

U.6

Nur für den Dienstgebrauch!

Forschungsarbeiten über Kolben

U.6

von Prüffeld der
MAHLE Kamm.-Ges. Stuttgart-Bad Cannstatt
und
Elektron-Co. m. b. H. Stuttgart-Bad Cannstatt,
Berlin-Spandau, Wien

herausgegeben von
Dr.-Ing. Erich Koch, VDI, Stuttgart

Teil A

10001

1942

Inhaltsverzeichnis

Neuere Kolbenversuche

von Dr.-Ing. Erich Koch, VDI, Stuttgart.

Sonderdruck aus „Jahrbuch 1940“ der Deutschen Luftfahrtforschung
S. II 145/52

10002

Forschungsarbeiten über Kolben

vom Prüffeld der
MAHLE Komm.-Ges. Stuttgart-Bad Cannstatt
und
Elektron-Co. m. b. H. Stuttgart-Bad Cannstatt,
Berlin-Spandau, Wien

herausgegeben von
Dr.-Ing. Erich Koch, VDI, Stuttgart

Folge A

1942

10003

Neuere Kolben-Versuche

von

Dr.-Ing. Erich Koch, VDI, Stuttgart

10004

Neuere Kolben-Versuche.

Von E. Koch.

Bericht der Elektron-Go. m. b. H., Bad Cannstatt.

Vorgetragen vor der Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung am 13. Juni 1939 in Krefeld.

Die folgenden Ausführungen sollen einen kurzen Überblick über Gesichtspunkte und Versuche zur Beherrschung der ständig steigenden Beanspruchungen an Flugmotorkolben vermitteln. — Neben der Besprechung der heute üblichen Kolben-Baustoffe und deren günstigsten Vergütung und Nachbehandlung wird besonders über Grenzen und Aussichten von Leichtbaustoffen der Mg- und Al-Mg-Legierungsgruppe berichtet. — Das Auftreten örtlicher Zerstörungen wie z. B. Bodenrisse, Nutenstegbrüche und Ringstecken kann durch zweckmäßige Gestaltungs-ausführung begrenzt oder verhütet werden. — Die Erzielung eines guten Laufverhaltens fordert Bearbeitungs- und Veredelungs-Sonderausführungen der Kolben-Laufflächen etwa durch Formdrehen und Laufflächenschutz, während geeignete Bodenüberzüge vor Abrennungszerstörungen schützen sollen.

Gliederung.

- I. Kolbenwerkstoffe.
 1. Al-Cu-Ni-Legierungen
 2. Al-Si-Legierungen
 3. Elektron (Magnesium)
 4. Al-Mg-Legierungen
- II. Herstellungsfragen.
 1. Vergütung
 2. Bodenanrisse
 3. Festigkeits-Streuwerte
 4. Einfluß der Oberflächen-Nachbehandlung
- III. Bearbeitungs- und Veredelungsfragen.
 1. Kolbenbodenschutz
 2. Laufflächenschutz
 3. Superfinish
 4. Formdrehen
 5. Kolbenringfestbrennen
 6. Kolbenringnuten
- IV. Zusammenfassung.

I. Kolbenwerkstoffe.

In der Hauptsache werden heute in der ganzen Welt nur noch zwei Baustoffe für Kolben von Flugmotoren verwendet:

1. Die Legierung Y mit den Variationen der englischen RR-Gruppe.
2. Die Legierung EC 124 (gepreßt: Fliegwerkstoff 3211.9) mit den Variationen der amerikanischen Lo-Ex-Gruppe.

Die erste angewendet z. B.

in England	Y bei Armstrong,
	RR • Rolls Royce und Bristol;
in Frankreich	Y • Hispano Suiza,
in Amerika	• Wright,
in Deutschland	• • Bramo.

Die zweite angewendet in allen anderen deutschen Typen sowie in Amerika bei Pratt & Whitney.

1. Al-Cu-Ni-Legierung.

Es ist für verknüpfetes Material noch heute umstritten, ob in der ersten Gruppe der Leg. Y oder RR 59 der Vorzug zu geben ist. In England selbst sind beide vertreten, sogar beim gleichen Erzeuger. Eine Reihe von Versuchen haben gezeigt, daß beide praktisch gleichwertig sind. Vom Standpunkt der Vermeidung von Spärstoffen wurde bereits darauf hingewiesen, daß der Legierung RR 59 der Vorzug zu geben sei. Weitere praktische Versuche sollten deshalb diese Frage einmal zur Klärung bringen.

Die Entwicklungsrichtung des Verfassers ging neben der Einsparung von Spärstoffen darauf aus, die Freileitfähigkeit dieser Legierungen zu mildern. So entstand die bereits früher genannte Legierung K; Motorenversuche in Flugmotoren stehen damit noch aus.

Für vergossenes Material liegen mehr Erfahrungen vor. Die Kokillengießlegierung der RR-Gruppe, RR 53 wurde ja vor Jahren z. B. bei Argus serienmäßig angewendet. Nach den dortigen sowie auch sonstigen Erfahrungen ist wohl Y der Vorzug zu geben.

2. Al-Si-Legierung.

Der besseren Laufeigenschaften wegen hat die Legierung 124 in Deutschland ein größeres Anwendungsgebiet gefunden. Da sie eine verhältnismäßig günstige Kombination zwischen den vielen Werten darstellt, die für einen Kolben von Wichtigkeit sind, sind bisher grundlegende Verbesserungen nicht gefunden worden. Der Hauptunterschied zur amerikanischen Lo-Ex ist dort ein um etwa 1,5% höherer Nickelgehalt, ohne daß deshalb bessere Eigenschaften gefunden werden konnten; die Leitfähigkeit ist dort sogar etwas tiefer.

Inzwischen sind mehrere Versuche im praktischen Motorenbetrieb eingeleitet worden, um zu sehen, ob die von Bollenrath entwickelte DVL-Legierung der verwandten EC 124 gegenüber Vorteile aufweist. Soweit man sich nach dem bisherigen Stand bereits ein Urteil erlauben kann, ist die Wärmeleitfähigkeit etwas tiefer, die Warmfestigkeit und Laufeigenschaften sind praktisch gleich, die Warmhärte dagegen besser.

Falls sich darnach im praktischen Betrieb überhaupt Unterschiede ergeben, bleibt festzustellen, ob diese groß genug sind, einen Übergang zu dieser Legierung mit ihrem bei der Herstellung störenden komplexen Aufbau, ihrem Silbergehalt und ihrer langen Vergütungsdauer zu rechtfertigen.

Die Entwicklungsrichtung des Verfassers ging mehr darauf hinaus, die noch größere Robustheit, die geringere Ausdehnung und die noch besseren Laufeigenschaften der hochsiliziumhaltigen Legierungen — möglichst ohne die Nachteile derselben — mit der Legierung EC 124 zu paaren.

Nachdem die in dieser Richtung planmäßig entwickelte Legierung EC 138 inzwischen im Automobilbau eingeführt ist, können Versuche im Flugmotorenbau auf breiterer Grundlage angeraten werden. — Inzwischen liegen Lauf-ergebnisse im Jumo-5-Diesel vor. — Diese Legierung ist gieß- und preßbar, was bei hochsiliziumhaltigen Legierungen schwer zu erreichen ist. Sie ist ebenso einfach aufgebaut wie EC 124, ihr Spärstoffgehalt ist gleich gering (2%). Ihre Wärmeleitfähigkeit liegt nur wenige Punkte tiefer. Der unumgängliche Verlust an statischer Festigkeit scheint tragbar in Hinsicht auf die früher von dieser Gruppe untersuchten Legierungen, vor allem aber auch hinsichtlich ihrer Dauerbiegefestigkeit, die gegenüber EC 124 kaum gelitten hat. Ihre Wärmeausdehnung liegt rd. 7% günstiger, auch das spezifische Gewicht ist etwas besser. Ihr Aufbau wurde bereits früher erörtert und veröffentlicht.

3. Elektron.

Die früheren Versuche des Verfassers, Elektron für Flugmotorkolben anzuwenden, sind inzwischen in drei verschiedenen Motormustern aufgegriffen worden. Elektronkolben gingen bekanntlich gut als Ersatz für Grauguß- und Stahlkolben in leistungsgesteigerten Welt-Kriegsmotoren, später wurden sie auch in einigen luftgekühlten 2-Zylinder-Daumler-Motoren der ersten Kleinflugzeuge verwendet. Außerdem bestanden sie die Musterprüfung 1927 im BMW 4, sie gerieten aber bereits 1931 im BMW 6 in Schwierigkeiten, bei einem schon damals in Gleitschuhform gepreßten Kolben durch Anrisse an der höchsten Stelle vom Bolzenauge. In luftgekühlten Motoren gab es Antriebschwierigkeiten im Siemens SH 11 am Kolben der Hauptpleuelstange.

Bei den neu eingebauten Versuchen zeigte sich erneut die Erscheinung der Anrisse am Scheitelpunkt des Bolzenbolchs, da wo die höchsten Belastungsspitzen auftreten. Das gleiche Bild wiederholte sich bei Versuchen Elektronkolben in hochbeanspruchten Rennwagen neuerdings zur Reife zu bringen.

Es wurde bereits früher berichtet, daß sowohl in England, wo man auf diesem Gebiet sehr aktiv ist, wie in Deutschland einige merkliche Legierungsverbesserungen gemacht werden konnten, dort legiert mit Ger, Nickel, Mangan und Kobalt. Auch Versuche mit Silber wurden dort gemacht, brachten zwar hohe Festigkeit aber sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit. Erwähnt sei die Veroffentlichung des Chiefmetallurgen der durch die Herstellung der R11 Legierungen bekannten Firma High Duty Alloys.

Bei uns kommt mit der Legierung EC 540 Ger und Mangan die Dauerfestigkeit der früher im Automobilbau jahrelang verwendeten CMS-Legierung von rd. 10^2 auf rd. 7 kg je mm^2 gesteigert werden. Es ist das eine Legierung auf der Basis Mg-Ger, die schon 1931 vom Verfasser als erfolgreich genannt wurde, damals aber im Erreichen gleichmäßiger Ger-Gehalte Schwierigkeiten bereitete. Immerhin reicht diese erste erhebliche Verbesserung noch nicht ohne weiteres aus, vgl. Bild 1, wenn man bedenkt, daß bei den andauernd steigenden Leistungen selbst die Flugmotorkolben aus Al-Legierungen von 10 bis 12 kg Dauerfestigkeit immer einmal wieder zu Scherereissen Anlaß geben. Auch der bekannnte Freifreidigkeit von Elektron konnte trotz einer ganzen Reihe erfolgversprechender Versuche meines Mitarbeiters Dr. Meyer-Räbber durch Schutzschichten noch nicht wirksam bezogen werden.

Um Elektron-für-Flugmotorkolben schrittweise vorwärts zu bringen, sei deshalb vorgeschlagen:

1. die Versuche in wassergekühlten Motoren zu begünstigen; später wenn genügend Erfahrungen vorliegen, auf luftgekühlte, noch später auf glykolkühlte auszuweichen.
2. nicht gleich den Unterschied der spezifischen Gewichte

von 1,8 gegenüber 2,7 bei Legierung 124 und

von 1,8 gegenüber 2,8 bei Legierung Y

herauswirtschaften zu wollen, sondern die Querschnitts- etwa im Verhältnis der Dauerfestigkeit bei Elektron stärker zu machen, so daß beim fertigen Kolben etwa ein Gewichts-gewinn herauskommt, der einem Verhältnis der spezifischen Gewichte von rd. 2,3 zu 2,7 bis 2,8 entsprechen würde.

Damit ist auch gleichzeitig vorgebeugt, daß man bei der Weiterentwicklung nicht gerade auf die höchsten Werte der Wärmeleitfähigkeit hinarbeiten muß, wofür allerdings nach wie vor 0,30 und darüber anzustreben bleibt. Gleichzeitig ist durch die dicken Querschnitte vorgesorgt, daß Warmstauungen vermieden werden und die Temperaturen niedrig bleiben.

(Die dickeren, allmählich verlaufenden Querschnitte bei den früher jahrelang verwendeten Elektron-CMS-Kolben bewirkten, daß die Spitztemperatur um rd. 50° unterhalb von Aluminium blieb und damit in einen Bereich fiel, in dem die heute beinahe unmöglich erscheinenden Werte der sehr

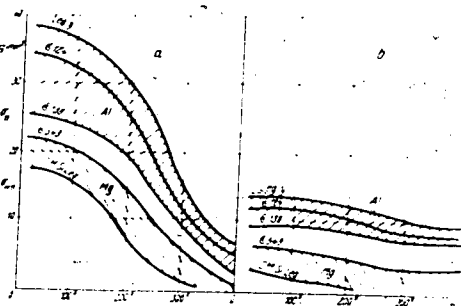


Bild 1 und 2. Wärmestabilität von gegossenen Pleuelpleuelstangen

a) Statische Wärmestabilität, b) Dynamische Wärmestabilität. Die Kurven zeigen die Festigkeit in kg/mm^2 in Abhängigkeit von der Zeit in Minuten bei verschiedenen Temperaturen. Die Kurven für 100°C und 150°C zeigen die Festigkeit in kg/mm^2 in Abhängigkeit von der Zeit in Minuten bei verschiedenen Temperaturen.

wenigen Legierung CMS noch brauchbar waren. Sonst wäre es unverständlich, daß mit dieser Legierung überhaupt jemals Kolben hergestellt worden könnten, selbst bei Berücksichtigung der damals geringeren Motorleistung.

Solange die Freifreidigkeit von Elektron nicht durch einen geeigneten Schutzüberzug mindestens mit der Wirkung des Silberanstrichs beim Y-Kolben bekämpft

werden kann, sollte man sich mit geringeren Laufzeiten zufrieden geben. In England hielt man es bereits für erfolgversprechend, daß ein Versuch mit Magnesiumkolben in einem 1-Zylinder Bristol angeblich an die 1000 U/min herangebracht werden konnte. Er soll gemacht worden sein mit einer Ger 3%, Nickel 6%, Mangan 12%, Legierung nach dem einer Legierung mit 6% Ger und 6% Nickel zwar noch etwas bessere Werte brachte, die sogar bei hohen Temperaturen mit Y verglichen werden konnten, welche aber zu stark korrosiv war.

Um den Anrissen im Bolzenauge zu begegnen, wird erfolgversprechend daran gearbeitet, die Laschnung mit Auge nicht senkrecht d. h. in der bisherigen Antriebsrichtung, sondern waagrecht, also mit dagegen auszufahren. Bild 2 für Versuchsstücke ist das gelungen, für eine Laufend-Serienproduktion wurde es noch erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Es kann erwartet werden, daß sich damit die Ausdehnung überwinden läßt, d. h. also mit einer orthogen Festigkeitsteigerung an der meist gefährdeten Stelle.

4. Al-Mg-Legierungen.

Mit Kolben aus Al-Mg-Legierungen sind ebenfalls in zwischen Motorversuche eingebettet worden. Es scheint schwer zu sein, in dieser Gruppe eine geeignete Kombination der Werte zu finden, die für Kolben wichtig sind. Es ist nun immerhin schon rd. 10 Jahre her, daß der Verfasser die ersten 9 Legierungen dieser Gruppe erstmalig für Kolben durchprobierte. Es folgte dann eine Zusammenarbeit mit Buschmann, der in einer Reihe von rd. weiteren 20 Legierungen immerhin mit einer oder zwei näher an die Werte der damals im Automobilbau meist angewendeten Improved Al-Cu-Legierung herankam. Es fehlte aber noch an Verbesserungen.

Praktisch zur Anwendung gekommen ist aus der Al-Mg-Gruppe wohl nur die Legierung 116 der bekannten englischen Elektrongebläse Sterling Metals Coventry, serienmäßig an einem englischen Automobilkolben. Diese Legierung hat keine hervorstechenden Eigenschaften. Die Firma hat viel mehr dabei Wert darauf gelegt, bei ihr anfallende größere Metallmengen wirtschaftlich zu verwenden.

Meyer-Räbber hat dann im Laufe der letzten Jahre wieder eine große Reihe von Legierungsuntersuchungen durchgeführt und darüber auch berichtet. Hinzu kommen mehrere Versuche von Junkers (Dr. Wicheil) und der L. G. Aus

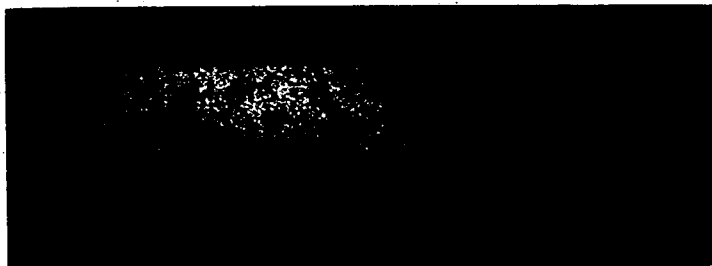


Bild 2. Faserrichtung im Bolzenauge
eines gepreßten Kolbens.
Links normal; senkrecht.
Rechts Versuch; annähernd waagrecht.



all-diesem vielen Material sind nun für die Motorversuche drei erfolgversprechende Kombinationen ausgewählt worden:

- a) V 22 von der I. G. Analyse rd. 1% Si
• 7% Mg
Rest Al.
- b) V 23 von Junkers Analyse rd. 1% Si rd. 2% Ni
• 2% Fe • 0,5% Cr
• 1% Mn • 0,3% Ti
• 5% Mg Rest Al.

c) „Weiterentwicklung“ der
bereits ausprobierten KL 23:

Analyse 4,5 bis 6% Mg
5 • 7% Fe
Rest Al.

und es-MI-39 von Elektron-Ges.

Analyse 1 bis 3% Si
0,8 • 2% Cu
0,5 • 2,5 Fe
5,5 • 7,5 Mg
Rest Al.

Der Unterschied der spezifischen Gewichte, auf den der Verfasser ehemals „Rostrechte“ nämlich einen Gewichts-
gewinn im Verhältnis von 2,5 : 2,7 bis 2,8 zu erhalten, ist bei diesen Legierungen allerdings leider praktisch wieder
verloren gegangen, denn ihre Gewichte (2,67) sind durch
andere Legierungskomponenten höher geworden, die not-
wendig waren, um die von dieser Legierungsgruppe erwar-
teten anderen Verbesserungen einer guten Warmharte-
und Dauerstandfestigkeit zu erreichen. Diese Erwartungen
scheinen sich bei der Warmfestigkeit nicht zu bestätigen,
für die Dauerstandfestigkeit bleiben sie nachzuprüfen.
Nach wie vor scheint es schwer zu sein, für diese Legierungs-
gruppe eine ausreichende Wärmeleitfähigkeit zu erzielen.
Meistens liegen die Werte nur zwischen 0,20 bis 0,25.

II. Herstellungsfragen.

Wenn man einen Baustoff lange Zeit verarbeitet, dann
wird die Herstellung immer sicherer. Man bekommt Er-
kenntnisse über Stärken und Schwächen. Einige solche
sind nachfolgend erwähnt.

1. Vergütung.

Bei der Vergütung streiten miteinander vor allem zwei
Richtungen: die eine mehr wirtschaftliche, die bei höherer

Vergütungstemperatur eine niedrigere Vergütungszeit be-
nötigt (rd. 6 bis 9 h bei rd. 200 bis 220° C), diese wird in
Deutschland bevorzugt. Die andere in England bevorzugte
Richtung wählt eine längere Vergütungszeit von rd. 15 h
bei niedriger Temperatur von 170 bis 180° C.

In einem früheren Vortrag wurde an Hand von Ver-
suchen gezeigt, daß man den gleichen Grad von Volumen-
konstanz voll erreicht man sie nie; erreichen kann mit
verschiedener Vergütungszeit und Temperatur, begin-
nend mit

etwa 25 h bei 160° über

rd. 15 h • 180°

• 9 h • 200°

• 6 h • 220°

schließlich mit nur • 2 h • 260°

Da bei den höheren Temperaturen, die allerdings den
Vorteil der kürzeren Dauer haben, ein Teil der möglichen
Härte verloren geht, wurde der erwähnte Mittelweg im all-
gemeinen auch mit Erfolg angewendet.

Es kann heute gesagt werden, daß

1. für normale dünnwandige Stücke die erwähnte Ver-
gütung von 6 bis 9 h bei 200 bis 220° ausreicht.

2. daß für dickwandige Stücke - - - Kolben großer Dieselm-
maschinen z. B. - jedoch trotz der betrieblichen Nachteile
den rd. 15 h bei 170 bis 180°, bei einigen Legierungen höher
hin auf bis zu 220°, der Vorzug zu geben ist.

Anzustreben waren Versuche, ob es möglich ist, eine
Vergütung zu finden, wobei der nachträglich im Betriebs-
zustand eintretende Härteverlust nur noch ganz minimal
ist. Möglich ist das natürlich durch Annäherung an das Tot-
gluhen, wie es auch mehrfach vorgeschlagen wurde. Das
hat den Nachteil, daß ein Werkstoff entsteht, der beim Be-
arbeiten zum Schmieren neigt und die Herstellung un-
gewöhnlich erschwert. Weiter bringt das so niedrige Härte-
werte, die an den Laufflächen sogar niedriger liegen als die
Endwerte, die sich im Betrieb einstellen. Man sollte also
oberhalb der Schmiergrenze bleiben, dann hat man gleich-
zeitig noch eine Härte, die auch für gute Laufeigenschaften
der Gleitfläche ausreicht, d. h. der Minimalwert an den Lauf-
flächen sollte 80 bis 90 Brinellgrade nicht unterschreiten.

Eine englische Richtung versucht das zu erreichen an
ganz dickwandigen Kolben, wie sie in den Dieselm-
maschinen der U-Boote zur Anwendung kommen, dadurch, daß die
Stücke in rd. 36-stündiger Glühdauer auf rd. 80 BE gebracht



Bild 3. Dauerbruch in Kolbenbodenrippen Leg. Y gepreßt.
Kolbenboden

wurden. Angeblich soll dann im Betrieb kein weiteres Absinken, auch nicht an der heißen Kopfpattie, auf die bekannten Schlußwerte von 55 bis 60 BE mehr stattgefunden haben. Das ist zu bezweifeln, lohnt aber die Nachprüfung.

2. Bodenansrisse.

Mehrfach berichtet wurde über Anrisse, die sich bei einigen Flugmotorkolben im Kolbenboden innen nach mehr oder weniger langer Betriebsdauer zeigten. Solche Risse sind entstanden bei Rippenformen, die nach den heutigen Erkenntnissen als richtig gelten mußten. Sie sind auch entstanden bei größeren Ausrundungen, ebenfalls bei ganz schwach verlaufenden wellenförmigen Boden, ebenso bei dezentralisierter Aufteilung in zwei an sich richtig geformte Traggerippen. Sie sind aufgetreten in Amerika und in Deutschland, sowohl in Legierung EC 124, wie Lo-Ex und wie auch neuerdings in Legierung Y, vgl. Bild 3.

Der zunächst eingeschlagene Weg von Verstärkungen führte trotz besserer Ergebnisse bei den statischen Festigkeitsvoruntersuchungen nicht zum Ziel. Diese Anrisse wurden deshalb auf folgende Art weiter bekämpft:

1. Erzielung besserer Steifigkeit durch starke Bolzen und engen Bolzenaugenabstand.

2. durch Unterteilung der Bodenfläche mit in Richtung der Seitenkräfte verlaufenden Wänden. Die freitragende Fläche des heißen Kolbenbodens wird dadurch kleiner. Allerdings sind solche Kolben schwerer herzustellen, sowohl beim Pressen, außerdem verlangen sie bis zur doppelten Bearbeitungszeit der normalen Bauart. Entsprechende Mittelwege mußten deshalb versucht werden.

3. Der Kolbenboden wurde gewölbeartig so ausgeführt, daß die bisherige Anrißstelle nicht mehr verstärkt, sondern geschwächt wurde, derartig, daß durch allmählichen Übergang von dieser schwachen Stelle auf die langsam stärker werdende benachbarte Zone eine gewisse elastische Ausweichmöglichkeit entsteht.

4. Weiter wurden bei Elektron Co. in b. H. Pulsatorversuche eingesetzt, um wenigstens für zukünftige Konstruktionen schon vor Beginn einen sicheren Anhalt zu gewinnen.

3. Festigkeits-Streuwerte.

Störend sind auch noch immer Festigkeitsstreuungen, die man bei täglich vorgenommenen, also schließlich für Massenwerten führenden Untersuchungen findet, Bild 4.

Zunächst einmal stimmen diese Werte relativ nicht überein mit Stabwerten, so dann sind die Streuungen so groß, etwa im Verhältnis 1 : 2, daß unbedingt schrittweise darauf hingearbeitet werden muß, dieses ungünstige Verhältnis zu verkleinern.

nen, um gerade Kolben, bei denen es stets auf leichtes Gewicht ankommt, mit Sicherheit langsam auch zu erleichtern.

Im ganzen sind die Kolben im Laufe der letzten Jahre nicht merklich leichter geworden. Da die Leistung der verschiedenen Baumuster aber im Laufe einiger Jahre auf etwa das Doppelte kam, ist der Gewichtsanteil mit dem man die Leistung beherrscht, heute nur noch rund halb so groß. Grundsätzlich kann man aber Kolben auch noch etwas leichter bauen, wie verschiedene Studien immer wieder gezeigt haben, also muß die Sicherheit im Werkstoff größer werden.

Ein Hauptfaktor für diese Streuungen dürfte sein:

1. die Gashaltigkeit im gegossenen Ausgangsmaterial.
2. die Ungleichmäßigkeit der aus diesen Ausgangsmaterialien auf der Strangpresse hergestellten Stangen. Die stärker gekneteten Stangenenden verhalten sich merklich anders als die gesunde Stangenmitte oder der schwach geknetete Anfang. Es wurde eine unertragliche Ausschulthöhe ergeben, wollte man sie deshalb verworfen. Ziel ist also, alle Stangenpartien einander anzugleichen.

Nachdem viele tausende unmittelbar aus Gußblockchen gepreßte EC-Kolben in der sog. Preßstufe 1 ohne Zwischenschaltung einer Strangpresse im Kraftwagenbau zur Verwendung kamen, konnte man dieses Verfahren auch für Flugmotoren versuchen. Damit hat man die theoretisch vielfach günstiger bezeichnete Gußstruktur an der Lauffläche, wenigstens ein Mittelding zwischen der Preß- und der Gußstruktur, aber die Festigkeitswerte liegen natürlich tiefer, da der Verpressungsgrad ja geringer ist. Für viele Verwendungszwecke wird das aber immerhin genügen.

Vorschrift von Hispano-Sulza.

Eine sehr scharfe Festigkeitsvorschrift der Firma Hispano-Sulza für geschmiedete Y-Kolben war bemerkenswert, Bild 5. Bei einer Reihe von Vorversuchen für ein ausländisches Werk, um diese Werte zu erzielen, gelang das schließlich auch. Man sieht, daß auch die Werte der Legierung Y, zu der man ja im allgemeinen als Rettungsanker flüchtet, wenn man mit anderen Werkstoffen thermische oder festigkeitstechnische Schwierigkeiten bekommt, für die Ansprüche im neuzeitlichen Flugmotor noch knapp liegen. Anrisse an geschmiedeten Y-Kolben in Deutschland haben das inzwischen bestätigt.

4. Einfluß der Oberflächenbehandlung.

Eine weitere Erfahrung wies darauf hin, daß die Festigkeit beim Kolben abhängig ist von der Oberflächenbehand-

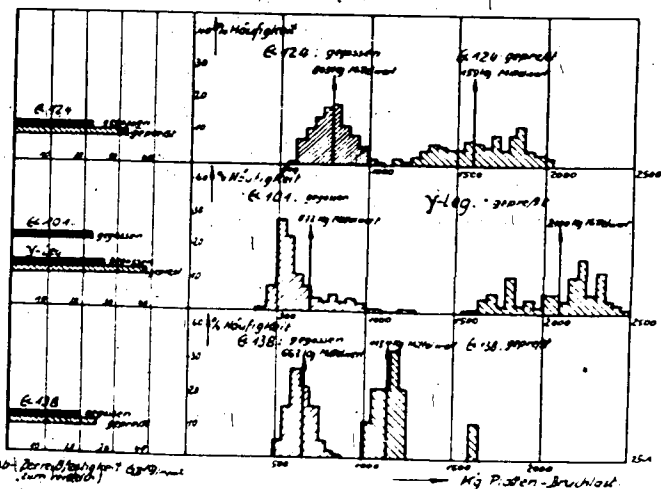


Bild 4. Häufigkeitsmessung der Bruchdrucke von Platten aus Kolbenboden.

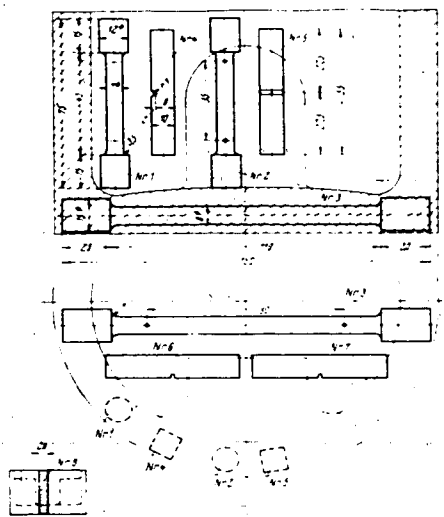


Bild 5. Zug- und Kerbschlag-Prüfstab aus dem Kolbenring von Hispano Suiza (D. 5. V.). Gewünschte Werte:
Dehnung: im Boden Minimum 5%, am Schaft 10%
Kerbschlag: Minimum 1,0%
Härte: 100-110 RE.

lung. Sie sinkt ab bei scharfer Anwendung des Beizverfahrens; sie ist besser beim Kalkmilchverfahren, mit dem man ja Oberflächenrisse, wenn auch nicht mit den Feinheiten des Beizverfahrens und auch etwas unwirtschaftlicher, erkennen kann, vgl. Bild 6.

Am besten liegt neben der polierten Oberfläche die stahlkugelgestrahlte. Das ist verständlich, weil dabei eine Verfestigung der Oberfläche erwartet werden kann, allerdings sieht man kleine Anrisse nicht mehr, die dabei zugestrompelt werden.

Sandstrahlen schneidet ungünstiger ab, wird ja auch schon aus Gesundheitsrücksichten für den damit beschäftigten Arbeiter verworfen. Stahlkiesgestrahl liegt verständlicherweise wegen der scharfen Kanten ebenfalls ungünstig.

Um Risse zu finden, ist also das Kalkmilchverfahren sicherer; um zu säubern, ist die Stahlkugelstrahlung günstig, mit der man gleichzeitig die Oberfläche verfestigt; wirtschaftlicher, aber schädlicher ist das Beizverfahren, mit dem man beides gleichzeitig erreicht. Das Optimum ist also: Beizen zum Risse zu erkennen und nachfolgend Stahlkugelstrahlen, um die Oberfläche zu verfestigen und die Festigkeit zu steigern.

III. Bearbeitungs- und Veredelungsfragen.

1. Kolbenbodenschutz.

Es sei noch eine Versuchsreihe im Kampf gegen den niedrigen Schmelzpunkt der Leichtmetalle erwähnt. Sie ist weniger wichtig für die normalen Flugmotoren. Sie wurde und wird weiter durchgeführt an den Kolben der hochtheanspruchten deutschen Rennwagen sowie an Kolben von hochbeanspruchten Dieselmotoren. Auch im normalen Flugmotor kann sie

Bedeutung gewinnen, wenn man bei hohem Kompressionsverhältnis oder entsprechendem Brennstoff nahe an die Klopfgrenze oder in den Klopfbetrieb kommt. Auf diese Wirkung ging schon die Oxidschicht hinaus, die EC als Schutz auf dem Boden der Kolben des DB 600 601 seit Jahren verwendet.

Um die Wirkung zu verstärken, wurden nach einem Versuch im Flugmotor die Rennkolben der Daimler-Wagen am Boden mit einer dünnen Nickelschicht überzogen. Da es schwierig ist, Nickel betriebssicher aufzubringen, gelang nicht immer genügende Haftfähigkeit. Immerhin wurden damit alle bedeutenden Rennen der letzten Jahre im In- und Ausland gewonnen. Es wurde darüber auch bereits berichtet.

Eine weitere Wirkungssteigerung wird erwartet von Versuchen, die vor allem Meyer-Kaßler ausgeführt hat, den Kolbenboden mit Silber und mit Kupfer zu überziehen. Versuche mit Chrom sind zurückgestellt, weil sie wegen der zu verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten von Al und Cr an der Haftstelle, wenig erfolgversprechend sind. Da auch bereits Remaluminium den Schmelzpunkt um rd. 100° gegenüber den gebräuchlichen Legierungen in die Höhe setzt, wurden auch solche Versuche gemacht, teils eine dünne Remaluminiumplatte einzupressen, Bild 7, teils sie in einem Verfahren, das besonders die Firma Karl Schmidt entwickelt, aufzuplattieren.

Die oxydierte Oberfläche wird erzeugt durch Eloxieren, die Nickelschicht galvanisch nach oxydierender Vorbehandlung; die Silberschicht — ein besonders schwieriges Verfahren — wird im Vakuum aufgedampft. Da eine galvanisch aufgetragene Kupferschicht wenig erfolgversprechend war, wurde Kupfer eingepreßt und auch unter Verwendung von Zwischenschichten aufplattiert, Bild 8. Alle diese Verfahren sind schwierig.

Ihr Verwendungsgebiet ist also solchen Motoren vorbehalten, bei denen es nicht gelingt, die Betriebstemperaturen am Kolbenboden in erträgliche Grenzen herunter zu bekommen oder aber wo man, wie bei manchen Dieselmotoren, eine heiße Zone am Kolbenboden zur Erreichung besserer Verbrennung und Verbrauchszahlen anstrebt.

2. Laufflächenschutz.

Dem Schutz der Lauffläche galt weitere Entwicklungstätigkeit, das das Pressen von Kolben nach wie vor, wenn es auftritt, eine arge Störung bedeutet. Bei den vorjährigen Ergebnissen, die bereits gezeigt wurden, erwies sich die verzinkte Oberfläche als überlegen. Zahlentafel 1. Neuere Ver-

EC 124 gepresst (Flachtafel)

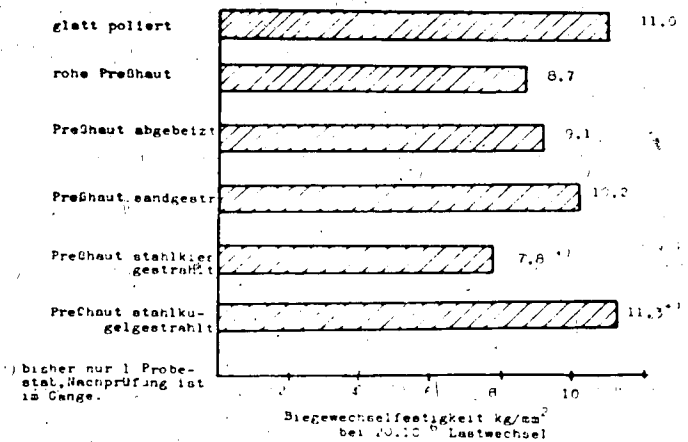


Bild 6. Prüfung des Oberflächenzustandes auf die Biegezugfestigkeit

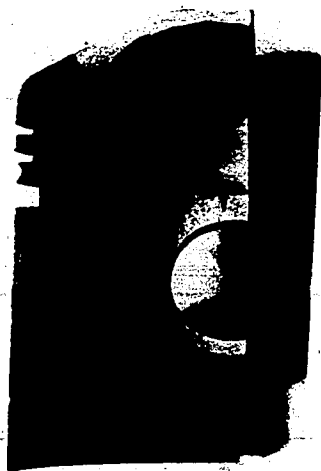


Bild 7. Kolbenboden mit Reinaluminium plattiert.

suche galten der Feststellung, ob sich Zinn

1. noch übertreffen läßt oder
2. durch einen weniger hochwertigen Sparstoff gleichwertig ersetzt werden kann, oder
3. ob es schließlich gelingt, die gleiche Wirkung ohne Sparstoff zu erzielen.

Die Ergebnisse waren so, daß, vgl. Zahlentafel 2,

- zu 1. Zinn bisher nicht übertroffen wurde,
- zu 2. eine ähnlich gute Wirkung aber erzielt wurde mit einer nach einem bestimmten Verfahren aufgetragenen Bleischicht. Ein anderes Verfahren zeigte bei Blei, wie schon im vorherigen Jahr gezeigt wurde, weniger günstige Ergebnisse,
- zu 3. fand Meyer-Rabler in Fortsetzung früherer Versuche ein Ätzverfahren, bei dem man überhaupt ohne Sparstoffe auskommt, mit ähnlich guten bzw. gleichen Ergebnissen, soweit sich das bisher schon übersehen

Zahlentafel 1.

Verhalten von Schutzschichten an Kollbengleitflächen.

Künstliches Kollbengessen.

Stehender 1-Zylinder-FKFS, HM 508, neue formgedrehte Kolben 105 mm Dmr., Normalspiel an engerster Stelle nur 0,3 mm, Freibeigung durch Kuhlflutdrosselung auf 210 mm WS hergestellt, gleichbleibende sonstige Bedingungen, dosierte Schmierung.

Kolben	Überzug	Laufzeit bis Freibeigung, Minuten	
		Versuch	Versuch
124 gepreßt	ohne		8
" "	Zinn ca. 0,008 mm	6	früht nicht 60 früht nicht
" "	Bleichen 0,001 mm	6	
" "	eloxiert ohne Öl		
" "	Impregnierung	15	
" "	eloxiert mit Öl		
" "	Impregnierung	2	2,5
" gegossen	ohne	6	
" "	Zinn ca. 0,008 mm	6	früht nicht
" "	eloxiert mit Öl		
" "	Impregnierung	15	

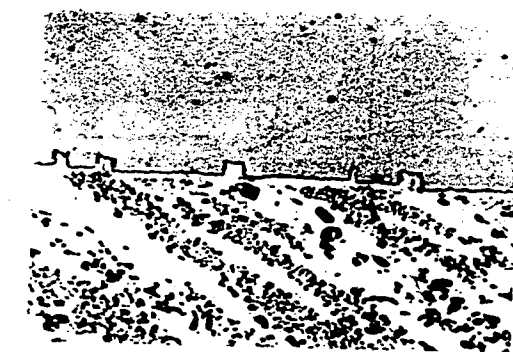


Bild 8. Kupferplattierung von Kolbenböden.
a) kalt aufgepreßt (taffelt mäßig gut).
b) heiß aufgepreßt (taffelt gut).
Vergr. 150 fach.
Lichtschnitt (Schmaltz-Zeßl).
Schräglichtaufnahmen Vergr. 20 fach.

laßt. Die Versuche verdienen also auf einer breiteren Basis fortgesetzt zu werden.

3. Superfinish.

In Amerika hat man im Kampf gegen das Anfressen von Kolben das sog. Superfinish-Verfahren an den Laufflächen entwickelt. Es ist das ein Zwischending zwischen einem Lappe- und Schleifvorgang, ausgeführt mit einer

Zahlentafel 2.

Verhalten von Schutzschichten an Kollbenschäftungsflächen.

II. Versuchsreihe.

Prufstand	Stehender 1-Zylinder-FKFS HM 508,
Kolben	105 mm Dmr., formgedreht, Leg. EG 124 gepreßt.
Versuchsgang	Besonders stark gedrosselte Kuhlung; bei obachteter Zeit bis zum Fressen sowie Engung zum „Erholen“ bei Freibeigung. Zahlenwerte in Minuten streuen. Nebeneinflüsse sind mitwertet.

Reihenfolge der Güte des Schutzes gegen Fressen.

gut	1. a) sud-verzinkt (EG-Stannal).
	b) galvanisch verbleit (EG).
	2. a) galvanisch geätzt (EG).
	b) sud-verbleit (Perner-Nural).
	3. a) sud-verkupfert (EG).
	b) unbehandelt.
schlecht	c) sud-verzinkt (EG).

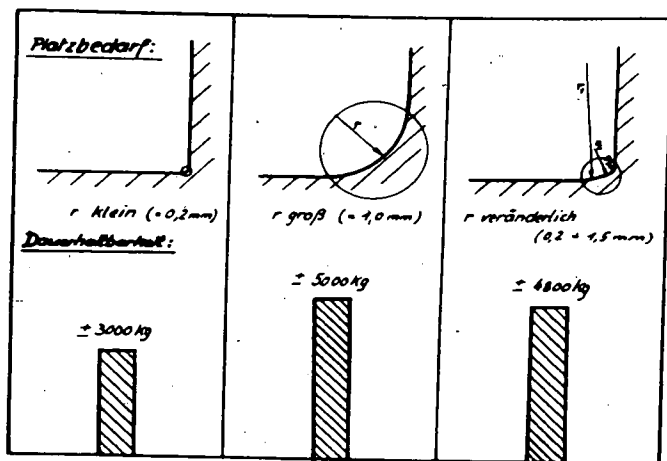


Bild 11. Platzbedarf und Dauerhaltbarkeit bei verschiedener Ausrundung des Nutengrundes.

sehr günstigen Ergebnisse in Hirth Motoren vorliegen.

6. Kolbenringnuten.

Weitere Versuche wurden der Ausführung des Nutengrundes gewidmet, da bei besonders ungünstigen Belastungsverhältnissen gelegentlich immer einmal wieder Brüche vorkommen an den Stegen zwischen den Ringen. Solche Schäden kommen zwar selten vor. Die Frage drängt aber bei weiter steigenden Leistungen und Beanspruchungen zu einer Lösung. Nach einer Reihe von Vorversuchen, über die bereits berichtet wurde¹⁾, hat mein Mitarbeiter Mickel weitere Versuchsreihen durchgeführt, vgl. Bild 11. Im allgemeinen hilft man sich damit, eine scharfe Kante im Nutengrund zu vermeiden und dort einen mehr oder weniger großen Halbmesser anzubringen. Ein wirksamer Halb-

messer verlangt aber entweder eine tiefere Nut und damit eine Vergrößerung des freitragenden Ringstegs, der dadurch erneut gefährdet ist oder entsprechend große Anschlagungen am Kolbenringinnendurchmesser.

Gute Ergebnisse brachten Entlastungshohlkehlen wie sie an Kurbelwellen und Zahnrädern angewendet werden. Ihre Wirksamkeit ist etwa gleich gut wie ein großer Halbmesser, ihr Platzbedarf aber günstiger.

IV. Zusammenfassung.

Zusammengefaßt wurden eine Reihe von Kolbenversuchen besprochen, die gemacht wurden, um den gestiegenen Beanspruchungen gerecht zu werden. Für die Zukunft wird es darüber hinaus notwendig sein, dabei noch mehr als bisher auf eine gute Fertigungsmöglichkeit Rücksicht zu nehmen, nachdem es auch im Kraftwagenbau möglich war, die Güte des Produkts mit einem hohen Herstellungstempo zu verbinden.

¹⁾ P. Sommer, Neue Kolbenoberflächen, Jahrbuch 1918 der deutschen Luftfahrtforschung, S. 11/83.

10012