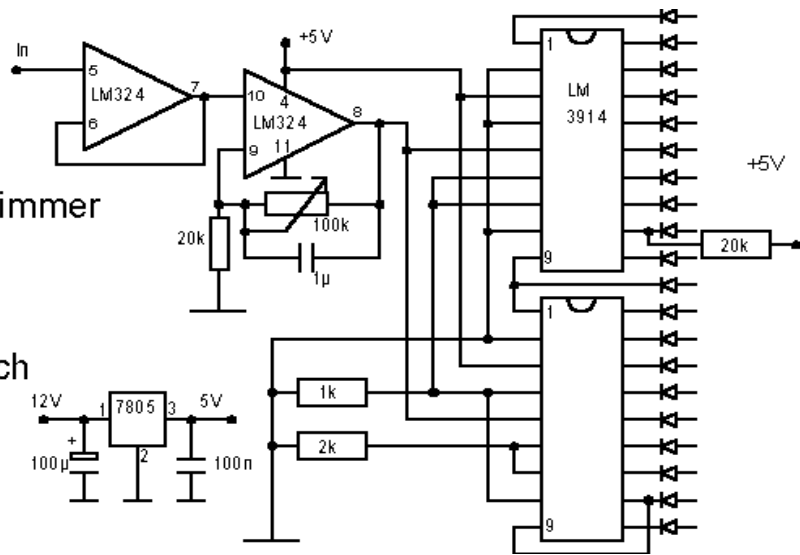
Die LM3914 lassen sich einfach kaskadieren, allerdings sinkt dann die Eingangsimpedanz, bei 20 LED's reicht sie für die meisten Sonden jedoch aus:



Mit einer Vorverstärkung im Eingang wird es etwas aufwändiger. Eine solche Schaltung, die mit 20 LED's das aktuelle Gemisch anzeigt ist hier zu sehen:

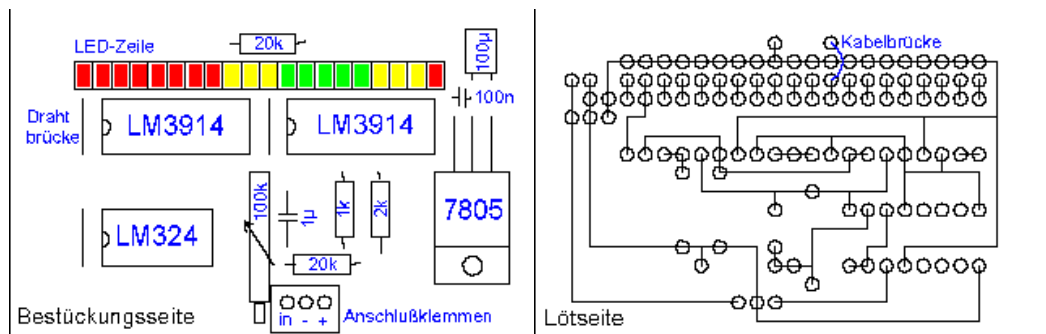
Stückliste:

LM 3914 x 2
 LM 324
 100k Spindeltrimmer
 20k x 2
 1k
 2k
 100n Keramisch
 100µ Elko
 1µ
 2 LED-Zeilen

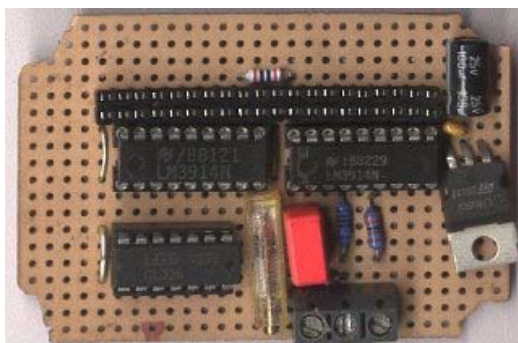


Die Anzeige wird z.Z. im Dot-mode betrieben, ein Umbau auf Bargraph ist aber problemlos möglich. Dazu wird Pin 9 der LM3914-ICs nicht beschaltet und der Pull-up-Widerstand an Pin 11 fällt weg. Mit dem Trimmer kann die Verstärkung eingestellt werden. Ich habe es (inzwischen) so abgeglichen, daß bei 1000 mV die letzte LED leuchtet, die dann ziemlich genau bei $\lambda = 0,75$ liegt, also ein zu fettes Gemisch charakterisiert. Die nötigen Bauteile kann man z.B. bei Conrad bestellen und muß dafür etwa 45,- DM über den Tresen schieben.

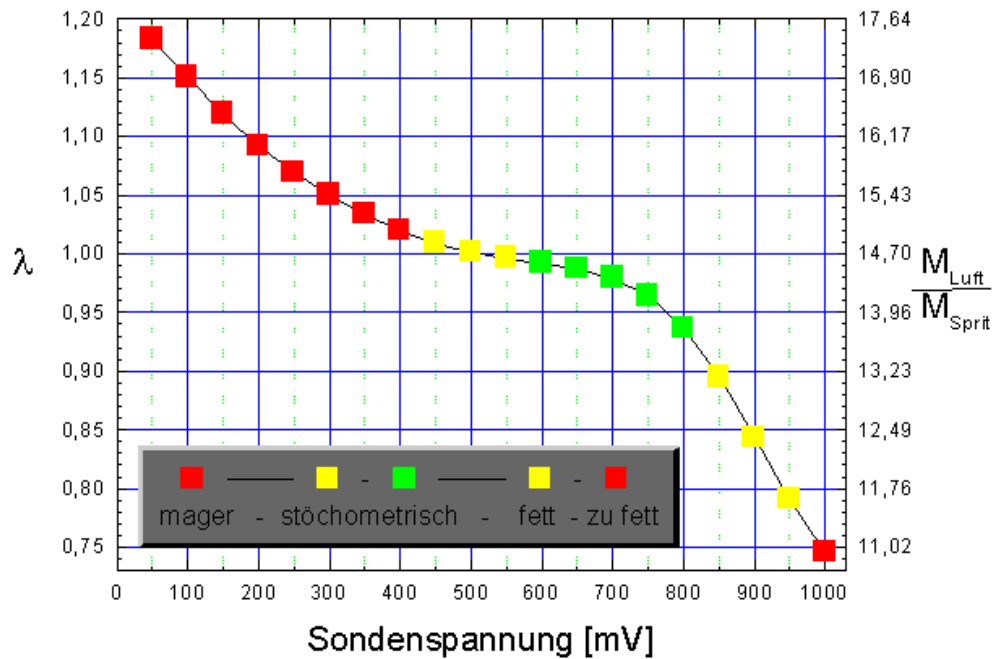
Layout und Schaltung sehen bei mir so aus:



Beim Aufbau habe ich die LEDs ins Gehäuse eingeklebt, die Schaltung wird einfach aufgesteckt.



Die Abstimmung kann dann entsprechend der Sonden-Kennlinie erfolgen. Die Grafik zeigt den Zusammenhang der Spannung, also der LEDs, mit dem Lambda-Wert bei 800°C Sondentemperatur wie sie im Vollastbereich erreicht wird:



[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

verbesserte Anzeige

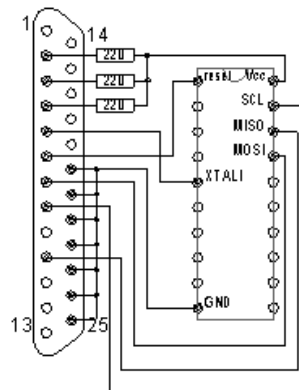
Bedingt durch die Sondenkennlinie ist die Anzeige per Spannungsteiler trotz vieler LEDs im fetten und mageren Bereich nicht besonders genau, dagegen ist aber im Bereich von $\lambda=1$ sehr viel Bewegung in der Anzeige. Das ist auf Dauer nicht wirklich befriedigend. Inzwischen gibt es aber eine Reihe günstiger Microcontroller, mit denen sich auf einfache und billige Weise die Kennlinie nachbilden läßt.

Besonders interessant finde ich die AVR-Controller der Firma Atmel, die sich auf sehr einfache Weise programmieren lassen. Die kompletten Datenblätter, sowie Entwicklungswerkzeuge (Assembler, Simulator) für die AVR-Controller gibts umsonst bei [Atmel](#). Um die Daten in den Controller zu übertragen gibt es diverse einfache Schaltungen und (für den privaten Gebrauch) Freeware-Programme wie z.B.

- [IC-Prog](#) von Bonny Gijzen für viele verschiedenen Programmierer, z.B. die FunCard rechts.

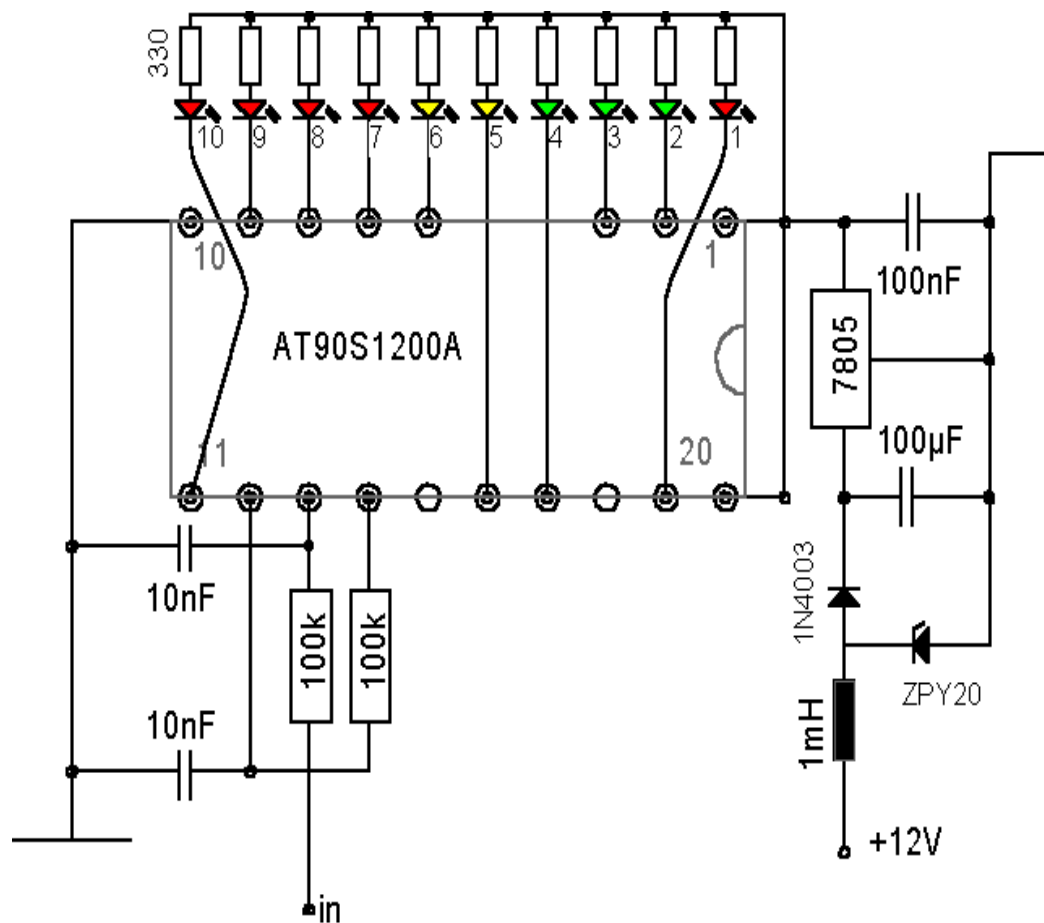
und für In-circuit-programming

- [AT-Prog](#) von Johann Aichinger



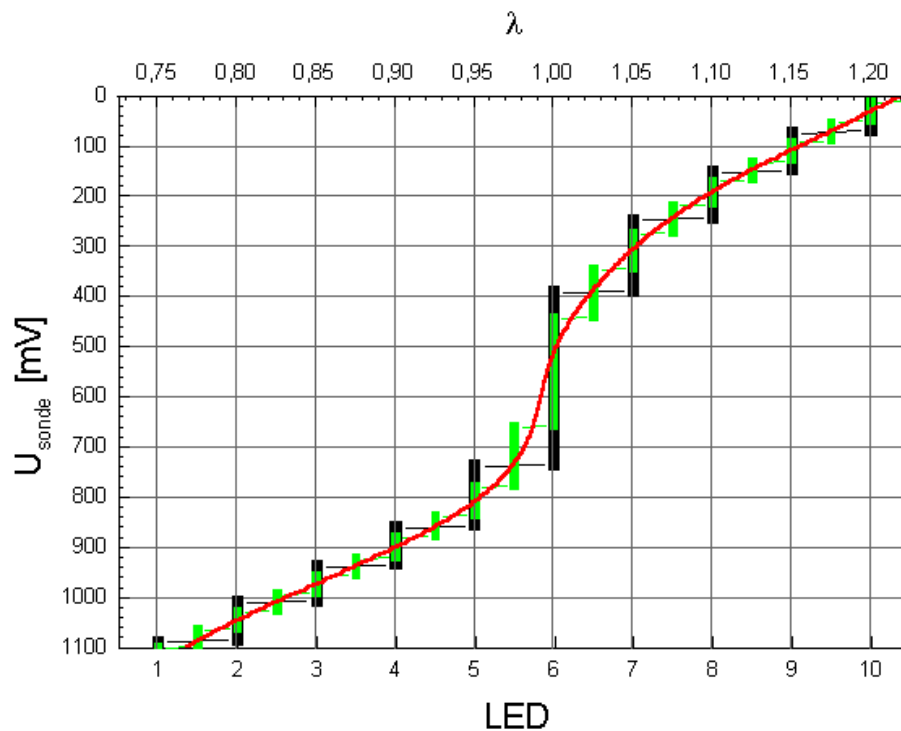
Die AVR-Controller können mit 20mA direkt Leuchtdioden treiben, wenn der Ausgang auf Masse gezogen wird (source current). Außerdem haben sie einen Komparator eingebaut, mit dem sich ein einfacher A/D-Wandler mit einem R-C-Glied aufbauen läßt. Die Linearität ist dabei nicht besonders hoch, da jedoch eh eine Kennlinie (die der Sonde) nachgebildet werden soll, kann man dabei auch gleich die R-C-Charakteristik mit verrechnen und damit die Genauigkeit erhöhen.

Das R-C-Glied an Pin 12 (B0) und 14 (B2) des Atmel sollte möglichst exakt gewählt werden. Normale Kondensatoren haben aber 20% Tolleranz und können die Anzeigenauigkeit daher stark beeinträchtigen. Entweder wählt man daher Präzessionsbauteile, oder man ersetzt den Widerstand durch einen 150k-Spindel-Trimmer und stimmt die Anzeige ab. Der einfachste AVR, der AT90S1200A, hat einen internen Oszillator, so daß man sogar auf den Quarz verzichten kann und die Schaltung extrem kompakt wird. Für die Dot-Anzeige reicht auch ein einziger Vorwiderstand an den LEDs, für den Bargraph sollte man jeweils einen Widerstand pro LED einplanen. Die Spannungsversorgung des Microcontrollers muß auch besser geschützt werden, als es bei dem einfachen Spannungsteiler der Fall war. Eine kleine Schaltung aus Spule, Zehner-Diode und Diode fängt hochfrequente Spitzen und negative Impulse der LiMa ab.



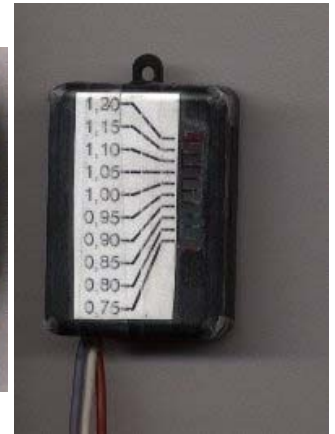
Nachteil des 1200 ist der kleine EEPROM-Speicher und er kann nicht aus dem Programmspeicher Daten lesen. Daher muß man sich schon im Vorfeld für eine Bargraph- oder Dot-Anzeige entscheiden, für beide Referenzwerte reicht der EE-Prom-Speicher leider nicht. Mit dem etwas teureren AT90S2313 läßt sich auch eine umschaltbare Anzeige aufbauen, jedoch muß dann noch ein Quarz in die Schaltung integriert werden.

Hier ist das einfache [Assembler-Programm](#) (basierend auf dem Atmel-Low-cost-A/D-Wandler, Application Note AVR400). Es integriert jeweils 100 Messungen und zeigt mit etwa 7-10 Hz den jeweiligen Lambda-Wert an. Das sollte eine nicht zu hektische, aber recht spontane Anzeige ergeben. Die [LED-Referenzwerte für die Bargraph-Anzeige](#) (schwarz) bilden die 650°C-Kennlinie (rot) wie in der Grafik gezeigt nach, bei den [EEProm-Daten für die Dot-Anzeige](#) (grün) können feinere Unterscheidungen getroffen werden, da die Zwischenstufen durch gleichzeitiges Schalten beider LEDs charakterisiert werden. Die Punkte bei LED-Nr. 1,5 bedeuten daher, daß LED-Nr.1 und LED-Nr.2 zusammen an sind. Die entsprechenden Übergangsspannungen zur Abstimmung hab' ich mal in einer [Tabelle](#) zusammengefasst.

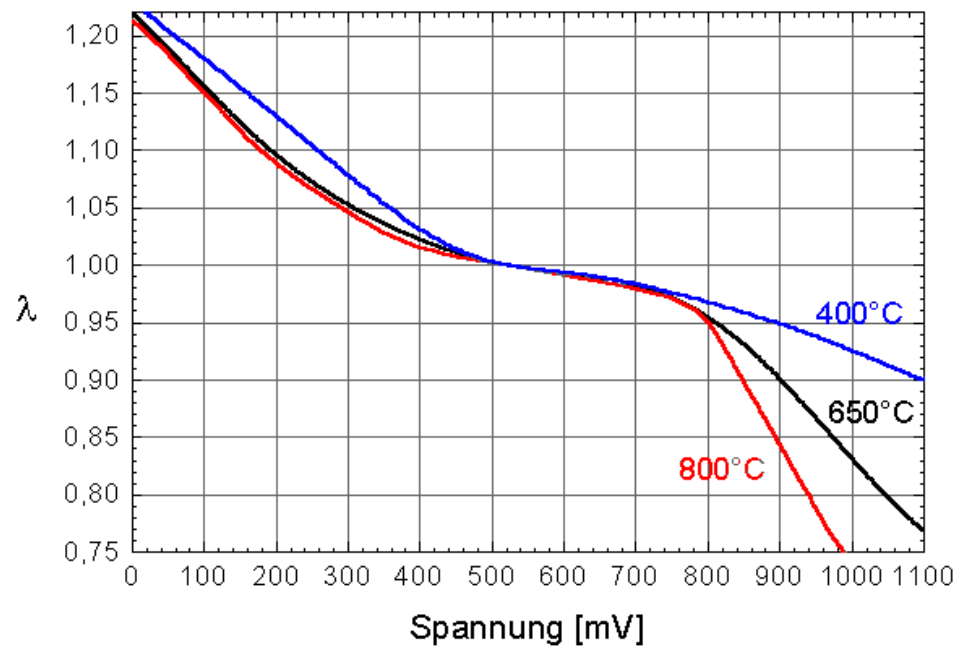


Da bei der Dot-Schaltung nur ein Vorwiderstand ausreicht und der Spannungsregler ebenfalls sehr wenig Strom liefern muß, wird die Schaltung sehr kompakt:

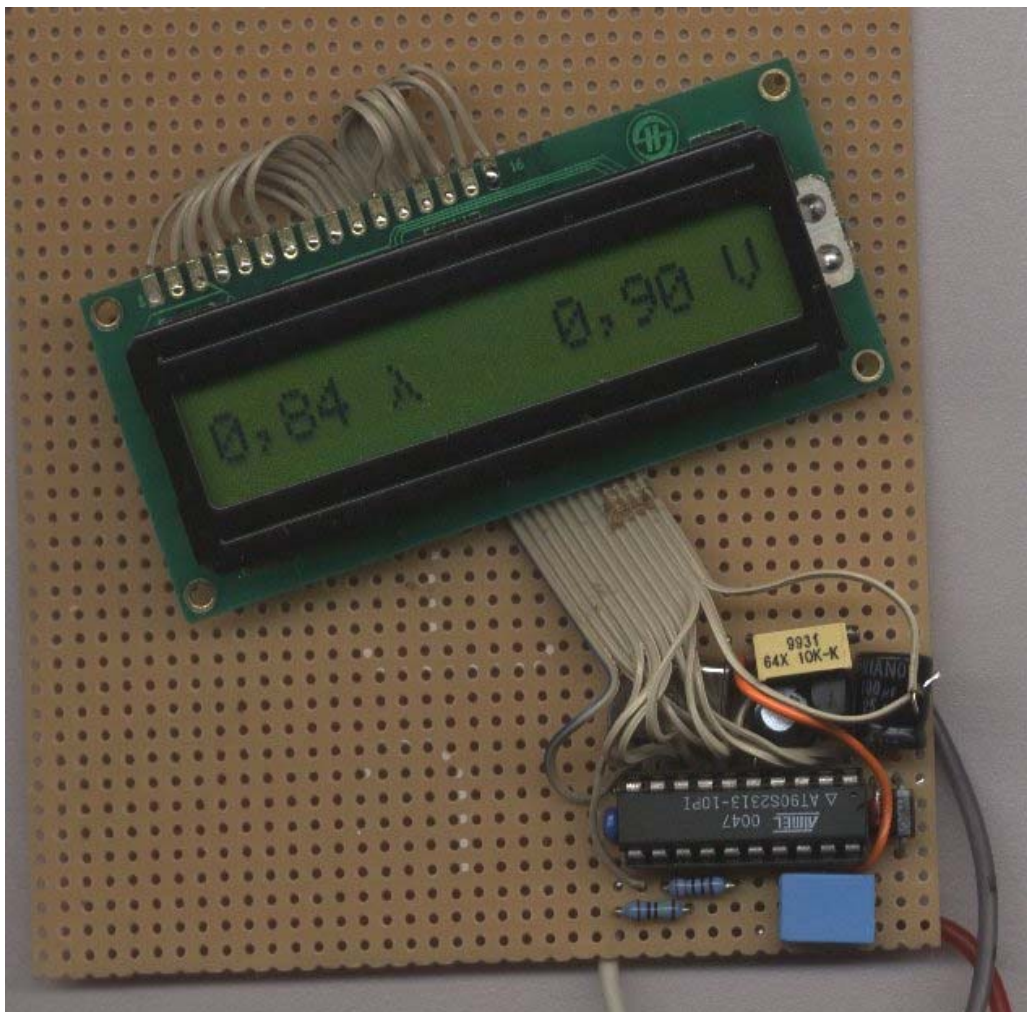
Im Moment sind AT90S1200A und auch AT90S1200 jedoch kaum zu bekommen, ich hab daher auf den AT90S2313 zurückgegriffen und mit 8 MHz-Quarz ausgestattet. Die Daten habe ich statt ins EEPROM in den Programm-Speicher geschrieben und die beiden übrigen I/O-Pins für Schalter genutzt, mit denen man zwischen zwei Temperaturkennlinien (800°C und 650°C) wählen kann und zur feineren Abstimmung die Anzeige zusätzlich in den fetten Bereich von $\lambda = 0,775$ bis 1,000 schalten kann. Die [Schaltung](#) wird dann etwas modifiziert, das [Programm](#) ebenfalls.



Eine etwas teurere Nobelanzeige (Teile ca. 60,-DM), basierend auf dem AT90S2313, die den Lambda-Wert direkt 3-stellig auf einem beleuchteten LCD-Punktmatrix-Display ausgibt ist aber auch schon fast fertig. Das war allerdings nur eine Spielerei von mir, denn die Praxistauglichkeit dieser Anzeige schätze ich sehr gering ein. Zum einen ändert sich im Fahrbetrieb der Lambda-Wert ständig, besonders im Schiebetrieb findet prinzipbedingt eine starke Abmagerung statt, da ist es besser Tendenzen zu erkennen, die nur auf einer analogen Skala gut ablesbar sind. Wild springende Zahlenwerte haben da wenig Aussagekraft. Zum anderen täuscht die digitale Genauigkeit dieser Anzeige. Die Kennlinie der Sonde ist ja sehr stark temperaturabhängig, besonders im fetten Bereich. Um da die Kennlinie richtig anzupassen, müßte man den Heizstrom messen, aus dem man wegen der PTC-Eigenschaft des Heizelements auf die Temperatur schließen kann. Ich gehe derzeit immer stillschweigend von einer gut durchgeheizten Sonde mit rund 800°C aus, aber im Leerlauf kann eine ungeheizte Sonde bis auf 400°C abkühlen, im Teillastbereich wird sie so um die 700°C warm und bei Vollast können es über 900°C werden. Im Leerlauf bedeutet daher eine Sondenspannung von etwa 1000 mV einen Lambda-Wert von etwa 0,9, bei Vollast hieße die gleiche Sondenspannung ein Lambdawert von 0,75! Die beheizten Sonden halten die Temperatur meist über 600°C, aber der Lambdawert zwischen Leerlauf und Vollast kann dann im sehr fetten Bereich immer noch um mehr als 0,05 bei gleicher Spannung variieren. Die Anzeigegenauigkeit von 0,01 bringt daher grade in diesem wichtigen Bereich recht wenig, solange nicht eine exakte Temperaturkompensation erfolgt.



Wer es trotzdem probieren will: Hier sind [Schaltplan](#), [Quelltext](#) und [Referenz-Daten](#) für die Verwendung eines 1x16 (8+8)-Displays auf dem Lambda-Wert und Spannung ausgegeben werden. Das Timing der LCD-Ansteuerung erwies sich als etwas kritisch, das Busy-Flag ließ sich zwar auslesen, aus irgendeinem ominösen Grund verschluckte das Display aber häufiger einige Zeichen. Mit einem großzügigen Timing klappt es dagegen sehr gut. Die Ausgabe der Daten erfolgt mit etwa 2 Hz, so daß sie gut ablesbar sind, bei stark wechselnder Gasstellung aber durch die Mittelung an Aussagekraft verlieren.



Der Trimmer auf der Schaltung dient der Kontrasteinstellung, die losen Kabel sind die Stromversorgung der LED-Hintergrundbeleuchtung.

[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

FAQ

Frage	Antwort
Kann ich die Lambda-Anzeige auch fertig kaufen?	Nein
Wie sieht die Schaltung zum programmieren des Controllers aus?	Je nach verwendetem Programm sehr unterschiedlich. Entsprechende Schaltungen finden sich auf den Homepages der Programme.
Was benötige ich von der Atmel-Homepage?	Minimal nur den Compiler (Asmpack.exe)
Der Compiler meldet einen Fehler (File access error)	Er findet die Include-Datei nicht. Sie ist beim Compiler dabei und liegt im Appnotes-Verzeichnis. Entweder kopierst Du sie in Dein Lambda-Verzeichnis, oder passt den Pfad im Lambda-Programm an.
Ich habe einen Verbesserungsvorschlag. Soll ich ihn Dir schicken?	Ja! Immer her damit. Schick ne Mail an mich
Ich habe eine dumme Frage. Darf ich sie Dir schicken?	Nein, mach Dich selber schlau.
Warum antwortest Du nicht auf meine Fragen?	s.o.
Wo bekomme ich denn dann Support?	Auf meiner nicht existenten kommerziellen Seite.

[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Literatur

- [Vorlesungsskript Sensoren des Instituts für Werkstoffkunde der Uni Karlsruhe](#) (leider sind die Folien nicht mehr öffentlich verfügbar)
- [O2-Sensor-FAQ](#)
- [SplitSecond stellt Sonden und Anzeigen her](#)

[Zum Inhaltsverzeichnis](#)

Bezugsquellen

Sonden:

- [Uni-Fit Katalysatoren](#)
- [oder im Dosenzubehör](#)

Bauteile:

- [Reichelt](#)
- [Conrad](#)

Hinweis

Die Schaltungen und Programme auf dieser Seite sind für den privaten Gebrauch frei verfügbar und dürfen unter Angabe eines Quellenhinweises auch weitergegeben werden. Eine kommerzielle Nutzung untersage ich dagegen. Für Schäden, die aus Nachbau oder Benutzung der hier vorgestellten Entwicklungen entstehen, übernehme ich keine Verantwortung. Ich übernehme auch keine Gewähr für die Richtigkeit und Funktionstüchtigkeit, bei mir funktioniert aber alles soweit.

Im übrigen gilt natürlich der [Disclaimer](#)