

# Wer den Motor schont, fliegt falsch

## Richtiges Einlaufen neuer oder überholter Kolbentriebwerke

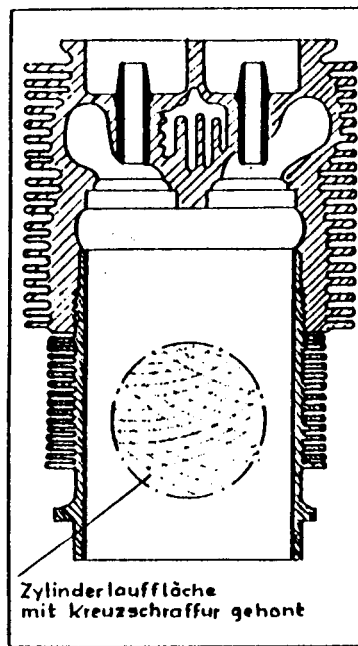
*Kolbenmotoren sind heute sehr zuverlässig, und bei richtiger Bedienung: und sorgfältiger Wartung und Betreuung bieten sie auch gute Chancen, die vorgesehene Betriebsstundenzahl ohne Probleme zu erreichen. Für das "Schicksal" eines Triebwerks von besonderer Bedeutung ist die so genannte Einlaufphase, also etwa die ersten 100 Betriebsstunden. Hier entscheidet sich, ob der Motor wirklich seine optimalen Qualitäten erreicht oder aber beispielsweise zu Beginn seiner Karriere "verglast". Otto Halse' von der MTU hat die wichtigsten Empfehlungen für das Einlaufen neuer oder überholter Triebwerke zusammengestellt. Die im Artikel ausgesprochenen Empfehlungen basieren auf den entsprechenden Unterlagen der Flugmotorenhersteller Lycoming und Teledyne Continental sowie den im Hause MTU gesammelten Erfahrungen.*

Es soll Piloten geben, die, wenn die Bahn lang genug ist den Start nicht mit voller Leistung durchführen. Sie sind der Meinung, mit einem derartigen Startverfahren den Motor zu schonen, und glauben sogar, dadurch die Lebensdauer des Motors zu erhöhen. Es soll auch Motorenwarte, Prüfer und gar Amtspersonen geben, die Flugmotoren in der geschilderten Weise behandeln, weil sie der Meinung sind, daß es nicht schaden könne, einen Motor zu schonen. Es gibt sogar Piloten, die keinen rechten Unterschied zwischen einem Auto- und einem Flugzeugmotor wissen. Die Absicht mag lobenswert sein, nur die Flugmotoren mögen das nicht so recht, und das, obgleich sie recht hart im Nehmen sind. Für alle diejenigen, die schon alles über Flugmotoren wissen, ist der folgende Beitrag nicht gedacht. Wer jedoch bereit ist, noch etwas hinzuzulernen, der sollte sich durchaus die Zeit nehmen, den nachfolgenden Artikel einmal in Ruhe zu lesen.

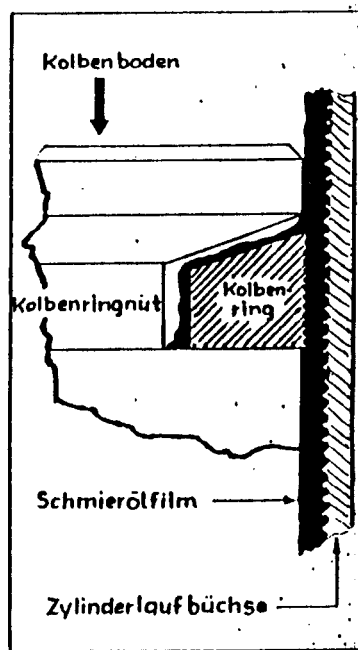
### **Für die Nennleistung gebaut**

Zunächst eine Vorbemerkung: Ein Flugmotor wird im Hinblick darauf gebaut, seine Nennleistung problemlos über eine lange Laufzeit abzugeben.

Was heißt das? Angenommen, die Firma XY entwickelt einen neuen Flugmotor. Zunächst einmal sind die Konstrukteure am Zeichenbrett am Werk. Dann werden die Motorenteile gefertigt. Die Entwicklungsabteilung produziert einen Motor, nimmt diesen auf den Prüfstand und erprobt ihn so lange, bis er den Erwartungen entspricht. Dabei wird getestet und wieder getestet, geändert und wieder geändert. Wenn alles soweit klar ist, alle Tests abgeschlossen sind, wird der Motor schließlich zur Produktion freigegeben. Doch damit nicht genug. Normalerweise macht dann der erste Motor aus der Serie den sogenannten Produktions-Beweislauf. Bei einem amerikanischen Motor wären dann beispielsweise Beamte der amerikanischen FAA anwesend, bei einem in der Bundesrepublik Deutschland entwickelten Motor würde der Produktions-Beweislauf vom LBA abgenommen. Ein solcher Produktions-Beweislauf muß wenigstens über 150 Stunden gehen, das fordert jedenfalls die amerikanische FAA.



**Bild 1:** Das typische Honbild auf den Zylinderwänden wird durch die Hub- und Drehbewegung der Honahle erzeugt. Der durch das Honen erzeugte Materialabtrag hinter läßt Bearbeitungsspuren im Zylinder, die von größter Bedeutung für den Einlaufprozeß der Kolbenringe zur Zylinderwand sind.



**Bild 2:** So etwa muß man sich einen Zylinder mit Kolben im Schnitt vorstellen, wenn er nach der Herstellung bzw. Grundüberholung nur ganz kurz gelaufen ist. Die Zeichnung soll der Demonstration dienen, hat also mit dem tatsächlichen Aussehen von Kolben und Zylindern nichts zu tun.

Diese 150 Stunden sind aufgeteilt in drei Zeiteinheiten:

Die ersten 50 Stunden werden mit Nennleistung gefahren. Die Zylinderkopf- und die Öltemperatur werden dabei - und das ist auf einem Prüfstand kein Problem - etwa wie bei einem Reiseflug gehalten.

Die zweite Zeiteinheit - ebenfalls 50 Stunden - wird im Prinzip wie die erste gefahren, jedoch werden die Zylinderkopf- und Öltemperaturen im Grenzbereich der roten Linie gehalten.

Die dritte Betriebsstundengruppe schließlich wird mit Leistungen zwischen 65 und 75% gefahren, wobei Zylinderkopf- und Öltemperaturen ebenfalls am roten Strich gehalten werden.

Nach diesem Abnahmelaut wird der Motor zerlegt, jedes einzelne Teil eingehend untersucht und bewertet.

Dabei werden alle Teile mit den Maßen der entsprechenden Neuteile verglichen. Jede Abweichung, und sei sie noch so klein, wird dabei festgestellt.

Bei dem oben beschriebenen Prüfverfahren wird der Motor über 100 Stunden mit seiner Nennleistung betrieben. In der Praxis heißt dies: Ein Pilot müßte, um die 100 mit Nennleistung geflogenen Stunden zu erreichen - wie sie beim Produktions-Abnahmelauf nachzuweisen sind -, beispielsweise 1000 Flugstunden lang jede Flugstunde für die Dauer von sechs Minuten die volle Nennleistung erfliegen. Für die Motorenhersteller ist der Prüflauf daher der Beweis dafür, daß die an den Motor gestellten Anforderungen tatsächlich auch erfüllt werden.

Soweit die Vorbemerkung zum Thema "Belastung eines Kolbentriebwerks". Auch wenn diese Vorbemerkung etwas lang geraten sein mag, so ist sie doch wohl notwendig, um den Sachverhalt wirklich zu verstehen.

Doch nun zum Kern der Sache: Wie also sollte, ein Pilot einen Flugmotor behandeln, damit er bei dessen Betrieb keine unangenehmen Überraschungen erlebt und auch in den Genuß der vollen Flugstundenleistung des Triebwerks kommt? Jeder Flugmotor muß, sobald er fertig montiert ist, einen Prüf- und Abnahmelauf absolvieren. Der letzte Teil des Laufes wird dabei als so genannter Ölverbrauchslauf bezeichnet. Hierbei wird der Motor mit Nennleistung gefahren genauso beispielsweise wie bei den ersten 50 Stunden des eingangs geschilderten: Produktions-Beweislaufes.

Je nach auftretendem Ölverbrauch kann sich der Abnahmelauf hinziehen. In der Regel wird hierfür eine Stunde angesetzt. Dies gilt für solche Läufe bei denen sich keine Fehler herausstellen und sich der Ölverbrauch mit zunehmender Laufzeit stabilisiert. Ein Probelauf kann aber auch ohne weiteres länger dauern.

Sinn dieses Probelaufes ist es, den Kolbenringen die Möglichkeit zu geben, sich optimal der Zylinderwand anzupassen.

Der Prüflauf wird dabei mit gutem Grund mit voller Nennleistung durchgeführt. Die Nennleistung wird benötigt; um die Kolbenringe mit dem notwendigen Anpressdruck an die Zylinderwand zu bringen. Hierfür wird der größtmögliche, mittlere Kolbendruck benötigt.

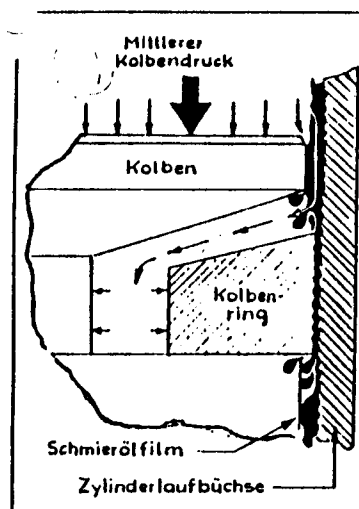
Für den mittleren Arbeitsdruck der Kolben findet man häufig die Abkürzung BMEP, die soviel wie "Break Mean Effective Pressure" bedeute. Nur bei einem Lauf mit Nennleistung - und das ohne wenn und aber kann der gewünschte, Einlauf der Ringe erfolgen.

### Ölverbrauchslauf zur Kontrolle

Der Parameter, mit dem der Fachmann feststellen kann, ob die Ringe beginnen, im ausreichenden Maß eingelaufen zu sein, ist der, Ölverbrauch.

Wie groß der Ölverbrauch beim Einlaufen eines Motors sein darf und muß, bestimmt der Hersteller eines Motors. Der durchschnittliche Ölverbrauch wird hierzu mittels eines so genannten Prüfmotors bestimmt. Für jeden neuen Motor wie auch für jeden grundüberholten Motor gilt dabei eine bestimmte Mengenangabe, die an Öl während des Ölverbrauchslaufes tatsächlich verbraucht werden darf.

Mit dem Ölverbrauchslauf ist zwar bewiesen, daß die Ringe beginnen, einzulaufen, abgeschlossen ist dieser Einlaufprozeß jedoch unter Umständen erst nach etwa 100 Stunden.



**Bild 3:** Die Abbildung zeigt den Einlaufprozeß in einem Zustand, bei dem die Spitzen der Zähne schon abgetragen sind. Deutlich wird in der Zeichnung aber auch warum der Kontakt nur an den Spitzen, nicht jedoch in den vom Honen verursachten Vertiefungen erfolgen kann. Die Vertiefungen haben jedoch die wichtige Aufgabe, die Berührungspunkte so voneinander zu trennen, daß es nur zu punktuellen, nicht jedoch zu Flächenberührungen kommen kann. Zur Veranschaulichung sind auch in dieser Zeichnung die "Spitzen und Täler" stark überhöht dargestellt.

Dem Laien erscheint beim flüchtigen Betrachten eine Zylinderwand wie eine schöne, glatte und spiegelnde Fläche. Eine genauere Betrachtung zeigt jedoch, daß es sich bei einer Zylinderwand keineswegs um eine spiegelglatte Oberfläche handelt. Dies wird allein schon durch die Methode bei der Herstellung beziehungsweise Instandsetzung ausgeschlossen, denn der Zylinder wird bei der Fabrikation wie auch bei der Instandsetzung weder gedreht, noch geschliffen, sondern mit einem Honwerkzeug, der so genannten Honahle, bearbeitet. Diese Honahle, egal von welchem Hersteller, bewirkt einen gewissen Spanabtrag.

Da sich dieses Honwerkzeug während des Arbeitsganges mit den Honsteinen an die Zylinderwand anpressen läßt, sich dabei auf und ab bewegt (Hub) und sich dabei dreht, gibt es auf der Zylinderoberfläche keine wie vom Drehen oder Schleifen her gewohnten Bearbeitungsbilder, sondern eben ein typisches Honbild (siehe Abb. 1)

Welche Rolle spielt nun der "mittlere Kolbendruck" beim Einlaufen eines Kolbentriebwerks? Erinnern wir uns: Zwischen Kolbenring und Zylinderwand befindet sich ein Ölfilm. Der Ring kann aber nur dann einlaufen, wenn er tatsächlich Kontakt zur Zylinderwand bekommt. Dazu muß der Ring den trennenden Ölfilm durchbrechen. Ein Vorgang, den Abbildung 3 verdeutlichen soll. In der Zeichnung sind allerdings die Oberflächen vom Ring und Zylinder übertrieben mit Zähnen dargestellt. Ein kurzes Durchbrechen des Ölfilms hat zur Folge, daß Metall auf Metall reibt. An den winzigen Kontaktstellen führt dies zu einem derart hohen Temperaturanstieg, daß kleinste Metallteilchen herausgerissen werden und sich so aus der Oberfläche herausragende Erhebungen gegenseitig abtragen. Dieser Prozeß setzt sich so lange fort, bis sich die Oberfläche so geglättet hat, daß man den Einlaufprozeß als relativ abgeschlossen ansehen kann.

Der danach noch stattfindende Metallabrieb ist wesentlich geringer, als während des Einlaufvorganges. In Abbildung 2 sieht man deutlich, daß der Kolbenring nicht anliegt; verhindert wird dies durch den zwischen Ring und Zylinder befindlichen Ölfilm. Da jedoch für das Einlaufen der Metallkontakt zwischen Ring und Zylinder gebraucht wird, ist dafür zu sorgen, daß der trennende Ölfilm auch durchstoßen wird.

Diese wichtige Voraussetzung zum Einlaufen wird jedoch nicht erfüllt, wenn

- der Motor leistungsmäßig nicht belastet wird,
- das falsche Motoröl oder
- Ölzusätze während der Einlaufzeit benutzt werden.

Auch legiertes Öl sollte nicht verwendet werden, da der Ölfilm hierbei wesentlich später abreißt als bei unlegierten Ölen. Genauso erhöhen Zusätze die Ölfilmfestigkeit und sind daher nicht zu verwenden.

Solange vom Motorhersteller nicht ausdrücklich von Anfang an auf die Verwendung von legierten Ölen hingewiesen wird, dies ist in wenigen Ausnahmen der Fall, darf zum Einlaufen daher nur einfaches, unlegiertes Öl verwendet werden. Das bisher Gesagte darf nicht zu falschen Schlüssen verleiten: Wir wollen den Ölfilm durchstoßen, aber nur zum Zwecke des Einlaufens der Kolbenringe.

Würden die "Täler", also die ebenfalls in der Oberfläche vorhandenen Vertiefungen nicht vorhanden sein, dann wäre kein Öl (Ölfilm) bereit, die durch die Spitzenabtragung entstandene Wärme aufzunehmen und zugleich den trockengelautenen Punkten wieder einen Ölfilm zuzuführen.

#### Prozentuale Leistungsabnahme in der Höhe bei vollgeöffneter Drosselklappe (nicht aufgeladene Motoren)

Höhe ft	Leistung in %
0	100.0
500	98.5
1 000	96.8
2 000	93.6
2 500	92.0
3 000	90.5
4 000	87.5
5 000	84.6
6 000	81.7
7 000	78.9
8 000	76.2
9 000	73.5
10 000	70.8
11 000	68.3
12 000	65.8

Wie Abbildung 3 zeigt, ist der "Schlüssel" für den Einlaufvorgang der Druck; der auf den Kolbenboden ausgeübt wird; Ist dieser Druck zu niedrig (wenig Motorleistung, niedriger mittlerer Kolbendruck), so wird, wie aus Bild 2 ersichtlich, nie ein Einlauf stattfinden können. Im Gegenteil, es zeigt sich der Effekt, daß die Zylinderwände "verglasen".

Dieser Verglasungsvorgang bedarf der Erklärung: Bei jedem Verbrennungsvorgang werden die Zylinderwände, wenn auch nur für einen extrem kurzen Moment, einer sehr hohen Temperatur ausgesetzt, Diese Temperaturspitzen führen dazu, daß winzige Anteile des Öls oxidieren, was ein normaler Vorgang ist, Ein Teil des oxidierten Öls füllt, da es sich um einen permanenten Vorgang handelt, die von der Bearbeitung

herrührenden Vertiefungen in den Zylinderwänden in verhältnismäßig kurzer Zeit auf. Auch dies ist ein normaler Vorgang, nur müssen die Ringe vorher, eingelaufen sein.

Jeder Zylinder weist nach einer bestimmten Laufzeit eine glatte, "verglast" aussehende Oberfläche auf. Wird bei einem Motor oder gewechselten Zylindern während der Einlaufphase hoher Ölverbrauch, verölte Kerzen, bläuliches Qualmen aus dem Auspuff oder starker Öldunst aus dem Motor-Entlüftungssystem festgestellt, dann kann man mit Sicherheit davon ausgehen, daß der oder die Zylinder "verglast" sind. Um das Verglasen dann zu beseitigen, gibt es nur eine Möglichkeit, die betroffenen Zylinder abbauen und honen. Vermeiden läßt sich dies, wenn der Einlaufvorgang zuvor richtig, durchgeführt wird.

### **Was kann der Pilot in der Einlaufphase tun**

Was kann nun der Pilot tun, um einen erfolgreichen Einlaufprozeß sicherzustellen? Zunächst sollte man sich darüber im klaren sein, daß allein der Pilot etwas tun kann, denn schließlich ist er derjenige, der den Motor bedient.

Zunächst muß er sich vergewissern, daß nur gutes, unlegiertes Markenöl (auf Ausnahmen ist zu achten) während der ersten 50 Stunden oder bis zur Stabilisierung des Ölverbrauchs verwendet und auch nachgefüllt wird.

- Ölwechsel, damit verbunden auch Filterwechsel, sollten in der Einlaufphase lieber häufiger als zu selten durchgerührt werden, schließlich verschwinden mit jedem Ölwechsel viele Verunreinigungen aus dem Motor.
- Für jeden Start ist die volle vorhandene Leistung des Motors zu benutzen. Mit dieser Leistung wird bis zum Erreichen der Scherheitshöhe geflogen: mit 75 Prozent Leistungseinstellung ist dann der Steigflug bis zum Erreichen der Reiseflughöhe fortzusetzen. Der Reiseflug wird mit 65 bis 75 Prozent Leistungseinstellung geflogen. Nicht über 7000 ft mit einem nicht aufgeladenen Motor fliegen (Motorleistung nimmt mit der Höhe ab, siehe Tabelle),
- Bei nicht aufgeladenen Motoren ist alle 30 Minuten für 30 Sekunden volle Drehzahl beziehungsweise maximaler Ladedruck einzustellen; dann ist die Einstellung wieder für den Reiseflug zu reduzieren. Diese Prozedur hilft den Einlaufvorgang zu optimieren und ist selbstverständlich nach dem Einlauf des Triebwerks nicht mehr notwendig. Im Reiseflug darf das Anreichern und Abmagern dem Gemischhebel nicht vergessen werden.
- Zu vermeiden sind auch lange Landeanflüge ohne Leistung; Ladedruck wenn möglich nicht unter 15 inch Hg oder 508 mb sinken lassen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Zylinderkopftemperatur im grünen Bereich gehalten wird. Wichtig ist auch, daß während der Einlaufphase Bodenlaufzeiten auf das allernotwendigste beschränkt werden, vor allem bei heißem Wetter.

Falls man einmal - während der Einlaufphase - an einem großen Flugplatz nicht sicher ist, die Startfreigabe innerhalb weniger Minuten zu erhalten, dann sollte man das Triebwerk erst gar nicht anlassen.

Piloten, die unter diesen Umständen nicht die Empfehlungen zum richtigen Einlaufen des Triebwerks beachten und vielleicht 15 Minuten oder länger mit dem im Leerlauf drehenden Motor auf das Erteilen einer Startfreigabe warten müssen, haben den Verglasungsprozeß im Motor schon eingeleitet, vor allem bei heißem Wetter, weil dann der Kühlluftstrom zur Vermeidung einer einsetzenden "Verglasung" nicht ausreicht. Bei der Bedienung des Motors während der Einlaufphase sollte man stets daran denken, den Gemischhebel mit viel Verständnis zu bedienen, Generell sind alle Starts mit volkreichem Gemisch durchzuführen. Wird jedoch ein Motor aufgrund eines zu reichen Gemischs im Lauf unrund, dann ist das Gemisch nur soweit zu verarmen, bis der Motor wieder rund läuft. Um eine bessere Kühlung des Motors zu gewährleisten, sollten Start- und Steigflug flacher als üblich durchgeführt werden.

Die richtige Behandlung des Motors ist keine "Hexerei": Ihr Motor wird es Ihnen danken, wenn Sie diese einfachen Vorschläge während der Einlaufphase beherzigen.

Und noch ein Tipp zum Abschluß: Motoren, die hauptsächlich im Platzrundenbetrieb eingesetzt werden, sollen beim Probelauf; der anschließend nach der Überholung durchgerührt wird, einem verlängerten Ölverbrauchslauf unterzogen werden; dies reduziert die Einlaufzeit nach Einbau des Motors in die Zelle. Betroffene Flugzeughalter sollten die Instandsetzungsbetriebe darauf hinweisen.