

KS-Druckprobleme / KS-Mengenmessung / zyklische Leistungsverluste - OUV News 03/21

In OUV News 03/21 „Schicksalsflug“ wurde über **Leistungsverlust** an einem warmen Sommertag berichtet: *Temperatur am Boden = 35°C, in 6.000 ft = 25°C, Kraftstoff = AVGAS 100 LL. plötzlicher Abfall des Brennstoffdrucks.*

Das klingt nach Dampfblasenbildung obwohl AVGAS höhenfest sein sollte.



Bild 1) Red Cube FT-60 Flow Transducer



Bild 2) ungünstigste Einbauvariante

Zusammenfassung OUV News 02/21 + OUV 03/21 + OUV 01/22

In OUV News 02/21 wurde die Installationsvielfalt des FT-60 angesprochen und gefragt ob der Einbauort vielleicht einen Einfluss auf einen plötzlichen Druckabfall an heißen Tagen, in großen Höhen haben könnte. Verglichen mit der Installationsempfehlung von **elba** fallen beim **Red Cube** zwei Dinge auf: der FT-60 ist ungeschützt direkter Wärmeabstrahlung ausgesetzt und durch 90° Metallfittings unelastisch starr befestigt. Aluminium ist ein guter Wärmeleiter und bei jeder Motorschwingung schwingt der FT-60 mit. Wenn vom Tank zum Red Cube die Verdampfungsbedingungen kritisch waren, wird bei Einbauvariante Bild 2 Verdampfung einsetzen.

elba - die elektronische benzinanzeige



Der Geber soll vor der Benzinpumpe, frei in die Leitung eingebaut und nicht an Streben o. ä. (**wegen Vibrationen**) befestigt werden. Empfohlener Einbauwinkel von ca. 15 Grad (Durchfluss von unten nach oben). Grundsätzlich ist aber jede Einbaulage möglich. Der Impulsgeber gibt von 8 bis 200 Liter/h linear **10100 Impulse** pro Liter aus, die Anzeigeeinheit rechnet die Impulse in Verbrauch l/h um und zeigt im Wechsel die verbleibende und Restmenge an.

Das Flügelrad läuft in einer runden flachen Messkammer. Jeder der 4 Flügel hat einen **Magneten**, ein **Hallsensor** registriert den Durchgang. Der Brennstoff - Hauptdurchfluss wird einseitig um die runde Kammer herumgeführt. Durch eine kleine Bohrung gelangt der Nebenfluss in die Bypass- Messkammer, passiert das Flügelrad und wird danach durch Ejektorwirkung in dem Hauptfluss wieder zugeführt. Bei Vergasern mit Benzin-Rückführung fließen etwa 8-10 L/h wieder in den Tank zurück. Um den Verbrauch genau zu bestimmen, sollte sowohl in den Vorlauf (**blau**) als auch in den Rücklauf (**rot**) ein Geber eingebaut werden. Wird nur ein Geber eingebaut, muss durch Versuche der Reiseflug Verbrauch ermittelt und die Anzeigeeinheit entsprechend korrigiert werden. **Wenn das Flügelrad blockiert, ist der Brennstoff Durchfluss nicht eingeschränkt.**

Ein kleines Zahlenspiel: *Wenn der Rotax 912 im Reiseflug 15 l/h verbraucht, macht das Flügelrad $15 \times 10.100 : 4 = 37.875$ U/min. Pro Motorumdrehung dreht sich das Flügelrad rund 8mal.*

Gemeinsam ist: Beide Piloten hatten Glück im Unglück die Motoren liefen im Leerlauf weiter, beides a)Tiefdecker b) mit Rotax 912 bzw. 914 Triebwerk, c) Red Cube FT-60, d) der Brennstoff-Rücklauf wird nicht in den Tank zurückgeführt, e) warmer Tag, f) große Flughöhe, g) der Bausatzhersteller hat eine Benzinrückführung in den Tank nicht vorgesehen, h) diverse Brennstoffsorten mit mäßigem Erfolg probiert.

Gelegentliche Schwankungen der Durchflussmenge sind erklärbar: *hochfrequenten Signale des Hallsensors werden gelegentlich durch die hochfrequente Zündung gestört. Bei einem völligen Leistungsverlust lag Dampfblasenbildung vor, zumal beide Motoren kurz vor einer Notlandung wieder volle Leistung hatten.*

In einem geschlossenen Brennstoffsystem fängt Benzin zwischen 30 – 60°C (Bild 4) und dem passenden Druck (Bild 2) an zu sieden. **Siedebeginn:** (vergleichbar als wenn man eine Sekt- oder Seltersflasche schüttelt. Das **Sieende** liegt zwischen 160 – 230°C dann sind 100 Vol% Sattedampf (Bild 4). Hinter dem Schwimmer bzw. Nadelventil entspannt sich das siedende Benzin (vergleichbar wenn man die Sekt- oder eine Seltersflasche öffnet), das Gas entspannt sich, des größere Volumen hat Probleme die enge Düse zu passieren, es fließt kein Brennstoff mehr nach, die Motorleistung bricht zusammen, mit Glück läuft der Motor noch im Leerlauf.

Siedebeginn: AVGAS 35°C und 520mb (17.200ft); MOGAS - Sommer 30°C und 700mb (9.500ft); MOGAS - Winter 30°C und 900mb (3.200ft). *Quelle: OUV Journal 3/02 Neues aus der Amtsstube Seite 12*

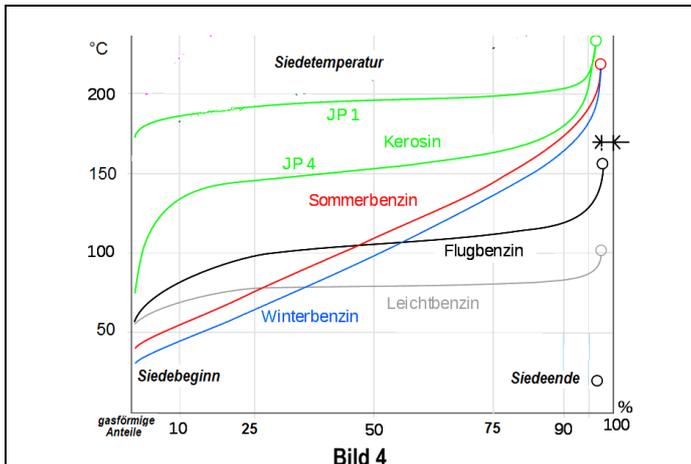


Bild 4

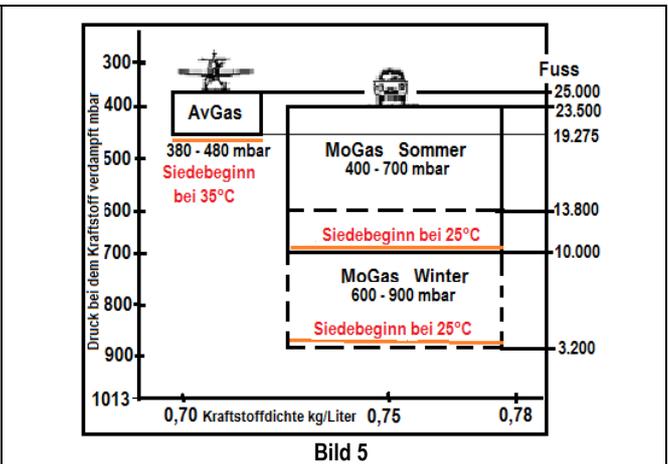


Bild 5

Verdampfungsbeginn in einem geschlossenen System bei (30°C) EN 228

Druck			Flughöhe			Druck			Flughöhe		
			1m = 3,281ft								
AVGAS	(mb)	(m)	(ft)	MOGAS	(mb)	(m)	(ft)	MOGAS	(mb)	(m)	(ft)
	480	5.875	19.275	Sommer	700	3.013	9.900	Winter	900	988	3.200

Auto Super E5 <5% Ethanol - MOGAS < 1% Methanol Sommerqualität vom 1. Mai – 30. Sept. Winterqualität vom 1. Nov – 31. März

1. **Flughöhe** und **Umgebungstemperatur** sind nicht die einzigen Parameter, die den Siedebeginn in einem geschlossenen System beeinflussen:
 - a) Hohe Temperaturen unter der Cowling (*luftgekühlter Motor*), heizen das Brennstoffsystem zusätzlich kräftig auf.
 - b) Unterdruck auf der Saugseite der Brennstoffpumpe: verstärkt durch geringe Leitungsquerschnitte, enge Biegeradien, lange Tankleitung, viele Fittings, viele Sensoren, verschmutzte Filter.
 - c) Tankdeckel mit einem Druckausgleich verringern den statischen Druck im Tank.
 - d) Oldtimer Tankdeckel (*mit Belüftungsröhrchen*) erhöhen den statischen Druck im Tank.
2. **Pumpen** können je nach Bauart hohe Drücke aufbauen und große Mengen befördern, der Saugdruck ist aber vom herrschenden Außenluftdruck (*Flughöhe*) abhängig, Theoretisch < 10mWS (*große Flughöhe, der Außenluftdruck sinkt, die Saugleistung der Pumpe nimmt ab*).
3. **Tanksystem:** Bei einem **Hochdecker** liegt ein **Flügel tank** ca. 500mm über dem Vergaser. Vor dem Vergaser herrscht ein Überdruck von etwa 40mb. Das entspricht einem **Flughöhenplus** von **1.000ft**, der Staudruck bei einer Oldtimer-Tankbelüftung kommt noch hinzu. Wenn vor dem Vergaser ein freier Brennstoffzufluss des 1,5 fachen der benötigten Vollgas - Brennstoffmenge ankommt, könnte auf eine Brennstoffpumpe verzichtet werden. **Beim Rumpftank** bzw. beim **Tiefdecker mit Flügel tank:** liegt der Tank bis zu 500mm unter dem Vergaser, eine Brennstoffpumpe muss die Höhendifferenz (*40mb Unterdruck auf der Saugseite*) ausgleichen (*theoretisch ein Flughöhenminus von 1.000ft*).
4. **Strömungswiderstände:** durch aufgequollene Benzinschläuche, verschmutzte Fingerfilter im Tank, verschmutzte Filter, enge Biegeradien, Unterdruckentlastung im Tankdeckel, MOGAS Winter an warmen Tagen – vergrößern die Ansaughöhe der Brennstoffpumpe, der Siedebeginn kann um einige tausend ft. früher eintreten als erwartet.
5. **Oldtimer – Tankdeckel** (*die mit dem kleinen Belüftungsröhrchen*) haben den **Vorteil:** im Flug erhöht der Staudruck den auf die Benzinoberfläche wirkenden Lufdruck.
Nachteil: am Boden kann der Tank bei jeder Temperaturschwankung ungehindert atmen, bei feuchter Luft kondensiert Luftfeuchtigkeit im Tank. MOGAS kann Wasser binden (*mit dem Alkoholanteil nimmt die Wasserbindung zu*), AVGAS scheidet Wasser aus.
PKW / Moped Tankdeckel: ein Ventil gleicht bei einer kleinen Differenz Überdruck / Unterdruck im Tank aus. **Vorteil:** nur sehr wenig Kondensataufnahme. **Nachteil:** der Druck im Tank kann kurzzeitig niedriger sein als der Luftdruck.
6. **Vergaser und Saugrohreinspritzung mit Rückführung:** Nadelventil und Düsen des Vergasers sind nicht geeignet Dampfblasen passieren zu lassen. Auch die Brennstoffpumpe ist nicht geeignet in großen Mengen Gasblasen anzusaugen. Wenn der überschüssige Brennstoff in einen Headertank (*mit Verbindung zu einem der Tanks*), oder in einen Tanks oberflächennah, zum Ausgasen zurückgeführt wird, wird der Brennstoffkreislauf die Dampfblasen leichter los. Nachträglich könnte man, wenn der Tank nicht mehr zugänglich ist, *einen Adapter für die Brennstoffrückführung am Füllstandssensor nachrüsten*.
7. **Wer wechselweise AVGAS und MOGAS tankt,** sollte die Eignung der Dichtungen, O-Ringe und Benzinschläuche für beide Sorten klären. Ich musste alle Gummiteile aus den USA meines Bausatzes in den Müll werfen, denn die waren nach kurzer MOGAS – Nutzung aufgequollen, statt 8mm lichter Durchmesser waren es noch 4mm.
8. **Dampfblasenbildung** hat jeder schon mehrfach erlebt: Wenn der heiße Motor nach kurzer Zeit (2-5 Minuten) wieder gestartet wird, kann die Wärmeabstrahlung des Abgassystems den Motorraum kräftig aufheizen. Infolge kann es zur Dampfblasenbildung vor dem Vergaser bzw. auf der Saugseite der Benzinpumpe kommen. Der Saugunterdruck der Pumpe verstärkt die Gasblasenbildung, der Motor springt schlecht oder gar nicht an. Wenn der Motor endlich läuft, ist das Brennstoffsystem nach wenigen Umdrehungen wieder durch frischen kalten Sprit gefüllt.

W. Schmidt 10.2022

Rotax Brennstoffsysteme

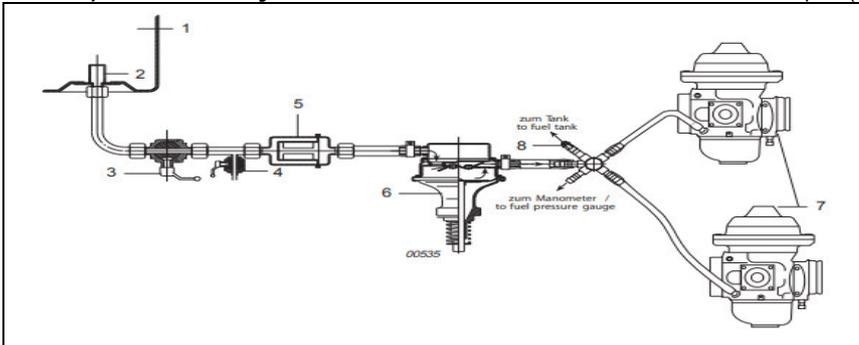
Laut Rotax- Maintenance- Manual, **soll der überschüssige Brennstoff in den Tank zurückgeführt werden.** Würde man den überschüssige Brennstoff (Bild1 Legende 8) nicht in den tank sondern zwischen Filter und Pumpe zurückführen, kommt es in geringeren Höhen als erwartet zur Dampfblasenbildung.

Pumpen werden in Reihe geschaltet: a) wenn bei gleicher Fördermenge der **Systemdruck** erhöht werden soll.

Pumpen werden parallel geschaltet: b) wenn die **Fördermenge** bei gleichem Druck erhöht werden soll.

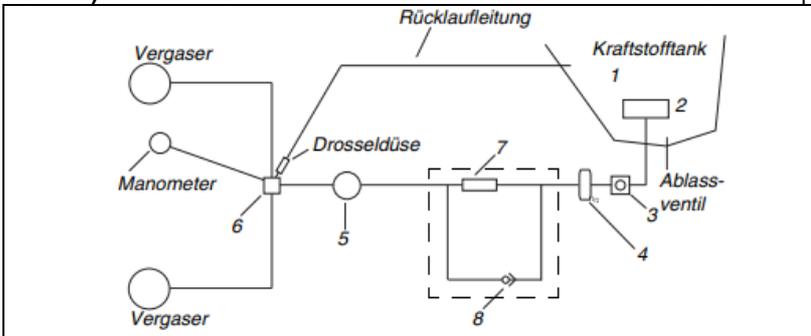
c) zur **Sicherheit**, falls eine Pumpe ausfällt.

Bild 1) Brennstoffsystem für Rotax 912 mit einer mechanischen Pumpe (Auszug aus Rotax- Maintenance- Manual)



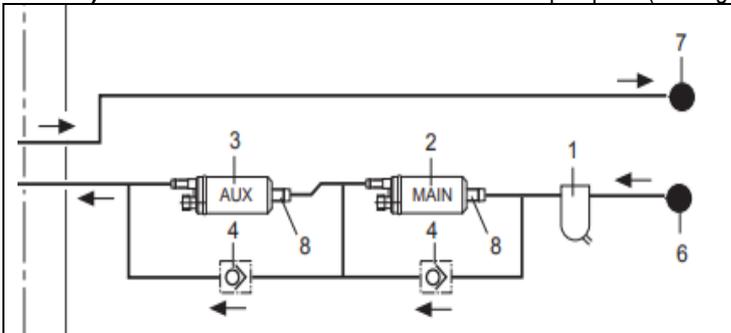
Zu Bild 1: die mech. Pumpe(6) fördert nur, wenn der Motor dreht. Zum besseren Anlassen: *entweder primern*, oder mehrere Anlassversuche bis die Vergaser genügend Sprit haben (*es ist keine Dampfblasenbildung zu erwarten*).

Bild 2) Rotax 912 mit einer mechanischen und einer elektrischen Brennstoffpumpe (Auszug aus Rotax- Maintenance- Manual)



Zu Bild 2: a) zum Anlassen wird die elektrische Pumpe(7) eingeschaltet. Der geförderte Sprit drückt die Gummi-Tellerventile der Membranpumpe auf, die Vergaser werden augenblicklich mit Sprit versorgt.
b) Wenn Motor und el. Pumpe laufen, ist die Membranpumpe unwirksam, weil der Pumpendruck der el. Pumpe Saug- und Druckventile der Membranpumpe offen hält.
c) Wird die el. Pumpe abgeschaltet, öffnet sich das Rückschlagventil (8), die mech. Pumpe kann über die Umgehung ansaugen Normalbetrieb.

Bild 3) Rotax 914 mit zwei elektrischen Brennstoffpumpen (Auszug aus Rotax- Maintenance- Manual)



Zu Bild 3: a) Wenn beide Pumpen gleichzeitig laufen, sind beide Rückschlagventile in den Umgehungen geschlossen, die Pumpen sind in

Reihe geschaltet. Der Systemdruck würde sich erhöhen, der Druckregler gleicht das aus, der Messwertgeber **suggeriert falsche Verbrauchswerte, falls im Rücklauf zum Tank kein zweiter Geber eingebaut ist,**

b) Läuft nur die Hauptpumpe(2), ist das Rückschlagventil(4) in der Umgehung der Hauptpumpe geschlossen. Eine geringe Teilmenge wird durch die Hilfspumpe hindurch und die Hauptmenge durch das Rückschlag- Ventil(4) der Hilfspumpe(3) zum Vergaser gefördert.

c) Läuft nur die Hilfspumpe(3), ist das Rückschlagventil(4) der Hilfspumpe geschlossen, angesaugt wird durch das Rückschlagventil(4) der Umgehung der Hauptpumpe (2)

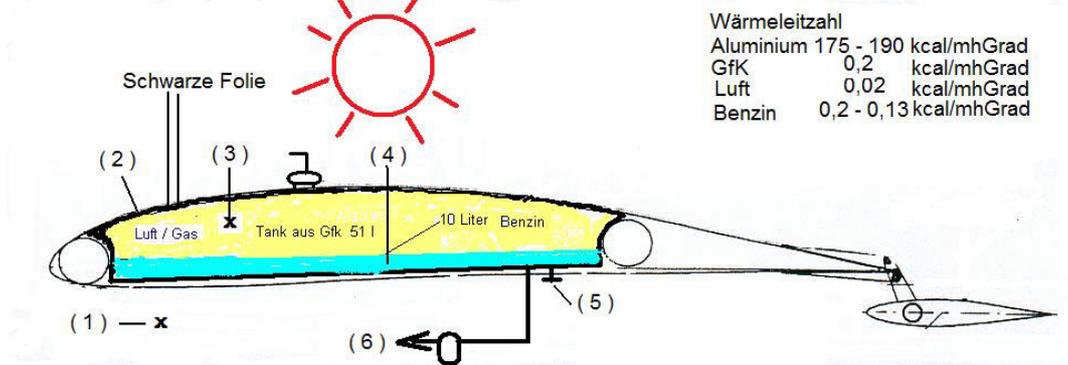
Die Brennstoffrückführung in den Tank ist zum **Ausgasen** und **Abkühlen** des Brennstoffes notwendig. Bei 70KW Motoren mit Vergasern können es **10 – 14 l/h** sein. Bei Motoren mit Brennstoffeinspritzung erheblich mehr. Wenn 1/3 des benötigten Kraftstoffes bei der Umwälzung zusätzlich erwärmt wird, ist das an kalten Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit erwünscht, aber **nicht** an **heißen** Sommertagen in **großen** Höhen.

Bei zwei Flügeltanks kann der überschüssige Brennstoff auch in einen **Headertank**, der mit einem der Tanks (zwecks Entgasen) verbunden ist, zurückgeführt werden. **In einem Tiefdecker lässt sich ein Headertank nicht realisieren.**

2003 musste in der beschränkten Sonderklasse für Motoren und Gummiteile die Eignung für MOGAS nachgewiesen werden (Neues aus der Amtsstube „Versuch heißer Tag“ und JAR-VLA 955).

Es sollte geprüft werden, ob sich durch Sonneneinstrahlung ein dunkel lackierter Flügeltank innerhalb von 4 Stunden auf 43°C aufgeheizt werden kann.

Versuchaufbau: a) Warmer Sommertag (mindestens 29°C in 1,50 m über dem Boden) b) morgens wird eine schwarze Folie über den Tank gelegt. c) 10 l frischen Brennstoff 15°C in den Tank füllen.



Uhrzeit	(1) Luft 1,5 m über Boden °C	(2) unter der Folie und Flügel	(3) Benzin- Dampf Im Tank °C	(4) Benzin Im Tank an Oberfläche	(5) Benzin Temperatur am Drain *	(6) Benzin Temperatur a. Gasc. **
11:30	28	44	25	24	22	
11:45	28	44	28	25	22	
12:00	29	45	32	26	22	
12:15	29	45	34	27	23	
12:30	29	46	36	28	23	
12:45	29	46	37	30	23	
13:00	29	48	38	32	23	
13:15	29	48	39	33	24	27
13:30	29	48	39	34	25	28
13:45	29	47	39	35	25	29
14:00	28	47	39	35	26	30
14:15	28	48	38,5	35	26	31
14:30	28	47	38	35	26	31

* abgelassen

* 50 ml

** 500 ml

Quellen: Journal 3/02 Neues aus der Amtsstube + JAR-VLA 955

W. Schmidt 08.2003