

Auspuffbau für 2-Takt- Motoren



**Ein Leitfaden für Anfänger und Fortgeschrittene
von**

Martin Kieltsch
Dipl.-Ing. (FH) Fahrzeugbau

Version 2.0
Wolfenbüttel im Januar 2016

1. Einleitung

1.1 Ziele der Bearbeitung

Diese Anleitung beschäftigt sich primär mit der Fertigungstechnik zum Bau von 2-Takt Auspuffanlagen und soll Einsteigern die Angst nehmen es selbst zu versuchen. Seit Mitte 2011 habe ich mich mit dem Bau von Auspuffanlagen beschäftigt und seitdem selbst ein halbes dutzend Anlagen für diverse RD350 gebaut. Zudem wurde der beschriebene Kit noch ca. 15 mal in ganz Deutschland mit ähnlichen Ergebnissen nachgebaut.

Ich selbst bin in dieser Sparte kompletter Autodidakt und habe nach dem Kauf eines einfachen & günstigen WIG-Gerätes einfach mal losgelegt. Um am Anfang das „Problem“ der richtigen Auslegung zu umgehen habe ich die Maße einer bestehenden Anlage zur Absenkung der Drehzahlen verlängert. (Diese Verlängerung wurde vorher an einer Testmaschine im Versuch beurteilt und sie hatte dort die gewünschte Wirkung.)

1.2 Mögliche Ergebnisse

In meiner eingangs erwähnten Tuning-Anleitung habe ich die Ergebnisse der Zeitschrift PS aus 3/89 dargestellt. Dort wurde der Original-Auspuff schlicht gegen Zubehör-Töpfe getauscht und die Leistung gemessen.

Keine der Anlagen erreichte die Serien-Leistung. Fairerweise muss man aus heutiger Sicht anmerken, dass eine Anpassung von Zündung, Power-Valve und Bedüsung bei Änderung der Auspuffe nötig ist.

Bei der hier gebauten Anlage für die RD350 hatte ich bei der ersten Fahrt auch eine gewisse Enttäuschung zu verarbeiten.

Insgesamt musste die Hauptüse ca. 2 Nummern kleiner gewählt werden und die Zünd- bzw. PV Kurve auf die höheren Drehzahlen angepasst werden – erst danach war deutlich Mehrleistung zu verzeichnen.

Diese Version wurde an mehreren RD's (YPVS & LC) gemessen und sie lagen zwischen 64 und 70 PS am Hinterrad.

Zum Vergleich: Eine Serien-RD hat ca. 45-50 PS am Hinterrad.

Durch das Alter der RD's ist das durchaus TÜV-fähig. Meine RD bestand die vorgeschriebene Fahrgeräuschemessung sogar 2dB unterhalb der zulässigen

Grenze. Allerdings nur, wenn man den originalen Luftfilterkasten mit allem Innenleben verwendet.

Dafür muss man dann ca. 250-300 Eur an Kosten einplanen.

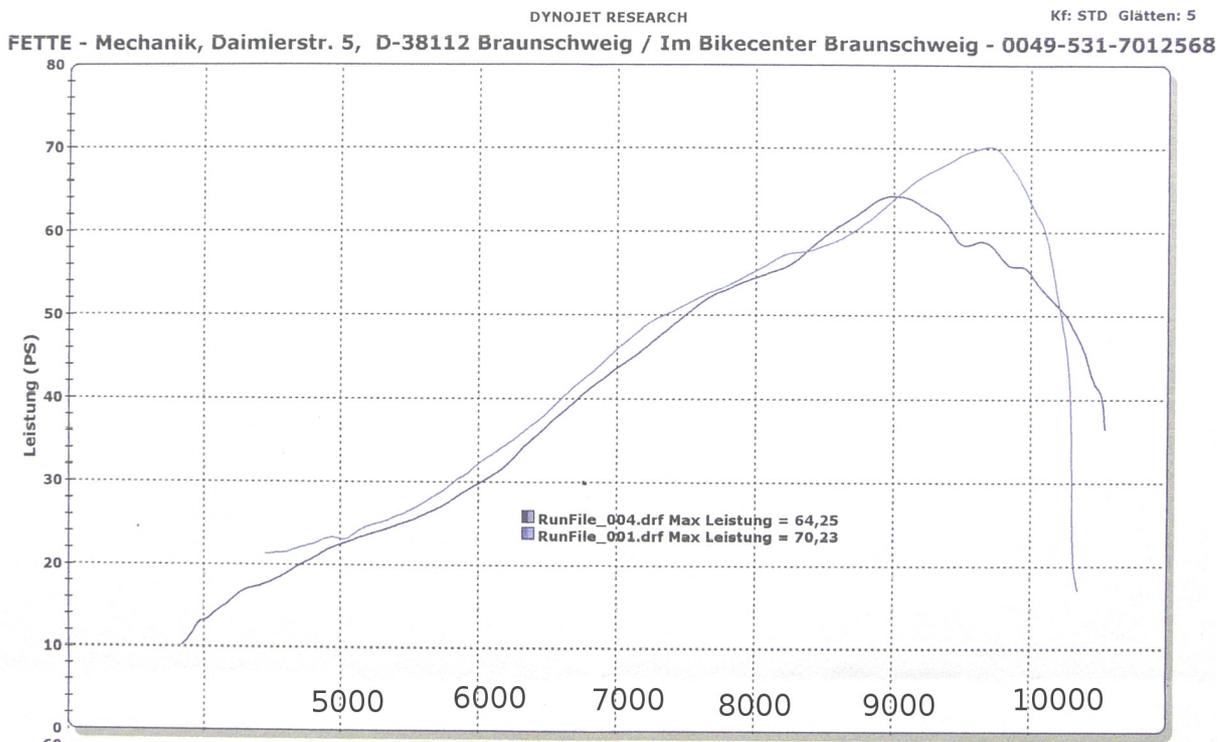


Bild 1 : Leistungsmessung RD350LC & YPVS aus 10/2011

1.3 Werkzeuge

Für den Auspuffbau sind folgende Werkzeuge/Hilfsmittel nötig:

- Computer & Software zum Layout & Drucken der schräg angeschnittenen Konen.
- Geeignetes Schweißgerät (Bevorzugt WIG, MAG & Autogen geht eingeschränkt)
- Gaslinsen
- Passenden Schweißzusatzwerkstoff (Draht ca. in Blechstärke)
- Schweißhelm mit Automatik-Glas (= beide Hände frei !)
- Blechschere (bevorzugt auch elektrisch)
- Rollenbiegemaschine
- Schleifteller bzw. Bandschleifer
- Stangenmaterial mit angeschweißten Kugeln in verschiedenen Größen
- Hammer, Zangen

Hilfsmittel:

- Schmirgelleinen Körnung 60 ... 1000
- Blaupapier & Zeichenkarton
- Übungsbleche (gerade & gerollt)
- Reichlich Schutzgas (2 Auspuffanlagen = ca. 10-15 l Argon)

2. Das Konzept

Zuerst benötigt man ein brauchbares Auspuff-Design. Das kann von einer bestehenden Anlage schlicht mit dem Maßband abgenommen werden (ich nenne das die chinesische Methode) oder aus anderen Quellen wie z.B. Internet, Tuning-Software oder eigene Ideen.

Dieses ist im Normalfall „gerade“, d.h. Man muss die nötigen Radien durch aufteilen in kleinere Segmente und anschrägen an den Enden erreichen.

Eine brauchbare Methode für ein erstes Papierlayout ist folgende:

Man schneide einen Kupferdraht (z.B. 2.5 mm Erdungsleitung) aus die Länge die der Auspuff insgesamt bekommen soll. Durch Anhalten ans Moped und Biegen bringt man den in die richtige Form.

Diese 3D Form kann man in mehreren Teilen auf einen großen Bogen Papier übertragen und dort die nötigen Winkel messen.

Beispiel: Der Header des Auspuffs soll 288 mm lang werden, also markiert man die Stelle auf dem Draht bei 288 mm. An dieser Stelle misst man den Winkel bezogen auf die Start-Richtung. In unserem Beispiel lassen wir es mal 111 Grad sein.

Jetzt muss man entscheiden wie viele Abschnitte man braucht. Als Faustregel kann man nehmen, dass pro Trennstelle nicht mehr als 20 Grad anliegen sollten – hier kämen wir also mit 6 Segmenten aus.

Sanftere Übergänge bekommt man aber wenn man weniger Winkel pro Trennstelle hat – d.h. in mehr Segmente aufteilt (hier wurden 8 gewählt).

Das trägt man in eine Tabellenkalkulation ein und rechnet mit Hilfe des Strahlensatzes aus in welchem Abstand welche Durchmesser genommen werden müssen.

(Wer das nicht hinbekommt, kann sich den Gesamt-Kegel in der Seitenansicht auf ein Blatt aufzeichnen, in den gewünschten Abständen Trennlinien einzeichnen und dort einfach die nötigen Durchmesser mit dem Lineal ermitteln)

Achtung: Jede Trennstelle muss auf jeder Seite den gleichen Winkel haben. Der Grund ist ganz einfach, dass die Trennfläche eine Ellipse ist, die vom Winkel abhängt. Unterschiedliche Winkel = unterschiedliche Ellipsen = Problem beim Verschweißen weil Spalt verbleibt ...

	A	B	C	D	E	F	G
25	Teilungen	6					
26	L ges		Laenge	Durchmesser 1	Durchmesser 2	Winkel 1	Winkel 2
27	30	1.1	30,0	37,0	38,5	0,0	8,2
28	65	1.2	35,0	38,5	40,3	8,2	8,2
29	100	1.3	35,0	40,3	42,1	8,2	8,2
30	135	1.4	35,0	42,1	43,9	8,2	8,2
31	170	1.5	35,0	43,9	45,7	8,2	8,2
32	205	1.6	35,0	45,7	47,5	8,2	8,2
33	240	1.7	35,0	47,5	49,3	8,2	5,0
34	288	1.8	48,0	49,3		5,0	3,0
35	Gesamt		288			111,6	

Bild 2 : Layout-Tabelle zur Ermittlung der Einzel-Konen.

An diesem Punkt hat man die Maße seiner Kegel und muss die „nur“ noch auf Papier / Pappe bringen.

Das Layout der Kegel geht mit der Software „cone“ für lau: <http://www.pulserate.com/> Maße eintragen, auf Papier drucken und mit Blaupause auf Pappe übertragen. Anschließend „biegen“, kleben und am Motorrad testen ob es passt..

Bei der Modellierung der RD350 Anlage in Pappe ist mir unangenehm aufgefallen, dass die linke Seite entweder an der Kette oder auf der Straße schleift. Beides ist irgendwie unerwünscht.

Eine mögliche Lösung: Man kreuze die Anlagen, so dass der linke Auspuff einen „Umweg“ um den Rechten machen muss.

Durch den längeren Weg am anderen Krümmer vorbei (ca. 160 mm) kann der linke Pott sehr lange unter dem Motor bleiben. So kommt man erst mit dem Gegenkonus im Bereich der Kette an und das passt dann sowohl von der Schräglage als auch mit der Kette.

Nachteil für Nachbauer: Die Hauptstände-Aufnahme muss weg (was bei mir eh schon der Fall war)



Bild 3 : Krümmer in Pappe und original Yamaha

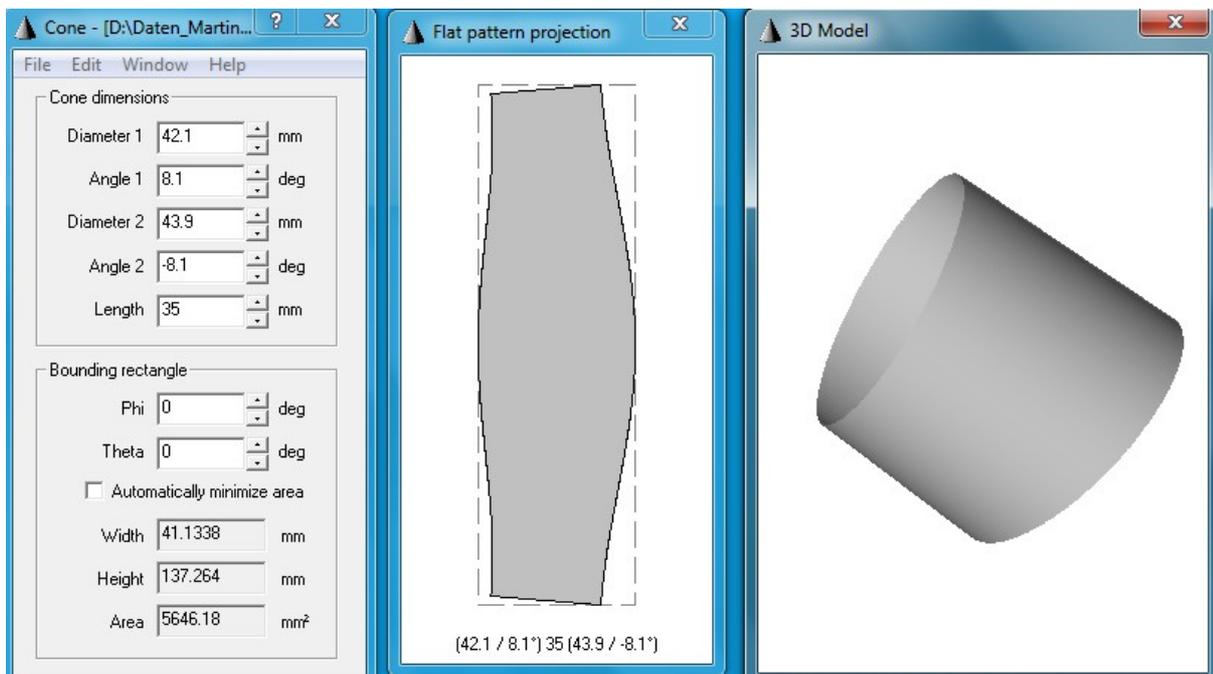


Bild 4 : Screenshot Software „Cone“ von <http://www.pulserate.com/>



Bild 5 : Auspuff-Konzeptmodelle in Pappe bzw. Stahl/Pappe-Mix

Die gewünschte Richtung des Verlaufes kann man auch durch Verdrehen der einzelnen Koneen gegeneinander bekommen.

Die Papp-Koneen haben übrigens noch einen entscheidenden Vorteil: Man kann sehr leicht sie mit der Schere passend schneiden, wenn es noch nicht so passt wie es soll.

Der „Verlauf“ der Anlage ist übrigens nicht die einzige Problemzone. Man muss z.B. auf die Schräglagenfreiheit achten oder auch auf im Weg stehende Umlenkhebel, Ständer und Ähnliches.

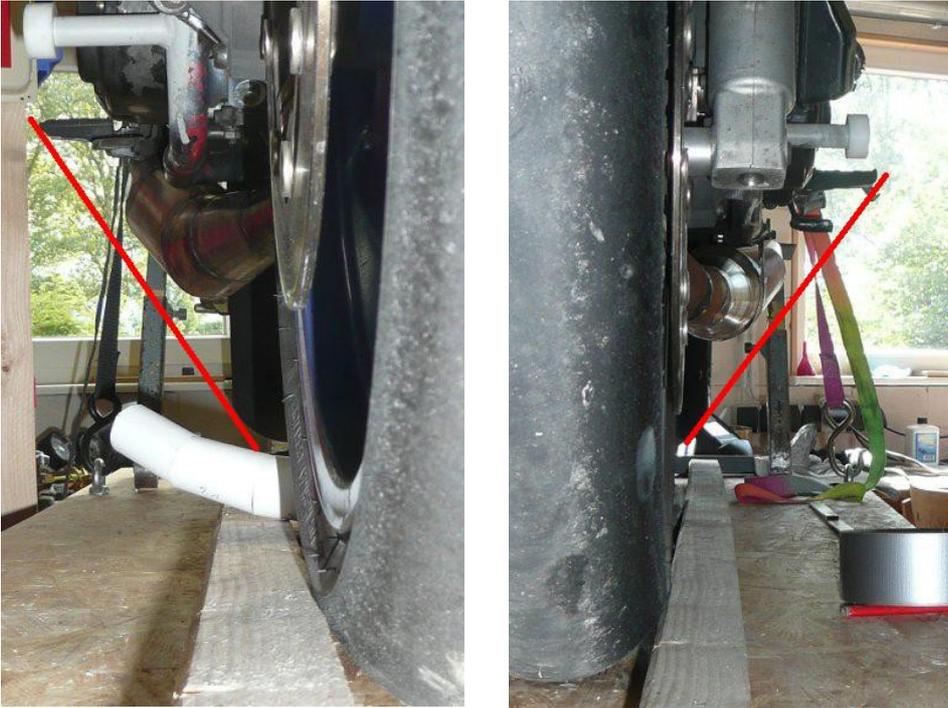


Bild 6 : Schräglage Rechts/Links



Bild 7 : Problemzonen Umlenkung & Seitenständer

Die nötigen Winkel-Änderungen überträgt man am Ende ins Cone, so dass das digitale Modell aktuell bleibt.

3. Blecharbeiten

Nachdem die Konzept-Daten stehen hat man zwei Möglichkeiten die Anlage „in Blech“ zu bekommen.

- 1) Mit Cone dxf-Dateien exportieren und zu einem Betrieb für Laserschneiden bringen.
- 2) Selber auf Blech übertragen und mit Blechscheren ausschneiden.

Punkt 2) ist einfach. Das hat man schon beim Konzept gemacht, nur das diesmal eine Tafel Blech drunter liegt.

Das Ausschneiden muss sehr sauber erfolgen, weil sonst später kleine Spalte verbleiben, die beim Schweißen Löcher verursachen können.

Die gerade Kante der geschnittenen Stücke muss wirklich sehr gerade sein, damit nach dem Biegen das ganze auf der ganzen Strecke eben und ohne großen Spalt anliegt.

Für Punkt 1) kann es ggf. nötig sein mehrere Teile auf ein Blech zu bekommen oder z.B. kleine Stege einzubauen, damit die Teile nicht raus fallen.

Das geht z.B. mit der Software „DraftSight“ - eine freies CAD des renommierten Anbieters Dassault (Catia)

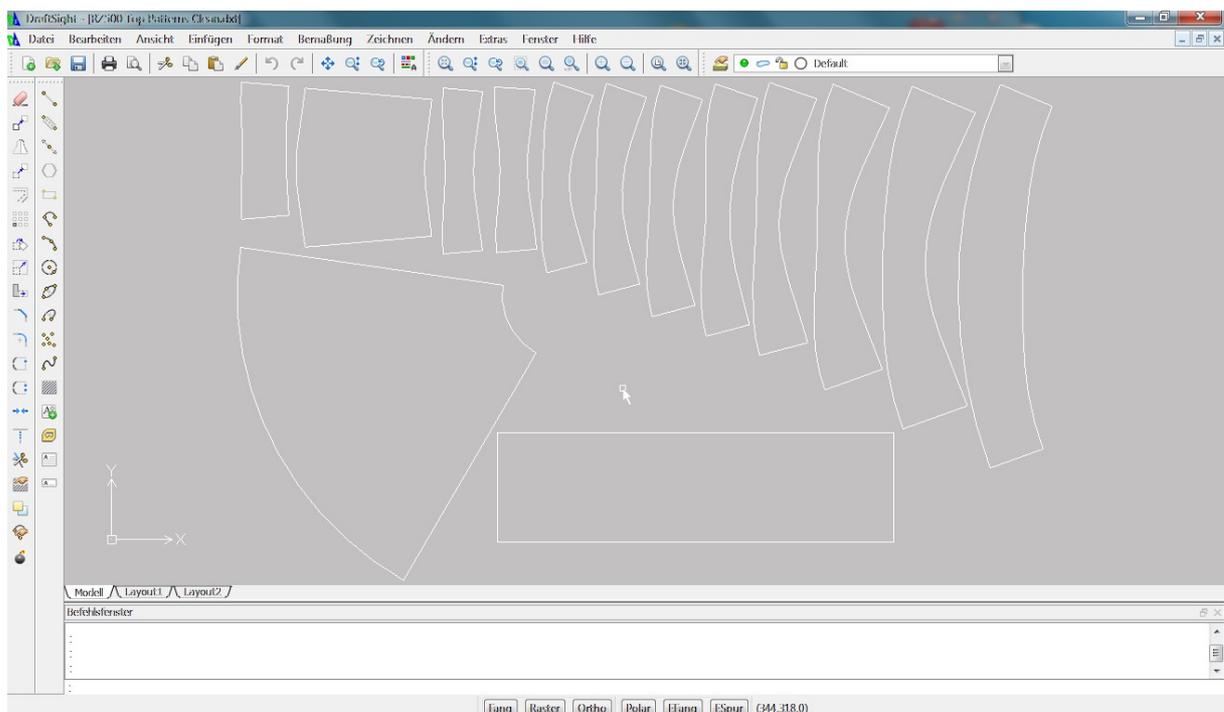


Bild 8 : Screenshot Software DraftSight



Bild 9 : Handgeschnittene Bleche



Bild 10 : Laser-geschnittene Bleche

In beiden Fällen sollte das Material der Wahl DC01 („Tiefziehblech“) in ca. 0.8 – 1.0 mm Dicke sein.

Das lässt sich gut biegen, verformen und schweißen. Der fertige Auspuff ist ausreichend stabil und trotzdem sehr leicht.

Beispiel: Ein JL-Auspuff für die RD350 wiegt ca. 5 kg. Mein Eigenbau hatte 5,5 kg; der originale 1WW Auspuff wiegt ca. 11 kg.

Edelstahl in der gleichen Dicke weist eine erheblich höhere Materialfestigkeit auf. Damit lässt es sich schon mal deutlich schlechter biegen (federt nach Biegevorgang wieder um einen Betrag zurück).

Außerdem ist die Edelstahl-Schmelze beim Schweißen „dünnflüssiger“, d.h. man hat schneller Löcher fabriziert.

Das Biegen der Konen geht mit einer Biegemaschine am besten. Diese gibt es ab 150 Eur günstig beim eBay.



Bild 11 : Rollenbiegemaschine

Sie besteht aus drei Rollen – zwei zur Führung und eine zur Einstellung des Biegeradius. Die Führungsrollen werden entsprechend der Blechdicke eingestellt, damit man per Drehung der Kurbel das Blech zwischen den Rollen auch transportieren kann.

Danach stellt man die hintere Rolle so ein, dass sich eine leichte Biegung ergibt. Wenn man das Stück 1-2 mal durch gekurbelt hat, dann stellt man die hintere Rolle nach und wiederholt den Prozess bis das Teil rund ist und die Enden anliegen.

Bei VA muss es noch etwas weiter gebogen werden, weil das danach wieder zurückfedert.

Je konischer der Kegel, desto problematischer ist allerdings das Rollen.

Parallele Rollen erzeugen nämlich eigentlich nur einen Zylinder und keinen Kegel. Das kegelige bekommt man a) durch leichte Schiefstellung der hinteren Rolle und/oder b) durch manuelles Ausrichten des Teils während man es durchzieht.

Das Teil wird dabei mgl. senkrecht zur Rolle geführt, so dass die Mantelfläche des fertigen Teils immer parallel zur Rolle steht.

Bei großen Teilen mit großem Durchmesser-Unterschied kann das recht anspruchsvoll sein. Der einteilige Gegenkonus bei meinen RD-Anlagen hat auf der einen Seite 30 mm und auf der anderen 103 mm.

Da kann man z.B. am kleinen Durchmesser mit einer Zange „bremsen“, so dass das Blech am einen Ende mehr eingezogen wird als am anderen.

Dazu sollte man die Führungsrollen recht straff einstellen, damit man mehr Kraft auf das Blech übertragen kann.



Bild 12 : Gerollte Rohteile

Die andere Methode wäre z.B. mit der Hand am größeren Durchmesser zu drücken, so dass es dort mehr eingezogen wird als am anderen Ende. Hierbei müssen die Rollen eher etwas loser eingestellt sein, da man das Blech sonst nicht per Hand durch geschoben bekommt.

Als ideales Ergebnis ist der Konus schön rund und die Trennfuge parallel und unter leichter Spannung anliegend.

4. Schweißtechnik

Das Schweißen der Bleche geht im Prinzip mit vielen Methoden wie z.B. MAG oder Autogen. Das definitiv beste Ergebnis erreicht man aber mit WIG-Schweißen (Wolfram-Inert-Gas)

Für Einsteiger findet man unter <http://www.weldingtipsandtricks.com> massenhaft Material (dort läuft es allerdings unter TIG welding = Tungsten Inert Gas).

Mich hat es z.B. darauf gebracht entgegen der üblichen Literatur die Nadel relativ weit heraus schauen zu lassen. Meist wird eine Nadelbreite empfohlen, also z.B. 2.4 mm bei einer 2.4 mm Nadel – mit gut 5 mm sieht man aber viel besser die Spitze und den Lichtbogen.

Auch mit der Brenner/Handhaltung sollte man experimentieren. Ich halte den Brenner schon mal eher wie einen großen Filzstift zwischen den Fingern und nutze ein Fußpedal weil man so sehr gute Kontrolle über den Lichtbogen hat.

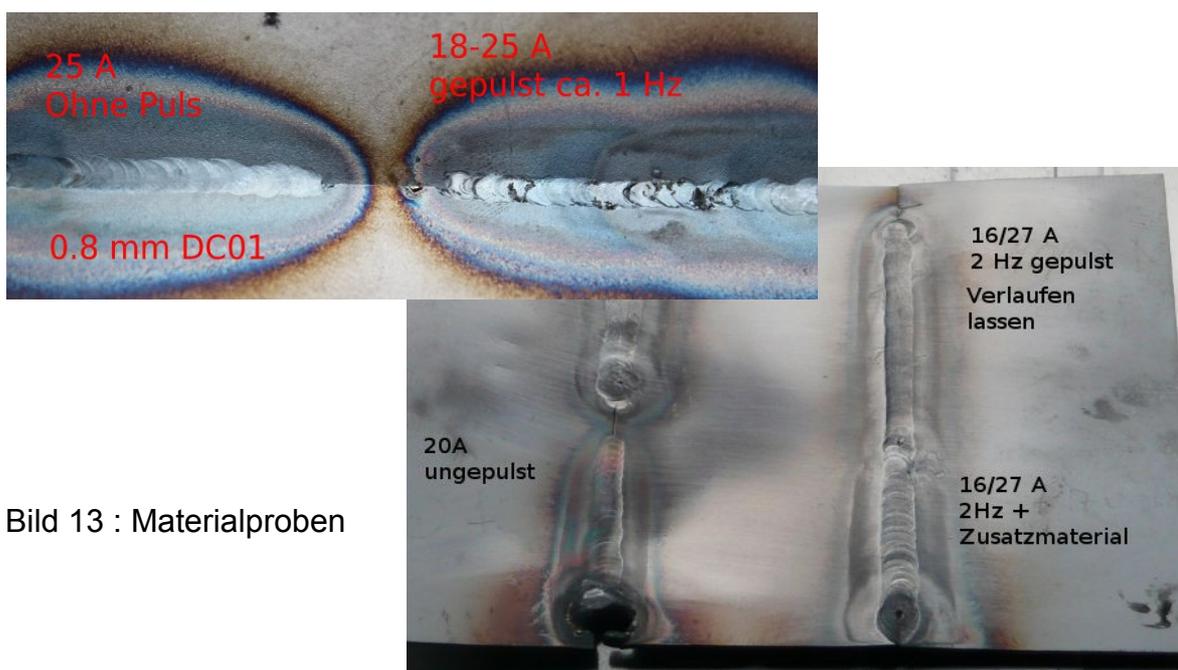


Bild 13 : Materialproben

Bevor man an seine guten gebogenen Bleche geht sollte man zunächst an Materialproben seine Einstellungen testen. Löcher gibt es sonst schneller als einem lieb ist ...

Von den sonstigen Parametern wäre eine sehr geringe Stromstärke zu nennen. Für die o.g. Bleche lag es zwischen 15-35 A, teilweise auch gepulst (also zwischen einem geringeren und einem höheren Wert schwankend).

Die verwendeten Nadeln waren 1.0 - 2.4 mm. Je dünner die Nadel desto bessere Kontrolle des Lichtbogens und desto feinere Naht.

Für Stahl bevorzuge ich nach diversen Versuchen Nadeln vom Typ WL15 (Gold).

Bei hochwertigeren WIG-Geräten kann man 2-Takt und 4-Takt-Verfahren einstellen.

2-Takt: Drücken des Brennerknopfs = Lichtbogen aktiv, Loslassen = Abschalten

4-Takt: Drücken des Brennerknopfs = Lichtbogen aktiv, Loslassen = Lichtbogen bleibt aktiv, nochmaliges Drücken = Abschalten

Ich nutze für Heften und kurze Nähte das 2_Takt Verfahren, für lange Nähte jedoch das 4-Takt. Insbesondere ist es bei 4T leichter den Brenner anders zu halten, weil man nicht dauernd mit einem Finger den Taster halten muss.

Als Gas wird Argon 4.6 mit ca. 5-7 l/min verwendet; das Ganze geht dann durch eine Düse der Größe 5-7.

Wenn man in Edelstahl oder gar Titan fertigen möchte, dann ist eine sogenannte Gaslinse sinnvoll. Diese gibt es in verschiedenen Größen und nach meinen Erfahrungen hat das auch Vorteile. Faustregel: Je größer, desto hübsch (= weniger Wärmeeinflusszone und Anlauffarben).



Bild 14 : Gaslinse XXL und zugehörige Materialprobe (VA)

Sehr wichtig für diese beiden Materialien ist das sogenannte Formieren, also das Fernhalten von Sauerstoff von der Rückseite der Naht.

Macht man das nicht, bildet sich auf der Rückseite von Edelstahl eine Blumenkohlartige Struktur, von der später Risse ausgehen. Zudem verschlechtert sie die Leistung, wenn man sie im vorderen Teil des Auspuffes nicht beseitigt.

Es verschiedene professionelle Wege (Formiergase, Formierpasten, Formierband), die alle sehr teuer sind. Für den Heimwerker ist es das einfachste die zu schweißende Anlage innen mit Argon zu fluten.

Ich habe dazu ein schlichtes T-Stück in den Gas-Zulauf des Brenners gesetzt und einen Teil des Argons in den Auspuff geleitet.

Erstaunlicherweise hat das Formieren der Rückseite auch einen positiven Einfluss auf die sichtbare Vorderseite. Sie wird glatter und die Anlauffarben sind weniger ausgeprägt.

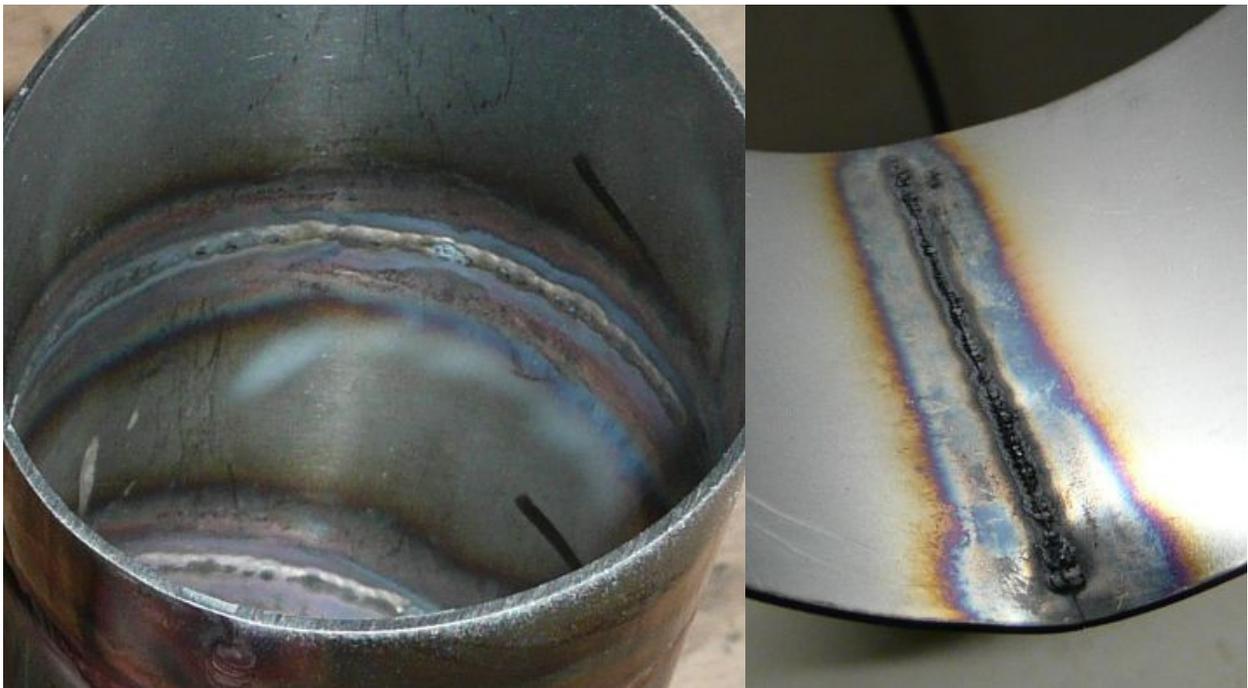


Bild 15 : Innenseite in VA mit Formiergas (links) und „Blumenkohl-Bildung“ ohne Formiergas (rechts)

Mehr aus Interesse habe ich mich auch mal an Titan-Blech versucht, weil man immer liest, dass das so aufwendig sein soll.

Bzgl. Des Schweißens finde ich es sogar angenehmer als Stahl oder Alu, weil es sehr gut fließt und fast von alleine schöne Nähte entstehen.

Praxis-Tip zur Kostendämpfung: Titan-WIG Stäbe sind irre teuer. Ein in dünne Streifen geschnittener Blech-Rest tut es auch und kostet nix extra ...

Wichtig ist, dass man auf Anzeichen von Überhitzung achtet (blaue Anlauffarben), denn hier entstehen im Gefüge unerwünschte Strukturen, die später zu Rissen führen.



Bild 16 : Header in Titan

Der Haupt-Trick bei allen dünnen Blechen ist dass man die Naht so vorbereitet, das MÖGLICHST WENIG Spalt verbleibt.

Jeder sichtbare Spalt führt beim Schweißen leicht zu Löchern und man sollte das lieber mit mehr Vorarbeit verhindern, als später Löcher zu füllen. Falls man doch hier und dort einen Klecks benötigt, dann mit WIG Stäben mit kleinem Durchmesser wie z.B. 1.6 mm.

Wenn man ein Segment heftet, dann legt man es auf eine flache Unterlage so dass die Kreisfläche zum nächsten Segment dort aufliegt. Am Umfang drückt man es mit der einen Hand zusammen, die andere Hand setzt dann auf der Trennfuge mit dem Brenner 2 Punkte – bei langen Trennfugen auch mehr.

Anschließend wird das Segment über einen Dorn geschoben und die Naht mit dem Hammer exakt zusammen geklopft.

Danach kann man den Abschnitt sauber verschweißen – Am Anfang & Ende der Naht lässt man einige mm Platz, weil es sonst dort ein Loch gibt. Das macht man dann fertig, wenn das folgende Segment angeschweißt wird.

Danach schleift man die Trennflächen zu den angrenzenden Segmenten flach. Das geht z.B. mit auf den Tisch gelegten Schleifleinen und hin und her bewegen des Teils. Auch ein Bandschleifer leistet bei den kleineren Segmenten gute Dienste.

Für die großen Durchmesser eignet sich eine selbst gefertigte Schleifplatte (Rundes Al-Blech mit Schraube in Bohrmaschine gespannt)

Als Körnung eignet sich ca. 80 – 120 recht gut.

Wenn man die Segmente verbinden will, dann setzt man sie zunächst per Hand aufeinander und punktet sie dort an, wo die Kanten besonders gut zusammenpassen.

Dann hämmert man wie bei der geraden Trennfuge die Naht passend; nur dass hier die Kante einen Kreis beschreibt.



Bild 17 : Schleifplatte

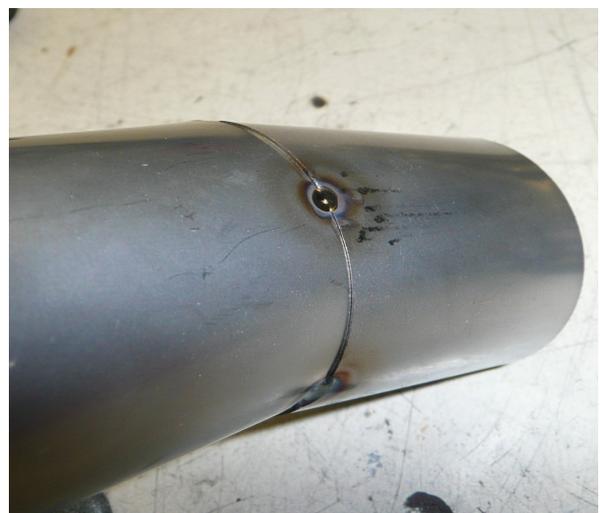
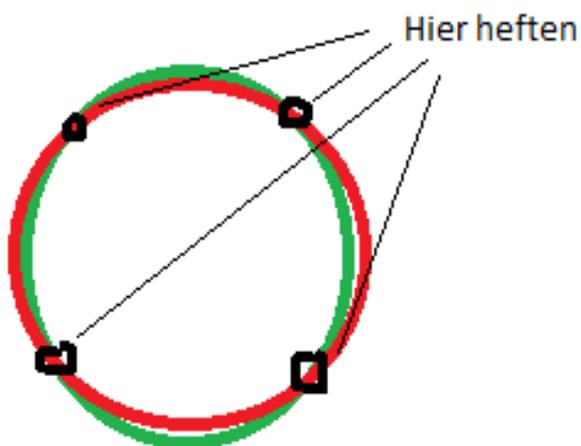


Bild 18 : Abschnitte heften



Bild 19 : Hämmern nach dem Heften und Ergebnis



Bild 20 : „Zepter“ zum Hämmern der umlaufenden Nähte

Das geht am besten auf einer selbst gefertigten Vorrichtung: Auf ein 30'er Stangenmaterial verschweißt man Kugeln verschiedener Größen. Hier kann man die Abschnitte so drüber schieben, so dass die zu hämmernde Naht genau auf der Kugel liegt.



Bild 21 : Fertige Schweißnaht vor/nach dem Hämmern

Heißer Tip: Kreuzfugen vermeiden; die geben hässliche Löcher. Dazu muss man die Segmente nur je einige mm nach rechts/links verdrehen.

Erst dann wird das Ganze wie gehabt verschweißt. Nur an den Stellen, wo Fugen sind, muss man ggf. kurz Zusatzmaterial zugeben.

Damit man eine reproduzierbare Referenz hat empfiehlt es sich zuerst den Flansch am Zylinder zu fertigen und von dort startend die Abschnitte zu verschweißen. Damit kann man auch den Verlauf noch feintunen.

Am einfachsten ist es, fertige Flansche von bestehenden Anlagen zu kaufen. Von Jolly-Moto gibt es z.B. Alu-Flansche mit O-Ring-Abdichtung für ca. 25 Eur/Stk. Auch JL hat seine Flansche zum einzeln bestellen – das sind dann welche mit doppeltem Rohr (ohne Dichtring)

Meine eigene Version war die ganz einfache mit zwei ineinander passenden Rohrabschnitten.

Bei allen Flanschen wird der Auspuff durch je ein bis 2 Federn gehalten. Dieser Konstrukt sorgt für eine Schwingungs-Entkopplung von Zylinder und Auspuff.

Ein direktes Verschweißen des Auspuffs auf dem Flansch ist nicht ratsam. Die Vibrationen des Motors würden das in kürzester Zeit zum reißen bekommen.

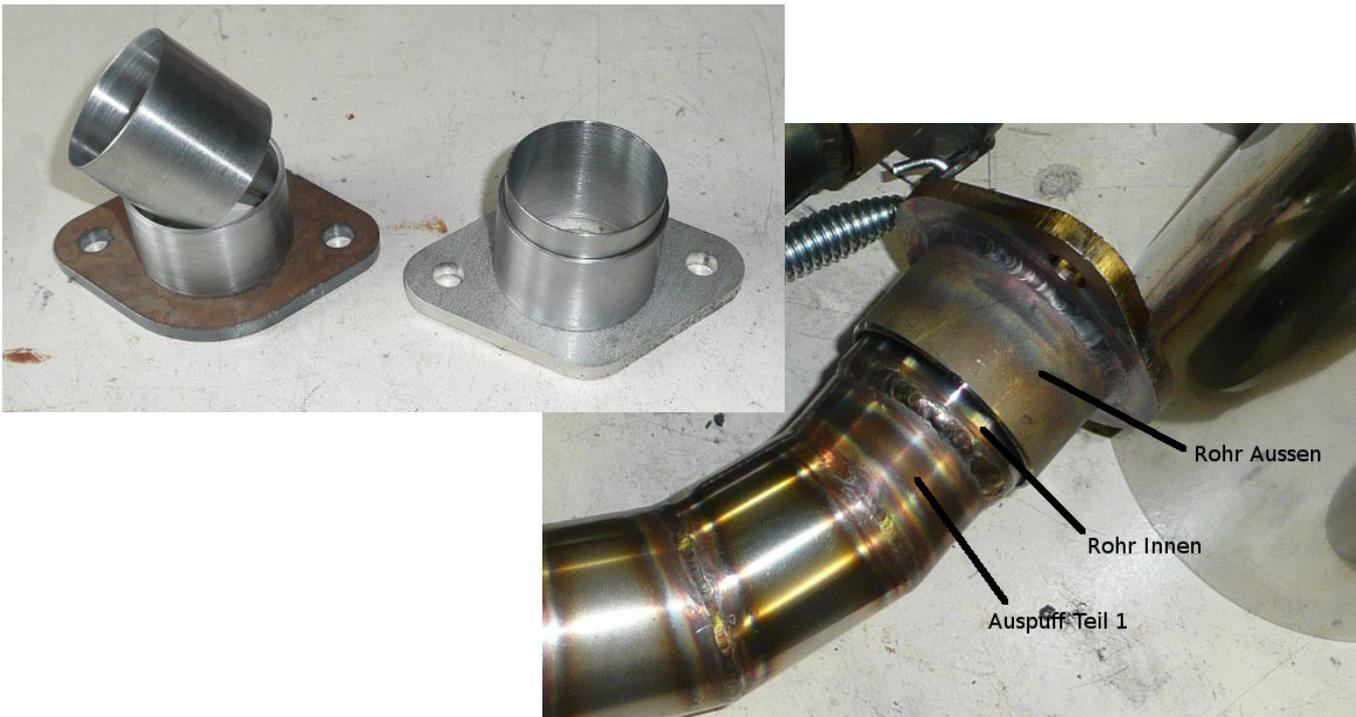


Bild 22 : Zylinderflansche (Eigenbau)



Bild 23 : Zylinderflansche mit O-Ring (Links: JL, Rechts: Jolly Moto)



Bild 24 : Verschweißte Segmente

Mit der o.g. Methode würde der Auspuff von Vorne nach Hinten wachsen.

Nur beim letzten Konus hätte man dann die Herausforderung, dass man die Naht nach dem Heften nicht mehr hämmern könnte, da in das enge Endrohr keine große Kugel hinein passt

Wäre nicht so schlimm, aber gerade die großen Durchmesser sind nicht so exakt rund wie man es sich wünscht und zudem verzieht sich das Ganze beim schweißen auch noch. Folge: Die Nähte brauchen Zusatzmaterial und/oder sehen bescheiden aus. Dumm nur, dass das genau die Naht ist, die man von Außen sehr gut sehen kann.

Dieses Problem kann man umgehen, wenn man am Ende des Krümmers bei ca. 1/3 der Gesamtlänge die Fuge nur markiert (Reißnadel, Filzer, o.ä.). Die folgenden Abschnitte werden wie gehabt geschweißt.

So hat man beim letzten Konus die Möglichkeit von vorne mit einer mittleren Kugel in den Nahtbereich zu kommen.



Bild 25 : RD500 Auspuffe (Design: Wayne Wright, 2013)

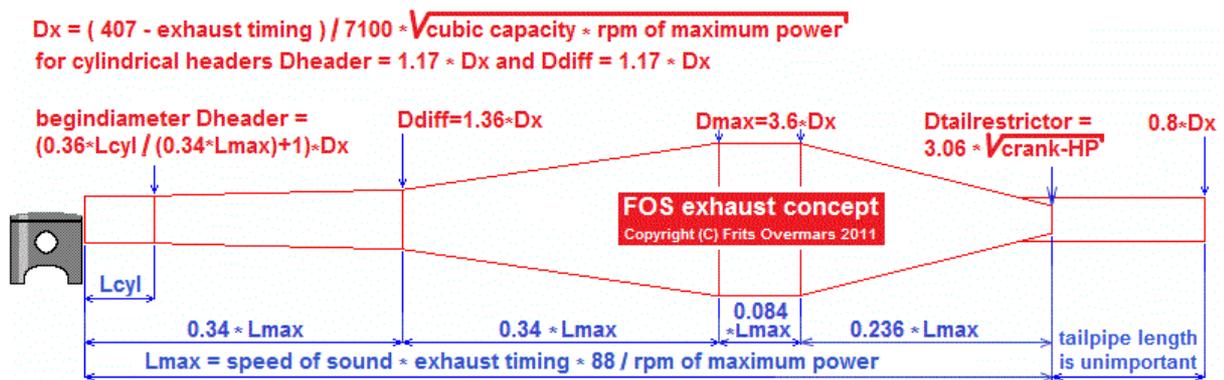


Figure 26 : Frits Overmars pipe concept (Auslegung von Auspuffen)

5. Abstimmung des Motors

Nachdem man den Auspuff fertig hat, kann man noch viel Leistung holen bzw. verschenken, wenn man die Abstimmung nicht hin bekommt.

Wer z.B. meint er würde mit Original-Zündung & Power-Valve auskommen, dem Empfehle ich dazu auch den Original-Auspuff, denn in dem Fall kann man sich den Aufwand sparen

Man benötigt IN JEDEM FALL eine programmierbare Zündung / PV-Box. Diese gibt es z.B. bei Zeeltronic.com oder bei Ignitech.cz.

Bei meiner EFI RD lief die erste Probefahrt ohne Anpassung der Zündung, Power-Valve oder Einspritzung nach Umbau von 1WW Auspuff auf Eigenbau ungefähr so:

Einmal raus aus dem Dorf und gib ihm ... ok, dreht zwar hoch (> 10.000), aber es fehlt die rechte Leistung. Auf jeden Fall nicht der Boah-Ehy Effekt. Auch in "warm" merkte man dass sie zwar unten nicht viel weniger hat als vorher, aber leider auch oben nicht viel mehr.

Laufkultur war i.O., sogar besser als mit 1WW (weniger ruckelig).

Lautstärke absolut i.O. mit den Jolly-Dämpfern.

"Probefahrt die 1. , Take 2":

Der Martin S. war schon ganz neugierig wie die Pötte an seiner RD mit 4 mm Welle laufen, also zuerst mal schnell dort angeschraubt und Probefahrt an seiner RD gemacht.

Er meint sie geht wie die verlängerten JL's, ganz oben sind es wohl ein paar hundert Umdrehungen weniger. Alles in allem ca. 1:1 von der Leistung.

Dann die Pötte wieder an meine EFI RD gebaut, mit mehr Vorzündung über 9000, Delle bei 4500 raus, PV später auf und magereres Kennfeld. Das ging spürbar besser, max. Leistung zwischen 9.500 und 10.000. Wohlfühlbereich so bei 7-8 (vorher 6-7). Entspanntes Cruisen mit 3000 geht auch prima - man kann auch aufziehen ohne beleidigtes mööhhhh. Subjektiv hätte ich gesagt, besser als Vorher aber nicht so richtig viel mehr - vielleicht so 3 PS.

Die Beschleunigungsprobe mit Martin's RD neben dran ergab dann aber von 0 bis 160 exakt gleiche Beschleunigung.

Seine war mit 78 PS auf dem MB Prüfstand und er hat sogar ein 45'er Kettenrad, ich 42.

Da war der Tag erstmal gerettet :-)

Der Grund für die anfangs etwas enttäuschende Leistung liegt auf der Hand. Das Bike war stark auf den Serien-Auspuff optimiert, der bei nur bis knapp über 9000 dreht und um 4500 herum „spezielle“ Einstellung benötigte.

Jetzt baut man dort einen Auspuff dran, der bis 10.500 dreht und erwartet, dass das funktioniert

Im wesentlichen hat man 3 Baustellen, die man möglichst einzeln und der Reihe nach optimieren sollte.

- 1) Zündkurve.
- 2) Power-Valve
- 3) Vergaserbedüsung

Schauen wir uns zuerst an was die Zündung macht:

Ziel der Zündung ist es ca. 10-15 Grad nach OT den maximalen Verbrennungsdruck anliegen zu haben.

Da die Verbrennung nicht unendlich schnell stattfindet bedeutet es, dass man „langsame“ Verbrennung durch höheren Zündwinkel kompensiert und anders herum. Leider haben diverse Größen einen Einfluss auf die Verbrennungsgeschwindigkeit:

- Brenngesetz des verwendeten Kraftstoffs
- Verdichtung
- Turbulenz / Zerstäubung des Kraftstoff/Luft Gemischs
- Fetttes/mageres Gemisch
- Geometrie des Verbrennungsraums

Grundsätzliches Ziel ist eine mgl. schnelle Verbrennung und mgl. geringe Vorzündung, denn damit muss der Kolben beim Aufwärtshub weniger Arbeit „verschwenden“.

Die Kompression wird so hoch wie nötig gewählt, damit der Motor die Temperaturen noch weg bekommt und die verfügbare Oktan-Zahl noch hinhaut.

Damit der Motor kein Kickback hat und, leicht startet und im Standgas sauber & ruhig läuft sind nur 3-6 °vOT nötig.

(Bei sehr großer Verdichtung sogar noch weniger)

Dieser Bereich geht von 0 – ca. 2500 rpm.

Die „alten“ geraden Zündkurven sind immer ein Kompromiss, damit der Motor im ganzen Drehzahlband sauber & ruhig läuft und auch hält.

Als Basiswert erhöht man diese Vorzündung um einen Faktor von 1.5

Bei 20 Grad Serien-Vorzündung (RD350LC) wären wir dann bei 30 °vOT.

Diesen Wert hält man bis ca. 75% der Drehzahl des max. Moments.

Bei meiner EFI RD wären das ca. 9000 rpm – 75% davon sind 6750 rpm.

Damit sind wir von 0-2500 bei 3-6 Grad, dann geht's hoch auf 30 Grad bis 6750 rpm.

Jetzt kommt der interessante Teil der kritisch für Leistung und Haltbarkeit ist.

In diesem Bereich kommt der Auspuff ins Spiel und er geht von ca. 75% bis 110% der Drehzahl des max. Moments.

In unserem Beispiel wären das 6750 bis 9900 rpm.

Die Steuerzeiten und das Auspufflayout haben Einfluss auf die nötigen Grenzen, aber für die meisten Motoren passen diese Werte ganz gut.

Die nötige Vorzündung an diesem Punkt liegt bei ca. 0.75 – fachen des „statischen“ Wertes, für unser Beispiel also $0.75 * 20 \text{ Grad} = 15 \text{ Grad}$

Im Allgemeinen ist die Verbindung der letzten beiden Punkte eine gerade, kann aber motorspezifisch auch „ausgebeult“ sein; speziell im Bereich um die Drehzahl des max. Moments.

Dieses Feintuning macht man am besten auf dem Prüfstand, denn eine nicht optimale Vorzündung sieht man direkt an Dellen in der Leistungskurve.

Im Bereich > 110 % bis ca. 125 % der Drehzahl max. Moments macht es Sinn den Zündwinkel konstant zu halten. Das ergibt ein breiteres Leistungsband ohne Verlust an Spitzenleistung.

Ab ca. 125% der Drehzahl max. Moments hat man das Ende des Überdrehens erreicht.

Hier kann man den Winkel konstant halten oder als sanften Drehzahlbegrenzer die Vorzündung wieder leicht ansteigen lassen.

Diese Kurve ist eine Basis für Prüfstandsläufe, wo sie dann an den Motor angepasst wird.

Zunächst stellt man sicher, dass die Bedüsung passt; nach Möglichkeit beobachtet man Abgastemperatur & nutzt einen Klopfsensor.

Dann verstellt man den Punkt bei 110% Drehzahl max. Moments so lange nach oben bis sich Klopfen einstellt – dann nimmt man es 1-2 Grad zurück.

Eine unter größerer Last & Vorzündung fallende Abgastemperatur ist dabei ein Indikator für Detonationen.

Dieser Wert kann am Ende durchaus auch bis zu 0° Vorzündung gehen.

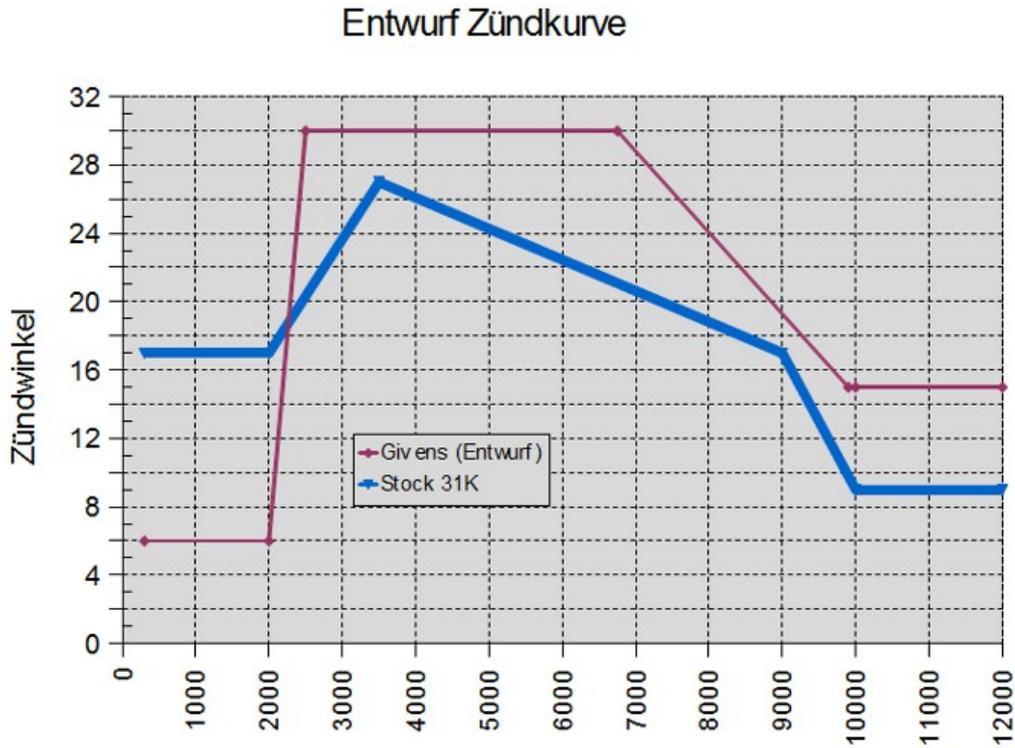


Bild 27 : Entwurfskurve RD350YPVS

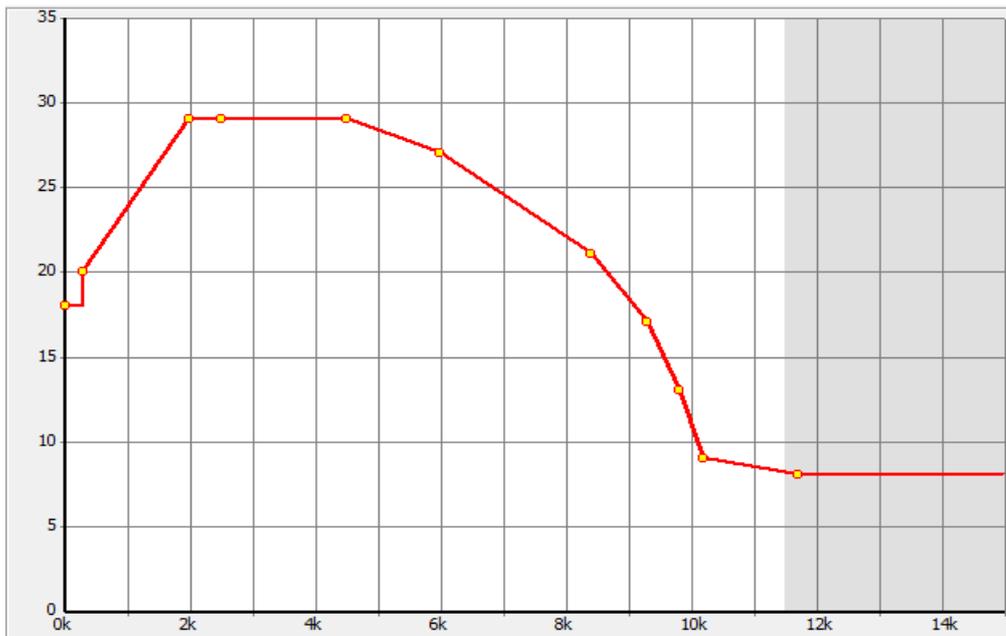


Bild 28 : Zündkurve EFI RD m. Eigenbau-Auspuff

Wichtiger Hinweis:

Wenn man aus Erfahrung weiß, das im mittleren Bereich bis 75% der Drehzahl max. Moments eine große Vorzündung nicht möglich ist, nimmt man die natürlich entsprechend zurück.

Der zweite wichtige Punkt ist die Einstellung des Power-Valve.

Bei den hier beschriebenen RD350-Auspuffen hat man im Vergleich zum Serien-Auspuff das Leistungsband gut 1000 U/min nach oben geschoben. Daher muss man auch die Drehzahlen der PV Betätigung (Anfang/Ende) anpassen.

Nach etwas Feintuning bin ich dann bei 6400 (Anfang) und 9500 (Ende) gelandet.

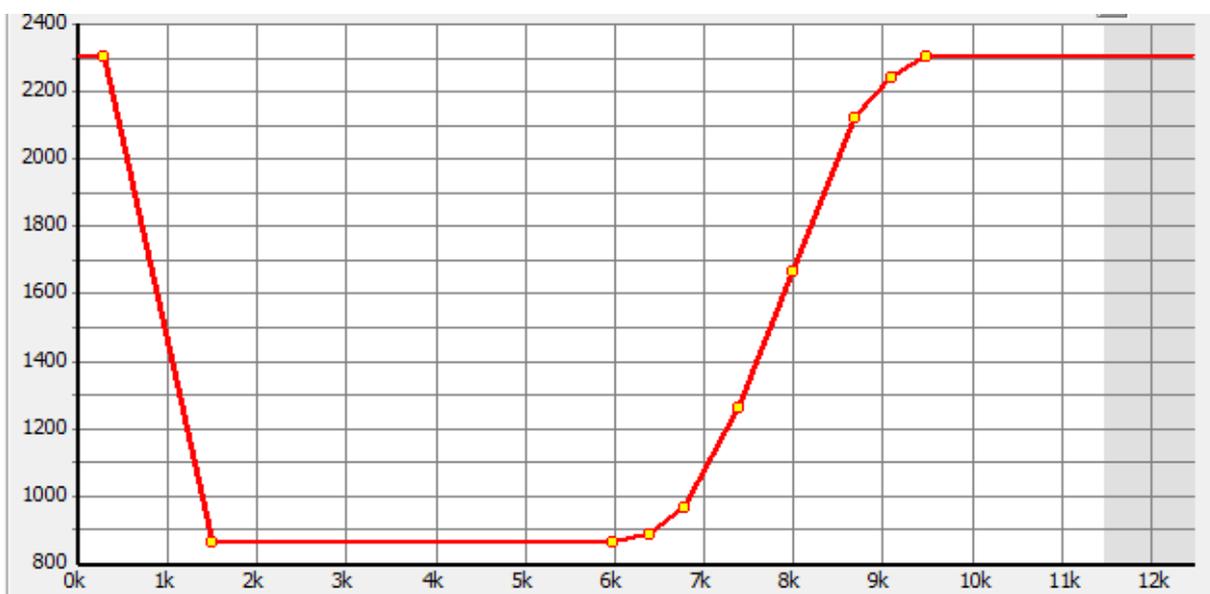


Bild 29 : PV-Kurve EFI RD m. Eigenbau-Auspuff

Die dritte Baustelle ist die Gemischbildung.

Der 1WW Auspuff benötigt sowohl bei Teillast als auch oben raus ein ziemlich fettes Gemisch damit er vernünftig läuft bzw. hält.

Auspuffe mit größerem Endrohr können bei Vollast deutlich magerer bedüst werden und sind trotzdem von der Abgastemperatur gesund.

Bei dem Eigenbau waren es dann 2 Nummern kleiner an der Hauptdüse und eine Kerbe magerer bei der Nadel.