

Theorieunterricht

für die Berechtigung HILFSMOTORSTART

Zusatzausbildung für Segelflieger

(Gesamtdauer mindestens vier Stunden)

1. Werkstoffe

Werkstoffe für Flugzeuge sollten eine möglichst große strukturelle Festigkeit besitzen, damit das Gewicht des Flugzeuges möglichst klein gehalten werden kann. Grundsätzlich eignen sich dafür insbesondere Stähle, Leichtmetalle, Holz, Papier, Gewebe und Kunststoffe. Während Holz bis zu mittleren Flugzeuggrößen sinnvoll angewendet worden ist, wird heute im Sportflugzeugbau allgemein der Metall- und Faserverbundbau (FVK), bei dem verschiedene Materialien so kombiniert werden, dass sich ihre Eigenschaften jeweils optimieren, bevorzugt.

2. Bauweisen

Strukturen an Flugzeugen lassen sich durch verschiedene Bauweisen realisieren. Es kann zwischen vier Bauweisen unterschieden werden: Holzbauweise, Gemischtbauweise, Metallbauweise und FVK-Bauweise.

Bei der **Holzbauweise** wird für den Rumpf ein Gerüst aus hölzernen Längsgurten und Spanten geleimt, das anschließend mit dünnen Sperrholz beplankt wird. Die Tragfläche besteht aus einem oder zwei Holmen, an die im rechten Winkel vorne und hinten die Rippen angeleimt sind. Die Rippen geben dem Flügel die richtige Form. Vor dem Holm ist der Flügel mit dünnem Sperrholz beplankt, diese Beplankung wird Torsionsnase (oder D-Box) genannt. Sie verhindert, dass sich der Flügel beim Flug parallel zum Holm verdreht. Hinter dem Holm ist der Flügel mit einem Stoff aus Baumwolle oder speziellem Kunststoff (Ceconite, Fiberclassics) bespannt. Dieser Stoff wird auf dem Holm oder der Torsionsnase und an der Endleiste, die die Rippen an der Flügelhinterkante verbindet, festgeklebt und mit Spannlack bestrichen. Spannlack dichtet die Bespannung ab (damit keine Luft durch den Flügel hindurchtreten kann). In die oberen Spannlack-schichten wird bei Motorflugzeugen Aluminiumpulver als UV-Schutz beigemischt. Beispiele für solche Flugzeuge sind z. B. die Schleicher K2 oder die K6. Die reine Holzbauweise ist inzwischen veraltet (zu hohe Kosten für Arbeit, keine Freiformflächen realisierbar, Bauhöhe des Flügels lässt sich nicht auf die Werte verringern, die moderne FVK-Flugzeuge benötigen).

Die **Gemischtbauweise** ist eine Mischung aus Holz- und Metallbauweise. Üblicherweise besteht hierbei der Rumpf aus einem geschweißten Metallgerüst, das mit Stoff bespannt ist, während die Flügel in Holzbauweise gebaut sind. Es gibt allerdings auch Flugzeuge, deren Tragflächen ebenfalls aus einem bespannten Metallgerüst bestehen. Der Grundaufbau aus Holmen und Rippen unterscheidet sich aber nur durch die verwendeten Materialien von der Holzbauweise. Die Schleicher K7 und K8 bzw. der in der Motorsegler-schulung verwendete Scheibefalke SF 25C sind Flugzeuge mit einem Rumpf aus Metallgerüst und hölzernen Tragflächen, bei der Piper PA 18 bzw. der ungarischen GOBE bestehen die Tragflächen aus einem Aluminiumgerüst.

Die **Metallbauweise** ist bei Motorflugzeugen die gängigste Bauweise. Der Rumpf besteht aus einem verschweißten oder vernieteten Metallgerüst, das außen mit Blech beplankt ist. Die Tragflächen bestehen aus einem, bei großen Flugzeugen auch mehreren, Holmen, an die die Rippen angenietet oder angeschraubt sind. Die Beplankung besteht wie beim Rumpf aus dünnem Blech. Bekannte Motorflugzeuge in Metallbauweise finden sich bei den Modellen von Cessna, aber es gibt auch reine Segelflugzeuge aus Metall, wie den LET L-13 BLANIK (Doppelsitzer), dessen Schwestermodelle L-

23 (BLANIK neu), L-33 (Einsitzerausführung des BLANIK), die ungarische GOBE (Doppelsitzer), die rumänische IS-28 (Doppelsitzer).

Die Metallbauweise wird seit einigen Jahren zunehmend durch die **Faser-Verbund-Kunststoff-Bauweise** (kurz: FVK-Bauweise) verdrängt. Das Flugzeug besteht aus Glas-, Aramid-, oder Kohlefasergewebe, die in Formen gelegt, mit Kunstharz getränkt und anschließend unter Wärme und Druck ausgehärtet werden. Auch hier wird nicht auf Spanten im Rumpf und Holme in den Tragflächen verzichtet.

3. Motorenkunde

Nach dem Funktionsprinzip kann man Zwei- und Viertaktmotoren unterscheiden. Nach den Kraftstoffen Diesel- und Benzinmotoren, nach der Zündung Selbstzünder und fremdgezündete Motoren (Druckwellenzündung bzw. Glühzündung sind Sonderformen), nach der Anzahl der Zylinder Ein- und Mehrzylindermotoren, nach der Bauform Reihen-, V-, Boxer- und Sternmotoren, nach der Gemischaufbereitung Vergaser- und Einspritzmotoren, nach der Gaszuführung Saugmotoren und aufgeladene Motoren.

Elektromotoren führen ein Nischendasein, die in Deutschland gefertigte Antares mit ihrem 50kW Außenläuferelektromotor mit Lithiumionakkutechnologie und Dreiphasenwechselrichter sei erwähnt (<http://www.lange-flugzeugbau.com>). In letzter Zeit kommen auch Flugzeuge mit einem FES (front electrical sustainer) System auf.

Viertaktmotor

Ein Viertaktmotor ist ein Hubkolbenmotor, der den adiabatischen Kreisprozess in vier Takten bewältigt. Ein Takt ist beim Hubkolbenmotor die Bewegung des Kolbens vom Stillstand in eine Richtung bis zum erneuten Stillstand. Die Pleuellwelle vollführt eine halbe Umdrehung während eines Taktes. Vom thermodynamischen Verfahren her unterscheidet man Ottomotoren (Fremdzündung) und Dieselmotoren (Selbstzündung). Beide Verfahren gibt es jedoch auch für Zweitaktmotoren.

Funktionsweise

- 1. Takt, Ansaugen: Der Kolben befindet sich im oberen Totpunkt und beginnt, sich abwärts zu bewegen. Das Einlassventil öffnet und Luft wird angesaugt. Sobald der Kolben den unteren Totpunkt erreicht, wird das Einlassventil geschlossen.
- 2. Takt, Verdichten: Der Kolben bewegt sich nach oben und verdichtet das im Zylinder befindliche Gas auf 10 bis 12 bar. Die Temperatur steigt auf 300 - 400 °C. Ist der Kolben nahe am oberen Totpunkt angelangt, wird das Gemisch mit der Zündkerze gezündet.
- 3. Takt, Arbeiten: Das Kraftstoff-Luftgemisch dehnt sich aufgrund des mit der Verbrennung verbundenen Temperaturanstiegs (auf ein kurzzeitiges Maximum von ca. 2000 °C) aus und bewirkt somit einen Druckanstieg im Verbrennungsraum (50 - 70 bar). Dieser Druck beschleunigt den Kolben in Richtung unteren Totpunkt, sodass beim Arbeitstakt mechanische Arbeit verrichtet wird.
- 4. Takt, Ausstoßen: Wenn der Kolben den unteren Totpunkt erreicht, wird das Auslassventil geöffnet. Durch die Aufwärtsbewegung des Kolbens wird das Abgas aus dem Zylinder geschoben.

Pro Zylinder gibt es mindestens ein Einlass- und ein Auslass-Ventil. Das Öffnen und Schließen der Ventile wird meist von der Pleuellwelle gesteuert. Diese wird von der Pleuellwelle angetrieben und läuft mit halber Pleuellwellendrehzahl (Untersetzungsverhältnis 2:1).

Vor- und Nachteile, Bedeutung

Vorteil des Viertaktmotors gegenüber dem Zweitaktmotor ist ein geordneter Gaswechsel durch die beinahe perfekte Trennung von Frischgas und Abgas, was auch einen geringeren Treibstoffverbrauch und besseres Abgasverhalten bedeutet. Im Gegensatz zum Zweitaktmotor verbrennt der Viertakter sein Schmieröl nicht. Es wird in einem geschlossenen Kreislauf von der kurbelwellengetriebenen Ölpumpe zu den Schmierstellen gepumpt und fließt über Kanäle zurück in die Ölwanne. Nachteil ist eine (zumindest theoretisch) geringere Leistungsdichte als bei Zweitaktmotoren und der mechanisch aufwändigere Aufbau des Motors (dies verursacht Mehrgewicht).

Eine besondere Bauform des Viertaktmotors ist neben dem hier beschriebenen Hubkolbenmotor der Kreiskolben- oder Wankelmotor, bei dem Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Ausstoßen während einer Kolbenumdrehung erfolgen. Vorteil: Fehlende Ventile, dadurch turbinenartiges Hochdrehen, Nachteile schlechte Brennraumform (idealerweise eine Halbkugel) und damit großer Wärmeverlust ins Kühlsystem, Unwucht des Kolbens (begrenzt die Leistung je Wankelscheibensystem) sowie Dichtprobleme des Kolbens gegen den Verbrennungsraum aber auch gegen das Motorengehäuse.

Zweitaktmotor

Ein Zweitaktmotor ist ein Verbrennungsmotor, üblicherweise in der Bauart als Hubkolbenmotor, der die zur Leistungserzeugung erforderlichen Arbeitsschritte im Gegensatz zum Viertaktmotor während einer Umdrehung der Kurbelwelle bewältigt. Ein Takt ist die Bewegung des Kolbens von einem sogenannten Totpunkt zum anderen; die Kurbelwelle vollführt daher während eines Taktes eine halbe Umdrehung.

Umgangssprachlich bezeichnet der Begriff „Zweitakter“ einen ventillosen Ottomotor, dessen Schmierung durch ein Benzin-Öl-Gemisch erfolgt, das im Arbeitstakt verbrannt wird.

Beispiele für Fahrzeuge mit Zweitaktmotor sind Motorräder sowie viele Klapptriebwerker (zumeist als Flautenschieber („Turbo“) ausgelegt.)

Allgemeine Prinzipien

Alle Zweitakter haben unabhängig von ihrer Bauart folgenden Prozessablauf:

- 1. Takt: Arbeit: Das Brennstoffgemisch wird gezündet und bewegt den Kolben vom oberen Totpunkt (OT) zum unteren Totpunkt (UT). Hierbei gibt es keinen Unterschied zum Viertakter. Die Besonderheit des Zweitakters liegt im anschließenden 2. Takt.
- 2. Takt: Ausspülen, befüllen, verdichten. Während der Kolben zum unteren Totpunkt dreht, wird durch die Freigabe des Überströmkanals das Abgas mit Frischgas ausgespült und gleichzeitig der Zylinder befüllt. Auf dem Weg zum oberen Totpunkt verschließt der Kolben den Auslass und die Verdichtung beginnt. Schließlich zündet das Gemisch, und der erste Takt beginnt wieder.
Um ein positives Spülgefälle zu erzeugen, ist eine Spülpumpe erforderlich. In der einfachsten Bauform wird hierzu das Kurbelgehäuse verwendet, aus dem der Brennraum über Überströmkanäle befüllt wird. Die Steuerung erfolgt hierbei meist vom Kolben selber, indem dieser Aus- und Einlasskanal sowie die Überströmkanäle überfährt und so öffnet oder schließt.

Vorteile des Zweitakters gegenüber dem Viertakter

- Der Arbeitsverlust der Ansaug- und Verdichtungstakte (Leerhub) entfällt; bei jeder Kurbelwellenumdrehung findet ein Arbeitstakt statt.
- Im Vergleich zum Viertakter kann mit demselben Hubraum die beinahe doppelte Arbeit geleistet werden. Dadurch ergibt sich ein potentiell niedrigeres Leistungsgewicht.

- Einfachere Motorsteuerung, da auf Ventile entweder ganz verzichtet werden kann oder diese wesentlich einfacher zu koordinieren sind, da der Ausstoß- und Ansaugtakt entfällt.
- Gleichförmigeres Drehmoment, keine Leertakte
- Hohe Hubraumleistung
- Lageunabhängigkeit: Bei Gemischschmierung gibt es keine Ölwanne, deshalb kann der Motor in jeder Position arbeiten

Nachteile des Zweitakters

- Bei höheren Drehzahlen eine größere thermische Belastung des Kolbens (und beim Ottomotor der Zündkerze), da die kühlenden Ansaug- und Verdichtungstakte fehlen.
- Bei Schlitzsteuerung hohe thermische Belastung im Bereich des Auslassschlitzes.
- Schlechtes Abgasverhalten, hoher Anteil an unverbrannten Kohlenwasserstoffen (hoher CH-Wert) beim Benzinmotor.
- Verlustölschmierung, damit Verölen des Motors und des LFZ
- Schmierung bei geringen Drehzahlen problematisch, da die Temperatur nicht hoch genug wird. Zudem kommt bei Gemischschmierung zuwenig Schmierstoff in den Motor.
- Auspuffanpassung extrem maßgeblich für Leistung
- Hohe Spülverluste und damit höherer spezifischer Verbrauch [l/PS/h]

Aufgrund dieser Charakteristika kommt der Zweitakter bei Anwendungen, wo Kosten, Baugröße oder Gewicht wichtiger sind als der Wirkungsgrad zum Einsatz

Andere Bauformen

Eine interessante Bauform ist der Gegenkolbenmotor mit zwei Kurbeltrieben pro Zylinder, der als schlitzgesteuerter Motor eine Gleichströmung ermöglicht. Er wurde von Junkers unter der Bezeichnung JUMO 205 während des zweiten Weltkrieges entwickelt und gebaut. Eine Entwicklung für Ultraleichtflugzeuge ist derzeit im Werden, für Motorssegler aber bedeutungslos.

4. Kühlung

Das Kühlsystem in einem Verbrennungsmotor führt die Wärme ab, die abgegeben wird, weil der (adiabatische) Kreisprozess nicht ideal verläuft (d.h. es wird neben Kraft und Geräusch auch noch Wärme produziert). Zu hohe Temperaturen würden den Motor schädigen (Abreißen des Schmierfilms, Verbrennen der Ventile) bzw. seinen Wirkungsgrad verschlechtern (hohe Ansaugtemperaturen – wenig Sauerstoff, da warme Luft dünner ist).

Als primäres Kühlsystem werden Luft- und Flüssigkeitskühlung (zumeist mit Wasser als Medium, gelegentlich auch mit Glykol [Rotax]) verwendet. Außerdem gibt es - meistens bei Luftkühlung - Kühler für das Schmiermittel, um den Motor auf Betriebstemperatur zu halten und eine sichere Schmierung zu gewährleisten.

Luftkühlung

Bei Flugzeugen wird der Fahrtwind (Staueffekt) genutzt. Die Zylinder und Zylinderköpfe luftgekühlter Motoren haben Kühlrippen, um die Wärme abgebende Oberfläche zu vergrößern.

Der Vorteil der Luftkühlung ist die einfachere und preiswerte Bauweise, zuverlässiger Betrieb und geringeres Gewicht. Bei tiefen Außentemperaturen gibt es keine Probleme

mit dem Einfrieren. Die Nachteile sind höhere Geräuschentwicklung und schlechteres thermisches Verhalten bei hohen spezifischen Leistungen.

Eine Sonderform der Luftkühlung wurde bei den Umlaufmotoren realisiert (der Motor dreht sich um die Kurbelwelle, die fix mit dem Brandschott verschraubt ist, der Propeller ist am Motorblock angeflanscht).

Kühlluftklappe

Da sich mit dem Übergang vom Steigflug zum Reiseflug die Anströmverhältnisse sowie die erforderliche Leistung ändern, besteht die Möglichkeit vom Führerraum des LFZ aus eine Kühlluftklappe zu öffnen und zu schließen. Dadurch kann die Kühlleistung den Erfordernissen angepasst werden.

Wasserkühlung

Moderne Viertaktmotoren werden zumeist wassergekühlt. Wasser hat einen gleichmäßigen Wärmetransport und kann eine große Wärmemenge abführen. Der Wasserkreislauf wird mit geringem Überdruck betrieben, damit Kühlmitteltemperaturen bis etwa 115 °C möglich sind. Für die Kühlung wird kaum Leistung benötigt, verglichen mit Kühlgebläsen bei der Luftkühlung. Der Motorblock, und damit die notwendigen Gussformen, sind leicht herzustellen. Die Wasserkühlung hält den Temperaturunterschied einzelner Motorteile, und damit den möglichen Verzug, gering. Dies wiederum erlaubt es, die Leistungsdichte von Verbrennungsmotoren zu erhöhen. Der Wassermantel wirkt geräuschkämmend.

Ein Flüssigkeitskühler, der früher oftmals aus Messing, heute zumeist aus Aluminium besteht, ist so angebracht, dass der Fahrtwind das ihn durchfließende Kühlmittel abkühlt. Von dort wird das Kühlmittel mit einer Kühlmittelpumpe in die Kühlmittelkanäle des Motors gepumpt.

Der Kühlkreislauf, und damit die Motortemperatur, wird durch ein Thermostatventil geregelt. Solange der Motor nicht seine Betriebstemperatur erreicht hat, ist das Thermostatventil geschlossen, und das Kühlmittel zirkuliert nur über Motor und Kühlmittelpumpe. Öffnet der Thermostat, so wird der Kühler mit in den Kreislauf eingeschlossen, und die eigentliche Kühlung setzt ein. Das Thermostatventil öffnet bei ca. 85°C.

Da sich Wasser bei Erwärmung ausdehnt, steigt der Wasserdruck. Um diesen Effekt auszugleichen, ist ein Ausgleichsbehälter/Ausdehnungsgefäß im Kühlkreislauf, der das überschüssige Kühlmittel aufnimmt und bei Bedarf wieder abgibt, erforderlich. Durch das Erhöhen des Systemdruckes steigt gleichzeitig der Siedepunkt des Kühlmittels.

Die Wasserkühlung hat auch Nachteile: Bei großer Kälte kann das Kühlmittel einfrieren und den Motorblock zum Platzen bringen. Um ein Einfrieren des Systems bei niedrigen Außentemperaturen zu vermeiden, müssen Zusätze in das Kühlmittel beigegeben werden.

Durch zusätzliche Fehlermöglichkeiten wie undichter Kühlkreislauf, Defekte an Wasserpumpe, Kühler, Thermostat sinkt die Zuverlässigkeit.

- Bei höher belasteten Motoren ist Kolbenkühlung durch Schmieröl üblich. Hiezu erhält das zugehörige Pleuellager eine Bohrung aus der ein Ölstrahl direkt ölwan-nenseitig auf den Kolbenboden spritzt.
- Wenn über die Kurbelgehäuseoberfläche nicht ausreichend Wärme abgeführt werden kann, wird für das Schmieröl eine Kühlung durch einen externen Ölkühler notwendig.

Um die Schmiereigenschaften des Motoröls zu erhalten, ist eine geregelte Wärmeabfuhr erforderlich. Als übliche Grenze gelten 120°C; darüber gilt als Faustregel, dass sich je 10°C Temperaturerhöhung die Lebensdauer des Öls halbiert. Aus diesem Grund besitzen viele Motoren Öl-Luft-Wärmetauscher oder einen Öl-Wasser-Wärmetauscher, je nachdem, an welches Medium die Wärme übertragen werden soll.

Ölkühlung

Auch das im Motor verwendete Öl überträgt Wärme und dient damit der Kühlung. Bei manchen Motoren erhält das Pleuellagergehäuse eine zum Kolbenboden weisende Bohrung. Der daraus austretende Ölstrahl trifft den Kolbenboden und die Zylinderwände unterhalb des Kolbenhemdes, nimmt Wärme auf und leitet sie ab. Das zurücklaufende Öl sammelt sich im Sumpf des Motors und wird von dort zumeist zum Ölkühler gepumpt, um dort die Wärme an ein anderes Kühlmedium ab-/weiterzugeben.

Weitere Kühlsysteme

Der im Motor verdampfende Kraftstoff entzieht die Energie, die er zum Verdampfen braucht seiner Umgebung und kühlt so teilweise den Ansaugtrakt. Ist die angesaugte Luft zu feucht und zu kalt bzw. Wasser im Kraftstoff, kann es bei Vergasermotoren zu Vereisung (und damit Leistungsverlust bis Totalausfall) kommen. Das Problem der Vereisung tritt bei Einspritzsystemen nicht oder kaum auf, da die Einspritzung und Zerstäubung unmittelbar vor den Einlassventilen des Motors stattfindet.

Hochleistungsmotoren bedienen sich eines Ladeluftkühlers bzw. der Wassereinspritzung um ein kühles Gasgemisch anzusaugen/zu erzeugen.

5. Das Treibstoffsystem

besteht aus

- Tank (muss mit dem LFZ leitend verbunden sein)
- Tankentlüftung
- Entwässerungshahn (Drainventil)
- Treibstoffleitung
- Absperrhahn
- Wasserabscheider/Grobfilter mit Schauglas
- Treibstoffförderpumpe (elektrisch/mechanisch)
- Gas/Leistungshebel
- Choker
- Gemischregelhebel (optional, bei Motorflugzeugen immer, bei Motorseglern erfolgt die Gemischregelung zumeist durch Unterdruck gesteuerte Vergaser bzw. die Einspritzelektronik)
- Vergaservorwärmung
- Vergaser/Einspritzanlage mit Luftfilter und Vergaservorwärmung, einschließlich Choke und Primer
- Treibstoffstandanzeige
- Treibstoffdurchflussanzeige zur Anzeige des aktuellen Treibstoffverbrauchs pro Stunde (manchmal auch mit einem Rechner ausgestattet, der die gesamte bisher durchgelaufene Menge anzeigt)
- Treibstoffdruckanzeige

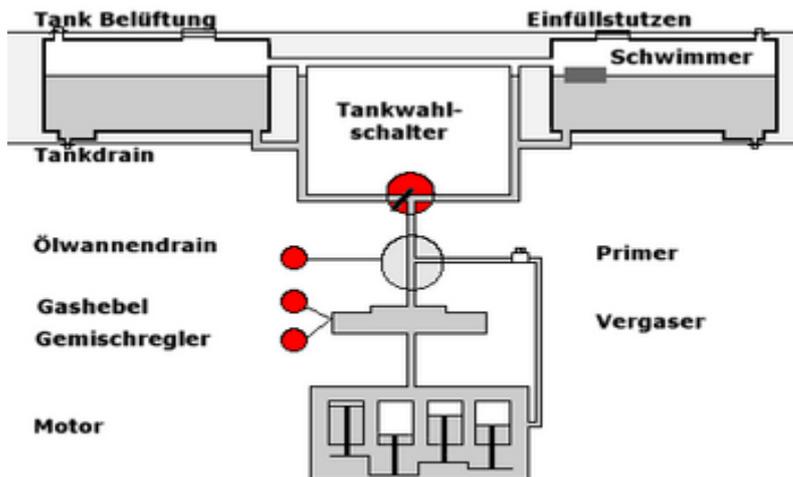
Bei aller Verschiedenheit der Kraftstoffsysteme lassen sich doch einige Grundprinzipien herausfinden. Die meisten modernen Flugzeuge sind mit zwei oder mehr Kraftstofftanks in den Tragflächen ausgestattet.

- Bei Hochdeckern und Schulterdeckern liegen die Tanks in den Tragflächen höher als der Motor. Daher kann der Kraftstoff entsprechend der Gravitation selbst

ständig zum Motor fließen. Es handelt sich also um Fall-Kraftstoffanlagen („gravity feed“).

- Bei Tiefdeckern, bei kunstflugtauglichen Flugzeugen und bei Turbinentriebwerken werden Kraftstoffpumpen benötigt. Beim Anlassen der Maschine muss mittels einer elektrischen Pumpe (engl. booster pump) Kraftstoff zum Vergaser oder der Einspritzpumpe gefördert werden.

Aufbau



Das Kraftstoffsystem, evtl. auch jeder einzelne Tank, besitzt am tiefsten Punkt ein Ventil (Drain), welches dem Piloten während des Vorflugchecks ermöglicht, das angesammelte Kondenswasser abzulassen. Die Tanks werden je nach Füllstand über ein Ventil von außen belüftet. Über dieses Ventil kann bei heißem Wetter und vollem Tank der sich ausdehnende Kraftstoff das System verlassen.

Die im Tank enthaltene Kraftstoffmenge wird im Cockpit für jeden Tank durch die **Tankanzeige** dargestellt. Es werden dafür Schwimmer, Peilstäbe, und Standrohre zur Messung verwendet. Bei elektrischer Fernübertragung werden Schwimmermesser als Messwertgeber benutzt. Der aktuelle Kraftstoffverbrauch wird durch den **Kraftstoff-Durchfluss-Messer** im Cockpit angezeigt. Die Ausführungsformen der Kraftstoffanzeigen sind vielfältig, von einem einfachen mit dem Tankinhalt kommunizierenden Gefäß (SF 25B und C), von außen sichtbarem Schwimmerstand (Fournier RF 5D) bis hin zu elektrischen bzw. elektronischen Anzeigen.

Ein **Tankwahl-schalter/Absperrhahn** im Cockpit erlaubt dem Piloten während des Fluges die Wahl zwischen den einzelnen Tanks bzw. das Absperrn, wenn das LFZ nicht benötigt wird¹. Der Pilot kann zum Ausgleich von Gewichtsungleichheiten zwischen den Flügel(tanks) den Wahlschalter so stellen, dass nur ein Tank entleert wird. Gewöhnlich, besonders aber in der Start- und Landephase, sollte der Schalter so gestellt werden, dass die Tanks in den Flächen gleichzeitig entleert werden.

Der **Choke** dient dazu, bei kalter Umgebungstemperatur die Luftmenge, die in den Motor gelangt zu begrenzen. Dadurch wird relativ mehr Kraftstoff angesaugt, das Gemisch wird fetter und leichter zündfähig. Mit dem fetteren Gemisch ist eine Leistungseinbuße verbunden.

Motorflugzeuge haben einen **Primer** eingebaut. Dies ist eine kleine Kolbenpumpe, die händisch vom Führersitz aus bedient eine kleine Menge Kraftstoff direkt vor das Einlassventil der einzelnen Zylinder spritzt. Dadurch überfettet das Gemisch und der Motor springt leichter an. Die Bedienung erfolgt gem. Betriebsanleitung.

¹ Am Spitzerberg bleiben die Tankwahl-schalter/Absperrhähne immer in geöffneter Position

Wenn die Flughöhe zunimmt, verringert sich die Luftdichte. Der Motor benötigt weniger Kraftstoff, wenn die Luft/Kraftstoffmischung konstant bleiben soll. Es ist also ein **Abmagern des Gemisches (engl. Leanen)** notwendig, andernfalls ist das Gemisch zu fett (zuviel Kraftstoff). Das führt nicht allein zu einem hohen Kraftstoffverbrauch, es können auch die Zündkerzen beschädigt werden. Das Abmagern des Gemisches geschieht bei Motorflugzeugen über den Gemischregler bzw. beim Motorsegler durch einen unterdruckgesteuerten Vergaser.

Bei Vergaservereisung ist die **Vergaservorwärmung** zu aktivieren. Dadurch wird über ein Schaltventil warme Luft aus dem Motorraum angesaugt. So kann im Ansaugtrakt entstandenes Eis abgetaut werden. Die Vergaservorwärmung ist im Rahmen der Startchecks zu prüfen. Im Ernstfall sollte sie zumindest eine Minute eingeschaltet bleiben, in jedem Fall aber solange bis der Motor wieder runder läuft. In Amerika bleibt sie bis zur sicheren Landung eingeschaltet. Der durch die gezogene Vergaservorwärmung verursachte Leistungsabfall (warme Luft hat weniger Sauerstoff/Volumen) beträgt etwa fünf Prozent.

Vor dem Vergaser sitzt der **Luftfilter**. Dieser filtert die angesaugte Außenluft, nicht jedoch die aus dem Motorraum bei gezogener Vergaservorwärmung angesaugte Warmluft.

Treibstoffaufbereitung im Motor

Je größer die Reaktionsoberfläche ist um so intensiver und gründlicher kann der Treibstoff mit der Luft reagieren/verbrennen. Zur Oberflächenvergrößerung des Treibstoffs wird

- er zerstäubt. Dies passiert durch ein direktes oder indirektes Einspritzsystem. Es kann aber auch teilweise (mit schlechterem Ergebnis) durch einen Vergaser erfolgen.
- er verdampft. Hierzu wird eine Treibstoffvorwärmung verwendet.
- zusätzlich Wasser/Methanol eingespritzt

Vergaser

Durch die Treibstoffförderpumpe bzw. die Fallhöhe kommt der Treibstoff mit etwa 0,2 bar Druck am Vergaser an. Der Treibstoff gelangt zuerst in die Schwimmerkammer. Dies ist eine Art Vorratsbehälter, der zugleich Regel- und Portionieraufgaben zu übernehmen hat. Erreicht der Treibstoffstand seinen Sollwert, unterbricht das Schwimmer-nadelventil den Zulauf weiteren Treibstoffes.

In die Schwimmerkammer ragt der Düsenstock mit der Hauptdüse hinein. An seinem anderen Ende steht der Düsenstock im durch den Vergaser gehenden Luftstrom. Aufgabe des Düsenstockes ist eine genaue unterdruck- und damit annähernd drehzahlabhängige Dosierung der in den Motor gelangenden Treibstoffmenge.

Der angesaugte Luftstrom wird im Vergaser stark eingeschnürt. Nach dem Kontinuitätssatz fällt der Druck (und in Folge die Temperatur). Dadurch beginnt der im Düsenstock stehende Treibstoff teilweise zu sieden, verdampft bzw. wird er zerstäubt.

Die Regelung des Luftdurchsatzes durch den Vergaser erfolgt durch einen Drallregler (Drosselklappe), der den Einlassquerschnitt verdeckt bzw. freigibt. Die Drosselklappe kann vom Führerstand des Flugzeuges über einen Seilzug bzw. ein Gestänge bedient werden. Bricht der Seilzug bzw. das Gestänge, sorgt eine Feder dafür, dass die Drosselklappe voll geöffnet wird und der Motor auf Maximalleistung geht.

Bei kalten Witterungsbedingungen muss das Gemisch angereichert (angefettet) werden, damit es leichter zündet. Dazu haben die meisten Vergaser eine Chokerklappe eingebaut. Es kann aber auch eine zusätzliche Düse vorhanden sein, durch die mittels einer elektrischen Hilfspumpe zusätzlich Kraftstoff eingespritzt werden kann.

Bei der **Kraftstoffeinspritzung** macht man sich die gleichen Prinzipien wie beim Vergaser zunutze. Liegt der Treibstoffdruck über dem umgebungsdruckabhängigen Siededruck, so bewirkt eine Absenkung des Umgebungsdruckes (nach der Einspritzung) ebenfalls ein Sieden, Verdampfen und Zerstäuben des Treibstoffes. Die so erzielten Ergebnisse sind gleichförmiger. Zudem ist die eingespritzte Treibstoffmenge besser dosierbar.

Mögliche Fehlerquellen des Kraftstoffsystems

1. Durch feuchte bzw. kühle Luft kann es im engsten Bereich des Ansaugrohres (und damit im Bereich der größten Strömungsgeschwindigkeit bzw. Abkühlung) zur **Vergaservereisung** kommen. Das Eis lagert sich radial an und verengt den Durchlass an dieser Stelle immer mehr – bis hin zum Motorstillstand. Anzeichen für beginnende Vergaservereisung sind rauerer Lauf und Leistungseinbuße. Abhilfe schafft das Ziehen der Vorwärmung. Zu Funktionsweise und Bedienung siehe dort.
2. Wenn der Schwimmer hängen bleibt, läuft der Vergaser über. Beim Starten bzw. Abstellen eines warmen Motors, der zurückschlagen kann, wird ebenso Benzin in den Luftfilter geschleudert und kann einen **Vergaserbrand** verursachen. Abhilfe schafft das Schließen des Treibstoffhahnes und Vollgasgeben. Dadurch werden die Flammen in den Motor gesaugt und der Brand erstickt.
3. Bei ungünstiger Montage des Vergasers bzw. der Einspritzanlage kann es bei abgestelltem warmen Motor zu **Dampfblasenbildung** in Schwimmerkammer, Düsenstock, Leitungen und Einspritzdüsen kommen → der Motor springt nur unwillig an. Start nach Betriebsanleitung.
4. Die Kraftstoffanzeigen im Cockpit unterliegen einer Reihe von Anzeigefehlern. Der Pilot sollte daher die restliche Spritmenge mehrfach im Fluge in Bezug auf Leistungseinstellung (power setting) und Flugzeit überprüfen².
 - Der Kraftstoffvorrat wird in Volumeneinheiten angegeben. Für eine Kraftstoffvorratsmessung ist die Kraftstofftemperatur bei der Berechnung der Restflugzeit wichtig.³
 - Eine korrekte Angabe des Vorrats ist nur im unbeschleunigten Zustand möglich. Zu beachten ist weiteres die richtige Lage des LFZ bei Beurteilung des angezeigten Wertes. (Sporn am Boden oder in Fluglage, geneigter Untergrund)
 - Die Kraftstoffmengenanzeige ist zumindest in Kleinflugzeugen relativ ungenau. Da außerdem z.B. der Schwimmer hängen kann, ist vor Antritt eines Fluges unbedingt entweder eine Sichtprüfung des Tankinhaltes⁴ durchzuführen oder die für den Flug benötigte Kraftstoffmenge einzufüllen, bzw. voll zu tanken

Treibstoff-Luft-Gemisch

In einem Verbrennungsmotor verbrennt das Treibstoff-Luft-Gemisch nur bei einem Gewichts-Verhältnis von 1:14,7 vollständig (1,0 kg Kraftstoff auf 14,7 kg Luft; dies entspricht einem Volumenverhältnis von 1:200)⁵. Bei diesem Verhältnis reagiert der Kraftstoff mit dem Sauerstoff (O₂) der Luft vollständig. Man spricht von einem stöchiometrischen Verhältnis.

² Im Rahmen der Vorflugplanung ist die Einrechnung und Mitnahme von Kraftstoffreserven (je nach Flugregel unterschiedlich) zwingend vorgeschrieben

³ Wird bei AOC Tankvorgängen auch auf die Normtemperatur von 15°C zurückgerechnet.

⁴ Bei manchen Flugzeugen gibt Winkel im Tankstutzen (Cessna, Piper) bzw. Peilstäbe bzw. einen mechanisch mit einem von außen sichtbaren Peilstab verbundenen Schwimmer (Fournier RF 5D).

⁵ bei vollständig verdampftem Treibstoff [reines Oktan angenommen]

Davon kann durch einen höheren Kraftstoffanteil („fett“, „reich“, englisch: rich) oder einen höheren Luftanteil („mager“, „arm“, englisch: lean) innerhalb bestimmter Grenzen abgewichen werden. Das Gemisch sollte allerdings nur so weit abgemagert werden, dass es noch zündfähig bleibt (bis ca. 1:30).

Ein Flugzeug ist in größeren Höhen erheblich geringeren Luftdrücken (und damit geringeren Sauerstoffgehalten/Volumen) ausgesetzt, was eine (relative) Anreicherung des Gemisches bewirkt. Daher ist ein manuelles oder automatisches Eingreifen in die Gemischbildung notwendig. Die optimale technische Lösung wäre, mit Hilfe eines Laders mehr Luft (unter Druck) in den Zylinder zu pressen - so würde die volle Leistung des Motors erhalten bleiben. Die zweitbeste technische Lösung ist das nachstehend besprochene Abmagern (Leanen).

Unter **Leanen** versteht man das Abmagern des Kraftstoff-Luft-Gemisches bei Ottomotoren, die als Flugmotor in Flugzeugen eingesetzt werden. Durch das Leanen wird der Kraftstoffanteil des Kraftstoff-Luft-Gemisches, das dem Motor zugeführt wird, verringert, was den Kraftstoffverbrauch senkt und damit die Reichweite erhöht. Das Abmagern erfolgt bei den meisten Modellen manuell durch den Piloten mittels des Gemischhebels (mixture control; condition lever) und seltener automatisch.

Hinzu kommt, dass Flugzeugmotoren in der Regel bei niedrigeren Umgebungstemperaturen fliegen. Daher arbeitet die Kühlung effektiver. Eine leistungsfähige und damit intensive Kühlung wird nur beim Start unter voller Last und beim Rollen (fast kein Fahrtwind) benötigt. Ein fetteres Gemisch unterstützt dann durch seinen höheren Kraftstoffanteil die (Verdampfungs-)Kühlung des Motors und besonders der Einlassventile.

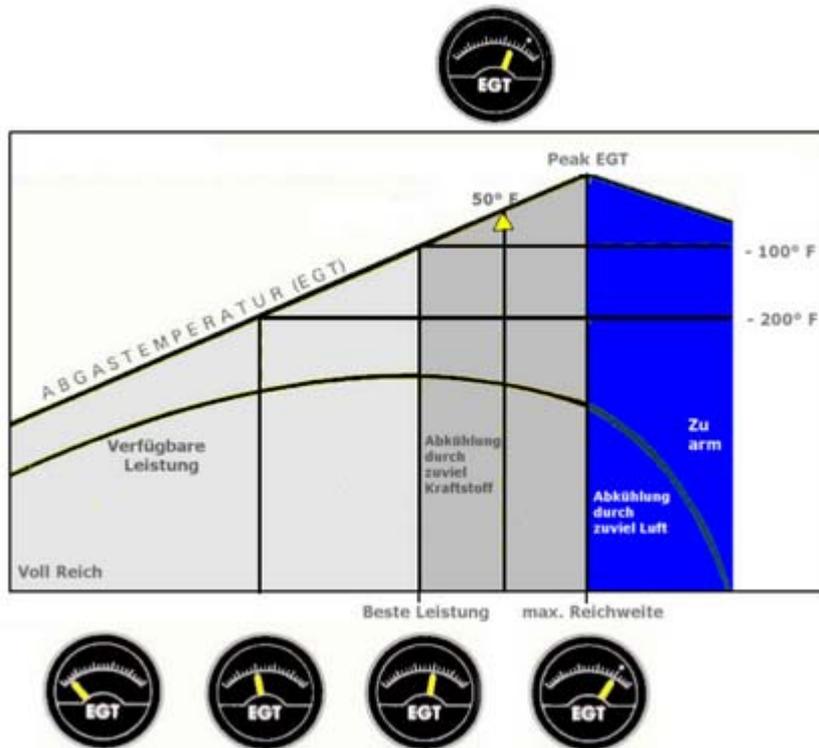
Man akzeptiert den damit verbundenen Leistungsabfall, um den Zündzeitpunkt in einem unkritischen, späten Bereich zu halten. Durch die schlechtere Verbrennung sinkt die Zylinderkopftemperatur (CHT cylinder head temperature) bei überfettetem Gemisch. Durch die Verdampfung des überschüssigen Treibstoffes wird zudem die Motortemperatur abgesenkt.

Die Veränderung der Gemischzusammensetzung dient dazu, den Motor unter allen Flugbedingungen vor Schaden durch Überhitzung oder Unterkühlung zu bewahren und die beste Kombination aus hoher Leistung, geringem Treibstoffverbrauch und bester Reichweite zu finden. Die Kontrolle, ob der Motor richtig eingestellt wird, kann durch die EGT-Anzeige (exhaust gas temperature - dt. Abgastemperaturmesser) im Cockpit erfolgen.

Neben der manuellen Gemischeinstellung gibt es bei manchen Flugmotoren auch eine automatische Höhenkorrektur, so zum Beispiel bei Einspritzmotoren. Aber auch Vergaser können mit Hilfe einer Unterdruckdose ein höhenkorrigiertes Gemisch bereitstellen, was den Piloten von dieser Aufgabe entlastet (so beim SF 25C).

Ablauf des (manuellen) Leanens

Für Kolbenriebwerke mit geringer Leistung und ohne Kontrolle durch eine EGT-Anzeige gilt, dass das Gemisch solange verarmt wird (den roten Gemischreglerknopf langsam herausziehen), bis der Motor rauh läuft, dann erfolgt eine Wiederanreicherung (roten Gemischreglerknopf zwei oder drei Umdrehungen eindrehen), bis der Motor rund läuft.



Moderne Flugmotoren mit höherer Leistung benötigen ein anderes Verfahren. Hier wird zur Gemischregulierung das Abgastemperatur-Messgerät (EGT) verwendet. Etwa fünf Minuten nach Erreichen der Reiseflughöhe, wenn sich die Triebwerkstemperaturen stabilisiert haben, wird das Gemisch mit dem Gemischhebel solange verarmt, bis die Abgastemperatur ihren Spitzenwert (engl. peak EGT) erreicht.

Diesen Spitzenwert muss man sich merken. Bei den meisten EGT ist neben dem eigentlichen Temperaturanzeiger ein zusätzlicher, verstellbarer Bezugsanzeiger (engl. reference pointer) vorhanden. Dieser wird auf den angezeigten Spitzenwert eingestellt. Danach wird das Gemisch wieder soweit angereichert (roten Gemischreglerknopf eindrehen), bis ein Abgastemperaturabfall von 50° F (Fahrenheit) eintritt. Das entspricht 2 Teilstrichen der Skala des EGT. Damit ist eine Verbrennungs- und Abgastemperatur gegeben, die auch bei Dauerbetrieb dem Motor keinen Schaden zufügt. Der Kraftstoffverbrauch ist sehr günstig, Reichweite des Flugzeugs und Leistungsgrad des Triebwerks sind optimal, aber nicht maximal.

1. Alternative:

Gelegentlich wird auch für die jeweilige gewählte Leistungseinstellung und die vorgefundenen Umgebungswerte ein zugehöriger, korrekter fuel flow (Treibstoffdurchfluss) anhand einer Tabelle eingestellt. Diese Methode funktioniert auch ohne Kontrolle durch einen Abgastemperaturmesser. Die Eingangsparameter für diese Tabelle sind Drehzahl und Saugrohr(unter)druck.

2. Alternative:

Zum Erreichen besserer Verbrauchswerte kann das Gemisch bei Einspritzmotoren auf den Spitzenwert der EGT abgemagert werden. So wird ein minimaler Benzinverbrauch erreicht.

Betriebsbereiche

Man kann drei Betriebsbereiche unterscheiden, bei denen unterschiedliche Gemischeinstellungen erforderlich sind:



EGT mit Bezugsanzeiger

Betrieb von Leerlauf bis ca. 50 % Motorleistung

Dieses ist der Bereich, der auch bei einem Anflug ohne Motorleistung eingestellt wird. Der Motor läuft mit zu geringer Betriebstemperatur, evtl. mit zu geringer Drehzahl und mit zu reichem Gemisch. Die Folge sind Kaltschlamm- und gefährliche bleihaltige Ablagerungen bei längerer Dauer. Daher sollte dieser Betriebsbereich gemieden werden. Wenn das nicht möglich ist, muss die höchste vertretbare Leistung eingestellt und anschließend das Gemisch abgemagert werden. Ausnahme: Im Landeanflug darf nicht geleant werden. Es muss hier vollreiches Gemisch eingestellt werden, um gerüstet zu sein, falls ein Durchstarten nötig wird.

Betrieb mit Motorleistungen von 50 % bis 75 %

Das ist im wesentlichen der Reiseflug. In diesem Bereich muss immer geleant werden, bei Flugzeugen mit Festpropeller bis zur maximalen Drehzahl und bei Constant-Speed-Propeller bis zur maximalen Geschwindigkeit. Das Triebwerk läuft sparsam und in einem günstigen Temperaturbereich. Es besteht nur eine geringe Tendenz zu Ablagerungen, keine thermische Überlastung, maximaler Selbstreinigungseffekt der Zündkerzen, geringster Schadstoffausstoß. Dieser Bereich sollte gewählt werden, wann immer vertretbar.

Betrieb mit einer Motorleistung über 75 %

Diese Leistung wird gebraucht bei Start und Steigflügen. Sie sollte vom Motor nur bei vollreichem Gemisch abgerufen werden. Der überschüssige Kraftstoff ist für die interne Kühlung (hier im Besonderen der Einlassventile) erforderlich. Durch Verarmen besteht die Gefahr der Überhitzung und von klopfender Verbrennung („Klingeln“) und damit Motorschäden. Das vollreiche Gemisch führt aber auch zu größeren Ablagerungsraten und zu unnötig hohem Kraftstoffverbrauch.

Risiken

1. Beim Start und Steigflug (mit > 75 % Leistung) von hoch gelegenen Flugplätzen kann wegen der geringeren Luftdichte vollreiches Gemisch zu fett sein, weshalb der Motor rau und mit verminderter Leistung läuft. Dann sollte der Pilot gerade soviel abmagern, bis der Motor wieder rund läuft. Bei magerer Gemischeinstellung kann es zur Überhitzung des Motors (der Kraftstoff im Gemisch kühlt die Einlassventile) kommen.
2. Vor jeder Leistungserhöhung vollreiches Gemisch einstellen.
3. Beim Abstieg aus großen Höhen Gemischeinstellung sorgfältig nachstellen (sonst bleibt der Motor stehen)
4. Im Endanflug Gemisch auf vollreich einstellen

Zum Anreichern (engl. full rich) wird der Gemischhebel (rot) hineingedrückt. Zum Abmagern wird der Gemischhebel (rot) sehr langsam herausgezogen. Zum Stoppen des Motors wird der Gemischhebel (rot) ganz herausgezogen. Das Gemisch magert dann völlig ab, es ist nur noch Luft und kein Treibstoff mehr im Gemisch und der Motor bleibt stehen. Im Gegensatz zum Motorsegler, wo der Motor durch Abstellen der Zündung ausgemacht wird, wird der Motor eines Motorflugzeuges durch extremes Leanen ausgeschaltet.

6. Das Abgassystem

besteht aus den Auspuffkrümmern, dem Sammler, dem Auspufftopf sowie dem Endrohr (Auspuffrohr). Es dient

- zur geordneten Ableitung der Abgase des Motors ins Freie
- Vermeidung von Spülverlusten am Zweitakter
- Leistungssteigerung beim Zweitakter (Resonanzauspuff)
- In Zusammenwirken mit einem Luft/Luftwärmetauscher als Heizung

Durch Undichtigkeiten der Auspuffanlage kann es zu einem Eindringen von Kohlenmonoxid bzw. Kohlendioxid in die Kabine und einer dadurch hervorgerufenen Bewusstlosigkeit der Besatzung kommen. Die Dichtigkeit des Auspuffsystems wird durch den Mechaniker in regelmäßigen Abständen geprüft. Um zwischen den einzelnen Prüfungen auch Sicherheit zu haben, kann man käufliche Indikatorstreifen in der Kabine anbringen, die durch Verfärbung auf einen erhöhten und gefährlichen Kohlenmonoxid- bzw. Kohlendioxidgehalt der Kabinenluft hinweisen.

7. Zündsystem

Zur Erzeugung des Zündfunken wird das Zündsystem benötigt. Der **Zündmagnet** erzeugt im Gegensatz zu **elektrisch/elektronischen Zündsystemen** die benötigte Primärspannung selbst. Die in der Zündspule induzierte Spannung ist von der Stärke des Magneten, der Anzahl der Windungen sowie von der Geschwindigkeit mit der der Magnet und die Spule relativ zueinander bewegt werden abhängig. Beim Anstarten von Hand bzw. mit dem Elektrostarter ist die Drehzahl niedrig, der Zündfunke zu schwach. Daher wird der Magnet durch eine federbelastete Klinke zurückgehalten und bei Rasten des Schnappers freigegeben und durch die Feder der Klinke beschleunigt. Die höhere Relativgeschwindigkeit des Magneten induziert ausreichend Strom in die Zündspule, der Motor kann anspringen und erreicht mit der Standdrehzahl ausreichend Induktion, um ohne den Schnapper weiterzulaufen⁶. Den Schnapper hört man beim langsamen Durchdrehen des Triebwerkes am deutlichen Klacken (bei Vierzylindermotoren zweimal je Propellerumdrehung).

Beim händischen Durchdrehen/Anwerfen des Triebwerkes am Propeller darf nicht in den **Propellerkreis** gegriffen werden. Angreifen nur vom vorne (vom Lehrer zeigen lassen).

Bei manchen Triebwerken sind zwei von einander unabhängige Zündsysteme (sogar zwei Kerzen pro Zylinder) eingebaut. Man spricht von einer **Doppelzündung**.

Glühzündungen sind bei Kolbenriebwerken unerwünscht, da sie nicht kontrolliert ablaufen.

Nach Einschalten der Zündung am **Zündschalter/schloss** ist die Zündung scharf. Bei elektronischen Zündanlagen liegt die Batteriespannung am Zündsystem an, bei Magnetzündanlagen ist das Abstellkabel von Masse getrennt.

Das **Abstellkabel** dient zum Kurzschluss des von den Magneten/dem Schnapper erzeugten Stromes auf Masse. Dadurch wird die unbeabsichtigte Bildung eines Hochspannungsfunken zwischen den Elektroden der Zündkerze und ein unbeabsichtigtes Anstarten bzw. Zurückschlagen des Motors verhindert.

Der **Zündverteiler** leitet die von der Zündspule/den Zündmagneten erzeugte Hochspannung selektiv an den richtigen Zylinder weiter. Dazu wird er entweder von der Kurbelwelle oder der Nockenwelle angetrieben.

Das **Zündgeschirr** leitet den Hochspannungsstoss vom Zündverteiler zur richtigen Zündkerze weiter.

⁶ Bei ca. 300 U/min kuppelt der Schnapper über eine Fliehkraftkupplung aus.

Die **Zündkerze** ragt ein wenig in den Zylinder/Verbrennungsraum hinein. Der zwischen der Mittel- und der Masselektrode der Zündkerze überspringende Funken zündet das im Zylinder befindliche Gemisch – die Verbrennung beginnt.

8. Turbolader

Ziel der Leistungssteigerung durch genaues Einstellen und Verbessern des Verbrennungsvorganges in einem Motor ist die Erreichung einer Verbrennung in stöchiometrischen Verhältnis. Mit Erreichen dieses Zustandes gewinnt der Motor aus einer gegebenen Luft- und Treibstoffmenge ein Maximum an Energie. Vergleicht man das Volumen des unverbrannten flüssigen Treibstoffes mit der zu seiner Verbrennung erforderlichen Luftmenge (ca. 1:200 nach Volumen) kommt man unweigerlich zum Schluss, dass der primär leistungsbestimmende Faktor der Luftdurchsatz ist. Ihn gilt es zu erhöhen. Dies kann durch Erhöhung der Drehzahl des **Saugmotors** oder durch Aufladung geschehen.

Ein **Turbolader**⁷ dient zur Leistungssteigerung von Benzin- und Dieselmotoren durch Erhöhung des Luftmengen- und in Abhängigkeit von der Auflademenge des Kraftstoffdurchsatzes pro Arbeitstakt.

Funktion

Ein Verbrennungsmotor ohne Turbolader ist in seiner Leistungsfähigkeit durch das Volumen des Hubraums begrenzt. Zur Leistungssteigerung gibt es entweder die Möglichkeit, den Hubraum zu vergrößern die Drehzahl zu erhöhen, oder die Luft nicht durch die Kolben ansaugen zu lassen (Saugmotor), sondern sie komprimiert in die Brennkammer zu fördern. Dadurch kann auch die Menge an Kraftstoff erhöht werden, was eine Leistungssteigerung aber auch eine erhöhte Abgas-Belastung und Wärmeentwicklung zur Folge hat.

Ein Turbolader besteht aus einer Arbeitsturbine im Abgasstrom, die einen Verdichter (Axial-, Diagonal- oder Radialverdichter – ein oder mehrflutig) im Ansaugtrakt antreibt. So ist es möglich, die Zylinder mit komprimierter Luft zu füllen und so mehr Verbrennungsluft pro Arbeitstakt zur Verfügung zu stellen.

Diesen Prozess nennt Ladung. Die durch die Verdichtung erwärmte Luft kann zusätzlich vor dem Zylinder gekühlt werden. Dies geschieht durch einen Ladeluftkühler (LLK), (engl. Intercooler). Sinn ist, den Füllungsgrad zu erhöhen, da kühle Luft eine größere Dichte aufweist. Somit steht mehr Sauerstoff für den Verbrennungsvorgang/Arbeitstakt zur Verfügung.

Durch Turbomotoren können gegenüber unaufgeladenen Motoren bei gleicher Baugröße größere Leistungen erzielen, ohne dass andere Maschinenparameter geändert werden müssen. Da die Abgase im Turbolader weiter entspannt werden, steigt der Gesamtwirkungsgrad einer Maschinenanlage durch den Einbau eines korrekt ausgelegten Turboladers, insbesondere durch die Verringerung der Ansaugverluste.

Es treten jedoch höhere Belastungen der Einzelkomponenten (Motorblock, Zylinderkopf, Zylinderkopfdichtung, Lager, Zylinder, Pleuel, etc....) auf. Diese höhere Leistung erfordert oft auch ein größer dimensioniertes Kühlsystem. Turbomotoren müssen bevor sie abgeschaltet werden, auf eine bestimmte Temperatur heruntergekühlt werden, damit es durch Temperaturschwankungen nicht zu Spannungen im Material des Turboladers kommt.

Eine weitere Gefahr besteht darin, dass das Turboladergehäuse schneller auskühlt und sich somit auch stärker zusammenzieht als das Laufrad. Dies führt zum „Draufsetzen“ des Gehäuses auf das Laufrad, also einer Klemmung und damit meist einer Zerstörung des Laufrades. Plötzliches Abstellen des Motors aus hohen Drehzahlen führt primär zu

⁷ Es gibt verschiedene Ladersysteme, eines davon ist der Turbolader; da der Antrieb zumeist aus dem Abgasstrahl erfolgt, beschränken sich die Ausführungen auf den Abgasturbolader – umgangssprachlich „Turbo“ genannt. In der Fliegersprache wird unter Turbo gelegentlich ein Klapptriebwerk, welches nicht eigenstarttauglich ist, verstanden (Flautenschieber).

einer Unterbrechung der Druckölversorgung des Turboladerlagers, einem Zusammenbruch des in der Passung dieses Lagers zum Funktionieren erforderlichen Schmierstoffkeils und damit zu einem zu schnellen Übergang von Flüssigkeitsreibung zu Festkörperreibung. Die Welle des Turboladers „reißt“ sich in ihrem Gleitlagersitz fest.

Genauer zum richtigen Anstarten und Abstellen eines turboaufgeladenen Motors siehe Betriebsanleitung bzw. Motorhandbuch des betreffenden Flugzeuges.

Anwendung bei Ottomotor

Bei Ottomotoren mit äußerer Gemischbildung ist der Ladedruck durch die entstehende Verdichtungswärme des Treibstoff-Luftgemisches im 2. Takt begrenzt. Eine Überschreitung bedeutet ungesteuerte Selbstentzündung und damit Motorklopfen oder Motorklingeln. Dem kann durch eine Ladeluftkühlung, Wassereinspritzung und Verringerung der Verdichtung begegnet werden⁸.

Die Aufladung von Ottomotoren hat sich lediglich in manchen Bereichen der Luftfahrt in nennenswertem Umfang etabliert. Dort dient die Aufladung primär dazu, den mit der Flughöhe zunehmenden Leistungsverlust von Saugmotoren auszugleichen. Die Leistung eines aufgeladenen Motors lässt sich demgegenüber durch Anpassen des Ladedrucks bis zu einer bestimmten Höhe konstant halten. Das ermöglicht das Fliegen in größeren Höhen.

Ladedruckregler

Prinzipbedingt dreht sich die Welle des Abgasturboladers durch die antreibenden Abgasmengen mit steigender Motordrehzahl immer schneller. Um einen kritischen Drehzahlbereich nicht zu überschreiten und somit die Aufladung des Motors zu begrenzen, bedarf es eines Regelventils (Wastegate, Bypassventil oder Ladedruckregler genannt). Es wird damit der frischluftseitige Druck zwischen 0,2 bis 2,2 bar begrenzt. D.h. die zur weiteren, dann gefährlich werdenden Druckerzeugung überflüssige Abgasmenge wird vor dem Turbinenrad weggeleitet, geregelt an der Turbine vorbeigeführt und energetisch ungenutzt direkt in die Abgasanlage geführt.

Diese Komponenten sind aufgrund ihrer Position im heißen Abgasstrom anfällig. Alternativen ohne Abgasantrieb sind Compresx-Druckwellen-Lader, Kompressor-Modelle, Schraubenlader, elektrisch bzw. mechanisch angetriebene Turboladersysteme, Resonanzansaugsysteme.

Purgevalve

Aufgrund konstruktiver Merkmale des Motors bzw. des Ansaugsystems kann es beim Hochbeschleunigen des Turboladers zu einem größeren Druck hinter dem Turbo als vor dem Turbo kommen. Dies würde ein Zurückströmen der Luft und einen Strömungsabriss im Turbolader bewirken („Kompressorstall“). Der Kompressorstall verrät sich akustisch durch ein knatterndes Geräusch des Laders. Er kann das weitere Hochdrehen verhindern, aber auch bis zu einer Zerstörung des Laders führen.

Wenn der Arbeitspunkt des Turboladers aber jenseits dieses Drehzahlbereiches gewählt wird, muss beim Hochbeschleunigen nach dem Turbolader verdichtete Luft abgelassen bzw. auf die Ansaugseite zurückgeleitet werden. Dies geschieht durch ein sogenanntes **Purgevalve**. Ein derartiges System ist z.B. in der Pilatus PC-6 Turbo Porter verbaut.

Umluftventil

Um das Ansprechverhalten des Motors nach dem "Gas wegnehmen" zu verbessern, wird der "überschüssige" Ladedruck schon vor dem Verdichterrad umgeleitet und direkt in den Ansaugkanal geleitet. Dies regelt das Umluftventil (sonst kann die überschüssi-

⁸ Die amerikanische P49D Thunderbolt hatte zu Beginn des zweiten Weltkrieges einen 52 Zylinder-4 Scheiben Sternmotor mit 2800 PS Leistung. Durch Turboaufladung, Wasser, Methanol- und Nitromethaneinspritzung konnte die Leistung bis Kriegsende auf ca. 4500 PS gesteigert werden.

ge Luft die Verbrennung ausblasen). Wenn die Drosselklappe bei Benzinmotoren geschlossen wird, stößt die sich in Bewegung befindliche Luftsäule auf diese. Die Luftsäule kehrt um und läuft wieder vor das sich drehende Verdichterrad des Turboladers und bremst dieses stark ab. Um das Abbremsen zu verhindern, wird die Luftsäule (Drucksäule) abgelassen. So kann sich der Lader frei weiterdrehen und der Druckaufbau wird verkürzt. So wird ein schnelleres Beschleunigen des Turboladers erzielt.

9. Schmiersystem

Gemischtschmierung

Die Mischungsschmierung wird noch bei leichten Zweitaktmotoren vorgenommen. Hier wird zum Kraftstoff das notwendige Schmieröl beigegeben. Es gelangt mit dem Kraftstoff an die Schmierstellen und nimmt anschließend am Verbrennungsprozess teil.

Frischölschmierung

Bei der Frischölaufomatik, auch Durchlaufschmierung, Verbrauchsschmierung genannt, befördert eine Pumpe das separat mitgeführte Schmiermittel an die betreffenden Stellen. Anschließend wird es mitverbrannt. Die Frischölschmierung wird bei großen Zweitaktmotoren, wie 2-Takt-Schiffsdieselmotoren, angewendet.

Druckumlaufschmierung, Nassumpfschmierung

Anwendung: Viertaktmotor; Hier wird das notwendige Schmiermittel unterhalb der Kurbelwelle in der Ölwanne mitgeführt. Die Ölpumpe saugt das Öl an, und befördert es durch Kanäle an die Schmierstellen. Die Kurbelwelle sorgt durch ihre Drehbewegung für eine zusätzliche Verwirbelung und Kühlung des Kolbens von unten. Das abtropfende Öl wird wieder in der Ölwanne gesammelt. Die Druckumlaufschmierung ist auch unter dem Namen Nassumpfschmierung bekannt, als Gegensatz zur unten erklärten Trockensumpfschmierung.

Trockensumpfschmierung

Anwendung: Viertaktmotor; Hier wird, ähnlich wie bei der Frischölschmierung, das Schmiermittel in einem separaten Behälter mitgeführt und durch die erste Ölpumpe (Druckpumpe) an die Schmierstellen befördert. Das abtropfende Schmieröl wird mittels einer zweiten Pumpe aus dem Ölsumpf abgesaugt (Saugpumpe) und zurück zum Ölbehälter gepumpt. Der Vorteil der aufwändigeren Trockensumpfschmierung liegt in der niedrigeren Bauweise der Ölwanne und somit einer geringeren Motorhöhe, dadurch kann der Motor tiefer eingebaut werden, wodurch der Schwerpunkt tiefer liegt, höheren Ölmenge (längere Ölwechselintervalle, bessere Kühlung), auch in Schräglage und bei hoher Zentrifugalkraft wird keine Luft oder Ölschaum von der Ölpumpe angesaugt.

Der Nachteil bei der Trockensumpfschmierung ist allerdings, dass sie wesentlich kostenaufwändiger ist als die Druckumlaufschmierung.

Der Ölstand muss im Gegensatz zur Druckumlaufschmierung meist bei laufendem Motor oder in einem Ausgleichsbehälter abgelesen werden.

10. Luftfahrttreibstoffe

sind durch Einfärbung gekennzeichnet.

- Kerosin Jet A1 farblos
- AVGAS 100LL blau
- MOGAS (entspricht SuperPlus) gelb oder rot

AvGas (Aviation Gasoline) wird heute hauptsächlich in den technisch stark veralteten Flugmotoren von Lycoming und Continental Motors US-Amerikanischer Bauart verwendet. Diese benötigen aufgrund ihrer Bauart, die fast unverändert auf die 1940er und

1950er Jahre zurückgeht, verbleites Benzin mit einer hohen Oktanzahl. Diese Voraussetzungen erfüllt AvGas als verbleites Benzin mit 100 Oktan.

Gab es noch vor wenigen Jahren unterschiedliche Sorten von AvGas, ist inzwischen weltweit nur noch die Sorte AvGas 100 LL erhältlich. Dabei handelt es sich um gewöhnliches, leicht verbleites (LL = Low Lead) Benzin mit einer Oktanzahl von 100. Des Weiteren enthält es noch diverse Zusätze, um dem Ausdampfen durch abfallenden Druck in größeren Flughöhen, sowie der Biokorrosion vorzubeugen. Früher gab es sowohl hochverbleite Varianten als auch Varianten mit geringerer Oktanzahl.

AvGas wird nur von Flugzeugen mit Ottomotor verwendet. Turbinengetriebene Flugzeuge und Flugzeuge mit Dieselmotoren benötigen Kerosin - ein leichtes Petroleum. Es werden JP-1 bis JP-4 (militärische Versionen, bei denen ein niedriger Flammpunkt wichtig ist) oder Jet A-1 (Kraftstoff für Zivilluftfahrt) angeboten.

Aufgrund des hohen Preises für AvGas verbreitet sich in den letzten Jahren in Europa verstärkt MoGas (Kurzform für Motor Gasoline). Dieses entspricht genau Tankstellen-Superbenzin mit einigen Zusätzen. Einige der klassischen Flugmotoren (etwa viele Versionen des Vierzylinders Lycoming O-320, wie er in vielen Piper- und Cessna-Typen eingebaut ist) können ohne jegliche Modifikation mit MoGas betrieben werden, andere müssen aufwendig modifiziert werden. Auch deshalb hält sich der Trend noch in Grenzen.

Die Dichte von MoGas ist geringer als die von AvGas. Dadurch erzeugen manche Vergaserschwimmer zuwenig Auftrieb, was zu einem Überlaufen des Vergasers, insbesondere in Zusammenhang mit Fallkraftstoffanlagen führen kann (Gefahr eines Vergaser-/Motorraumbrandes).

MoGas ist nicht so höhenfest wie AvGas, d.h. es siedet bereits in geringerer Höhe als AvGas. Die mit dem Sieden des Kraftstoffes einhergehende Dampfblasenbildung kann zu Motorstörungen bis hin zu einem Absteller führen.

11. Das elektrische System

besteht aus

- Batterie. Zumeist 12V Bleigelbatterie.
- Hauptschalter
- Lichtmaschine (nahezu baugleich mit den Ausführungen in PKWs)
- E-Starter (Anlasser) – das früher übliche Anwerfen mit Hand bzw. mittels Schnurzugstarter ist heute nicht mehr gebräuchlich⁹
- Sonstige Verbraucher
- Es kommen sowohl Schmelzsicherungen als auch Circuit breaker zum Einsatz. Circuit breaker springen bei einer Überlast heraus und können wieder gesetzt werden. Zudem können sie wie Schalter Verwendung finden.
- Verkabelung
- Voltmeter (wird gelegentlich durch eine Kontrolllampe ersetzt) zur Kontrolle der Bordspannung/(Not)Akkuspannung
- Amperemeter (wird gelegentlich durch eine Kontrolllampe ersetzt) zur Kontrolle der Ladung und der Stromflussrichtung (aus der Batterie heraus oder hinein)

⁹ Bei Ausfall des elektrischen Starters kann durch Drücken die Fahrt erhöht werden. Der Fahrtwind beginnt den Propeller mitzudrehen (windmilling). Gelegentlich (bei Flautenschiebern) ist ein Dekompressionshebel vorhanden. Sobald der Propeller sich dreht kann durch Einschalten der Zündung der Motor in Betrieb genommen werden.

Bei Elektrikbrand ist der Elektrikhauptschalter auszuschalten und ehest möglich zu landen.

12. Mögliche Anzeigewerte und deren Interpretation

		Öldruck	
		hoch	niedrig
Öltemperatur	hoch	Instrument schadhaft	Motor verschlissen
	niedrig	Öl noch zu steif oder falsches Öl eingefüllt	

		Spannung	
		hoch	niedrig
Strom	hoch	Regler defekt	Leere Batterie, verschlissene Lichtmaschine
	niedrig	Batterie oder Regler defekt	Lichtmaschine und Keilriemenspannung prüfen

13. Zusätzliche Vorrichtungen und Bedienhebel (nur soweit motorseglertypisch)

Treibstoffhahn

Dient dem Absperrern des Treibstoffflusses. Am Spitzerberg bleibt er im Normalbetrieb immer offen – so auch wenn mit dem Motorsegler im motorlosen Flug geflogen wird. Abgedreht wird er nur bei einer Notlandung, um die Brandgefahr zu vermindern.

Schauglas

Einige Motorsegler, so auch der in der Schulung verwendete SF 25 haben im Fußraum unter dem Armaturenbrett ein Schauglas. Dieses ist im Rahmen des Vorflugchecks zu prüfen. Wird Schmutz oder Wasser oder eine falsche Treibstofffarbe darin entdeckt, ist das Flugzeug unklar und muss dem Betriebsleiter Mitteilung gemacht werden. Dieser veranlasst alles Weitere.

Drainventil

Ist ein in den tiefsten Punkt des Tanks eingebautes von außen zugängliches Treibstoffablassventil. Durch eine Probenziehung ("Ablassen") des Treibstoffes kann eine Aussage über Wassergehalt, Verschmutzung und Treibstoffsorte (Farbe des Kraftstoffes) gemacht werden.

Die Radbremse

hat im Gegensatz zu reinen Segelflugzeugen auch eine Stellung in der sie festgestellt werden kann. Die geschieht entweder durch einen mechanischen Anschlag und einen

Vorreiber oder im Falle der hydraulisch aktivierbaren Betriebs(rad)bremse durch ein Sperrventil.

Trimmhebel

Der Trimmhebel ist im Motorsegler wesentlich wichtiger als im Segelflugzeug. Durch korrekten Trimm lässt sich eine nicht vorhandene dritte Hand einsparen (eine führt den Steuerknüppel, eine bedient den Klappenhebel – und wer gibt Gas?)

Der Gashebel (Leistungshebel)

dient zur Einstellung des Motors. Damit er nicht dauernd gehalten werden muss, ist der mit einer einstellbaren Reibbremse ausgestattet. Der Reibwert kann durch verdrehen der Überwurfmutter mit Reibeinlage frei eingestellt werden.

Kühlklappe

Dient zur Erhöhung der Luftdurchströmung der Motorhaube. Die Kühlklappe kann vom Führersitz aus durch einen Hebel geöffnet und geschlossen werden. Grundsätzlich ist sie beim SF-25 am Boden und im Steigflug immer voll offen. Im Winter kann sie zur schnelleren Erwärmung des Motors beim Warmlaufenlassen geschlossen werden und je nach Öltemperaturentwicklung dann im Fluge nachgeregelt werden.

Choker und Vergaservorwärmung

Beide Hebel können in jeder beliebigen Betätigungsstellung durch Verdrehen im Uhrzeigersinn festgestellt werden.

Choker

Dient der Anreicherung des Gemisches (zumeist indem die Luftmenge begrenzt wird). Nach Bedarf ziehen und nachdem der Motor angesprungen ist, soweit herausziehen bzw. hineinschieben bis der Motor rund läuft. Achtung zuviel Choker lässt die Kerzen verrußen. Daher in jedem Fall Vollgastest am betriebswarmen Motor durchführen, um die Kerzen freizubrennen.

Vergaservorwärmung

Sie soll das Vereisen des Vergasers/Ansaugtraktes verhindern bzw. rückgängig machen.

Es ist kaum möglich die Bedienung der Vergaservorwärmung zu einigen wenigen Regeln zusammenzufassen. Die Vereisungsbedingungen unterliegen zahlreichen Parametern und sind sehr stark von der Flugzeugtype abhängig. (Manche Motorsegler haben gar keine Vergaservorwärmung!)

Trotzdem nachfolgend einige Hinweise, die sich in vielen Flugstunden bewährt haben.

Vergaservereisung tritt bei den meisten Flugzeugen sehr selten auf und führt nur bei geringen Flughöhen zu nicht mehr rechtzeitig behebbaren Problemen.

Die Vereisungsgefahr steigt an bei:

Lufttemperatur unter 20°	(Temp. in Flughöhe!, manche Typen bis ca. 25° Besonders gefährlich unter 10°!)
Luftfeuchtigkeit groß	(Regen, Dunst, -nahe an der Wolkenbasis auch im Sommer oft kalt und immer feucht!)
Gashebel kleine Leistung	(starker Unterdruck = kleine Temperatur)
Motortemperatur klein	(bei kleiner Motorleistung, bei Sinkflügen, beim Warmlaufen etc.)

Treffen mehrere Faktoren gleichzeitig zu ist die Wahrscheinlichkeit einer Vereisung groß! Also Gefahr bei KALT + FEUCHT + KLEINE LEISTUNG

Empfohlenes Verhalten bei Vereisungsgefahr:

- Fliegen mit hoher Motorleistung (nahe max. Dauerleistung)
Die sich dabei einstellende hohe Motortemperatur und die weit geöffnete Drosselklappe verringert das Risiko einer Vereisung drastisch.
- Sichere Flughöhe wählen! (150 m GND ist zuwenig!)
- Gashebelstellung und Flughöhe beibehalten – Drehzahl und Fluggeschwindigkeit beobachten!
Abfallende Motorleistung kann so frühzeitig erkannt werden und durch volles Ziehen der Vorwärmung für z.B. zwei Minuten wird das Eis entfernt.
Im Zweifelsfall: Drehzahl ablesen – Vorwärmen eine Minute – bei wieder kalter Vorwärmung Drehzahl ablesen und vergleichen!
- Auf Motorgeräusch achten! Durch Vergaservereisung verändert sich das Motorgeräusch.

Nach Beseitigung einer Vereisung wird normalerweise wieder auf „kalt“ gestellt und eventuell die Motorleistung erhöht.

Nur bei wiederholtem Auftreten der Vereisung wird dauernd vorgewärmt oder in Intervallen - von z.B. 3 min kalt – 1 min warm - vorgewärmt und weitergeflogen.

In geringer Flughöhe besonders über unlandbarem Gelände kann diese Technik vorbeugend verwendet von großem Nutzen sein!

Dauerndes Vorwärmen erhöht die Gefahr, dass die Zündkerzen verrußen!

Auch beim Rollen zur Startstelle kann sich Eis aufbauen! (Motor kalt und wenig Gas!)

Im Zuge des Startchecks wird man bei kühlem, feuchtem Wetter die Vorwärmung länger gezogen lassen (30 Sekunden bis eine Minute), um möglicherweise vorhandenes Eis abzutauen.

Im Landeanflug sollte die Vorwärmung praktisch immer verwendet werden!

(Ausnahme z.B. Im Sommer bei 30° ist Vorwärmung völlig unnötig.)

Nach dem Aufsetzen, am Boden soll die Vorwärmung nicht benutzt werden, da der Luftfilter umgangen wird. (Hoher Verschleiß – besonders bei staubiger Luft)

Beim Durchstarten nicht vergessen: Vorwärmung kalt - sonst kleinere, möglicherweise zu kleine Motorleistung.

Eigene Erfahrungen:

- Fast alle Vereisungsfälle die ich erlebt habe entstanden an kalten, dunstigen (schlechte Sicht) Herbst- od. Wintertagen im Reiseflug bei Motorleistungen von unter 60%.
Den Drehzahlabfall, die Geräuschänderung und die reduzierte Fluggeschwindigkeit habe ich frühzeitig bemerkt und in weniger als 1 min konnte das Eis entfernt werden.
- Nur bei einem Flug bildete sich das Eis nach jeweils ca. 10 Minuten wieder so dass ich später mit „Teilvorwärmung“ weiterflog.

- (Beim Landeanflug verwende ich die Vorwärmung – unter 20° immer – oberhalb aber je nach Feuchte, Sinkflugdauer, Gasstellung, Motortemperatur etc. eher nicht)
- Einen Vereisungsfall hatte ich beim Rollen zur Startstrecke. Klarer sonniger Wintertag, windstill, ca. 3 cm Neuschnee und daher war die Luft in Bodennähe feucht. Am Ende des Rollweges ist der Motor beim Gasgeben abgestorben.....

ACHTUNG:

Teilweises Vorwärmen soll nur in Verbindung mit einer Vergasertemperaturanzeige durchgeführt werden! Sonst entweder VOLL oder AUS!

Hinweise des Flugzeugherstellers im Flughandbuch unbedingt beachten!!!

Meist steht dort: Im Landeanflug immer volle Vorwärmung!

Achtung: Beim SF25 ist die gezogene Vorwärmung sorgfältig in voll gezogenen Stellung zu verriegeln! Es passiert sehr leicht, dass der Hebel von selbst wieder hineinrutscht!

Der/die Zündschalter bzw. das Zündschloss

dienen der Kontrolle des Zündsystems. Zu beachten ist, dass ein Batterie(HKZ)system in der Stellung „aus“ primärseitig stromlos geschaltet ist, der Schalter also nicht leitend ist. Ein magnetisches Zündsystem erzeugt seinen Primärstrom durch den Schnapper und die bewegten Magneten selbst, d.h. der Zündschalter muss in der Stellung „aus“ leitend sein und einen allfälligen Primärstrom auf Masse kurzschließen, sodass es zu keiner ungewollten Zündung kommt. Dies bedeutet, dass bei defektem Schalter bzw. defektem Abstellerkabel die Zündung in Stellung „aus“ dennoch scharf sein kann. Deshalb wird ein Motorflugzeug durch Herausziehen des Gemischreglers (und damit Abmagern des Gemisches) abgestellt. Die meisten Motorsegler haben keinen manuell betätigten Gemischregler, d.h. es kann sich nach dem Abstellen zündfähiges Gemisch in den Zylindern befinden und bei der kleinsten (von außen kommenden) Bewegung des Propellers explodieren.

Der Elektrikhauptschalter

trennt Batterie und Lichtmaschine vom Bordnetz.

Weitere Bordgeräte, die zumeist in reinen Segelflugzeugen aufgrund des mit ihrem Betrieb einhergehenden Stromverbrauches nicht eingebaut werden, sind:

Intercom mit Headset

Aus Gründen des Gehörschutzes sollte bei Motorbetrieb ein Schallschutz (Ohrstöpsel, Ö-Lauscher, Kopfhörer-Mikrofonkombination (=Headset)) getragen werden. Die Kommunikation erfolgt bei aufgesetztem Headset über das Intercom. Zumeist kann die Gesamtlautstärke über den Lautstärkereglern am Funkgerät oder einen separaten Regler bedient werden. Manche Headsets bieten optional die Möglichkeit über einen auf einer der Hörmuscheln angebrachten Regler die Lautstärke individuell auf den Träger des Headsets abzustimmen.

Wird das Funkgerät aktiviert, wird zugleich das Intercom abgeschaltet.

Transponder¹⁰

¹⁰ Im Englischen auch als XPDR bezeichnet

Der Begriff setzt sich aus den englischen Worten für senden (transmit) und antworten (respond) zusammen. Bezeichnet wird damit ein Sekundärradargerät. Aufgrund des von der Sekundärradarstation¹¹ am Boden abgestrahlten Abfrageimpulses antwortet das im Flugzeug eingebaute Gerät mit der Übertragung von Daten.

Funknavigationshilfen (NDB, ADF, (D)VOR, DME, GPS, Funkpeiler für QDM und QDR)

Die Erklärung des Aufbaues, der Wirkungsweise, des Funktionsprinzips, der Bedienung, einschließlich der Auswertung der Anzeigen sowie mögliche Fehlerquellen sprengt den Rahmen dieser Lehrunterlage. Es wird auf die Unterlagen zum Erwerb des AFZ (allgemeines Funktelefonistenzeugnis) verwiesen.

Notsender (§6aLVR)¹² (in Deutschland generell nicht Pflicht)

Es handelt sich um einen Sender der auf Frequenz 121,5 MHz einen Peilton abstrahlt. Er wird vor dem Start des LFZ scharf geschaltet (Stellung „armed“). Beim Auftreten einer Beschleunigung größer als vierfache Erdschwere (> 4g) wird der Sender ausgelöst. Es empfiehlt sich daher vor endgültigem Abstellen des LFZ das Funkgerät auf diese Frequenz zu schalten und zu prüfen, ob der Notsender nicht ausgelöst wurde.

Die Prüfung der Funktion ist mit der Testtaste möglich und innerhalb der ersten fünf Minuten nach voller Stunde generell zulässig.

In Diskussion ist eine verpflichtende Umrüstung auf 406 MHz-Geräte bzw. eine regelmäßige Prüfpflicht der alten 121,5 MHz-Geräte.

14. Instrumentenkunde (nur soweit motorseglertypisch)

Drehzahlanzeige

Es ist zwischen Motor- und Propellerdrehzahl zu unterscheiden. Im Falle eines Untersetzungsgetriebes bzw. einer ölhdraulischen Kraftstoffübertragung können diese Werte voneinander abweichen. Beim verwendeten Schulflugzeug und bei vielen anderen Motorseglern ist der Propeller direkt an der Kurbelwelle angeflanscht – die Propeller- und die Motordrehzahl sind ident.

Anzeigebereiche:

- Schwarz (Unterdrehzahl bzw. Motor steht)
- Grün (zulässiger Bereich für Dauerleistung)
- Gelb (zeitlich begrenzt zugelassene Spitzenleistung – siehe Betriebsanleitung/Motorhandbuch/Propellerhandbuch)
- roter Strich. Zulässige Betriebsgrenze, darf auf keinen Fall überschritten werden.

¹¹ Die modernsten Transpondergeräte kommunizieren miteinander, um Zusammenstöße in der Luft zu verhindern (Airborne Collision Avoidance System – ACAS)

¹² § 6a. LVR Notsender

(1) Im österreichischen Hoheitsgebiet dürfen Flüge mit Zivilluftfahrzeugen bis zu einer höchstzulässigen Abflugmasse von 20 000 kg - soweit im Abs. 2 nicht anderes bestimmt wird - grundsätzlich nur durchgeführt werden, wenn zu diesem Zweck zugelassene Notsender (Crash-Sender) funktionsbereit mitgeführt werden.

(2) Kein Notsender ist erforderlich für:

- a) Flüge mit Luftfahrzeugen über 5 700 kg höchstzulässiger Abflugmasse, sofern österreichisches Bundesgebiet landungslos überflogen wird;
- b) Flüge mit Luftfahrzeugen im Flugplatzverkehr und innerhalb solcher Bereiche, die von Beobachtern am Boden optisch überwacht werden (wie Übungs- und Erprobungsbereiche oder Kunstfluräume);
- c) Flüge mit Luftfahrzeugen bei Notsenderausfall, wenn den Umständen nach nicht sofort Ersatz beschafft werden kann, und die im Hinblick auf den Such- und Rettungsdienst erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen getroffen sind;
- d) Freiballonfahrten, wenn für Funkverbindung zu einem Verfolgerfahrzeug vorgesorgt ist;
- e) Flüge mit Hänge- und Paragleitern.

Im Gehäuse der Drehzahlanzeige ist zumeist ein **Betriebsstundenzähler** eingebaut. Dieser gibt die Motorlaufzeit in Motorstunden und Motordezimalminuten an. Die angezeigten Zeiten dienen als Grundlage für die Überwachung zeitkritischer Bauteile bzw. Serviceintervalle.

Eine Sonderform der Betriebsstundenanzeige ist das sogenannte Hobbsmeter. Erst bei höherer Drehzahl werden die Betriebsstunden gezählt.

Öldruckanzeige

Nach dem Starten des Triebwerkes muss die Anzeige innerhalb von 30 Sekunden bei Standdrehzahl in den grünen Bereich laufen. Ist dies nicht der Fall ist der Motor sofort abzustellen, da die Gefahr von schweren Motorschäden besteht. Die Ursache für das Nichtfunktionieren der Anzeige ist durch einen Mechaniker zu ermitteln und abzustellen. (bis zur Erledigung dieses Punktes ist das Flugzeug flugunklar und darf damit nicht gestartet werden.) Tritt dieses Problem während eines Fluges auf, so sind – in Ermangelung von Herstelleranweisungen – die übrigen Motorinstrumente nach den weiter unten gegebenen Hinweisen auszuwerten und ehest möglich zu landen. Sodann gilt das zuvor gesagte.

Anzeigebereiche (der Öldruck sagt nur bedingt etwas über die Schmierfähigkeit des vorhandenen Schmierstoffes aus):

- Schwarz (kein bzw. zu geringer Öldruck)
- Unterer roter Strich. Ein Nichterreichen bzw. Unterschreiten dieser Markierung kann auf zu wenig Ölvorrat oder einen generellen Defekt am Schmiersystem hindeuten. Da es ein Gefahrenhinweis ist, ist ein Fortbetrieb, insbesondere ein Start untersagt. Das LFZ ist flugunklar.
- Grün (Öldruck im erlaubten Bereich)
- Oberer roter Strich. Ein Überschreiten dieser Markierung kann auf zu kaltes Öl, aber auch auf verlegte Leitungen, einen verlegten Ölfilter etc, hinweisen. Da es ein Gefahrenhinweis ist, ist ein Fortbetrieb, insbesondere ein Start untersagt. Das LFZ ist flugunklar.

Achtung: Bei kaltem Triebwerk ist der Öldruck immer höher als bei betriebswarmen Triebwerk (Öl ist steifer, dicker und die Spalte aus denen das Öl zwischen den Teilen austritt sind kleiner).

Öltemperaturanzeige

Nach dem Starten des Triebwerkes ist das Triebwerk gem. Herstellerangaben warmlaufen zu lassen. Erst wenn das Triebwerk Betriebstemperatur erreicht hat kann ein Vollgastest durchgeführt bzw. die Spitzenleistung für Start und Anfangssteigflug abgefragt werden.

Kaltes Öl baut einen hohen Öldruck auf, aber keinen verlässlichen Schmierfilm.

Nach dem Warmlaufen hat der Zeiger in allen Betriebsphasen zwischen den beiden roten Strichen zu bleiben.

Zylinderkopftemperaturanzeige

Der Betrieb von Flugzeugmotoren stellt hohe Anforderungen an das Material des Motors. Insbesondere lange Vollastflüge und darauffolgendes schockartiges Abkühlen können zu (Steg)rissen im Zylinderkopfmaterial führen. Um eine Möglichkeit der Gefahrenbeurteilung zu haben werden Zylinderkopftemperaturanzeigen (zumeist bei luftgekühlten) eingebaut. Näheres siehe die jeweils gültige Betriebsanleitung.

Nach dem Warmlaufen hat der Zeiger in allen Betriebsphasen zwischen den beiden roten Strichen zu bleiben.

Tank(füllstands)anzeige

Wird beim Kraftstoffsystem besprochen, siehe dort.

Benzindruckanzeige

Wird beim Kraftstoffsystem besprochen, siehe dort.

Ladedruckanzeige (manifold pressure)

Die Ladedruckanzeige gibt Auskunft über den im Ansaugrohr herrschenden Druck und gibt damit direkt eine Möglichkeit zur exakten Motor(leistungs)einstellung.

Abgastemperaturanzeige - EGT (Exhaust Gas Temperature)

Wird bei der Gemischbildung besprochen, siehe dort.

Fahrtmesser

Der Fahrtmesser entspricht dem von reinen Segelflugzeugen bekannten, kann jedoch zusätzliche Markierungen enthalten.

- blauer Strich: Geschwindigkeit für steilstes Steigen (etwa um über ein Hindernis hinweg zu kommen)
- blaues Dreieck: Geschwindigkeit für bestes Steigen (Verhältnis aus Steigen und Vorwärtsbewegung ist optimal)

Höhenmesser mit Skala in Fuß

In Motorseglern werden auch Höhenmesser, die in Fuß skaliert sind, eingebaut. Dies deshalb, da Motorsegler von vielen Motorpiloten (die sind Fußhöhenmesser gewöhnt) als preiswerte Alternative zum Scheinerhalt gesehen werden. Zudem werden alle Höhen in ICAO Karten in Fuß angegeben sowie Anweisungen von Controllern in Fuß erteilt. Auch die Flugflächengliederung erfolgt in Fuß.

Voltmeter und Amperemeter

Werden mit der elektrischen Anlage besprochen, siehe dort

Kompassfehler bei Motorlauf

Die Zündsysteme bzw. die Kabel bauen magnetische Felder auf, die bei unsachgemäßer Verlegung bzw. fehlender Abschirmung zu Kompassfehlern führen können.

15. Propellerkunde

Der Propeller besteht aus der Propellernabe und den –blättern. Jedes Blatt wirkt für sich wie eine rotierende Tragfläche, die Auftrieb (in unserem Fall Vortrieb erzeugt). Bei stehenden Flugzeug wird der Standschub gemessen, der Propeller wird mit der Umfangsgeschwindigkeit, tangential zu seiner Drehebene angeströmt. Anströmwinkel und Anströmgeschwindigkeit sind nur von der (aktuellen) Steigung des Propellers bzw. der Drehzahl abhängig. Der Vortrieb (Standschub) ist direkt von Anströmwinkel und Anströmgeschwindigkeit abhängig¹³.

Mit zunehmender Roll-/Fluggeschwindigkeit bzw. im Falle, dass der Wind von vorne oder hinten kommt, ist zur Bestimmung des Anströmwinkels und der Anströmgeschwindigkeit des einzelnen Propellerblattes die Windkomponente mit der Umfangsgeschwindigkeit des Propellers vektoriell aufzusummieren. Im Effekt nimmt der Anströmwinkel ab und damit der Vortrieb, aber auch der Widerstand des Propellers. Das Triebwerk dreht hoch, es muss gedrosselt werden. Hier hilft man sich mit dem **Verstellpropeller**.

¹³ Zur Erinnerung eine Rückblende in die Aerodynamik (Formel für aerodynamischen Auftrieb): $F_A = c_A * A * \rho / 2 * v^2$

Verstellpropeller in der Luftfahrt gehen auf Entwicklungen der 1930er Jahre zurück, als aufgrund der zunehmenden Geschwindigkeitsspanne bei Flugzeugen der Festpropeller zunehmend in seiner Leistungsfähigkeit zu begrenzt erschien. Durch Propeller, die im Fluge verstellbar waren, gelang es, während des Starts und auch beim Reiseflug den Propeller an die Umgebungsbedingungen anzupassen. Der große Vorteil des Verstellpropellers ist die Möglichkeit der Anpassung der Luftschraubensteigung an die tatsächliche Geschwindigkeit.

Durch die Einführung der Verstellpropeller haben die Leistungsdaten der Flugzeuge einen großen Fortschritt erlebt: Eine Boeing 247 mit Verstellpropeller brauchte bei gleicher Motorleistung 20 % weniger Startstrecke, hatte 22 % bessere Steigleistung und um 5,5 % mehr Reisegeschwindigkeit.

Grundsätzlich kommt eine automatische oder manuelle Verstellung im Betracht. Auch kann der Verstellpropeller eine stufenlose Änderung der Steigung oder auch nur bestimmte Stufen ermöglichen. Die höchste Stufe der Entwicklung der Verstellpropeller ist der sogenannte Festdrehzahlpropeller (Constant Speed Propeller), bei dem die Motordrehzahl konstant bleibt und die Schubkraft nur durch die Verstellung der Propellerblätter geregelt wird. Das bietet den Vorteil, im Bedarfsfall sofort die volle Motorleistung zur Verfügung zu haben, ohne dass erst Massen beschleunigt werden müssen, außerdem ist eine Schubumkehr möglich sowie eine Segelstellung (feathering), welche bei Triebwerksstillstand den geringst möglichen Luftwiderstand bietet.

Die Einteilung der Verstellpropeller erfolgt nach unterschiedlichen Kriterien (z.B. stufenlos, dreistufig; elektrische, hydraulische, mechanische Verstellung).

Vorteile

Mehr Schubkraft beim Start und Steigflug, höhere Endgeschwindigkeit, geringere Belastung der Maschine, daraus resultierend deutlich weniger Treibstoffverbrauch. Auch die Möglichkeit der Segelstellung bei defekter Maschine und des Rückwärtsschubes (zum Abbremsen nach der Landung und rangieren am Flugfeld) machen modernen Flugbetrieb mit Propellermaschinen erst möglich.

Nachteile

Zusätzlicher Wartungs- und Kontrollaufwand.

Von der Wirkrichtung her können **Zug- und Druckpropeller** unterschieden werden.

Propellerbremse

Da Motorsegler auch im motorlosen Flug betrieben werden ist eine Propellerbremse vorgesehen, um das Mitdrehen des Propellers im Fahrtwind zu beenden bzw. zu verhindern. Ein mitdrehender Propeller verhindert das Einfahren bei Klapptriebwerken bzw. wird durch das Mitdrehen die mechanische Treibstoffpumpe betätigt und besteht die Gefahr eines Vergaserüberlaufes (beim Neuanlassen kann es zu einem Vergaser-/Motorraumbrand kommen).

Die Propellerbremse ist als Bremsklotz ausgeführt, der auf die Rückseite des Starterkranzes drückt. Das Anpressen erfolgt durch einen Seilzug/ein Gestänge und einen Umlenkhebel. Der Zustand und das Funktionieren der Propellerbremse ist beim Vorflugcheck bei stehendem Motor zu prüfen.

Vorflugkontrolle des Propellers

- Die sechs Propellerbefestigungsschrauben in der Propellernabe sind immer paarweise gegeneinander gesichert. Der Sicherungsdraht ist dann richtig durch die Schraubenköpfe gefädelt, wenn er sich spannt sobald die Schraube [Rechtsgewinde gehen gegen den Uhrzeigersinn auf] aufgehen will. Er ist in sich verdrillt, um ihm mehr mechanische Steifigkeit zu verleihen. Nach dem zweiten Schraubenkopf ist wieder in sich verdrillt und die Verdrillung

um 180° zurückgeknickt. Dadurch wird ein Öffnen des Drahtwirbels verhindert.

- Die Propellerblätter sind auf Kerben und Lackrisse zu kontrollieren. Kerben können Vibrationen und Unwucht erzeugen. Dadurch kann es zu einem Fortschreiten einer Kerbe zu einem Riss und im Extremfall zum Abreißen eines Propellerblattes kommen. Ein Lackriss kann Anzeichen eines darunter liegenden Bruches/Risses sein.
- Bei Verstellpropellern sind die Klemmungen der Blätter zu kontrollieren. Zumeist gibt es Farbmarkierungen an der Klemmung zu Blattübergangsstelle. Ein Verdrehen in der Klemmung ist dann sichtbar.
- Bei hydraulischen Verstellsystemen auf Austritt von Hydraulikflüssigkeit achten.
- Mechanischen Verstellmechanismus auf statische Funktion prüfen (Verdrehen sich die Propellerblätter?)
- Spinner auf Befestigung und Beschädigung prüfen.
- Die Prüfung und Handhabung am laufenden Motor erfolgt gem. den Betriebshandbüchern

Im Zweifelsfall Beurteilung durch einen Fachmann!!!

Kenngößen eines Propellers

Unter dem **Durchmesser** eines Propellers versteht man den Durchmesser des Kreises, den die Flügelspitzen bei der Umdrehung beschreiben.

Die Wahl des Durchmessers ist abhängig von der Drehzahl, mit der sich der Propeller drehen soll, der zur Verfügung stehenden Leistung und der angestrebten Geschwindigkeit. Wenn alle anderen Variablen gleich bleiben, nimmt der Durchmesser mit steigender Leistung zu, genauso bei abnehmenden Drehzahlen.

Die geometrische **Steigung** entspricht der Strecke, die ein Propeller während einer Umdrehung in einem festen Material zurücklegen würde, vergleichbar einer Schraube in Holz. Die entsprechende geometrische Form heißt Helix oder Schraube.

Die Steigung übt einen starken Einfluss auf Drehzahl und Drehmoment aus und somit auf die Wahl von Motor (und allenfalls Getriebe). Kleine Steigungen eignen sich, um auch bei geringer Geschwindigkeit kräftigen Schub zu erzeugen, große Steigungen, um bei widerstandsarmen Flugzeugen gute Wirkungsgrade zu erzielen.

Es gibt rechts- und linksgängige Propeller (**Drehrichtung**). Ein rechtsgängiger Propeller dreht im Vorwärtsgang von hinten betrachtet im Uhrzeigersinn.

Ein einflügeliger Propeller (**Flügelzahl**) wäre oft am effizientesten – wenn die Vibrationen nicht wären (dennoch hat die slowenische Apis das Problem mit einem Wuchtgewicht gelöst (der Vorteil besteht im geringeren Platzbedarf des Klaptriebwerkes)).

Das für die Propellerblätter verwendete **Profil** bestimmt die Propellercharakteristik mit.

16. Gefahren

- Durch den Betriebslärm des Triebwerks besteht die Gefahr einer bleibenden Gehörschädigung. Daher nur mit Gehörschutz den Motor in Betrieb nehmen.
- Mit dem Motorlauf geht Vibration einher. Es kann zu Schäden an Bordgeräten und Instrumenten kommen.
- Ist das Abgassystem undicht kann Kohlendioxid/Kohlenmonoxid in die Kabine gelangen und Vergiftungserscheinungen (Unwohlsein, Benommenheit, Bewusstlosigkeit) hervorrufen.

- Beim Be- und Enttanken ist auf ausreichende Lüftung und Abwesenheit von Zündquellen (offenes Feuer und Licht, Raucher) zu achten¹⁴
- Auch wenn der Zündschalter in der Position aus steht, kann die Zündung scharf sein und der mit der Hand durchgedrehte Propeller zurückschlagen.
- Anwerfen von Hand nur nach praktischer Einschulung durch eine Person, die dies schon einmal gemacht hat! Vor Beginn des Anwerfens sind der ganze Anwerfvorgang sowie alle Zeichen und Befehle genauestens abzusprechen. Bremsen sind angezogen, Vorlegekeil vor dem Hauptfahrwerk verwenden. Kommt nicht die richtige Antwort oder Handlung ist der Vorgang abzubrechen!

17. Verhalten in besonderen Fällen, Notverfahren

Bei **Motorausfall** im Anfangssteigflug hat der Motorsegler nicht ausreichend Höhe für eine Umkehrkurve. Es gilt die grundsätzliche Regel, dass die Nase des Flugzeuges hinunterzugehen hat, wenn und sobald die Fahrt hinuntergeht. Erst nach Stabilisierung auf eine sichere Geschwindigkeit kann entschieden werden, ob geradeaus oder leicht seitlich versetzt ein Landefeld angefliegen wird oder ob in ein Hindernis hineingelandet werden muss.

Zu **Außenlandung, Außenabflug, Notlandung** siehe unter Rechtliches

Eine **Rückenwindlandung** sollte tunlichst vermieden werden. Es ist mit

- Einer längeren Ausschwebephase
- Nachlassen der Ruderwirkungen bei noch höherer Geschwindigkeit und damit Unsteuerbarkeit des LFZ in der Luft
- Ruderwirkungsumkehr
- „Auf-die-Nase-Gehen“ des Flugzeuges nach dem Aufsetzen
- schlechtem Übergang in den Steigflug bei einem Durchstartvorgang

zu rechnen.

Wenn eine Landung nicht wie erwartet gelingt bzw. man die Kontrolle über den Landevorgang nicht erlangen oder nicht behalten kann, ist ein Abbruch und ein **Durchstarten** oft die sinnvollste Alternative zu einer verpatzten Landung und einem Sach-/ Personenschaden. Der nächste Versuch klappt bestimmt besser.

In Vorbereitung auf die Landung hat man einen Verstellpropeller bereits in Steigflugstellung gebracht. Man muß nur mehr die Klappen einfahren, Vollgas geben, die Vergaservorwärmung schließen, erforderlichenfalls im Bodeneffekt auf die sichere Geschwindigkeit beschleunigen (blaue Fahrtmessermarkierungen beachten) und in den Steigflug übergehen.

Zu **Vergaser-, Triebwerks-, Elektrikbrand** siehe die jeweiligen Kapitel

Bei Bruch von Betätigungsgestängen bzw. Bowdenzügen bringt eine Feder das jeweilige Bauteil in eine vom Hersteller des LFZ vorgegebene Sollstellung. Besprechung im praktischen Teil am verwendeten Schulmotorsegler.

Über-/Unterschreiten von Betriebsgrenzen (lt. Anzeige der Bordinstrumente – siehe dort)

Wenn die Tragflächen im **Regen** nass geworden sind, kommt es aufgrund der auf dem Flügel stehenden Wassertropfen zu einer starken Leistungsminderung, erhöhtem Widerstand und vermindertem Auftrieb. Z.B. hört der SF 25C bei etwa 100 km/h recht ab-

¹⁴ siehe auch unter Rechtliches

rupt zum Fliegen auf. Es ist daher mit erhöhter Geschwindigkeit anzufiegen und auszurunden. Wenn das LFZ dann aufhört zu fliegen, fällt es halt die letzten 10cm herunter, ist aber am Boden voll steuerbar. Ein Start mit dem nassen Flugzeug ist verboten, da die auf der Tragfläche stehenden Tropfen den Druckwiderstand soweit erhöhen, dass die Motorleistung nicht mehr ausreichen kann, um das LFZ innerhalb der sonst mehr als ausreichenden Piste auf Abhebegeschwindigkeit zu beschleunigen. Die Tragflächen sind vor dem Start trocken zu wischen.

Bei **Winterflugbetrieb** ist

- mit Flugzeug- und Vergaservereisung zu rechnen. Siehe in jeweiligen Kapitel
- mit längerem Warmlaufen zu rechnen. Es hilft die Kühlluftklappe geschlossen zu halten
- vor dem Anlassen des Triebwerkes der Propeller 10 – 20 Umdrehungen von Hand durchzudrehen. Dies gewährleistet einen Schmierfilm, Öldruck von Anfang an und schont die durch die Kälte und das längere Stehen schwach gewordene Batterie. Mit voll gezogenem Choker (siehe Betriebsanleitung) sollte das Triebwerk dann gut anspringen.

„**Zu kurz Kommen**“ beim Landeanflug siehe Durchstarten¹⁵

Vor dem ersten Start hat sich der Pilot durch Lesen des Betriebshandbuchs über **Sicherheitshöhe für den Triebwerkswiederstart** zu informieren.

Wettergefahren, Anflugverfahren, Meldepunkte, Lärmschutzverfahren (beim Abflug) und Aufschreiben der wichtigen Funkfrequenzen gehören zur gesetzlich vorgeschriebenen (Vorflug)planung.

18. Vorschriften und Richtlinien

Nach Abschluss aller Checks, dem Hinausrollen an den Abflugpunkt, Einholung der Freigabe steht der **Start** an. Dazu

- Schauen, ob die **Piste** und der An-/Abflug **frei** ist. Dann
- in die Piste rollen und den Motorsegler in Pistenmitte parallel zur Pistenachse **ausrichten** (bei Seitenwind eher auf die Leeseite stellen, da mit dem Freikommen des Spornrades aufgrund des Windfahneneffektes damit gerechnet werden muss, dass die Nase in den Wind dreht.
- Zügig **Vollgas** geben (Reibbremse am Gashebel ist geschlossen). Bei etwa 60 km/h kann durch gefühlvolles Drücken der Sporn entlastet werden. Der Motorsegler beschleunigt dadurch besser (allerdings ist mit Freikommen des Sporns mit einem Wegdrehen der Flugzeugnase in den Wind zu rechnen und durch gefühlvollen Seitenrudereinsatz entsprechend zu korrigieren)
- Mit Erreichen von ca. 80 km/h **hebt** der Motorsegler von selbst **ab**. Im Bodeneffekt weiter auf 100 – 110 km/h beschleunigen.
- Durch Ziehen am Steuerknüppel hält man die **Geschwindigkeit** auf diesem Wert. Es stellen sich 2 – 3 m/s Steigen ein.
- **Richtung** (Peilpunkte, Kompasskurs) halten, trimmen und Sicherheitshöhe von etwa 400 ft/120 m über Grund erfliegen. Dann in den Querabflug wegkurven
- **Leistung** und Drehzahl reduzieren

¹⁵ Über Ursachen und Zusammenhänge siehe Vortrag „Auf der Rückseite der Leistungskurve – wenn ziehen plötzlich Sinken bedeutet!“ von Dr. Christoph Nemeth (Teilaspekte der Aerodynamik und Flugmechanik)

- **Platzrundenverfahren** einhalten. An der Position entweder Ausflug aus der Platzrunde oder Landemeldung absetzen.
- **Landecheck:** Klappen, Fahrwerk, Propeller, Windsack, Signalfeld, Piste frei, Anflug frei, Verkehr, Motor auf Leerlauf (Achtung der Drehzahlmesser und die Gashebelstellung sind vor Einkurven in den Endanflug nochmals zu prüfen), Landescheinwerfer, Positionslichter, Anti Collision Light
- **Gegen-, Quer-, Endanflug** (auf aufgetragene Meldepunkte nicht vergessen)
- Spätestens im Endanflug **Geschwindigkeit** auf 100-110 km/h **stabilisieren** (Trimmung, Gashebelstellung)
- Bei **Seitenwind** mit Vorhaltewinkel und auf der dem Wind zugewandten Seite der Piste anfliegen
- **Aufsetzpunkt** auffassen und mit den Landeklappen darauf hinregeln (die Optik stimmt nur bei einer konstanten Geschwindigkeit)

Jeder Luftdichte ist eine **Dichtehöhe** gem. ISA zugeordnet Die Luftdichte nimmt ab mit

- Zunehmender Höhe
- Steigender Temperatur
- Zunehmender Feuchtigkeit

Zudem fällt damit auch die Motorleistung (da weniger Sauerstoff in der dünneren Luft vorhanden ist) ab und der Standschub (da der Schub dem Gewicht der nach hinten beschleunigten Luftmasse entspricht).

Zum **aktiven Lärmschutz** (und damit zufriedenen Anrainern) trägt bei:

- Fliegen mit geringer Drehzahl. Im Startlauf ist spätestens nach dem Erreichen der Sicherheitshöhe auf Reiseleistung zu reduzieren.
- Überfliegen von Ortsgebieten ist auch bei Einhaltung der Mindestflughöhen tunlichst zu vermeiden
- Der vom Motorsegler erzeugte Lärm wird mit dem Wind vertragen. Daher beim Durchfliegen zwischen Orten Windrichtung und Höhe über Grund mitberücksichtigen.
- Rechtzeitiges Umschalten der Propellerverstellung

Luftraumklassen, Sichtflugbedingungen, Lesen der ICAO, Karte Navigation, Mindestflughöhen siehe Grundschulung

19. Dokumente

Vor der ersten Inbetriebnahme eines neuen Flugzeugmusters sind nachfolgende Dokumente zu studieren.

- Flughandbuch
- Propellerhandbuch
- Motorenhandbuch
- Bordbuch
- L-Akt

Mitzuführende Dokumente

- Eintragungsschein
- Lufttüchtigkeitszeugnis

- Verwendungsbescheinigung
- Nachprüfungsbescheinigung
- Bordbuch
- Lärmzeugnis
- Versicherungsnachweis
- Funkbewilligung
- Flugbuch
- Luftfahrerschein

20. Und last but not least: Die **Wartung und Reparatur von Motorseglern** ist Warten vorbehalten. Wer sich dafür interessiert kann einen Wartkurs besuchen und die Prüfungen ablegen. Wartung und Reparatur von reinen Segelflugzeugen ist durch sachkundige Personen möglich, Abnahme der Reparaturarbeiten durch einen Bauprüfer.

21. Praktischer Teil¹⁶

Zu zeigen und am verwendeten Schulflugzeug zu besprechen sind:

- 1) Vorflugkontrolle (außen/innen) (gem. Handbuch)
- 2) Startcheck (gem. Handbuch bzw. im Flugzeug angebrachter Beschilderung)
- 3) Beladung und Betriebsgrenzen (gem. Handbuch, L-Akt bzw. im Flugzeug angebrachter Beschilderung)
- 4) Motorenkunde bei abgenommener Motorverkleidung, Motorenbedienung
 - Finden der richtigen Sitzposition und richtiges Anschnallen¹⁷
 - Prüfung und Ergänzung Füllmengen Betriebsstoffe, Tankvorgang, Eintragung im Bordbuch und Tankliste, Wartungsintervalle
 - Alle Motorbedienelemente und deren Zusammenwirken
 - Alle Motorinstrumente, deren Zusammenwirken und die Interpretation der angezeigten Werte
 - Zündsystem
 - Schmierung und Schmierstoffe (2T-Öl, 4T-Öl (SF 25C, Grob 109B, Katana, sonstige LFZ), Getriebeöl, Vergaserdämpferöl)
 - Kühlung
 - Vergaservorwärmung
 - Treibstoffsystem (inkl. Tankentwässerung „Strainer“)
 - Treibstoffart und Betankung

¹⁶ Diese Einweisung ist typbezogen und sollte bei Umstieg auf einen anderen Typ durch einen Fluglehrer oder einen auf dem neuen Typ erfahrenen und einweisungsberechtigten Piloten wiederholt werden.

¹⁷ Schriftliche Zusammenfassung von Dr. Christoph NEMETH verfügbar

- Tanklistenführung bzw. Eintragungen im Bordbuch (Nachfüllen von Betriebsstoffen)
- Ansaug- und Abgassystem
- Kühlklappe
- Heizung
- Choke
- Rückzugsfedern
- Propeller, allenfalls Verstellmechanismus
- Propellerbremse
- Elektrische Anlage
- Funkgeräte (Intercom/Headsets) und Transponder, sonstige elektronische Ausrüstung
- Gefahrenhinweise (Beladungs-/Betriebsgrenzhinweise)
- Richtiges Anschnallen
- Haubenverriegelung
- Peilpunkte (außermittiges Sitzen)
- Bedienung von Funk, Intercom und Headset

5) Flugverhalten und Notverfahren

Nasse bzw. stark verschmutzte Tragflächen

22. Beschreibung des verwendeten Schulflugzeuges SF 25C (OE-9171 bzw. OE-9508, je in 2-Bein-Version) ¹⁸

Der Scheibe SF 25 Falke ist ein zweisitziger, in Gemischtbauweise hergestellter Motorsegler, der ab 1963 von der Firma Scheibe-Flugzeugbau-GmbH entwickelt und gefertigt wurde. Er entwickelte sich zu einem der meistgebauten Motorsegler der Welt. Wesentliche Merkmale für diesen Erfolg waren die "Side-by-Side" Sitzanordnung, welche die Schulung vereinfachte, die einfache und robuste Gemischtbauweise sowie das äußerst gutmütige Flugverhalten. Das Muster ist derart weit verbreitet, dass praktisch jeder Motorseglerpilot seine Ausbildung auf einem Falken begann.

Motorisiert ist unser Falke mit einem Vierzylinder-Viertakt-Boxer (Motor), der mit Superbenzin, wie es an Tankstellen erhältlich ist, betrieben wird.

Ebenfalls zur Falken-Familie zählt der SF 28 Tandem-Falke (zB OE-9299 der Hainburger Segelfliegergruppe in Hangar 3), bei dem die Sitzanordnung zugunsten einer besseren Aerodynamik geändert wurde. Die Piloten sitzen nun hintereinander, was einen schlankeren Rumpf und somit bessere Flugleistungen ermöglicht.

Geschichte

Der Falke war von Beginn an als einfach zu fliegendes und zu wartendes Flugzeug ausgelegt, um in den Segelflugvereinen eine kostengünstige Alternative in der Schulung und für den Winterflugbetrieb zu bieten. Die verwendete Gemischtbausweise war daher ideal, da die meisten Vereine jener Zeit durch Selbstbau und eigene Wartung des vorhandenen Segelflugzeugparks mit ihr vertraut waren und auch die erforderlichen Werkzeuge zur Verfügung hatten. Bei der Entwicklung des Falken konnte Egon Scheibe auf Erfahrungen mit motorisierten Varianten seiner Mü 13 und dem einsitzigen Motorsegler SF 24 "Motorspatz" zurückgreifen. Der Erstflug des A-Falken erfolgte 1963. Die Auslegung als Schulterdecker konnte jedoch nicht so recht überzeugen, da die Wendigkeit in der Luft und Manövrierbarkeit am Boden zu wünschen übrig ließen. Zudem erforderte der A-Falke eine weitere Person als Helfer um die Tragfläche beim Start zu halten. Viele A-Falken wurden daher am Fahrwerk modifiziert um einen Start ohne Helfer zu ermöglichen. Mit der SF 25 B wurden diese Mängel abgestellt. Ab 1967 wurde der B-Falke als Tiefdecker entwickelt und erhielt 1968 die Musterzulassung des Luftfahrt-Bundesamtes. Wie gut Egon Scheibe die Wünsche der Segelflieger und Motorseglerpiloten verstanden hatte, belegt die Tatsache, dass bereits der B-Falke 373 Exemplaren gebaut wurde. Nachdem mit dem SF 25 B ein überzeugendes Konzept gefunden wurde, folgten im Wesentlichen Detailverbesserungen, wie z. B. vereinfachter Einstieg und stärkere Motorisierung beim SF 25 C. Auch andere praktische Details, wie z. B. einen Klappflügelmechanismus zum platzsparenden Unterstellen oder der Einsatz eines leistungssteigernden Verstellpropellers wurden realisiert. Die Genialität des Entwurfes wird durch eine bis heute andauernde Fertigung bestätigt. Mit den heute verfügbaren stärkeren und zuverlässigen Motoren ist aus dem Falken auch ein beliebtes und kostengünstiges Schleppflugzeug geworden, dass nach wie vor der Grundidee des einfachen, kostengünstigen Fliegens gerecht wird. Einen besonderen Beleg der Leistungsfähigkeit und Robustheit des Falkens erbrachte 1982 der Journalist Wolf Heckmann, der mit dem SF 25 C D-KOEO in rund 230 Flugstunden von Deutschland nach Australien flog.

Konstruktion

Bei der Konstruktion des Falken verfolgte Egon Scheibe einen pragmatischen Ansatz, so sollten möglichst wenig Teile neu konstruiert werden. Daher wurden die Tragflächen

¹⁸ Diese Einweisung ist typbezogen und sollte bei Umstieg auf einen anderen Typ durch einen Fluglehrer oder einen auf dem neuen Typ erfahrenen und einweisungsberechtigten Piloten wiederholt werden.

des Bergfalke II ebenso unverändert übernommen wie das Höhenleitwerk des Sperrers. Das Höhenleitwerk wird nach wie vor unverändert beim derzeit produzierten SF 25 C verwendet. Der Rumpf besteht aus einem bespannten Stahlrohrgestell, während die Tragflächen in Sperrholzbauweise ausgeführt und ebenfalls bespannt sind. Das Fahrwerk war ursprünglich durch ein zentrales Haupttrad mit Trommelbremse realisiert, mit dem SF 25 B kamen kleine Stützräder unter den Tragflächen sowie ein lenkbares Spornrad hinzu, das die Manövrierfähigkeit am Boden entscheidend verbesserte. Später war der C-Falke auch mit Zweibein- oder Bugradfahrwerk erhältlich. Der Einstieg erfordert eine gewisse Sportlichkeit, da zunächst die hohe Bordwand überstiegen werden muss. Die Plexiglashaube öffnet nach vorne und wird dann von einem Gurt in Position gehalten. Die Falken verfügen über Bremsklappen auf der Tragflächenoberseite, die nur mäßig wirksam sind. Durch den großen Rumpfquerschnitt sind jedoch auch steile Anflüge durch Seitengleitflug möglich. Die Trommelbremse des Hauptfahrwerks wird durch Ziehen des Bremsklappenhebels bis zum Anschlag betätigt.

Der SF 25 C "C-Falke" ist die am weitesten verbreitete Variante der Falken-Familie und wird heute noch gebaut. Der ursprüngliche C-Falke besitzt den 60 PS Limbach SL 1700 EA Motor, die spätere SF 25 C 2000 den 80 PS Limbach L 2000 EA. Aktuell erhältlich ist außerdem die Motorisierung mit dem Rotax 912A bzw. 912S, die 59KW/80PS bzw. 73KW/100PS leistet. Mit dem Rotax-Triebwerk verfügt der Falke über ausreichende Leistungsreserven für den kostengünstigen Schlepp von Segelflugzeugen.

Das Fahrwerk ist in drei Varianten erhältlich:

- Zentralrad-Version (Bugrad, Spornrad und Stützräder)
- 2-Bein-Version (2 Hauptfahrwerke vor dem Schwerpunkt sowie ein Spornrad (keine Stützräder).)
- 3-Bein-Version (2 Hauptfahrwerke hinter dem Schwerpunkt und ein Bugrad.)

Technische Daten	
Kenngroße	Wert
Spannweite	15,3 m
Flügelfläche	18,2 m ²
Flächenbelastung	33,5 kg/m ²
Flächenprofil	Mu
Dienstgipfelhöhe	4300 m
Gleitzahl	23-24 (bei 108km/h)
Streckung	13,8
Länge	7,6 m
Mindestgeschwindigkeit	60 km/h
Leermasse	ca. 438 kg
Max. Abflugmasse	ca. 650 kg
Geringstes Sinken	1,1 m/s (bei km/h)

Antriebsbeschreibung Schulflugzeug

Motor-Varianten			
KenngroÙe	Limbach L 2000 EA		Rotax 912A Rotax 912S
Geschwindigkeit	150 km/h	170 km/h	180 km/h
Steigggeschwindigkeit	3,2 m/s	4,0 m/s	4,0 m/s
Startrollstrecke (ISA)	ca. 140 m	ca. 100 m	ca. 90 m
Reichweite (55 l Tank)	ca. 700 km	ca. 700 km	ca. 600 km
Flugdauer	4-5 h	4,5 h	4 h
Kraftstoffvorrat	55 / 80 l	55 / 80 l	55 / 80 l
Verbrauch (Reise)	ca. 11,5 l/h	ca. 13 l/h	ca. 13 l/h

Die alte Motorisierung mit Stamo 4-Takt Motor hat nur 45PS Startleistung.