

## Flugbetrieb/Technik

## Verminderte Leistung

**Verringerte Motorleistung  
und wie man ihr begegnen kann**

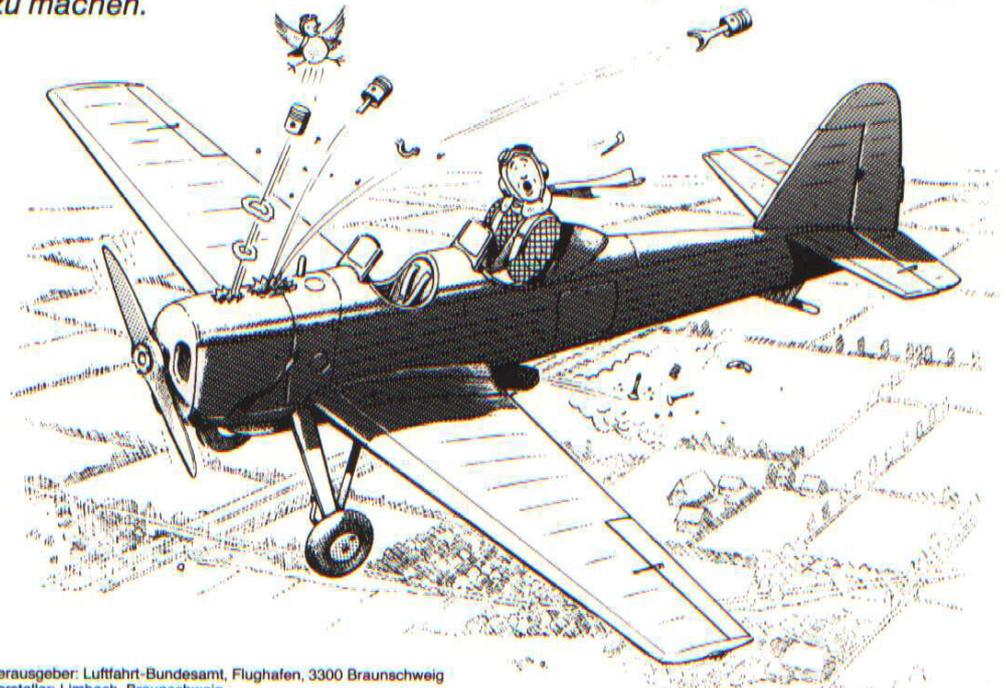
Braunschweig, den 1. 12. 1982  
LBA III 3 – 985.1/81

*Flugzeugführer der allgemeinen Luftfahrt scheinen leider sehr oft wenig Vorstellungen zu haben, wieviel negative Einflüsse bei Flugmotoren auftreten können, die allgemein zu „verminderter Leistung“ führen und einen unsicheren Flugzustand hervorrufen können. Diese Leistungsminderungen lassen sich in zwei Kategorien einteilen.*

*Bei der ersten ist der Motor technisch völlig in Ordnung, gibt unter normalen Voraussetzungen auch volle Leistung ab, ist aber durch die Umwelt (Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit) in seiner Leistung eingeschränkt.*

*In der zweiten Kategorie sind versteckte Störungen vorhanden, die zu einer Leistungsminderung führen. Dazu gehören u. a. mangelhafte Zündung, Fehler im Ansaugsystem und Undichtigkeit im Zylinderbereich. Deren Anzeichen gilt es rechtzeitig zu erkennen und zu beseitigen, bevor sie kritisch werden können.*

*Die Auswertung von Unfallursachen über lange Zeit zeigt, daß Unfälle kaum durch nur ein Ereignis ausgelöst werden. Vielmehr führt meist eine Anhäufung von kleinen Unregelmäßigkeiten – eine Kette von Ereignissen – dazu, daß der Flugzeugführer schließlich sein Flugzeug nicht mehr beherrscht. Lassen Sie uns deshalb die Ursachen für verminderte Leistungen betrachten, um das Fliegen so sicher wie möglich zu machen.*



## 1. Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Motorleistung

Es ist bekannt, daß der Wasserdampfgehalt der Luft um so größer sein kann und wird, je höher die Temperatur ist. Dies geht soweit, daß bei +35° C die Luft achtmal mehr Wasser enthalten kann als bei + 5° C. Während sich der Feuchtigkeitsgrad der Luft auf die Wirksamkeit des Auftriebs und des Propellerschubes praktisch nicht auswirkt, kann er jedoch bei der Motorleistung nicht mehr vernachlässigt werden. Dies muß schon während der Flugvorbereitung berücksichtigt werden, wenn Starts beispielsweise bei drückend schwüler Luft, d. h. bei hohem Feuchtigkeitsgrad, geplant werden.

Der Leistungsverlust erklärt sich folgendermaßen: Wenn sehr feuchte Luft angesaugt wird, ist im Endergebnis volumenmäßig weniger für die Verbrennung notwendige Luft im Zylinder. Weil die Kraftstoffmenge die gleiche bleibt, die Luftmenge aber geringer ist, entsteht ein übermäßig angereichertes Gemisch. Die Luftfeuchtigkeit verzögert außerdem die Verbrennung, wodurch die Leistung herabgesetzt wird. Eine bessere Kühlung des Motors wird jedoch nicht erreicht.

Diese Erscheinung tritt in gleicher Weise auf bei allen Kolbenmotoren, aber auch bei solchen mit Ladung oder Einspritzung. Vergaser und Einspritzanlagen bemessen die Kraftstoffmenge nach der in den Verbrennungsraum angesaugten Luftmenge, können aber nicht zwischen trockener Luft und Wasserdampf unterscheiden.

Um eine etwaige hohe Luftfeuchtigkeit bei der Flugvorbereitung zu berücksichtigen, empfehlen wir folgende Faustregel:

Der Flugzeugführer sollte zu den in seinem Flughandbuch angegebenen Werten für die Startrollstrecke 10 % für Triebwerksleistungsverluste aufgrund des Wasserdampfgehaltes der Luft bei feuchter Witterung hinzu rechnen.

Auch bei Flügen in starken Schauern treten Leistungsminderungen ein.

## 2. Einfluß von Platzhöhe und Platztemperatur

Sicheres Fliegen an einem hoch über NN gelegenen Flugplatz (5000 ft Dichtehöhe und darüber), noch dazu an einem heißen Tag, setzt Kenntnis über das Nachlassen der aerodynamischen Wirkung von Flugzeug und Propeller unter diesen Umweltbedingungen sowie über die erheblich verminderte Leistungsabgabe des Motors voraus. Eine gute Faustregel besagt:

Für je 300 m Höhe über NN erhöht sich die im Flughandbuch angegebene Startrollstrecke um etwa 25 %. Normale Motoren ohne Aufladung verlieren pro 600 m Höhendifferenz rund 10 % an Leistung.

Ein praktisches Beispiel soll zeigen, welchen Problemen ein Flugzeugführer auf einem hoch gelegenen Platz gegenübersteht. In Donzdorf (BW) z. B. zeigt der Höhenmesser ca. 2350 ft. Die Leistungsangaben für sein Flugzeug beziehen sich aber auf die Standard-Atmosphäre (Temperatur 15° C, 1013,2 mb in NN). Das zu Rate gezogene Flughandbuch ergibt für die herrschende Außentemperatur von 20° C eine Dichtehöhe von nicht weniger als 4250 ft. Damit verlängert sich aber die Startrollstrecke gegenüber den Angaben im Flughandbuch um das 1,5 bis 2fache. Der Faktor kann sich noch erhöhen, wenn die Außentemperatur über 25° C steigt. Da die S/L-Bahn nur 600 m lang ist, wäre in diesem Fall ein Start möglichst in die Morgen- oder Abendstunden zu verlegen.

Wie dieses Beispiel zeigt, muß der Flugzeugführer wissen, daß die Luftdichte um so mehr abnimmt, je höher die Temperaturen liegen und die Flugleistungen unter Umständen erheblich schlechter werden. Der Motor gibt weniger Leistung ab, weil der Füllungsgrad der Zylinder geringer ist, aber auch der Schub des Propellers und der Auftrieb an den Tragflächen lassen wegen der niedrigeren Luftdichte nach. Die Startrollstrecke verlängert sich und die Steigleistungen werden geringer.

Um auf einem hoch gelegenen Flugplatz mit einem Vergasermotor dennoch sicher fliegen zu können, wenn die Druckhöhe über 5000 ft ansteigt, oder wie auf einigen Flugplätzen des Auslandes sogar darüber liegt, sind vor dem Start bestimmte Maßnahmen nötig. Bei einem Flugzeug mit einem Vergasermotor und festem Propeller erhöhe man die Drehzahl bis zum erreichbaren Höchstwert und verarme das Gemisch dann so lange, bis die maximale Drehzahl angezeigt wird. Mit dem Gemischhebel in dieser Stellung startet man. Hat der Motor einen Drehzahlregler, fährt man hoch bis zur Start-Drehzahl, verarmt dann solange, bis der Motor gleichmäßig und rund läuft und somit seine volle Leistung erreicht. Die Anwendung des hier beschriebenen Verfahrens ist für einen gesunden Motor wegen seiner verringerten Leistung in Druckhöhen von 5000 ft und darüber keinesfalls schädlich.

Alle Lader-Motoren müssen beim Start in jeder Höhe mit vollreichem Gemisch gefahren werden. Das gilt für Lader mit Handregelung ebenso wie für Automatik.

## 3. Start bei kaltem Wetter

Kalte Luftfahrtschmiermittel sind weit zähflüssiger, als die sonst üblichen Schmiermittel für Kraftfahrzeugmotoren. Sie brauchen daher eine längere Zeit zur Erwärmung, damit die für den Betrieb richtige Viskosität erreicht wird und der Schmierstoff einwandfrei an alle Schmierstellen der luftgekühlten Motoren und ggf. in den Regelkreislauf von Verstellpropellern gelangt.

Um eine mögliche Leistungsminderung gerade beim Start zu vermeiden, sollte ein ausreichender „Warm-

lauf" solange durchgeführt werden, bis die Temperaturanzeige gut im grünen Bereich steht.

Bei Temperaturen über 0° C genügt im allgemeinen eine Laufzeit von ca. 2 bis 3 Minuten bei einer Drehzahl von 1000–1200 U/min. Bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes kann die Erwärmungszeit durchaus doppelt so groß sein.

Turboladernmotoren erfordern einen noch längeren Erwärmungszeitraum, um eine sichere und einwandfreie Steuerung des Ladedrucks zu gewährleisten oder Überladung zu verhindern. Wenn einmal bei kühlem und kaltem Wetter trotz der eben empfohlenen Warmlaufzeit einschließlich des Abbremsens mit Magnetprobe die Öldruckanzeige außerhalb des grünen Bereiches bleiben sollte, stellen Sie den Motor ab. Lassen Sie den Ölkreislauf nachprüfen.

Ein anderer Grund für Leistungsminderung bei niedrigen Temperaturen ist die Verwendung eines Motorenöls mit höherer Zähigkeit als für die Jahreszeit vorgeschrieben ist. Ein solches Öl benötigt mehr Energie für hydraulische Arbeit, z. B. Propeller-Verstellung, und führt daher zwangsläufig zum Leistungsverlust. Achten Sie also sorgfältig auf die Verwendung des richtigen Öls für den jeweiligen Betrieb. Führen Sie bei kaltem Motor und kaltem Öl einen umsichtigen Warmlauf vor dem Start durch. Beobachten Sie die Anzeige der Triebwerksüberwachungsgeräte. Verlängern Sie den Warmlauf bei kaltem Wetter solange, bis alle Anzeigen im grünen Bereich liegen. Ziehen Sie im Zweifelsfall einen Prüfer hinzu. Bei Verdacht auf Leistungsmängel Ihres Motors ist eine kurze, zügig durchgeführte Vollgasprobe zweckmäßig.

#### 4. Benutzung der Vergaservorwärmung oder Ersatzwarmluft

Wenn ein Flugzeugführer beim Start auf einem Flugplatz wenig über Meereshöhe vergessen haben sollte, die von der vorhergehenden Landung noch auf voll warm stehende Vergaservorwärmung auf kalt zu stellen, mag er einen Schreck bekommen, wenn das Flugzeug spät abhebt und schlecht steigt. Zu einem Unfall muß das aber nicht führen.

Anders sieht es schon aus, wenn ihm der gleiche Fehler beim Start und auf einem Flugplatz in 700 m NN bei 25° – 30° C passiert. Hier summieren sich die negativen Einflüsse auf die Leistungen des Motors. Ihre Vernachlässigung führt mit Sicherheit zu erheblichen Schwierigkeiten beim Start oder Steigflug, falls es überhaupt soweit kommt. Vielen Luftfahrzeugführern sind offensichtlich die Zusammenhänge bei der Anwendung der Vergaservorwärmung nicht ganz klar. Sie sollen deshalb hier nochmals dargestellt werden.

Der Abfall der Leistung bei Vergaservorwärmung oder Ansaugluft „warm“ hat zwei Ursachen:

- a) Bei der Verwendung von Kaltluft strömt diese direkt unter Staudruck in das Ansaugsystem. Wird dagegen die Vergaservorwärmung gezogen, muß sich der Motor die Luft entweder direkt aus dem verkleideten Motorraum oder sogar noch auf dem Umweg über einen Wärmeaustauscher um das Auspuffrohr selbst ansaugen. Dies ergibt einen Leistungsverlust, der für sich betrachtet noch nicht sehr hoch ist (~3 %).
- b) Wird Luft erwärmt, so ändert sich bei gleichem Druck das Volumen, d. h., je wärmer die Luft, um so größer ihr Volumen. Die Luft verdünnt sich. Da das Ansaugvolumen des Zylinders aber stets gleich bleibt, erhält er somit mit der weniger dichten Luft auch weniger Sauerstoff. Der Kraftstoffanteil aber bleibt konstant, so daß ein zu reiches Gemisch entsteht. Diese Überfettung tritt natürlich auch bei zunehmender Höhe auf.

Der dadurch entstehende Leistungsverlust hat bereits eine ganz andere Größe. Er kann bis zu 13 % betragen. Noch schlimmer wird es, wenn bereits eine Vereisung im Ansaugschacht vor, an oder hinter der Drosselklappe aufgetreten ist.

Es wird daher empfohlen, schon bei der Möglichkeit einer Vergaservereisung mit Ansaugluft „warm“ zu fliegen.

Die meisten Vergaser reagieren im wesentlichen träge bei plötzlichen Drosselstellungsänderungen, u. U. bei schneller Drosselöffnung zunächst überhaupt nicht. Deshalb sollte, wenn Ansaugluft warm oder die Vergaservorwärmung eingeschaltet ist, die Drossel langsam geöffnet werden.

Wenn die Benutzung der Vergaser-Vorwärmung im Reiseflug einen unerwünschten Leistungsverlust verursacht, so kann man die Drehzahl bzw. den Ladedruck bis zu 200 U/min. bzw. maximal 2 inches Ladedruck nachsetzen, bevor man das Gemisch entsprechend abmagert. So ist es möglich, den durch die Vergaservorwärmung aufgetretenen Leistungsverlust wieder auszugleichen, vorausgesetzt, daß noch Leistung zur Verfügung steht.

In diesem Zusammenhang sei auf die Änderung der Lycoming Betriebsanweisung Nr. 1148 (Gebrauch der Vergaservorwärmung) hingewiesen. Danach hat die Erfahrung gezeigt, daß Flugzeugführer die Vorwärmung unter Vereisungsbedingungen nur teilweise oder nur kurzfristig voll benutzen. Die darin ausgedrückte Sorge ist unbegründet. Man kann unter bekannten oder vermuteten Vereisungswetterlagen bei Reiseleistung ebenso wie bei der Landung ohne Schaden für den Motor die volle Vergaservorwärmung benutzen. Allerdings sollte beachtet werden, daß bei „warmer“ Luft diese nicht gefiltert ist.

## 5. Mangelhafte Zündung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, bei denen die Zündung die Ursache für das Nachlassen der Triebwerksleistung sein kann. So wurde z. B. ein Leistungsverlust von etwa 3 % gemessen bei einem ausgefallenen oder bei nur einem eingeschalteten Magneten. Der Ausfall eines Magneten im Flug bei einem Flächenflugzeug ist noch kein Grund zur Besorgnis, vorausgesetzt, daß keine weiteren Störungen hinzukommen.

Schwierig allerdings wird die Magnetstörung bei Hubschraubern während des Starts, des Schwebefluges oder der Landung, weil in diesen Betriebsphasen, bedingt durch das System, die volle Leistung benötigt wird.

Ein anderer Grund für Leistungsabfall sind verbrauchte und verschmutzte Zündkerzen, die nur einen schwachen Zündfunken liefern, sowie verbrauchte Unterbrecherkontakte. Alte, verdrehte Kabelsätze mit brüchiger Isolierung arbeiten vor allem in der Höhe nicht einwandfrei. Werden bei der Sichtkontrolle der Kabelsätze Alterungserscheinungen festgestellt, sollte das Zündgeschirr in speziellen Prüfeinrichtungen überprüft werden.

Auch eine nicht korrekte Zündzeitpunkt-Einstellung (Früh- oder Spätzündung) wirkt sich nachteilig auf die Leistung aus. Eine gewissenhafte Wartung kann dieses Problem lösen. Doch noch einiges zu den Zündkerzen. Die vorgeschriebene Zündkerze ist sehr wichtig für die Leistungsfähigkeit des Motors. Verwenden Sie deshalb immer die im Motorhandbuch vorgeschriebenen Zündkerzen (Größe und Wärmewert). Bei der Wartung muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß Zündkerzen mit langem Einschraubgewinde nur bei solchen Zylindern eingeschraubt werden, die dafür vorgesehen sind. Wenn eine Zündkerze mit der falschen Gewindelänge in den Zylinder eingeschraubt wird, so kann das wiederum einen Leistungsverlust, eine Frühzündung oder sogar Klopfen verursachen.

Auch ein verschmutzter Zündkerzenstecker oder ein verschmutzter Kerzenkörper kann die Leistung des Motors erheblich vermindern. Schmutz oder Feuchtigkeit an den Zündkerzen-Klemmschrauben (Stecker) oder am Isolierkörper lassen bei der hohen Zündspannung den Strom den kürzeren Weg wählen und den gewollten Überschlag zwischen den Elektroden vermeiden. Alle Bestandteile der Zündanlage sind deshalb peinlichst trocken und sauber zu halten.

Erneuerung dieser Teile in vernünftigen Zeitabständen ist immer noch die preisgünstigste Versicherung gegen Leistungsverlust. Bei Unterlassung gehen sowohl Sicherheit als auch Wirtschaftlichkeit verloren.

## 6. Fehler im Ansaugsystem

Wenn das Ansaugsystem undichte Stellen aufweist, kann das Gemisch durch Nebenluft verarmt werden und so einen Leistungsverlust hervorrufen. Das könnte vor allem beim Start und im Steigflug kritisch werden. Bei den meisten Motoren lassen sich diese Undichtigkeiten dadurch feststellen, daß dort Verfärbungen durch austretenden Kraftstoff entstehen. Sollten solche Undichtigkeiten bemerkt werden, müssen sie vor dem nächsten Flug beseitigt werden. Bei Vergasermotoren sind Leistungsverluste beobachtet worden, weil durch Brüche oder Undichtigkeiten in der Vorwärmanlage Nebenluft in die Ansaugschächte eindringen konnten. Bei Außentemperaturen höher als 15° C kann dieser Fehler einen empfindlichen Leistungsverlust hervorrufen, der sich besonders dann unangenehm bemerkbar macht, wenn mehr als Reiseleistung erforderlich ist.

## 7. Undichte Kolbenringe und Kompressionsverlust

Noch eine andere Art des Leistungsverlustes entsteht durch Eindringen von Öl in den Verbrennungsraum in mehr als dem zulässigen Maße. Dieser Zustand tritt ein bei gebrochenen oder verschlissenen Kolbenringen, abgenutzten Zylinderwänden oder auch durch ausgeschlagene Ventilführungen. Öl im Verbrennungsraum schlägt sich auf die Zündkerzen nieder und vermindert ihre Zündleistung. Es beeinflusst die Verbrennung, was wiederum zu einem Leistungsverlust führen kann, speziell im Start- und Steigflug. Wenn mehr Zylinder als einer Ölsuren im Verbrennungsraum zeigen, ist eine gründliche Erforschung der Ursache am Motor fällig, eventuell sogar eine Überholung, auch wenn die zulässige Betriebszeit noch nicht erreicht ist. Leistungsverlust durch undichte Ventile kann der Flugzeugführer im Fluge meist nicht feststellen. Wenn ein Auslaßventil verbrannt und der Sitz zerstört ist, kann ein Motorausfall im Flug auftreten. Eine rechtzeitige Kompressionsprobe läßt fast alle diese Fehler erkennen, mit Ausnahme gewisser Fälle von gebrochenen Kolbenringen. Öl im Verbrennungsraum sollte auf jeden Fall Anlaß für eine Sichtprüfung mit dem Boroskop oder ähnlichem sein.

## 8. Zusammenfassung

Wenn auch nicht alle der vielen Leistungsminderungsfaktoren hier aufgeführt werden konnten, haben wir doch versucht, die wichtigsten zu nennen, verbunden mit Empfehlungen, auf welche Weise man ihnen begegnen kann. Jeder Betroffene sollte sich stets den gefährlichen Unterschied vor Augen halten zwischen einer Motorstörung, die sofort offensichtlich (und leicht erkennbar) ist, wie z. B. der Ausfall beider Zündkerzen im selben Zylinder und den kleineren aber versteckten Leistungsverlusten. Sie sind es, die Leistung in geringem Umfang an jedem Zylinder verschwinden lassen, bis mehrere von ihnen zur selben Zeit auftreten und ernsthafte Proportionen annehmen, die zu absolut unsicheren Flugbedingungen führen. Davor hüte man sich, um nicht ein Opfer der verminderten Leistung zu werden.