

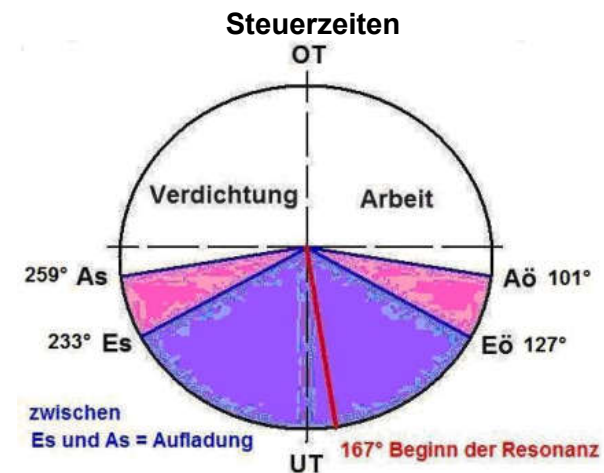
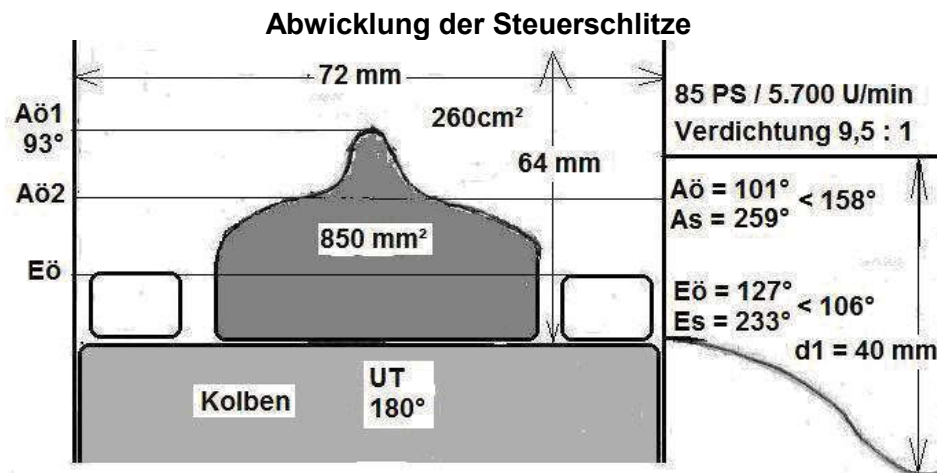
## Rund um den Zweitakter

1. **Allgemeines**
  2. **Zweitakter- Steuerung:** Ventile, Kolbenkante, Drehschieber, Membrane
  3. **Abgassysteme:** einfacher Schalldämpfer, Prallwandschalldämpfer, Resonanzschalldämpfer
  4. **Temperaturen messen: Warmfestigkeit, CHT, EGT- Messposition,** EGT – Anzeige ändert sich mit dem Abstand zur Kolbenkante
  5. **Gemischaufbereitung:** Einspritzung / Vergaser, Drosselklappenstellung / Leistung
  6. **Motor einstellen, Zündung, Vergaser:** Colortune- Testzündkerze, EGT Betriebsgrenzen festlegen
  7. **Luftkühlung:** Zwangsführung
  8. **Laufkultur:** Anlassprobleme, mehrere Resonanzwellen, typischer Zweitakterleerlauf
  9. **Praktischer Vergleich:** Mofaschalldämpfer und Resonanzschalldämpfer (Leistung / EGT / Lärm)
  10. **Schäden:** die eigentlich nicht passieren dürfen
  11. **Schwingungen:** 2 Blatt Propeller 180° 3 Zylinder Motor 120° Systeme können sich aufschaukeln
1. **Allgemeines:** Vor 55 Jahren habe ich als Lehrling am damals größten Zweitakt- Schiffsdiesel mitarbeiten dürfen. Ein MAN Lizenzbau 10 Zylinder a` 3.000 PS. Danach habe ich als Ing.- Assistent und Schiffingenieur einige 8 Zylinder MAN – Zweitakt diesel, 10.000 PS bei 120 U/min gefahren, auch **Doppelwirkende** waren dabei. Schweröl- Direkteinspritzung, Spülluftpumpe, Turbolader, Abgaskessel und Wellengenerator, Be= 145 g/PSH Gesamtwirkungsgrad >50%, da können moderne PKW – Diesel nicht mithalten. Fairerweise darf man aber langsam laufende Direkteinspritzer nicht mit schnell laufenden Saugrohreinspritzern vergleichen.
- Langsam laufende Doppelwirkende Zweitakt- Schiffs- Diesel** sind ihren einfach wirkenden Viertakt- Brüdern in allen Bereichen haushoch überlegen. Allerdings ist der **Wartungsaufwand höher** und die **Standzeiten** wegen der höheren thermischen Belastung **geringer**. Bei kleinen Mittelschnellläufern (500 – 1.000 U/min) wendet sich das Blatt, zu Gunsten des Viertakters.
- Flugzeuge mit Zweitaktmotor** haben einen schlechten Wiederverkaufswert und dem Zweitakter haftet zu Unrecht an, **ein Spritfresser zu sein**. **Flugmotoren** werden überwiegend in einem schmalen Drehzahlband betrieben, da lässt sich beim Zweitakter mit einem **Resonanzschalldämpfer** der Brennstoffverbrauch sehr gut optimieren und muss den Vergleich mit einem Viertakter nicht scheuen. **Für UL und Kleinflugzeuge** werden schnell laufende Motorrad- und Industrie- Zweitakter verwendet, meistens mit Untersetzungsgetriebe.
- Zweitakter mit Membranvergasen oder Saugrohreinspritzung können lagenunabhängig eingebaut werden und sind voll kunstflugtauglich.**
- : **Viertakter** einfachster Bauart haben mindestens **10** bewegliche Teile pro Zylinder: *Kurbelwelle, Pleuel, Kolben, Nockenwelle, 2 Stößel, 2 Kipphebel, und 2 Ventile.* - Ein moderner Viertakter kostet je nach Ausführung etwa **100 –150 € pro PS**,
- : **Zweitakter** haben pro Zylinder nur **drei** bewegliche Teile: *Kurbelwelle, Pleuel und Kolben.* Durch die geringere Anzahl der beweglichen Teile ist ein vergleichbarer Zweitakter leichter und billiger. - Ein moderner Zweitakter kostet je nach Ausstattung etwa **50 –75 € pro PS**.
- : **Der Zweitakter** benötigt für **einen Arbeitsgang eine Umdrehung** und der Viertakter **zwei Umdrehungen**. Wegen der geringeren Aufladung (etwa 50-60% des Zylindervolumens) bei gleichem Hubraum und Drehzahl hat der Zweitakter weniger Zylinderleistung als der Viertakter. Der Zweitakter kann den Vorteil, **ein Arbeitsgang/ Umdrehung wegen des geringeren Füllvolumens (0,6 gegenüber 1,0) leider nicht nutzen.**
2. **Zweitakter Steuerung:** Es gibt sowohl langsam laufende Zweitakt - Großdiesel mit Ventilsteuerung als auch **nur** mit Schlitzsteuerung.
- : **Burmester & Wain- Schiffsdiesel :** haben ein Auslassventil, der Einlass ist Kolbenkanten kombiniert mit Drehschieber gesteuert.
- MAN- Schiffsdiesel:** der Auslass ist Kolbenkantengesteuert, der Einlass ist Kolbenkanten kombiniert mit Drehschieber gesteuert.
- : **Bei schnell laufenden kleinen Zweitakt- Benzinmotoren** wird der Auslass Kolbenkantengesteuert. Der Einlass wird sowohl Kolbenkanten als auch Kolbenkanten, kombiniert mit Drehschieber- bzw. Membrane gesteuert.
- Drehschieber und Membrane verbessern die Vorverdichtung im Kurbelraum und verhindern ein rückströmen in den Vergaser.**

3. **Abgassystem:** Beim **Viertakter** hat das Verbrennungsgas nach öffnen des Auslassventils seine Arbeit getan und kann gehen. Das Abgassystem sorgt für eine schnelle Entsorgung und Schalldämpfung. **Beim Zweitakter** ist das Abgassystem aber auch ein Teil der Motorsteuerung. Die Motorenhersteller haben auf der Einlassseite viel getan, die Auslassseite leider vernachlässigt.

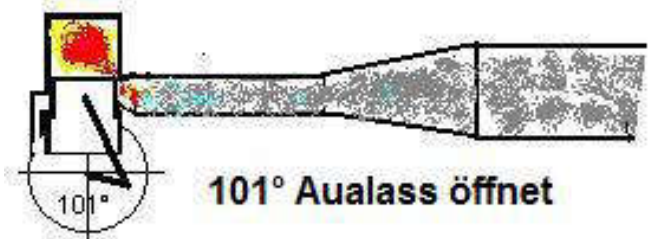


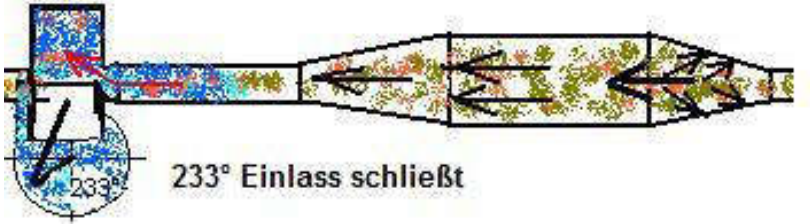
### 3.1 An der Baulänge kann man erkennen um welche Art Abgassystem es sich handelt:

- **Einfacher Mofa- Schalldämpfer:** kurze Baulänge, sehr gute Lärmdämpfung, wenig Leistungsausbeute, hoher Brennstoffverbrauch.
- **Der Prallwand- Resonanzschalldämpfer** ermöglicht eine **Aufladung** bei **Auslegungsdrehzahl**, typisch **steiler Drehmomentverlauf**.
- **Der Gegenkonus- Resonanzschalldämpfer** ermöglicht eine Aufladung in einem **Drehzahlband** von 300– 500 U/min, **flacherer Drehmomentverlauf**. Ein Nachschalldämpfer kann sehr gut in einem Resonanzschalldämpfer integriert werden, das spart Baulänge.
- Die **Resonanzzeit TR** ist die Zeit vom öffnen der Auslass Schlitze bis zum schließen.
- Die **Resonanzlänge** ist der halbe Weg den die Abgaswelle, vom **öffnen** der **Auslassschlitze** zur Prallwand und in Gegenrichtung bis zum schließen der **Einlassschlitze** zurücklegt. Sie ist abhängig von der **Motordrehzahl**, **Abgastemperatur** und **Gasgeschwindigkeit**. Schallgeschwindigkeit bei RT = 333 m/s, **Bei 600°C ist VAbgasSchall = 585 m/s**, am Ende des Gegenkonus ist TAbgas etwa 300°C **VAbgasSchall = 502 m/s**. Die erforderliche Resonanzlänge sinkt mit steigender Drehzahl, ebenso bei einer niedrigeren Gastemperatur.  
**Beispiel** für einen F30 bei 5.400 U/min: **RL= 1.263 mm** wenn am Anfang **EGT= 648°C** und am Ende **T gas = 265°C**, **Tm = 457 °C**  
 ist **EGT 100 °C niedriger** **RL= 1.204 mm**  
 für Leerlauf 1.500 U/min **RL= 4.300 mm**



### 3.2 Was passiert im Motor und im Auspuff, Beschreibung der Steuerzeiten für den F30

- Zündung 16° vor OT**
- OT** - auf der **Kolbenoberseite** sind alle Schlitze geschlossen, auf der **Kolbenunterseite** ist der Überströmkanal voll geöffnet, der Kurbelraum ist maximal mit Gemisch gefüllt.  
**Ohne Drehschieber bzw. Membrane** strömt beim Abwärtsgang bis 70° wieder Gemisch in Ansaugkanal zurück
- 70° Kolbenhemd** schließt den Überströmkanal, **Verdichtung im Kurbelraum** beginnt.

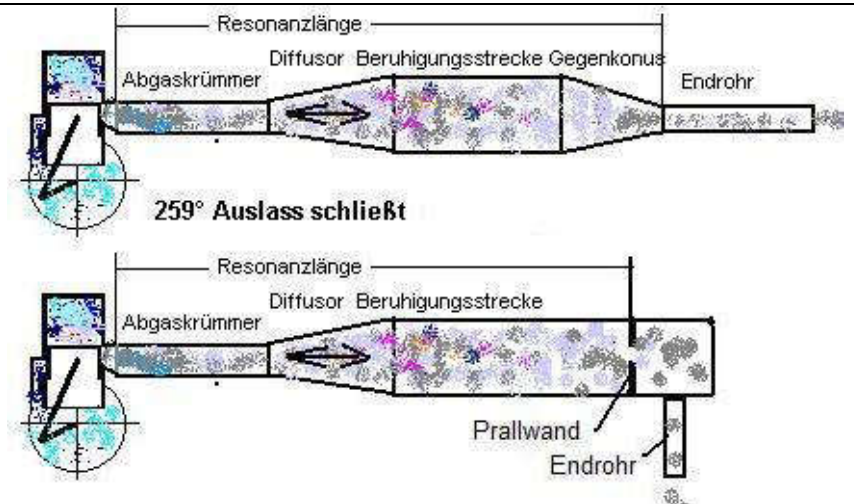
<p>d) <b>101° Auslass öffnet</b>, der Kolben gibt den Auslassschlitz frei. Verbrennungsgas strömt, (wenn <math>\lambda &lt; 1</math>) als Flamme in den Abgaskrümmern. (<math>\lambda = 1</math> vollkommene Verbrennung, keine Flamme)  Das Verbrennungsgas hat nun 180° Winkelgrade Zeit, das Abgassystem zu verlassen, dann kommt schon das Abgas des nächsten Zylinders</p> <p>Mittlere Geschwindigkeit der Abgasmoleküle = 227m/s  Mittlere Abgas- Schallgeschwindigkeit = 544 m/s</p>	 <p>101° Auslass öffnet</p>
<p>e) <b>127° Einlass öffnet</b>, der Kolben gibt die Einlass/ Überströmschlitze frei. Das Frischgas unterhalb des Kolbens, im Kurbelraum steht unter Überdruck, strömt in den Zylinder und wird von der Abgassäule mitgerissen und strömt auch in den Abgaskrümmern.  Im Diffuser entspannt sich das Abgas: Volumen Abgas nimmt zu, T Abgas sinkt, die Geschwindigkeit der Gasmoleküle nimmt ab, im Krümmer wird eine Unterdruckwelle ausgelöst.</p>	 <p>127° Einlass öffnet</p>
<p>f) <b>167°</b> Im Zylindrischen Teil beruhigt sich der Gasstrom. Im Gegenkonus wird das entspannte Gas wieder verdichtet, vor dem Endrohr baut sich ein Stau auf, eine Resonanzwelle setzt ein und löst einen Rückstoß aus.</p> <p>g) <b>180° UT</b> der Rückstoß wirkt wie ein Güterzug der auf einen Prellbock fährt, die letzten Wagen (Frischgas im Abgaskrümmern) rollen wieder zurück. Frischgas das in den Abgaskrümmern mitgerissen wurde, wird wieder in den Zylinder zurückbefördert, wenn kein Drehschieber bzw. Rückschlagmembrane vorhanden sind, zurück in den Kurbelraum.</p>	 <p>167° Beginn der Resonanz  180° Unterer Totpunkt</p>
<p>h) <b>233°</b> der Kolben hat die Einlassschlitze geschlossen, Beginn der <b>Aufladung</b> durch die Resonanzwelle (Turboladeeffekt).  Die Aufladung durch den Resonanzschalldämpfer ist nicht nur Energie-Rückgewinnung, sie macht auch einen Teil der geringeren Zylinderfüllung (50 – 60%) wieder wett. Nach Umrüstung auf einen Resonanzschalldämpfer erhöht sich die Vollastdrehzahl um bis zu 10%</p>	 <p>233° Einlass schließt</p>



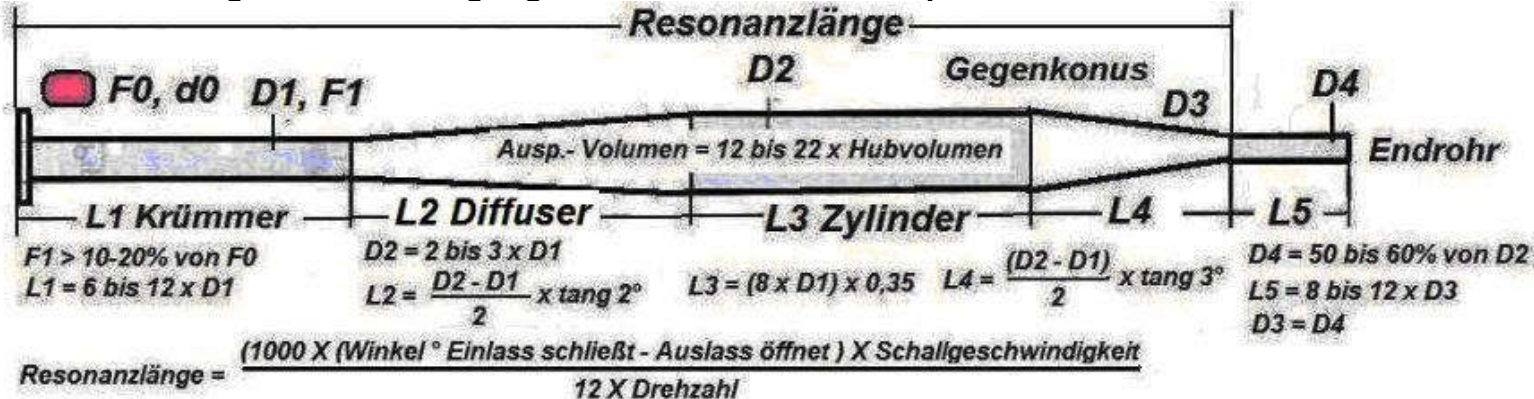
i) **259°** Auslass schließt, die Aufladung ist beendet, Verdichtung beginnt

j) **290°** Alle Schlitze Oberseite und Unterseite sind geschlossen, der Kolben geht nach oben.  
**Verdichtung** auf der Kolbenoberseite.

Das Kolbenhemd ( Kolbenunterseite ) gibt den Überströmkanal frei, Gemisch wird vom Vergaser in den Kurbelraum gesaugt.



### 3.3 Regeln und Zusammenhänge für die Auslegung von Resonanzschalldämpfern



**Krümmer:**

*kurzer Krümmer = spitzer Drehmomentverlauf  
 langer Krümmer = flacher Drehmomentverlauf*

**Diffuser:**

*der Diffuser (Konus) erzeugt eine Unterdruckwelle und unterstützt so den Ladungswechsel*

**Zylinder:**

*ist der zylindrische Teil L3 zu kurz, - heben sich Unterdruckwelle und Überdruckwelle gegenseitig auf*

**Gegenkonus:**

*am Ende des Gegenkonus (letztes ¼) wird eine Überdruckwelle ausgelöst, die eine Aufladung bewirkt*

**Resonanzlänge:**

*ist die Resonanzlänge zu kurz, - findet keine bzw. nur eine geringe Aufladung statt*

*ist die Resonanzlänge zu lang, - bleibt Frischgas im Abgaskrümmer*

**Endrohr:**

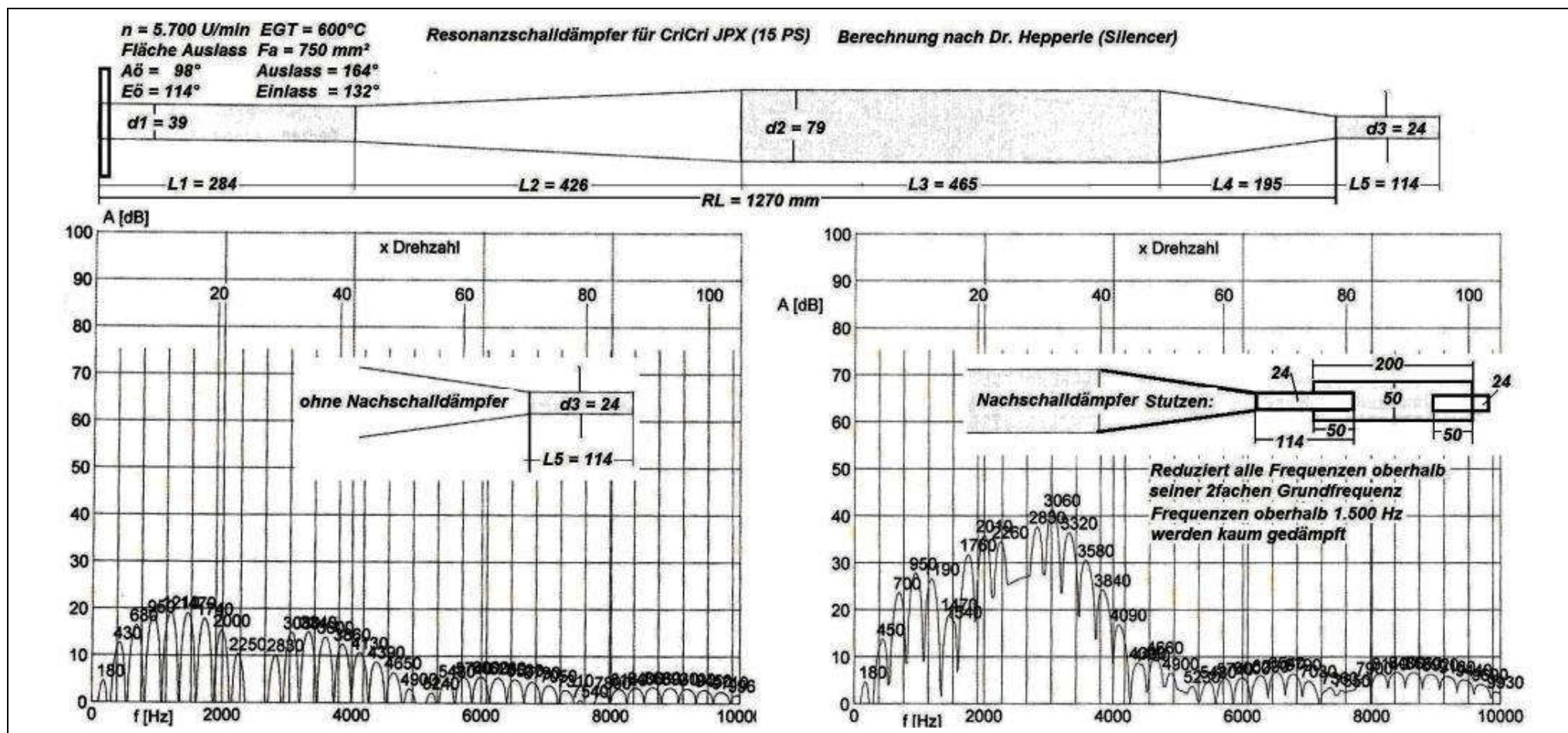
*ist der Querschnitt zu groß, - baut sich kein Gegendruck auf und löst keine Rückströmung aus*

*ist der Querschnitt zu klein, - kann ein gefährlicher Wärmestau entstehen*

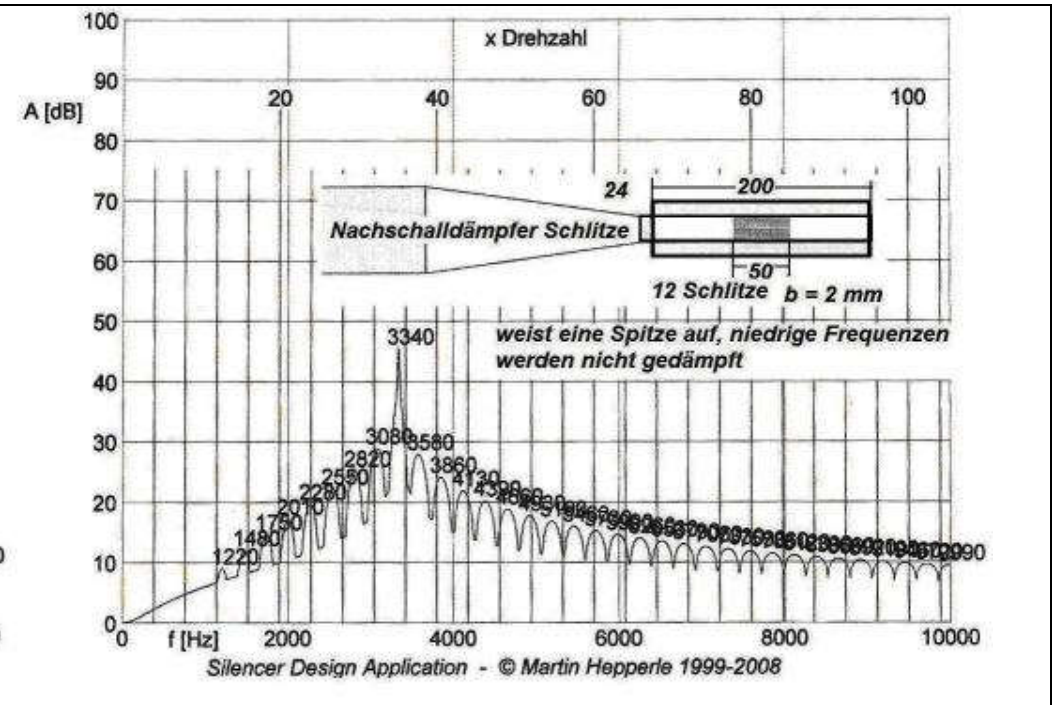
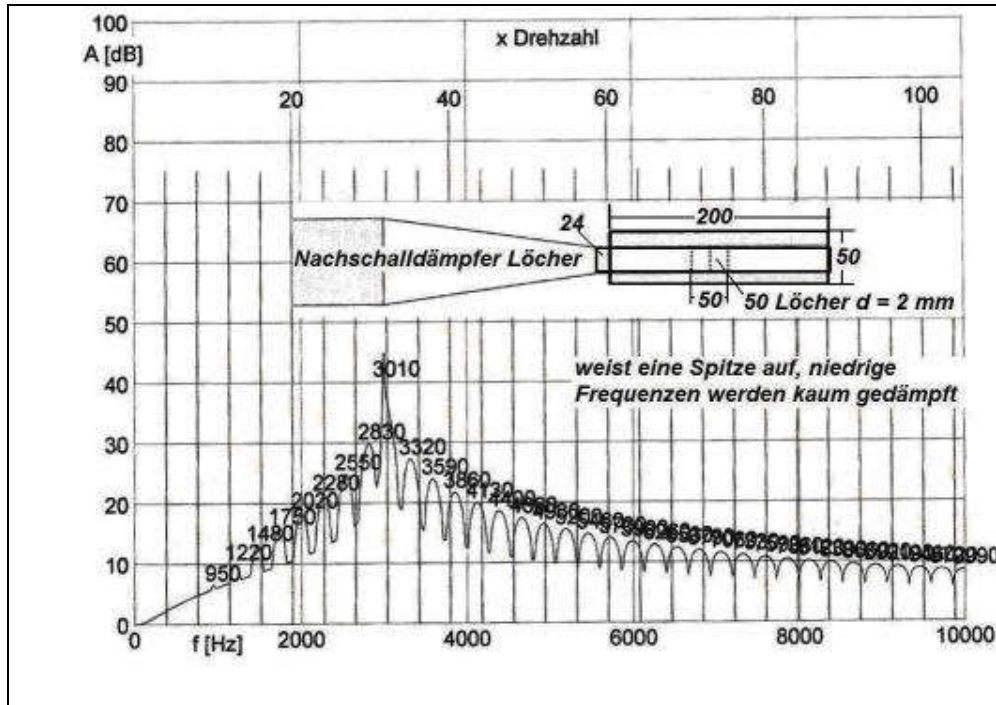
**3.4 Berechnungsprogramme** kann man aus dem Internet kostenlos herunterladen. Dr. Hepperle hat zwei sehr gute Berechnungsprogramme für Modell-Zweitakt- Motore geschrieben, die auch für größere Zweitakter geeignet sind, - **JavaPipe** und **SilencerApp** Entwurf von Schalldämpfern. Der **2T ExhaustCalculator 2.0b** ist für Renn- Motorräder geschrieben, doch leider wird die Abgastemperatur nicht berücksichtigt. Ich habe ein Berechnungsprogramm geschrieben, dass auch die Abgastemperatur am Ende des Gegenkonus berücksichtigt. Im Abschluss einer Berechnung muss jeder Reso- Schalldämpfer durch praktischen Versuch geprüft und ggf. nachgebessert werden.

### 3.5 Berechnung eines Resonanzschalldämpfers mit Nachschalldämpfer für eine CriCri mit JPX (15PS) nach Dr. Hepperle

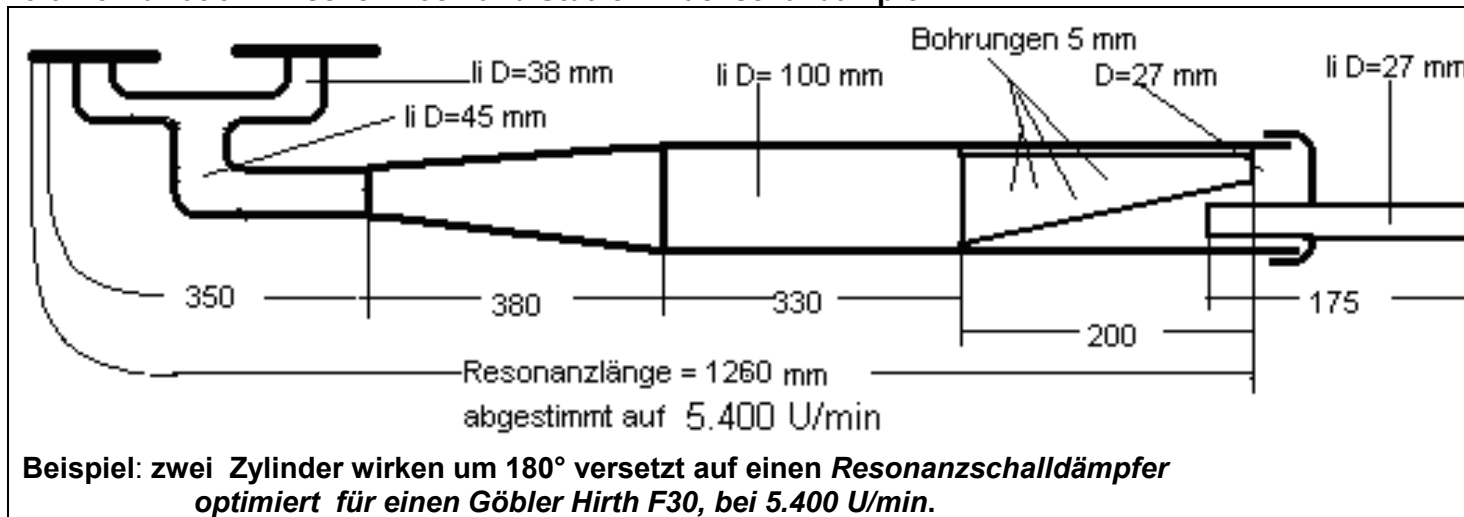
Der JPX dreht mit einem 30" x 24" Propeller bei Vollgas am Boden = 5.300 U/min, in der Luft Vollgas horizontal = 6.000 U/min, Geschwindigkeit: ~ 200 km/h bei 6.000 U/min, ~ 185 km/h bei 5.500 U/min, ~ 150 km/h bei 5.000 RPM







### 3.6 Kombination zwischen Loch und Stutzen- Nachschalldämpfer

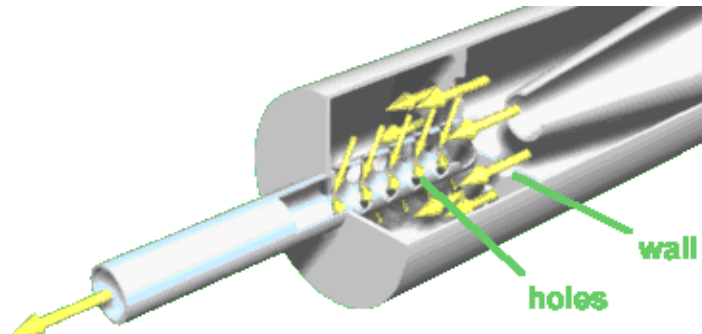
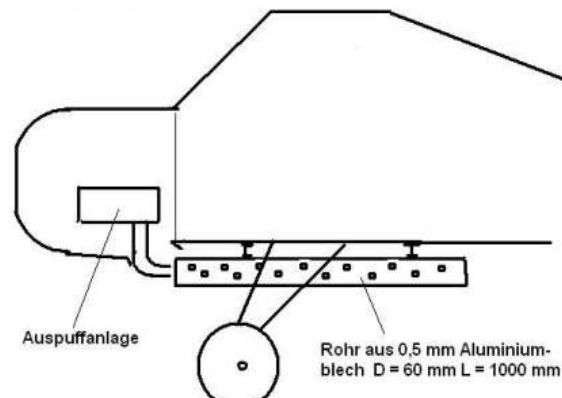


Integrierter Nachschalldämpfer

Die Resonanz wird am Ende des Gegenkonus (Prallwand) ausgelöst, - \*sie verschiebt sich bei  $n > \text{Auslegungsdrehzahl auf } \frac{3}{4} \text{ Gegenkonus}$ .

**Oberhalb** der Auslegungsdrehzahl ist die Resonanzlänge **zu lang**: Frischgas bleibt im Abgas Krümmer - geringere Aufladung das Drehmoment knickt ein

**Unterhalb** der Auslegungsdrehzahl ist die Resonanzlänge **zu kurz**: Wenn die Resonanzwelle zurück ist, ist der Überströmkanal noch nicht geschlossen, Frischgas strömt aus dem Abgaskrümmer zurück in den Kurbelraum, - geringere Aufladung, das Drehmoment knickt ein

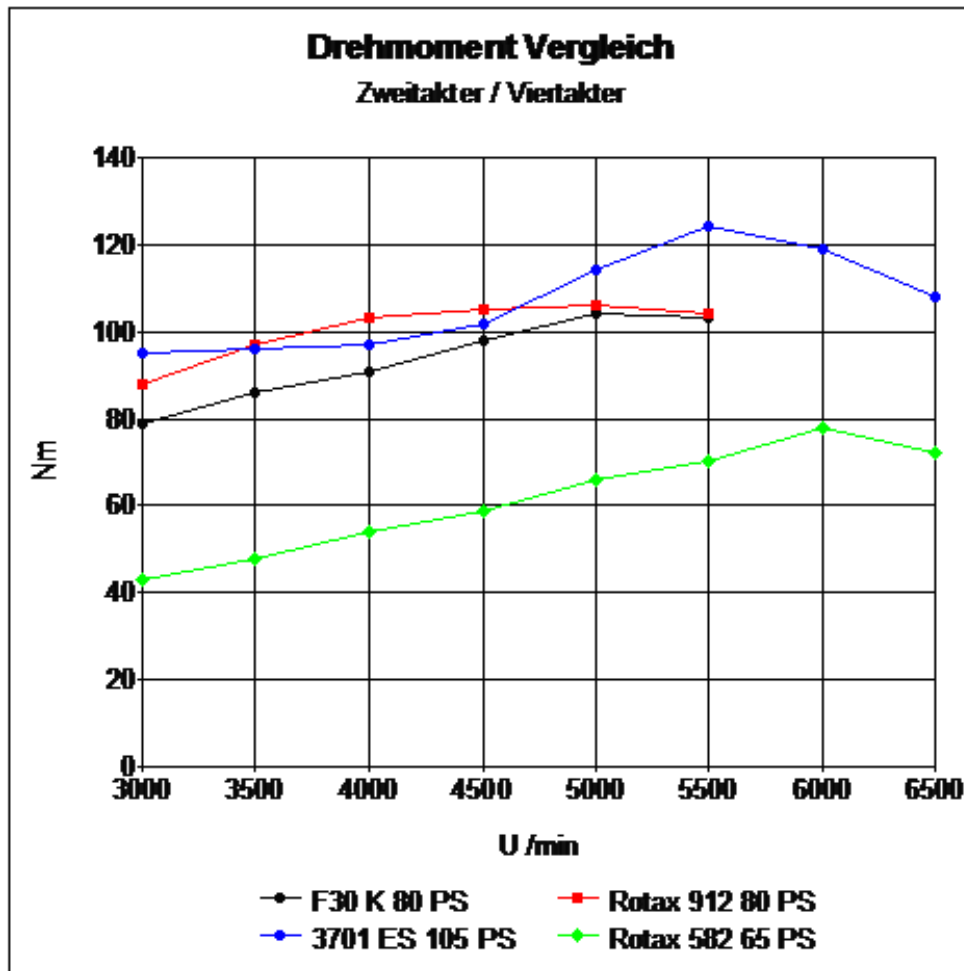
<p><b>Empfehlung für integrierten Loch-Nachschalldämpfer</b></p> 		<p>Links: Ein Simpler Nachschalldämpfer eingebaut in eine Kitfox / Rotax 582.</p> <p>Ein Rohr D=60mm, aus S=0,5mm Aluminiumblech wird einfach über den d=30mm Auspuffkrümmer geschoben.</p> <p>Lärminderung etwa 4 dBA. Der Rohr-Nachschalldämpfer ist wirksam, einfach, billig und ungefährlich.</p>
--	--	---

### 3.7 Temperaturen aus der Praxis, Abgas- Schallgeschwindigkeit ist gerechnet Kolbenposition gerechnet wenn Resonanzwelle zurück ist

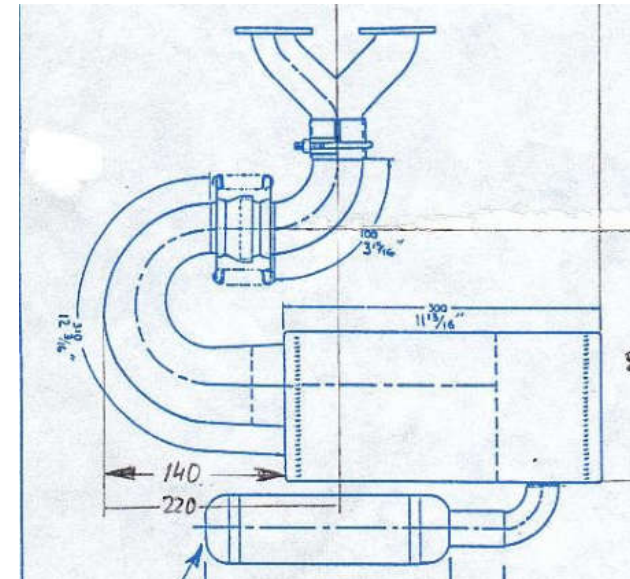
Drehzahl	EGT	T Abgas Ende	T Mittel	Abgasschall-Geschwindigkeit	Kolben-Pos.	<i>E schließt =233°</i>	<i>A schließt = 259°</i>
5700 U/min	565 °C	250 °C	408 °C	561 m/s	*255 °	geringere Aufladung	(RL= 1.146 mm)
5400 U/min	648 °C	265 °C	457 °C	589 m/s	*240 °	gute Aufladung	(RL= 1.263 mm)
5200 U/min	676 °C	270 °C	473 °C	598 m/s	233 °	optimale Aufladung	(RL= 1.332 mm)
5000 U/min	671 °C	270 °C	471 °C	596 m/s	228 °	gute Aufladung	(RL= 1.382 mm)
4800 U/min	665 °C	265 °C	465 °C	593 m/s	224 °	weniger Aufladung Frischgas > Kurbelraum	
4500 U/min	660 °C	260 °C	460 °C	591 m/s	217 °	weniger Aufladung Frischgas > Kurbelraum	
4300 U/min	654 °C	255 °C	455 °C	588 m/s	212 °	weniger Aufladung Frischgas > Kurbelraum	
4100 U/min	632 °C	250 °C	441 °C	580 m/s	208 °	(2) Resonanzwelle	
3900 U/min	621 °C	240 °C	431 °C	574 m/s	204 °	307°	richtet nichts aus
3600 U/min	593 °C	220 °C	407 °C	561 m/s	198 °	295° (3)	richtet nichts aus
1500 U/min	454 °C	180 °C	317 °C	511 m/s	146 °	191° 236° (4) (5)	Leerlauf Motor warm
800 U/min	415 °C	50 °C	233 °C	463 m/s	127 °	153° 179° 205° 231°	Anlassen Motor kalt

\* Kolben Position gerechnet, oberhalb der Auslegungsdrehzahl verschiebt sich der Ort der Resonanzauslösung weiter nach vorne, somit verringert sich auch die rechnerische Resonanzlänge. Man kann sagen der für 5.400 U/min berechnete Gegenkonus-Resonanzschalldämpfer ist von 5.000 bis 5.700 U/min ideal ausgelegt.

**3.8 Das Drehmoment** eines Viertakters verläuft relativ flach (Rotax 912 rot). Das Drehmoment eines Zweitakters steigt mit zunehmender Drehzahl (F30 schwarz + Rotax 582 grün) und fällt ab wenn die Auslegungsdrehzahl überschritten wird. Mit einem Resonanzschalldämpfer kann das Drehmoment etwas unterhalb und oberhalb der Auslegungsdrehzahl angehoben werden, es verläuft dann ähnlich flach wie bei einem Viertakter.



**Prallwand Schalldämpfer  
Mit Nachschalldämpfer**



**Drehmoment = Hebelarm x Kraft**  
**M = Kurbelradius x Kolbendruck**

$$N = \frac{A}{t} = M * \omega = \frac{M * \pi * n}{30 * 1000} \quad (\text{kw})$$

$$M = \frac{30 * 1000 * N}{\pi * n} \quad (\text{Nm})$$

#### 4. Temperaturen messen

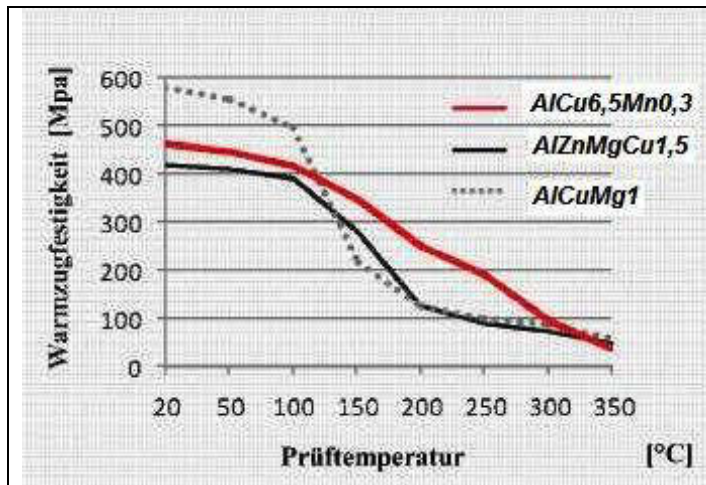
a) **Die Zylinderkopftemperatur (CHT)** wird zwischen Zündkerze und Zylinderkopf gemessen und gibt Information über die mechanisch/Thermische Belastung. Anhand der CHT und Kenntnis der Warmfestigkeitskennwerte kann man prüfen, wie hoch die Festigkeitsreserven von Zylinder und Kolben schon ausgenutzt sind.



b) Die angezeigte Abgastemperatur (EGT) lässt nur indirekte Schlüsse auf die thermische Belastung des Motors zu, je höher die EGT, umso höher ist auch die thermische Belastung. Um aus der **EGT** vernünftige Schlüsse ziehen zu können, muss die ideale Position für den Thermofühler gefunden werden, besonders beim Zweitakter. Beim Zweitakter ist im Regelfall  $\lambda < 1$  und ein Teil der Abgassäule strömt als Flamme in den Krümmer. Dann ist die Abgastemperatur eine Mischung aus Verbrennungsflamme Abgas- und Frischgastemperatur. Beim Spülvorgang pulsiert im vorderen Teil des Abgaskrümmers die Frischgassäule mehrfach, das verfälscht die Messung. Ist der Thermofühler zu dicht hinter dem Abgasflansch positioniert, wird er einmal von der Flamme  $> 1.400^{\circ}\text{C}$  ( $2.462^{\circ}\text{F}$ ) und dann mehrfach im Wechsel zwischen mit ca.  $+50^{\circ}\text{C}$  (Frischgas) und  $650^{\circ}\text{C}$  (Abgas) beaufschlagt, - bei 6.000 U/min = 100mal / Sekunde.  
Bei  $\lambda > 1$  (vollkommene Verbrennung) gibt es keine Verbrennungsflamme (Nachverbrennung) mehr.

#### 4.1 Thermisch / mechanische Belastbarkeit

**Aluminium** hat ein um 2/3 geringeres Gewicht als Stahl und gute Eigenschaften (Kerbschlagzähigkeit) bei tiefen Temperaturen. Die Bruchdehnung liegt bei etwa 50% der von Stahl, die Bruchfestigkeit hört dort auf wo Stahl anfängt. Durch spezielle Legierungszusätze und Kaltverfestigung kann auf Kosten der Bruchdehnung die Zugfestigkeit kräftig angehoben werden (einfacher Baustahl). Leider sind beim Motor gute Kälteigenschaften nicht gefragt, sondern Wärmeigenschaften. Bei höheren Temperaturen stößt Aluminium als Motoren-Werkstoff an seine Grenzen.



(links): Bei  $300^{\circ}\text{C}$  ist die Bruchfestigkeit gegenüber Raumtemperatur um etwa 20% auf nur noch etwa 100 Mpa abgefallen.

	Zylinderkopfliegierung AlCu5NiSbZr	AlCuMg1	Stahl warmfest 16Mo3
Schmelztemperatur	660 °C	660 °C	1.530°C
Dichte	2,7 kg/ dm <sup>3</sup>	2,7 kg/ dm <sup>3</sup>	7,86 kg/dm <sup>3</sup>
Rp 0,2 20°C	144 N/mm <sup>2</sup>	250 N/mm <sup>2</sup>	270 N/mm <sup>2</sup>
Rm 20°	280 N/mm <sup>2</sup>	350- 390 N/mm <sup>2</sup>	450 - 600 N/mm <sup>2</sup>
A5	10 %	12 %	22 %
Rp 0,2 250°C	136 N/mm <sup>2</sup>	100 N/mm <sup>2</sup>	213 N/mm <sup>2</sup>
Rp 0,2 500°C	---	---	141 N/mm <sup>2</sup>

Einige kalt verfestigte Aluminiumlegierungen können bei RT die halbe Bruchdehnung und die Bruchfestigkeit von mittelfesten warmfesten Stahlqualitäten erreichen.

Bei Wandtemperaturen von  $650^{\circ}\text{C}$  hat Aluminium fast die Schmelztemperatur erreicht. Zum Glück wird nicht so heiß gegessen wie gekocht wird, wenn die Kühlung (Kühlmedium und Frischgas und Öl) funktionieren, werden Kolben und Zylinder bei EGT  $650^{\circ}\text{C}$  auf vielleicht  $220^{\circ}\text{C}$  aufgeheizt. Wenn aber bei unzureichender Kühlung Zylinder und Kolben  $300^{\circ}\text{C}$  überschreiten, ist die Festigkeit von Aluminiumteilen (Kolben, Zylinderkopf, Laufbuchse) ausgeschöpft. Bei  $300^{\circ}\text{C}$  stößt auch die Schmierfähigkeit des Öles an seine Grenzen, - Zugbelastete Teile werden zuerst versagen, druckbelastete Teile werden ein wenig länger standhalten, **das gilt auch für Auspuffteile aus Aluminium.**

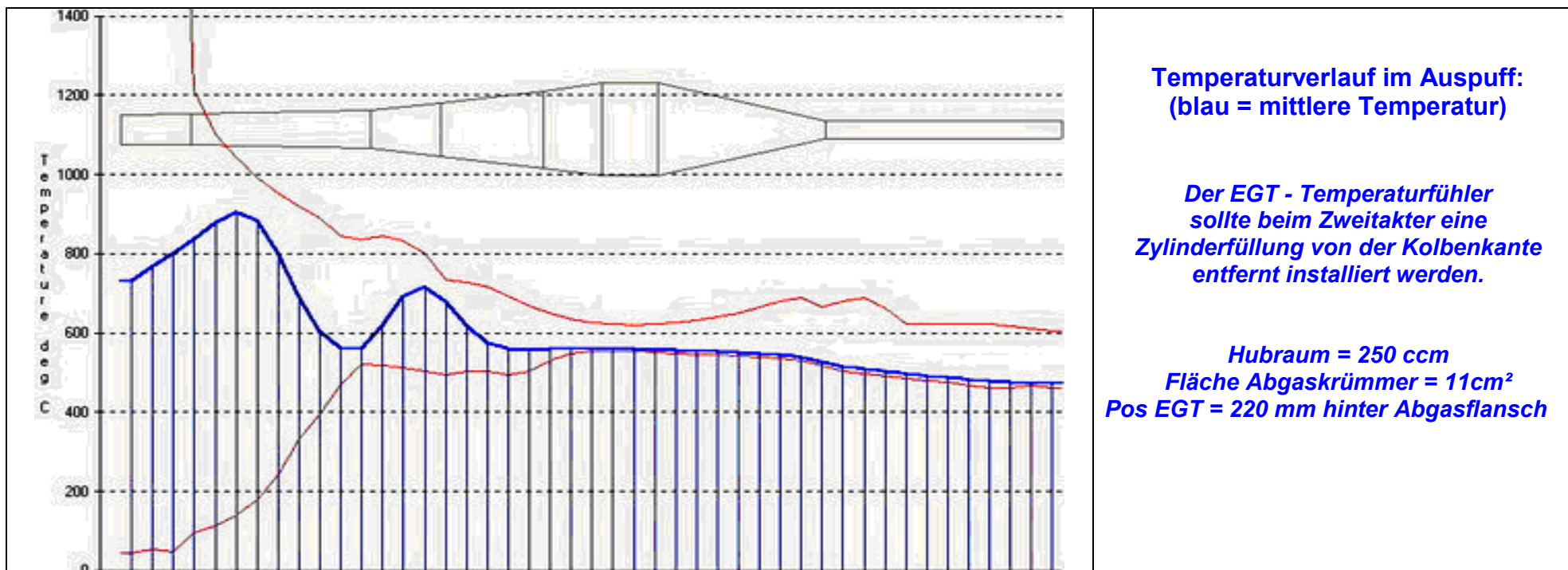
Nur ein kleines Stück des Abgaskrümmers wird von innen wechselweise mit Gemisch gekühlt, die übrigen Auspuffteile können schon auf  $>500^{\circ}\text{C}$  aufgeheizt werden, auch wenn sie über die ganze Länge im Luftstrom liegen und von außen gekühlt werden.

Der erste Teil der Abgasanlage, Krümmer und Diffuser sollten deswegen aus Edelstahl gefertigt sein. Zylinder, Gegenkonus und Endrohr könnten aus warmfestem Aluminium gefertigt werden. Auspuff- Innenteile sollten **auf keinen Fall** aus Aluminium gefertigt werden, denn die Rohrwandtemperatur kann **> 300°C** betragen (siehe Seite 20, Nachschalldämpfer kollabiert)

Abgastemperatur	Rotax 582	Hirth F30	Rotax 912	Schmierung: Zwischen 2 Arbeitsgängen werden beim Zweitakter Kolben und Laufbuchse nur 1 x geschmiert, der Viertakter wird 2 x geschmiert. Wegen der doppelten Kühlzeit und Schmierung ist beim Viertakter bei gleichem Werkstoff auch eine <u>höhere</u> EGT möglich.
max. zul. EGT	650°C (1.200°F)	675°C (1.250°F)	800°C (1.472°F)	
Zeit von OT bis Ende Ladungswechsel : Zweitakter = 259° Viertakter = 540° Zeit für Kühlung für Kolben und Zylinder: Zweitakter = 132° Viertakter = 350°				

Wenn bei luftgekühlten Zweitaktern CHT  $\geq 25^{\circ}\text{C}$  und EGT  $\geq 50^{\circ}\text{F}$  bei benachbarten Zylindern auseinander liegt, sollten die betreffenden Messfühler einmal umgekabelt werden, um zu prüfen ob die Temperaturdifferenz real ist, oder ein Messfehler vorliegt.

#### 4.2 Temperaturverlauf im Resonanzschalldämpfer



#### 5. Gemischaufbereitung

- a) Die normale Saugrohrinspritzung dosiert in Abhängigkeit von Drehzahl, Motortemperatur und Luftdruck (Höhe) bedarfsgerecht die Brennstoffmenge, **Lambda + EGT werden nicht gemessen**. Bei luftgekühlten Aluminium Motoren kann es bei optimalem Gemisch (lean  $\lambda \Rightarrow 1$ ) Leistungen >60% zu unzulässig hohen Abgastemperaturen kommen, die Elektronik reicht dann vorsorglich an.

**Vorteil:** bei Teillast < 50% Brennstoffeinsparung, keine Vergaservereisung möglich, kunstflugtauglich.

**Nachteil:** es werden unabhängig von der Motorleistung immer 60l/h unter hohem Druck umgewälzt. Mit elektr. Brennstoffpumpe ist der el. Energiebedarf hoch. Die Vorteile der Saugrohreinspritzung werden beim Zweitakter nur zum Teil genutzt.

- b) Der 3 Stufen Membranvergaser Mikuni Super BN38 ist kunstflugtauglich, Teillast- und Hauptdüsen sind leicht austauschbar. Mit der zusätzlichen verstellbaren Teillast- und Hauptdüse lässt sich ein großes Drehzahlband sehr Energieeffektiv einstellen, - **EGT ist dann unbedingt zu kontrollieren.**



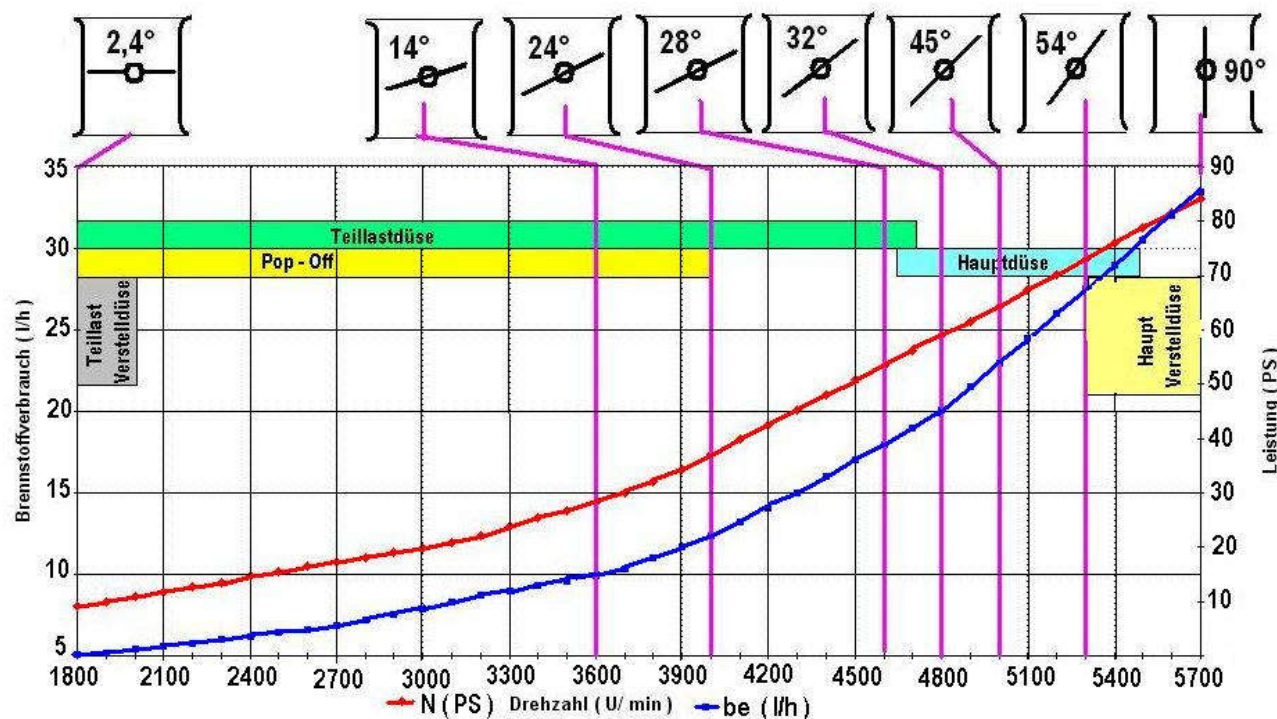
Im **Mikuni SuperBN38** wird das Gemisch in drei Stufen aufbereitet,

- die Niedrig
- Übergangs und
- Hochgeschwindigkeitsstufe.

Jeder Regelkreis reagiert auf eine Änderung der Drosselklappe. Die einzelnen Regelkreise überschneiden sich und arbeiten stufenweise, abhängig von der Drosselklappenstellung.

Der Grund: die Düsenwirkung ist nicht von der Motordrehzahl oder der Fluggeschwindigkeit abhängig, sondern davon wie weit die Drosselklappe geöffnet ist.

**Drosselklappenstellung in Abhängigkeit von der Drehzahl**



**Bei 60 % Leistung ist die Drosselklappe nur 1/3 geöffnet die Teillastdüse ( Leerlaufdüse ) ist noch aktiv.**

**Bei voll geöffneten Drosselklappe** ist das Gemisch gewollt reich, die **höchste Abgastemperatur** ist nicht bei Vollgas und voll geöffneten Drosselklappe zu erwarten sondern zwischen 60 – 90% Leistung, Drosselklappe = 28° (1/3) bis 60° (3/4).

#### c) **Verstellbare Regelkreise:**

- 1. Teillast- Verstelldüse:** zum einstellen eines weichen Leerlaufes und guten Übergangs.
- 2. Pop-Off Druck:** wirksam von Leerlauf bis 1/4 Drosselklappe in Verbindung mit der Leerlaufdüse.
- 3. Teillastdüse:** wirksam von Leerlauf bis 1/3 Drosselklappe .

Drehzahl U / min	Gaszug mm	Differenz mm %	Drosselklappe Grad	Schub Kp	N PS	Leistung %	Vergaser Regelkreis
0	58	0 0	< 1°	zu	0	0	1 + 2 + 3
1.800	57	1 3	2,4°	1/30	16	9	1 + 2 + 3
3.600	52	6 16	14°	< 1/8	61	28	2 + 3
4.000	48	10 26	24°	> 1/4	82	37	2 + 3



<b>4. Hauptdüse:</b> wirksam von 1/3 bis 3/4 Drosselklappe <b>5. Haupt- Verstelldüse:</b> wirksam von 3/4 bis voll geöffneten Drosselklappe	<b>4.600</b>	46	12	32	28°	< 1/3	118	53	60	<b>3 + 4</b>
	<b>4.800</b>	44	14	37	32°	< 3/8	130	59	70	<b>4</b>
	<b>5.000</b>	39	19	50	45°	1/2	142	64	75	<b>4</b>
	<b>5.300</b>	35	23	60	54°	< 3/4	162	73	87	<b>4 + 5</b>
	<b>5.500</b>	20	38	100	90°	offen	182	80	98	<b>5</b>

**Im Vollgas Steigflug 55 kt** steigt meine Kitfox 4 mit 1.100 ft/min, Drosselklappenstellung 90°,  $n = 5.400$  U/min, Brennstoffverbrauch = 33 l/h, CHT=220°C, EGT=1.150°F. Kurz vor Platzrundenhöhe drehe ich langsam Gas zurück: Drehzahl bleibt unverändert, der Brennstoffverbrauch sinkt, EGT steigt. Bei Drosselklappe < 60° bricht die Drehzahl ein, Brennstoffverbrauch = 27 l/h, Steigen = 1.100 ft/min, CHT 220°C, EGT=1.250°F.

**6. Motor einstellen:** beim Zweitakter müssen mit Ausnahme der (nicht vorhandenen) Ventile, die gleichen Einstellungen in nachfolgender Reihenfolge durchgeführt, bzw. regelmäßig überprüft werden, wie beim Viertakter.

**6.1 Zündzeitpunkt:** Kurzhubige Zweitakter reagieren stärker auf eine Veränderung des Zündzeitpunktes als langhubige Zweitakter.

: **verringern** (später) = Der kalte Motor springt gut, der warme schlechter an. Der Motor erreicht nicht die Höchstleistung, höherer Brennstoffverbrauch, CHT und EGT steigen.

: **erhöhen** (früher) = Der Motor springt schlechter an, Höchstleistung wird erreicht, nimmt aber wieder ab, Brennstoffverbrauch, CHT und EGT sinken, höhere mechanische Belastung durch **klopfen** bzw. **klingeln bei Vollgas**, das kann es zu **Schäden** führen.

a) Zuerst muss überprüft werden ob die mechanische Grundeinstellung, (Markierung am Motorgehäuse und am Polrad), noch mit den Vorgaben des Herstellers übereinstimmen.

b) **Einstellvorgabe für F30: 2.000 U/min = 16° vor OT.** Da man selten senkrecht zur Markierung mit der Stroboskoplampe blitzen bzw. schauen kann, liegt das tatsächliche Einstellergebnis vielleicht zwischen 15,5° und 16,5°.

c) Probeflug mit 75% Leistung, EGT + CHT notieren, wenn z.B. CHT=220°C, EGT=1.250°F dann Zündzeitpunkt etwa 0,5° früher einstellen.


d) Probeflug mit 75% Leistung: wenn CHT=205- 210°C und EGT=1.100-1.150°F und der Motor bei Vollgas nicht klopft bzw. klingelt und bei Kalt- und Warmstart gut anspringt, ist die **ideale Zündzeitpunkteinstellung** gefunden.

**6.2 Vergaser synchronisieren:** wenn der Motor mit 2 oder mehr Vergasern ausgerüstet ist. Das Synchro- Testgerät besteht aus 2 Manometern mit Dämpfung, die jeweils zwischen Vergaser und Ansaugstutzen angeschlossen werden, um den Ansaugdruck zu messen. Bei geschlossener Drosselklappe ist der Ansaug- **Unterdruck** am höchsten und sinkt mit öffnen der Drosselklappe.

**Durch Korrektur der Drosselklappenstellung wird der Ansaugdruck angeglichen.** *Gute Synchronisation = ruhiger Leerlauf bei niedrigerer Drehzahl, - bei Volllast liegen die EGT- Anzeigen der Vergasersysteme näher beieinander.*

**6.3 Gemisch mit Hilfe einer Colortune – Testzündkerze einstellen. ( Die Testzündkerze ist für einen Flug nicht geeignet )**

Die **Testzündkerze** hat einen Glasboden, durch den man die Verbrennungsflamme beobachten kann. Bevor die Testzündkerze hineingeschraubt wird, sollten die Vergaser synchronisiert und so eingestellt sein: dass der Motor gut anspringt, Gas annimmt und nicht qualmt.

	<p><b>Gelb = Gemisch fett, Blau = Ideal, Hellblau = zu mager</b></p> <p>a) erste Messung im erhöhten Leerlauf je Vergaser ggf. Korrektur der <b>Teillastdüse</b>.</p> <p>b) zweite Messung bei &gt;50% Leistung, ggf. Korrektur der <b>Teillastdüse</b> und <b>Hauptdüse</b>.</p> <p>c) Nach Ermittlung der Grundeinstellung sollte durch einen Probeflug überprüft werden, ob bei der gefundenen Düseneinstellung, die zulässigen Temperaturgrenzen des Motors nicht überschritten werden.</p>	<p><b>Die Colortune – Testzündkerze</b> kann man über eBay recht günstig zu kaufen.</p> <p>Es genügt pro Vergaser einen Zylinder zu prüfen.</p> <p><b>Flugzeug gut sichern und anbinden!</b></p>
--	---	--

**Die gefundene Gemisch - Grundeinstellung ist leider nicht für das ganze Jahr gültig.**

<p>Das angesaugte Luftvolumen ist immer gleich. Der Sauerstoffanteil der Luft ist im Sommer geringer als im Winter.</p>	<p><b>Sommerstellung</b> = Teillastdüse <math>\frac{3}{4}</math> offen Hauptdüse <math>\frac{3}{4}</math> offen <b>Winterstellung</b> = Teillastdüse <math>1\frac{3}{8}</math> offen Hauptdüse <math>1\frac{1}{4}</math> offen</p>
---	--

**Die zulässigen Temperaturgrenzen für EGT und CHT müssen beim Motorenhersteller erfragt, oder auf dem Prüfstand, bei Standläufen und Flugversuchen herausgefunden werden. (siehe Seite 14 „Bodenerprobung“)**

<p>Für meinen F30 habe ich folgende Temperatur - Grenzen festgelegt:</p> <p><b>Niemals CHT = 280°C und EGT &gt;1.250°F gleichzeitig</b></p>	<p>EGT von <b>1.150°F</b> (620°C) bis <b>1.250°F</b> (675°C) CHT im Reiseflug max. <b>220°C</b> <b>CHT Vollgas max. 280°C</b></p>
---	---

EGT > 1.250°F: trotz Brennstoffersparnis ist es besser zu Gunsten der Sicherheit Gemisch **anzureichern**.

EGT < 1.100°F: ist die pure Brennstoffverschwendung, - **es sollte** unbedingt **abgemagert** werden.

**Zwischen EGT < 1.100°F und 1.250°F im Reiseflug liegen etwa 2 – 3 Liter/h Brennstoffverbrauch**

**Will man Brennstoff sparend an der oberen EGT- Grenze fliegen, muss regelmäßig zum Sommer hin abgemagert und zum Winter hin wieder angereichert werden.**

- : Wenn sich beim **F30** im Reiseflug 60% Leistung (4.500 U/min), **CHT=200°C** und **EGT > 1.250°F <1.300°F** einstellen ist das unkritisch, Die Hauptdüse **sollte** aber nach der Landung angereichert werden.
- : Wenn sich im Bummelflug 45% (4.000 U/min) **CHT=190°C** und **EGT > 1.250°F <1.300°F einstellen**, ist das unkritisch, die Teillastdüse **sollte** aber nach der Landung angereichert werden.

<p>EGT für Rotax 503 und 582: zwischen 500 – 620°C <b>max. 650°C</b> (950 -1.150°F max. 1.200°F) EGT für Rotax 912 <b>max. 800°C</b> (1.472°F) CHT für Rotax 503: zwischen 180 – 220°C <b>max. 250°C</b>, Rotax 582: 110-130°C <b>max. 150°C</b></p>
--

## 7. Luftkühlung

Die Kühlluft strömt nicht freiwillig an die heißesten Stellen, egal ob man den Motor in den Luftstrom stellt, oder mit einer schönen Cowling umgibt. Luftleitbleche sind erforderlich, die Kühlluft muss an die heißen Stellen herangeführt und auch wieder abgeführt werden.

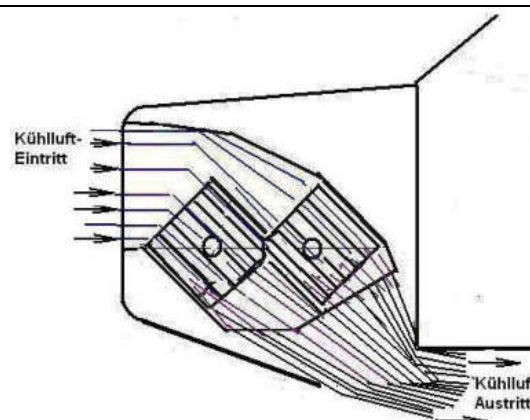
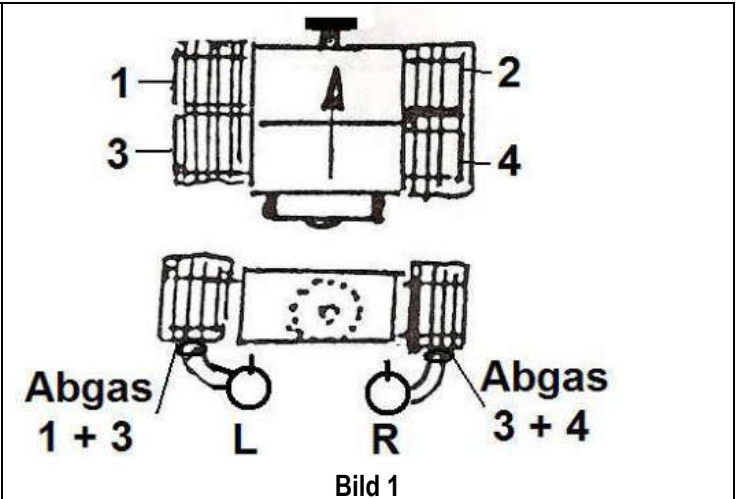
**Bei der Bodenerprobung** hatte ich Probleme die LBA- Forderung *6 x 1 Stunde Vollgas ohne Fremdkühlung* zu erfüllen.

Der Motorenhersteller hatte für EGT keine Vorgaben, Ratschlag: nur auf CHT < 280°C achten und EGT ignorieren.

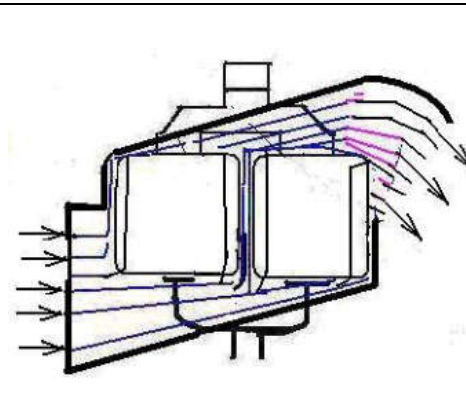
Nach 4 Minuten Vollgas CHT <=280°C, EGT links = 1.400°F, rechts = 1.350°F Kolbenfresser der beiden hinteren Kolben.

Nach der Motorreparatur habe ich die Laufbuchsen mit Thermoelementen bepflanzt. Laufbuchsentemperatur Vollgas: am Überströmkanal 130°C, am Abgasflansch = 240°C.

Nach Umbau der Kühlung wie Bilder 2 bis 5: Vollgas am Boden CHT 220 – 265°C, EGT 1.350 – 1.380° F, Laufbuchse am Abgasflansch (Bild 1) 129 – 160°C



2. Kühlung der Zylinderköpfe



3. Kühlung Laufbuchsen



4. Luftbedarf und Form der Cowling fast unvereinbar



5. Kühlwege Zylinderköpfe und Laufbuchsen getrennt

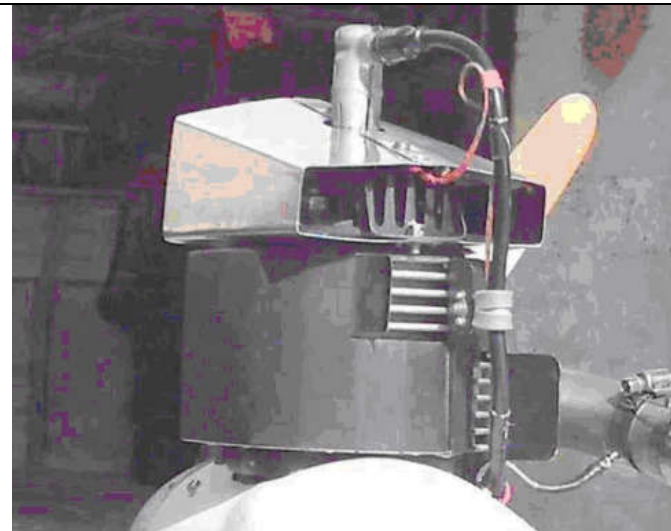




6. zwei Zylinder Reihenmotor  
Temperaturunterschied CHT 1 + 2 = 80°C



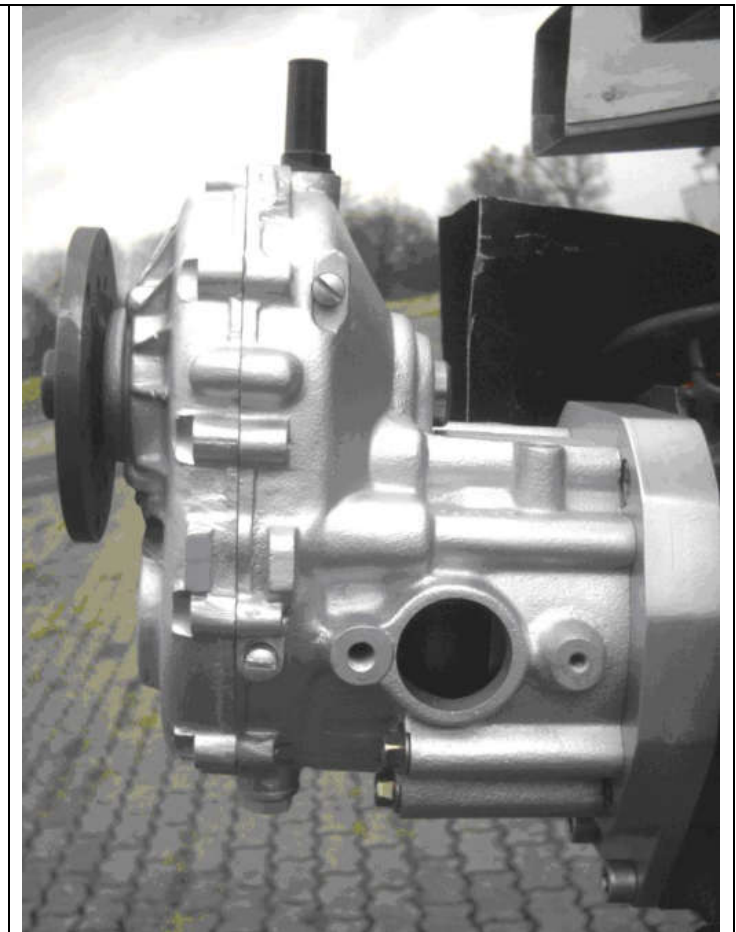
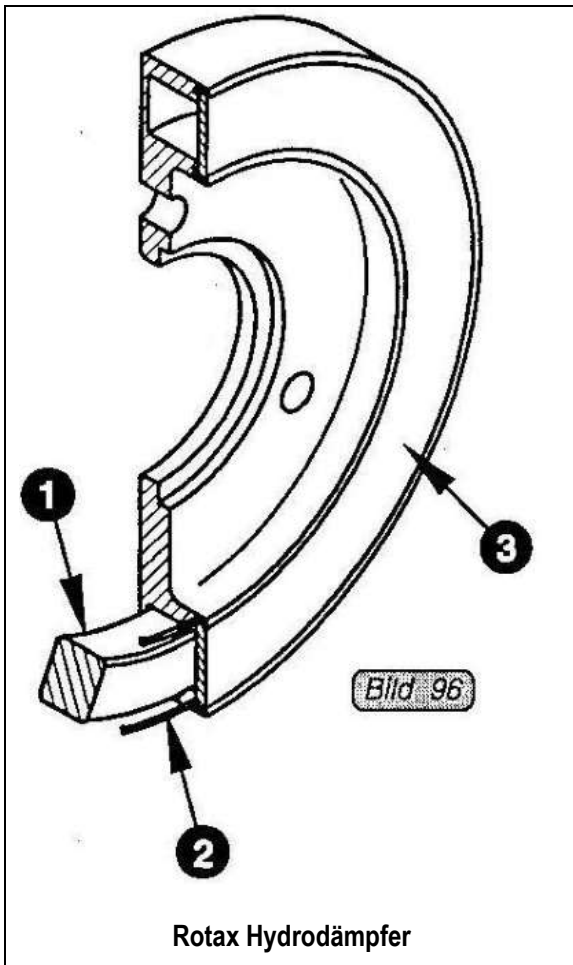
7. Mit Zwangsführung  
Temperaturunterschied CHT 1 + 2 = 10°C



8. Zylinderkopfkühlung für die CriCri

## 8. Laufkultur

- a) Der Zweitakter hält bei Lastzunahme schlechter die Drehzahl, als ein Viertakter, weil sein Drehmoment steiler verläuft.
- b) Der Zweitakter rüttelt beim Abstellen, wenn die Propellerschwungmasse gering und Motor und Propeller schlecht, entkoppelt sind.
- c) Typischer Zweitakter Leerlauf, besonders bei Motoren ohne Drehschieber- bzw. Membransteuerung, weil bis zu fünf Resonanzwellen die Gemischbildung negativ beeinflussen. Durch einen Freilauf, einer Fliehkraftkupplung, einem Hydrodämpfer oder einer Hardy Scheibe kann das Leerlaufverhalten erheblich verbessert werden.





## 9. Praktischer Vergleich zwischen Mofa – Schalldämpfer und Resonanzschalldämpfer

Ein OUV- Fliegerkollege hat seine CriCri mit zwei 3W Motoren, den empfohlenen Schalldämpfern und Propellern ausgerüstet, - alles aus einer Hand. Nach vielen Modifikationen an Zündung und Anlasser, war die Bodenerprobung viel versprechend. Sehr leise, Abgas- und Zylinderkopftemperaturen im zulässigen Bereich, - ein wenig Gas und die CriCri war kaum noch am Boden zu halten.

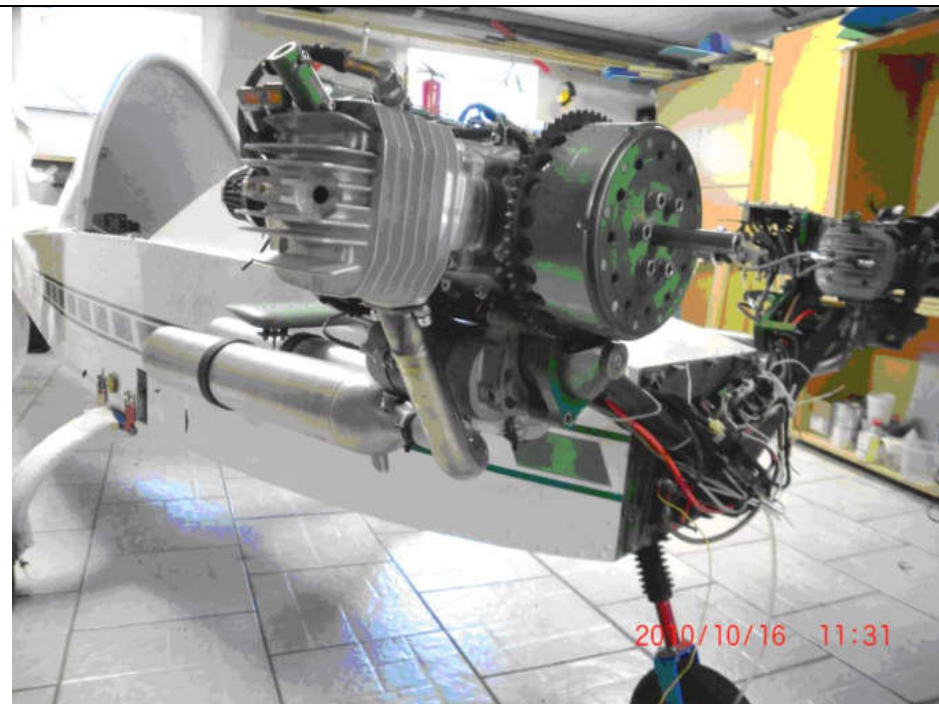
**Erstflug:** Drehzahl mit 3W-2 Blatt Propeller 32"x14" am Boden 5.000 U/min, **Vollgas Horizontalflug = 120km/h.**

**Zweitflug:** Drehzahl mit 3W-3 Blatt Propeller 34"x12" am Boden 4.000 U/min, **Vollgas Horizontalflug = 140 km/h.**

**Erkenntnis:** *3W Propeller 32" x 14" bzw. 34" x 12" sind für V > 140 km/h ungeeignet der Prallwand - Mofaschalldämpfer vernichtet Leistung*

9.1 einen typischen CriCri 2 Blatt Propeller 30"x24" ausleihen und ausprobieren

9.2 einen Resonanzschalldämpfer rechnen und bauen und ausprobieren



CriCri / 3W 275XiB2 TS Motor, zwei einfache 3W Schalldämpfer  
Propeller 3 Blatt 34" x 12" und 32" x 14"



CriCri / 3W 275XiB2 TS Motor, ein Resonanzschalldämpfer  
Propeller 2 Blatt 30" x 24"

9.3 Versuche am Boden: a + b) einfacher 3W- Schalldämpfer mit 3W Propeller bzw. CriCri - Propeller

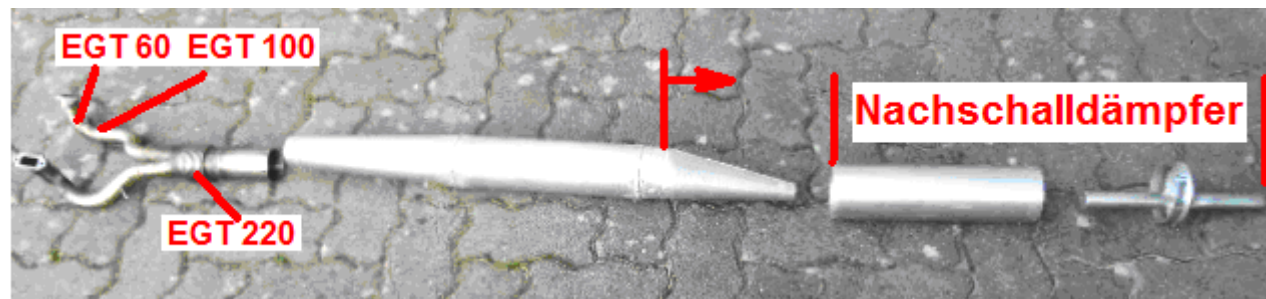
c ) Resonanzschalldämpfer mit 3 W - Propeller 12" Steigung

d - f) Resonanzschalldämpfer mit CriCri – Propeller 24" Steigung



	Motor 3W 275XiB2 TS (26 PS)	Propeller	Vollgas	EGT °C	CHT °C	Bemerkung
a.	3W Schalldämpfer	3W - 3 Blatt 34" x 12"	4.000 U/min	--	--	unsauberer Leerlauf sehr leise
b.	3W Schalldämpfer	CriCri- 2 Blatt 30" x 24"	2.400 U/min	--	--	unsauberer Leerlauf sehr leise
c.	Reso D3=104, RL=1.245mm	3W - 2 Blatt 32" x 12"	6.000 U/min	( 60 mm ) = 440	150	sauberer Leerlauf >1.000 U/min, sehr laut
d.	Reso D3=104, RL=1.245 mm	CriCri- 2 Blatt 30" x 24"	5.400 U/min	(220mm) = 550	150	sauberer Leerlauf >1.000 U/min, sehr laut
e.	Reso D3= 84, RL=1.245 mm	CriCri- 2 Blatt 30" x 24"	5.700 U/min	(220mm) = 550	150	sauberer Leerlauf >1.000 U/min, sehr laut
f.	Reso D3= 84, RL= 959 mm	CriCri- 2 Blatt 30" x 24"	6.100 U/min	(100mm) = 340	150	sauberer Leerlauf >1.000 U/min, sehr laut
g.	Reso D3= 84, RL= 959mm	CriCri- 2 Blatt 30" x 24"	6.000 U/min	(220mm) = 600	180	sauberer Leerlauf >1.000 U/min, leiser
	integrierter Nachschalldämpfer					
	CriCri JPX (15 PS) mit Resonanzschalldämpfer	CriCri 2 Blatt 30" x 24"	5.500 U/min	Vollgasflug		horizontal = 6.000 U/min, V ~200 km/h

**g) Resonanzschalldämpfer mit integriertem Nachschalldämpfer, 2 Zylinder arbeiten gleichzeitig auf ein Abgassystem**



**3W 275XiB2 TS** 2 Zylinder Zweitakt Boxer, luftgekühlt mit Doppelzündung. Schmierung: Gemisch 50:1 Steuerung: Kolbenkante und Membrane, IIS - Zündung 6,0 V - 8,4 V

Hubraum 273 ccm ( 2 x 136 ) Hub 50 mm Bohrung 59 mm Leistung 26 PS / 19,12 kW  
Drehmoment: keine Informationen, Drehzahlbereich 1000 - 7000 U/min, Gewicht 7 kg

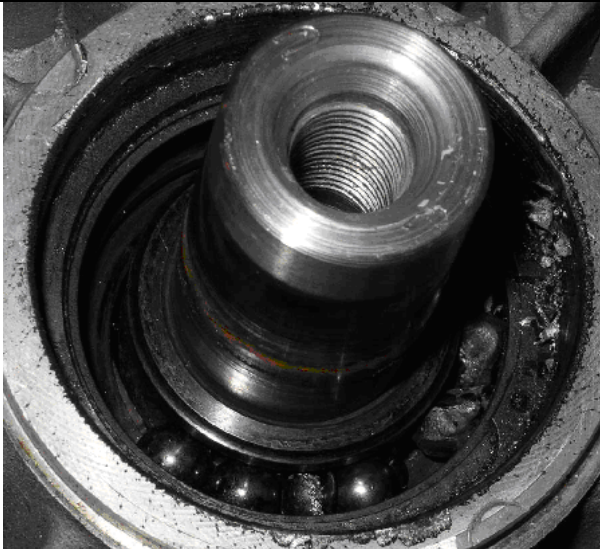
Propeller 3W 2 Blatt: 36" x 12"; 36" x 14"  
Propeller 3W 3 Blatt: 32" x 12"; 34" x 12"  
3W Schalldämpfer aus Aluminium

*Eine Leistungsverbesserung durch den Resonanzschalldämpfer ist nicht zu übersehen, ich bin gespannt auf das Ergebnis im Endzustand. Bei meinem F30 brachte der Resonanzschalldämpfer gegenüber dem Original eine Erhöhung der Vollgasdrehzahl um 300 U/min. Eine BD5 mit einem Rotax 503 war an der Lärmessung gescheitert. Der Umbau auf einen Resonanzschalldämpfer brachte neben der Gewicht-einsparung, Erhöhung der Vollgas- Drehzahl um 400 U/min und Verkürzung der Startstrecke um 150 m, - die Lärmessung wurde erfüllt.*

## 10. Motorschäden

Jeder Motorschaden hat eine Vorgeschichte, häufige Reparaturen, unzureichende Kühlung, schlechte Schmierung. Über die Vorgeschichte wird in den Internetforen leider nicht berichtet, deswegen ist eine objektive Beurteilung kaum möglich.

**a) Ein Kugellagerschaden der eigentlich nicht passieren dürfte:** Die Kurbelwelle des F30 hat auf der Antriebsseite 2 Kugellager. Das erste Kugellager ist gefettet, laut Kugellagerbezeichnung mit *Normalfett*, geeignet für Temperaturen zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+50^{\circ}\text{C}$ . Die Betriebstemperatur des Motorblockes beträgt etwa  $80^{\circ}\text{C}$  ist also  $> 50^{\circ}\text{C}$ .



Kugellager 6206 – 2 RS 1 N / C3 SKF Italy B



Vorderer Simmerring, Kugel- und Käfigreste



Kolben durch Kugellagerreste geschädigt

Bitte auf den Punkt in 8 Uhr Position achten



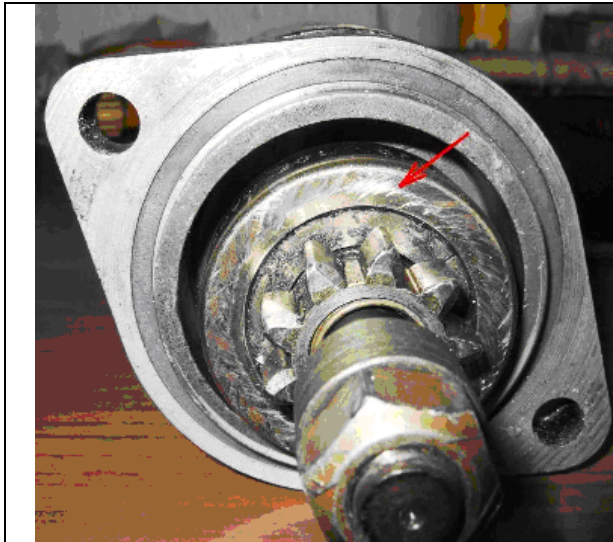
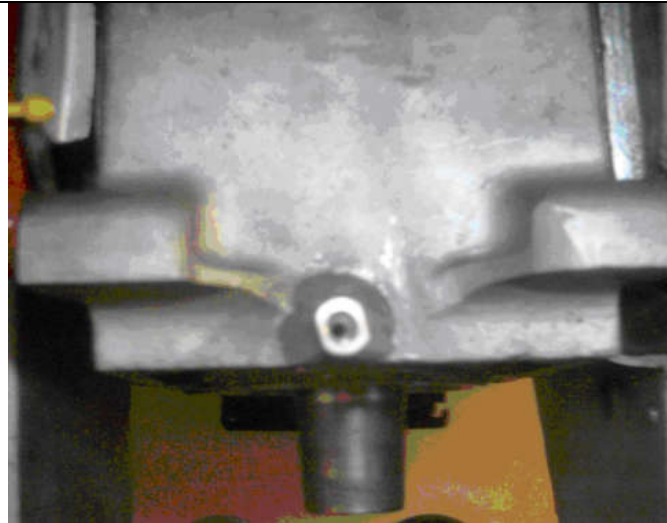
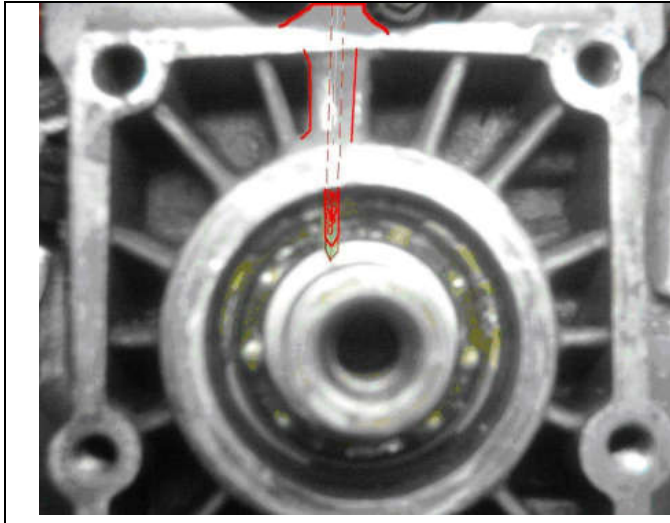
Nach Aussagen von **SKF** schmiert Normalfett bei **RT** problemlos mehr als 1.000 Stunden. Bei Betriebstemperaturen  $> 50^{\circ}\text{C}$  kann die Lebensdauer jedoch auf wenige Stunden absinken.

**Bei einem F30** hat das Normalfett nach wenigen Stunden seinen Dienst quittiert. Das Kugellager hat sich zerlegt und das angrenzende, *Gemisch geschmierte Kugellager* geschädigt. Kugellagerreste des zweiten Kugellagers sind dann durch den Motor gegangen. Der Motor hat sich 15 Minuten (erster Drehzahleinbruch) gewehrt, Leistung verloren und ist dann in der Platzrunde abrupt stehen geblieben.

Für Betriebstemperaturen  $> 50^{\circ}\text{C}$  ist **Heißlagerfett** erforderlich.  
Geeignet für Dauertemperaturen zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+200^{\circ}\text{C}$ .

**Konsequenz:** Nachfettmöglichkeit für das vordere Kugellager, das Kugellager mit Heißlagerfett gefettet.





- b) **Der Anlasser links zieht den Motor nicht mehr durch:** der Freilauf scheuert am Zahnkranz des Polrades. Das trägt auch zu einem hohen Batterieverschleiß bei.
- c) **Aluminium Nachschalldämpfer ist kollabiert:** ein Fliegerkollege hat seinen F30 mit Leise Nachschalldämpfern nachgerüstet. Das Innenleben eines Nachschalldämpfers ist kollabiert, (siehe Seite 9 Abgastemperaturen) die Zylinderkopfdichtungen und die Auspuffdichtung einer Motorseite sind herausgeflogen.
- d) **Mit einer Änderung** des bundesdeutschen [Benzinbleigesetzes](#) wurde **bleihaltiges Normalbenzin** ab 1. Februar 1988 verboten. In der ganzen EU darf seit dem Jahr 2000 kein verbleiteter Ottokraftstoff mehr für Kraftfahrzeuge verkauft werden. Die Motorenhersteller mussten ihre Motoren bezüglich **Klopffestigkeit** und der künftig niedrigen **NOX- Werten** entsprechend anpassen. Betreiber älterer Motoren haben von den Anpassungen im Regelfall nichts mitbekommen.  
**Bei meinem F30** wurde: der **Zündzeitpunkt** von 14° auf 16° v. OT, die **Kompression** von 9,5 : 1 auf 9,0 : 1 und die **Brennraumform** ein wenig geändert. Ich hatte mich gewundert, dass in neuen Motor-Datenblättern die Motorleistung um 10% niedriger angegeben wurde. Nach der Kraftstoffumstellung waren die CHT Werte um etwa 20°C angestiegen.

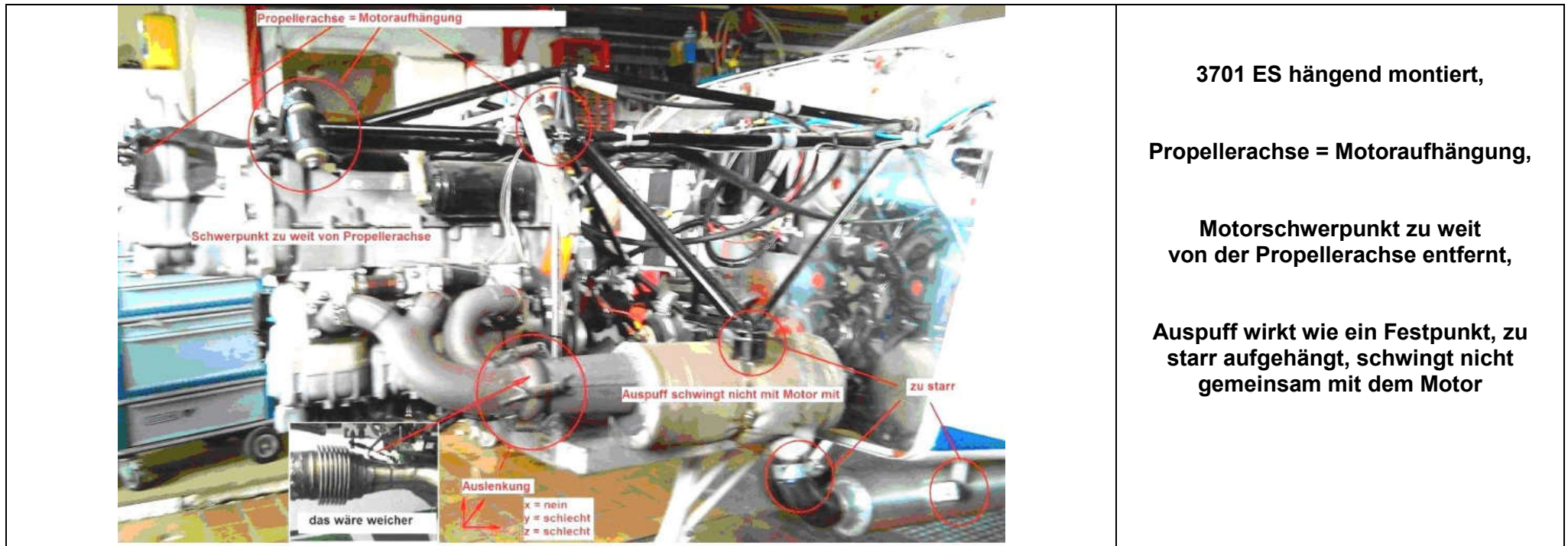
Zwei Jahre danach musste ich einen Kolben erneuern (Kolbenbolzen ausgeschlagen). Bei der Lieferung des neuen Kolbens habe ich dann vom Hersteller erfahren, dass ich den Zündzeitpunkt und die Kompression ändern muss, *die Brennraumform ist nicht so wichtig.*

***Die meisten Motoren in der Selbstbauszene sind keine zertifizierten Flugmotore, da muss man schon selber drauf kommen wenn der Hersteller Einstellungen ändert. Vermutlich bin ich nicht der einzige der einen Motorschaden nach der Benzinumstellung hatte.***



## 11. Motor richtig einbauen, Schwingungssysteme Motor 120° - Propeller 180°

Wenn Massen sich drehen oder hin und her bewegen kommt es zu auch zu Schwingungen. Ein OUV- Fliegerkollege hat in seine Cherry BX einen wassergekühlten 3 Zylinder Reihenmotor 3701ES von Göbler Hirth eingebaut.



11.1 Mit einem 4 Blatt Powerfin lief der 3701 ES sehr ruhig, die Startstrecke auf einer Graspiste war aber **unakzeptabel**.

11.2 Mit einem 3 Blatt Neuform TXL 65, (am Boden einstellbar) lief der 3701 ES sehr ruhig, brachte einen Standschub von **135 Kp**, die Startstrecke auf Gras war halbwegs zufrieden stellend.

11.3 Der 2 Blatt Woodcomp SR 3000/2W Verstellpropeller brachte einen gewaltigen Standschub von **225 kp**, konnte im Flug aber nicht ausprobiert werden, denn ab 4.000 U/min wurde das Antriebssystem unruhig, der Propeller fing an zu taumeln, nach mehreren kurzen Vollgasläufen machte das Getriebe Geräusche.

11.4 Nach **Getriebereparatur** und Einbau eines weiteren 2 Blatt Woodcomp: **wie gehabt**, unakzeptable Vibrationen ab 4.000 U/min. Mit dem 3 Blatt Neuform lief das Antriebssystem perfekt, keine Vibrationen bei max. Drehzahl.

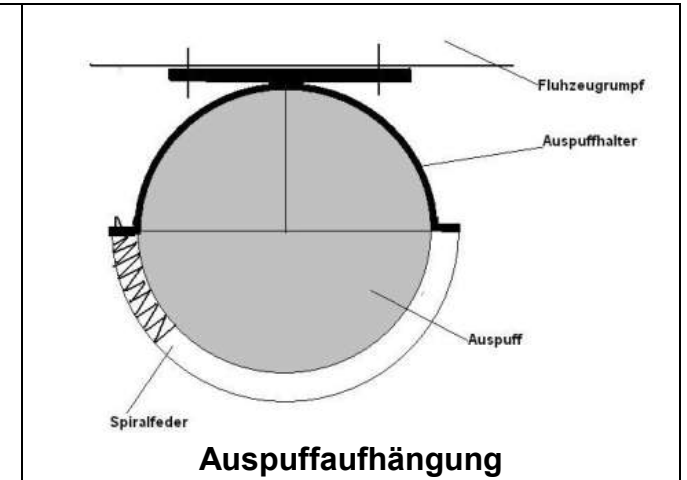
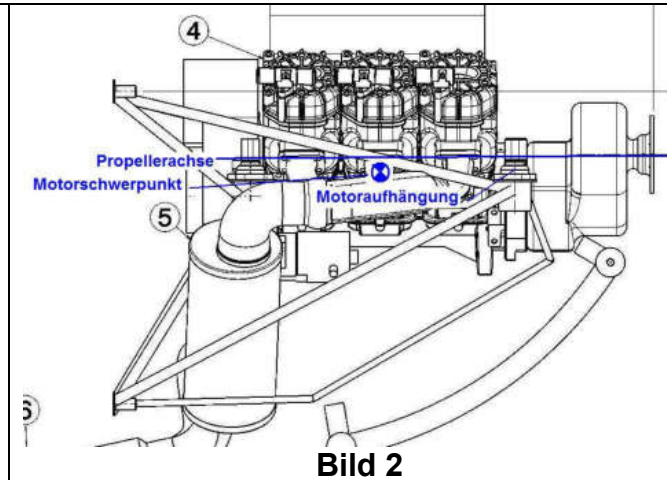
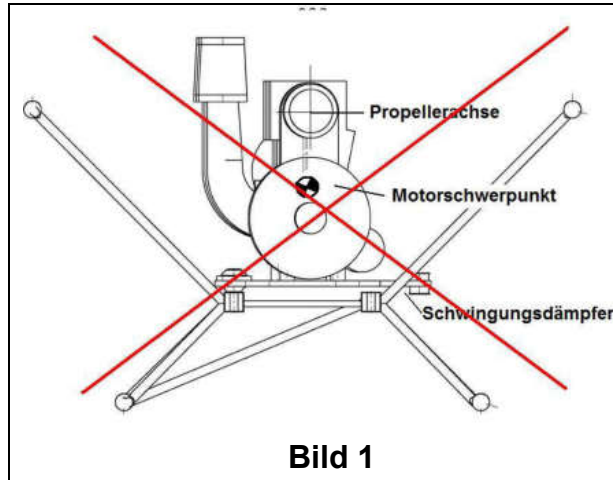
**Mögliche Ursache**, eine Überlagerung von Motor- und Propellerschwingungen: Im 3 Zylinder 2 Takt- Reihenmotor bewegen sich 3 Kolben um 120° versetzt pro Umdrehung. Die Blätter des 2 Blatt Propellers können 2mal pro Umdrehung, um 180° versetzt schwingen.

Um Fertigungs- oder Montagefehler auszuschließen wurde der 2 Blatt Woodcomp auf eine Ebene gelegt und an den Blattspitzen und zwei verschiedenen Radien der Anstellwinkel und den Abstand zur Ebene gemessen, o. B.

**11.5 Woodcomp bot an den 2 Blatt kostenlos gegen einen 3 Blatt Woodcomp konstant speed zu tauschen.**

Mit einem **3 Blatt Woodcomp** – Verstellpropeller lief der 3701 ES seidenweich, sehr gute Start- Steig- und Flugleistungen.

Das Rütteln bei niedrigem Leerlauf und **besonders beim Abstellen** haben aber die Kohlen für die Propellerverstellung nach kurzer Zeit beschädigt, *eine Fliehkraftkupplung war nicht eingebaut.*



**11.6** Ein anderer OUV Kollege schreibt: Er hat mehrfach in verschiedenen Projekten den 3 Zylinder Göbler Hirth 3701ES eingebaut und mit 2 Blatt- und 3 Blatt Helix- und Powerfin- Propellern kombiniert Motoraufhängung (Bilder 1 + 2).

**11.7** Bei Motoraufhängung Bild 1: (*Schwingungsdämpfung weit unterhalb Propellerdrehachse und Motorschwerpunkt*), kamen einige 2 Blatt Propeller ins taumeln, bei einem Propeller fing der Motor an **gefährlich zu schwingen**. Die 3 Blatt Propeller liefen immer ruhig.

**11.8** Bei Motoraufhängung Bild 2: (*Schwingungsdämpfung und Propellerdrehachse in Nähe des Schwerpunktes*), liefen sowohl die 3 Blatt als auch die 2 Blatt Propeller ruhig.

W. Schmidt Jan 2013 [fliegerschmidt@t-online.de](mailto:fliegerschmidt@t-online.de)

P. S. Ich habe ein einfaches Resonanzschalldämpfer - Berechnungsprogramm mit Clipper geschrieben, das Programm läuft aber nur unter DOS, Windows XP und Vista