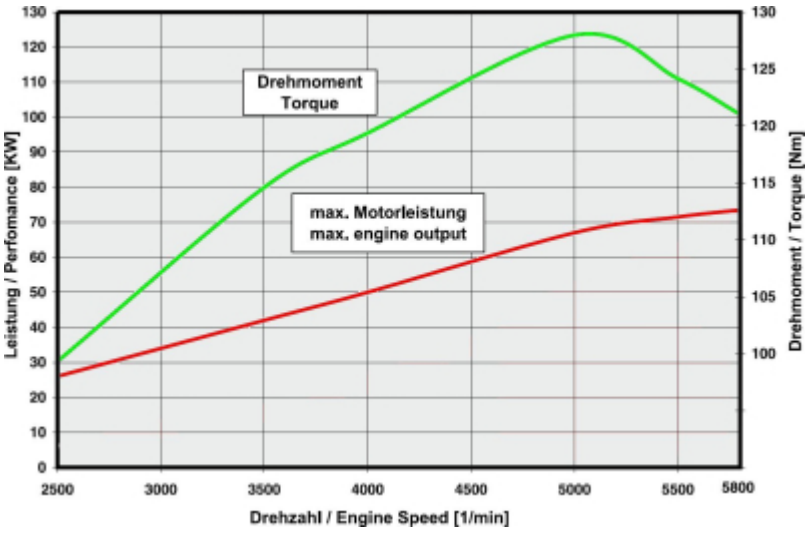
Die richtige Leistungseinstellung für den Rotax

... ein leidiges Thema und immer wieder erhitzen sich daran die Gemüter.
Die häufigsten Fragen sind:

- wann hat der Motor die höchste Leistung
- wann habe ich den geringsten Verschleiß
- wie verringer ich die Kosten durch einen sinnvollen Betrieb
- mit welcher Drehzahl sollte man starten
- wie erkenne ich die Einstellung der Leistung
- welcher Propeller ist der Beste und wie stelle ich ihn ein

Fangen wir mal ganz vorne mit der Leistung und dem Verschleiß an.
Wir nehmen hier als Beispiel den Rotax 912 ULS.

Die Leistung



Leistungsangaben für den Verstellpropeller

Der Betrieb über 5500 1/min ist auf 5 Minuten beschränkt.

Aus wirtschaftlichen Gründen wird jedoch empfohlen, die folgenden Werte annähernd einzuhalten.

Leistungseinstellung	Drehzahl	Leistung (kW)	Drehmoment (Nm)	Ladedruck (in. Hg)
Startleistung	5800	73,5	121,0	27,5
Dauerleistung	5500	69,0	119,8	27
75 %	5000	51,0	97,4	26
65 %	4800	44,6	88,7	26
55 %	4300	38,0	84,3	24

HINWEIS: Weitere wichtige Informationen zum Motorbetrieb, siehe dazu Service Letter SL-912-016, letztgültige Ausgabe.

Ich denke, die Leistungsfrage sollte durch das Diagramm und die Tabelle geklärt sein.

Ein wichtiger Hinweis bei Verwendung eines Verstellreglers:
eine geringe Leistungseinstellung bei hoher Drehzahl führt in der Regel zu einem Abmagern des Gemisches und folglich zu einer Erhöhung der Verbrennungstemperatur. Hier sollte die Abgastemperatur EGT[1)] beobachtet werden.
Es empfiehlt sich, die Drehzahl entsprechend der Leistung nach der Tabelle 2[2)] (aus dem Betriebshandbuch) einzustellen!
Fälschlicherweise wird in manchen Handbüchern der Luftfahrzeuge oder in manchen Vereinen/Haltergemeinschaften nach dem Motto verfahren „den Motor nie unter einer bestimmten Drehzahl zu betreiben“.
Das ist leider falsch und hier sollte man sich an der Motordrehzahl orientieren, die bei der Verwendung eines Festpropellers bei entsprechender Leisungseinstellung erreicht wird.
In den Betriebshandbüchern[3)] der verschiedenen Motore sind folgende Leistungstabellen für den Betrieb mit Verstellregler aufgeführt.

Leistungsangaben für Verstellpropeller

Der Betrieb über 5500 1/min. ist auf 5 Minuten beschränkt.
Es wird empfohlen, die folgenden Werte annähernd einzuhalten.

Leistungstabelle für den 912 A/F/UL (80 PS)

Leistungseinstellung	Drehzahl	Leistung (KW)	Drehmoment (Nm)	Saugrohrdruck (in.HG)
Startleistung	5800	59,6	98,1	full throttle
Dauerleistung	5500	58,0	100,7	full throttle
75 %	5000	43,5	83,1	27,2
65 %	4800	37,7	75,0	26,5
55 %	4300	31,9	70,8	26,3

Leistungstabelle für den 912 S/ULS (100 PS)

Leistungseinstellung	Drehzahl	Leistung (KW)	Drehmoment (Nm)	Saugrohrdruck (in.HG)
Startleistung	5800	73,5	121,0	27,5
Dauerleistung	5500	69,0	119,8	27
75 %	5000	51,0	97,4	26
65 %	4800	44,6	88,7	26
55 %	4300	38,0	84,3	24

Leistungstabelle für den 914 F/UL (115 PS)

Leistungseinstellung	Drehzahl	Leistung (KW)	Drehmoment (Nm)	Saugrohrdruck (in.HG)	Drosselklappenposition (%)
Startleistung	5800	84,5	139	39	115,0
Dauerleistung	5500	73,5	128	35	100,0
75 %	5000	55,1	105	31	ca. 67
65 %	4800	47,8	95	29	ca. 64
55 %	4300	40,4	90	28	ca. 59

Der Verschleiß

Es stellt sich hier die Frage, in welchem Drehzahlbereich man den Motor betreiben sollte.
Die Antwort ist für** Vollgas (WOT)** dann ganz einfach (oder auch nicht) : immer ordentlich jodeln lassen....
... das heisst also beim **Start 5800** U/min und **Dauerleistung 5500** U/min.

Dazu eine einfache Begründung: je geringer die Drehzahl, desto höher sind am Kolben die Seitenkräfte und desto höher sind die Lagerdrücke an den Pleuel- und Kurbelwellenlager.
Ausgerechnet die Kolbenseitenkräfte müssen nun über die Zylinderwand „abgeleitet“ werden.
Und das werden sie in das Kurbelgehäuse.
Man kann sich vielleicht vorstellen, dass diese Kräfte zu einer kontinuierlichen, internen Bewegung des Kurbelgehäuses führt.
Da wir ja zwei Kurbelgehäusehälften haben, führt es zu möglichen Reibbewegungen innerhalb der Trennfugen.
Diese Reibbewegung ist abhängig von der Kurbelgehäuseverschraubung und der dadurch erzeugten Flächenpressung an den Trennfugen. Deshalb haben die Kurbelgehäuse einige Modifikationen hinter sich, um genau diese Flächenpressung zu erhöhen und somit zu gewährleisten, dass die Gehäusehälften nicht mehr aneinender reiben.
Diese Reibbewegungen führen zu einem Abrieb an den Trennflächen, hauptsächlich im Bereich der Kurbelwellenhauptlager.

Durch den Verschleiß im Bereich der Hauptlagerstellen werden die Lagerbohrungen im Gehäuse enger und die Kurbelwelle klemmt, weil sich damit auch das Spiel bis auf null oder weniger, verringert.
Dazu gibt es auch eine Kontrollanweisung im Line Maintenance Manual.

18.) Leichtgängigkeit des Motors				
Kontrolle der Leichtgängigkeit des Motors Für alle Motoren mit Kurbelgehäuse bis einschließlich S/N 27811. Drehmoment _____Nm HINWEIS: Bei Motoren mit neuem Kurbelgehäuse SN 06.0010 oder höher muss diese Kontrolle nur bei Verdacht auf Schwergängigkeit durchgeführt werden.		X	05-50-00 Abs. 3.13)	

... siehe auch hier: Losbrechmoment der Kurbelwelle.

Wenn wir über Verschleiß reden, müssen wir auch die Frage beantworten, wo wir den größten Verschleiß haben.
Wir lassen mal die ganzen Kleinigkeiten weg und konzentrieren uns auf zwei Bereiche: der Kolben- und Zylinderverschleiß und der Verschleiß an den Lagerstellen.
Wenn wir davon ausgehen, das die Beschaffenheit des Motoröls den Vorgaben entspricht, brauchen wir uns über einen Ölfilm-Abriss am Kolben keine Sorgen zu machen. Die mittlere Kolbengeschwindigkeit beträgt bei 5800 U/min lediglich 11,79 m/s.

Kommen wir zu den Lagerstellen: wir haben ein Gleitlager am Pleuelfuß und an den Hauptlagern. Gleitlager arbeiten bei vorgegebenem Öldruck berührungslos. Das Öl wird durch die Drehung der Welle mitgeführt und bildet einen Ölkeil, auf dem die Welle „aufschwimmt“, wodurch sie das Lager nicht mehr berührt.
Das bedeutet, dass die Gleitlager bei höherer Drehzahl durch den stabileren Ölkeil die Welle besser lagern können.

Das Gleiche gilt auch für die Nockenwelle: eine höhere Umfangsgeschwindigkeit erzeugt einen stabileren Ölkeil zwischen Welle und Hydrostössel (beim Rotax).

Kosten/Nutzen

Gerade im Charterbetrieb und mit Verstellpropeller wird gern die Meinung vertreten, dass man mit Vollgas und Drehzahlen unter 4800 U/min ordentlich Sprit und dadurch Geld sparen kann und dabei auch noch eine hohe Reisegeschwindigkeit erreicht.

Das stimmt sogar zum Teil, ist aber eine finanzielle Milchmädchenrechnung ...

... denn ein zu erneuerndes Kurbelgehäuse, welches im Bereich der Hauptlager verrieben ist, kostet wesentlich mehr, als man in der bis dahin geflogenen Zeit an Sprit einspart.
Nicht umsonst hatten wir in der SL-912-016 / SL-914-014 von 2009 stehen:

Lelstungsemptehlungen

Schritt	Vorgehen
1	Motordrehzahl über 5500 1 /min ist auf ein Maximum von 5 min eingeschränkt (wie im Betriebshandbuch 912/914 Serie angegeben).
2	Startdrehzahl bei WOT (voll geöffneter Drosselklappe) soll nicht unter 5200 Ilmin liegen, um eine Überlastung des Motors zu vermeiden.

Schritt	Vorgehen
3	Dauernde Verwendung von Motordrehzahlen unter 5200 1/min mit WOT sollen vermieden werden.

In der letzten Revision des Service Letter wird an dieser Stelle nur noch auf die Kraftstoffqualität eingegangen, was nach meiner Meinung aber nur zu Verwirrungen führt und im Flug nicht praktikabel ist.

Der Festpropeller

Dazu zähle ich auch den am Boden einstellbaren Propeller, denn im Flug kann man kaum dran rumfummeln.
Wir lassen hier mal Unterschiede der verschiedenen Blattzahlen, Propellergrößen und Flugzeugmuster außen vor.
Grundsätzlich haben wir das Problem, dass für verschiedene Geschwindigkeiten kein angepasster Blattwinkel möglich ist - deshalb heist unsere Luftschaufel ja Festpropeller.
Was für eine Einstellung wählt man also?
Hier meine bescheidene Meinung dazu und wie ich den Blattwinkel einstellen würde:
Im Horizontalflug, bei Vollgas, höchster Geschwindigkeit und in meiner bevorzugten Reisehöhe solte der Motor eine Drehzahl von ca 5700 U/min erreichen.

Die Begründung: fliege ich langsamer, nehme ich Gas weg um die Leistung zu reduzieren und schone so den Motor und den Geldbeutel und bin nahe an der für Dauerleistung angegebenen 5500 U/min ohne dabei mit WOT zu fliegen.
Dabei gibt es hauptsächlich beim 914er und beim Einspritzer das Problem, wenn ich höher fliege wird die Luft dünner und der Motor dreht höher und möglicherweise über 5800 U/min.
Beim 912 UL und ULS ist der Effekt geringer, da der Motor in der Höhe stark überfettet und so Leistung verliert.

So würde ich das für den Flug als optimal eingestellt ansehen. Was dann beim Start passiert steht auf einem anderen Blatt und ich müsste dann damit leben. Die Frage ist halt, will ich ökonomisch und motorschonend fliegen oder super Starts hinlegen?
Selbstverständlich ist bei einer solchen Einstellung das Verhalten beim Start schlechter, je höher die Maximalgeschwindigkeit des Fliegers ist.

Was dabei auch passieren kann, ist, wenn wir im Stand Vollgas geben und starten wollen, also wenn die Propellerebene nicht vom Fahrtwind durchströmt wird, am Blatt die Strömung abreißt.
Dadurch kann natürlich nicht die gesamte Motorleistung in Vortrieb umgesetzt werden und zusätzlich wird es auch noch laut. Also kann man nicht mit voller Leistung starten und wählt die Startleistung so, dass die Strömung gerade nicht abreißt.
Mit zunehmender Geschwindigkeit kann man die Leistung erhöhen und schon geht es steiler nach Oben.

Der Verstellpropeller

…. oder die Gangschaltung im Flieger….

Hier muss man ganz klar drei verschiedene Verstellmöglichkeiten unterscheiden:

- der hydraulische Constant Speed Propeller
- der elektrisch verstellende Constant Speed Propeller
- und der elktrisch verstellbare Propeller

Zum **hydraulischen Constant Speed Propeller** findet Ihr hier einen Artikel im Aerokurier und Manifold Pressure Sucks! sollte man sich eigentlich als Pilot grundsätzlich durchlesen. Wichtig ist zu beachten, dass dort immer von der Propellerdrehzahl die Rede ist !
Hier nicht angesprochen ist ein für den 912 iS und 915 iS lieferbarer elektrisch angesteuerter, hydraulischer Constand Speed Governor.
Realisiert wird immer eine optimale Leistungseinstellung durch die Stock EMU in Vebindung durch den von MT-Propeller gelieferten Governor.

Der **elektrisch verstellbare Constant Speed Propeller** und die Einstellung erfolgt wie bem Hydraulischen nur mit dem Nachteil, dass der Elektrisch verstellbare wesentlich langsamer reagiert. Das kann eine unbeabsichtigte Überdrehzahl des Motors zur Folge haben.

Der während des Fluges **elktrisch verstellbare Propeller** erfordert besondere Aufmerksamkeit des Piloten und setzt dadurch nach meiner Meinung ein Mindestmaß an Erfahrung und technisches Verständnis voraus.

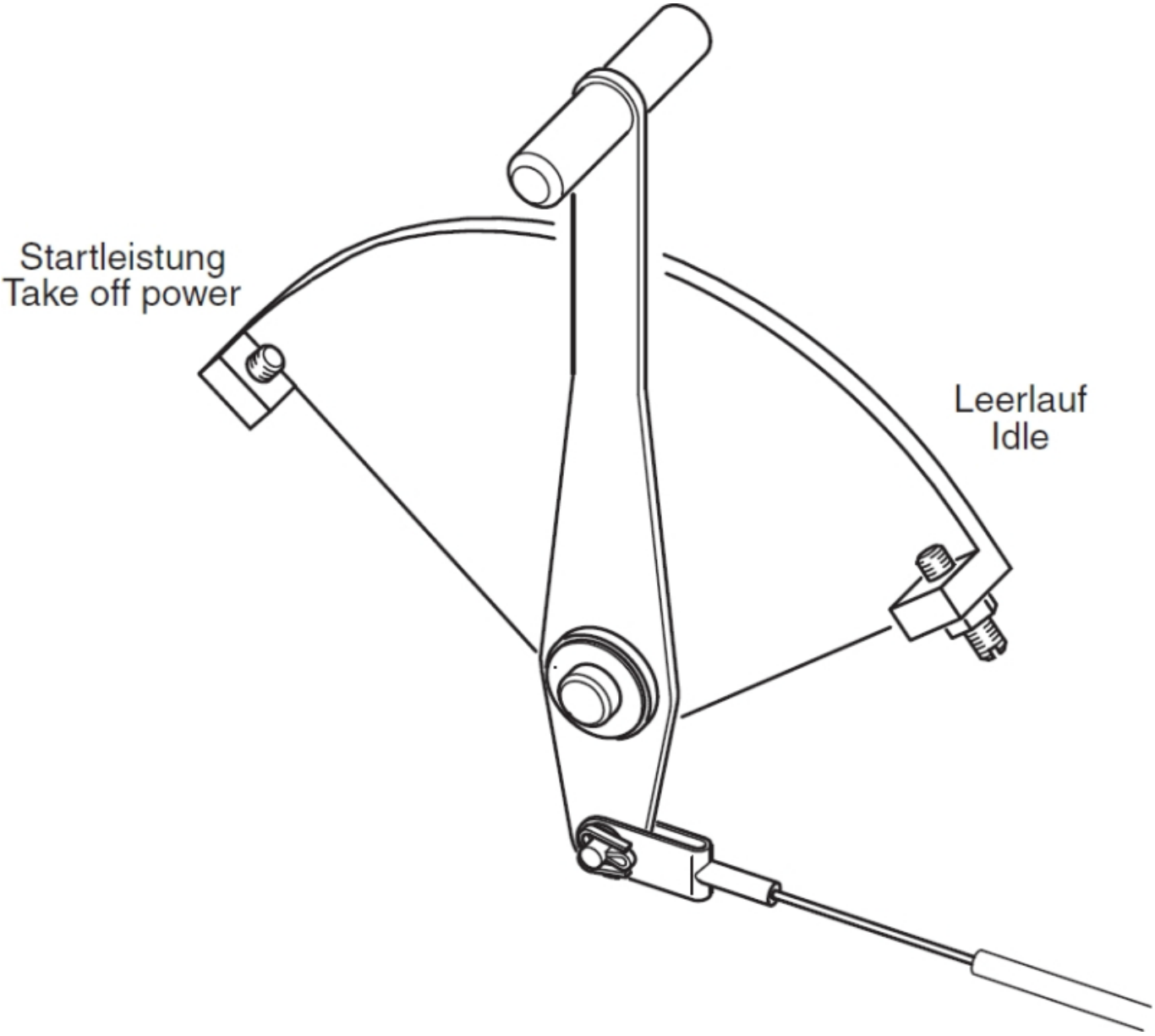
Von allen im Flug verstellbaren Propellern geht jedoch eine gewisse Gefahr für die Lebensdauer des Motors aus.
So ist es möglich, den Motor mit Vollgas zu betreiben und mit der Verstellung des Propellers die Drehzahl zu reduzieren.
Das geht dann soweit, dass der Rotax, wie ich schon öfter gehört habe, bis 4600 U/min heruntergewürgt wird. Das wird dann unter Umständen zu einer unkontrollierten Verbrennung (Klopfen / Klingeln) des Gemisches und damit zum Motorschaden führen.
….oder auch zum Kurbelgehäuseschaden, wie weiter oben beschrieben …
Ein beschädigtes, weil „verriebenes“ Motorgehäuse, habe ich bei einem Charter-Flieger in solch einem Fall schon bei unter 400 Betriebsstunden gesehen.

Merke: lass den Rotax drehen, dann bleibt er gesund !

Leistungseinstellung in %

Das herrauszufinden ist denkbar einfach:
Leerlauf sind 0 % und Vollgas sind 100 %.

… man messe den Hebelweg des Gashebels, teile den Wert durch 100 und mache bei der Hälfte einen Strich mit einem Marker und schon weiß man, wann man mit 50% Leistung fliegt. Bei 75% Leistung ist das dann halt 3/4 der gemessenen Strecke…
Hier im Bild also ca. 50% Leistung. Ob die abgegebene Motorleistung dann tatsächlich 50% beträgt, müsste man in aufwändigen Versuchen ermitteln. Die Methode mit der einfachen Einteilung der Gashebelstrecke halte ich jedoch für eine sinnvolle Komunikationsbasis.



Ich höre jetzt wieder den Einwand, dass man dafür ja ein Instrument hat, nämlich ein Manifold Pressure Gauge.
... doch zeige man mir eines mit einer %-Anzeige ...

... hat jemand getan - vielen Dank an Edi aus d



Das Instrument ist leider nicht für einen Rotax verwendbar und mir scheint, dass es sich hierbei um eine Ladedruckanzeige mit einer auf den Motor abgestimmten Skala handelt. Wie man sieht, zeigt es bei stehendem Motor 100% an, was dem Umgebungsdruck entspricht.

Das lies mir nun keine Ruhe und dadurch bin ich auf einen Artikel gestoßen, der die Bestimmung der Leistung behandelt.

Ich habe mir erlaubt, den Artikel ins Deutsche zu übersetzen, der hier als PDF heruntergeladen werden kann.

Am 11. November 2024 hat Rotax die

SB-912-079

auf Grund von Beschwerden über sich häufende Motorausfälle beim Start veröffentlicht.
Hier wird im Bereich *3.5) Engine load* ab Seite 15 explizit auf die Leistungseinstellung eingegangen.
[1)]

Exhaust Gas Temperature
[2)]

Beispiel für 912 S mit 100 PS
[3)]

Operators Manuals

From:
https://kleinjung.de/rotax/ - **Ralle's ROTAX FAQ**

Permanent link:
https://kleinjung.de/rotax/doku.php?id=einstellung_der_leistung

Last update: **21.06. 2025 09:28**