

Systematik einer Versuchsdurchführung für Einbauteile

Der folgende Aufsatz ist ein Auszug aus dem Referat, das Dr.-Ing. HERMANN BÄUMLER auf der Tagung „Erprobungsmethoden für Landmaschinen“ der VDI-Fachgruppe Landtechnik in Heidelberg am 22. Oktober 1963 gehalten hat.

An Beispielen aus Versuchen mit Kolbenringen und Gleitringdichtungen¹⁾ werden Überlegungen zu einer systematischen Versuchsplanung angestellt. Die Technik der Messungen selbst oder deren Ergebnisse werden nur soweit behandelt, als es zum Verständnis der Versuchsplanung notwendig ist.

Vorüberlegungen, Zahl der Meßpunkte, Darstellung der Ergebnisse

Ein Versuch ist immer dort anzusetzen, wo Theorie und Berechnung keine oder keine ausreichend sichere Antwort über die Funktion der fraglichen Teile geben können. Erste Voraussetzung für planvolle Versuche ist eine möglichst klare Fragestellung. Eine Prüfung, ob nicht Rechnung, sonstige Erfahrungen oder andere Überlegungen den Versuch ersparen oder verkürzen können, wird leider oft vergessen.

Wegen der Kosten und des Zeitbedarfs von Versuchen soll man mit möglichst wenigen Meßpunkten auskommen. Ein weiterer Grund für wenige Meßpunkte ist die Überschaubarkeit der Ergebnisse. Umgekehrt müssen aber auch genügend viele Meßpunkte festgelegt werden, um ein ausreichend zutreffendes Bild über den ganzen wichtigen Betriebsbereich zu geben.

Ein weiterer wichtiger Beitrag zur Bewertung der Meßergebnisse ist eine anschauliche Darstellung. Sie sollte möglichst weitgehend schon bei der Versuchsplanung mit berücksichtigt werden.

Die Bilder 1 und 2 sollen die Anwendung dieser Grundsätze auf Ölverbrauchs- und Gasdurchtrittsmessung bei der Kolbenring-Entwicklung für Verbrennungskraftmaschinen zeigen: Die Frage ist: „Wie wirken verschiedene Kolbenring-Bestückungen in einem Fahrzeugmotor auf Ölverbrauch und Gasdurchtritt ein“? Eine Berechnung dieser Werte ist nicht möglich; übertragbare Erfahrungen mit den interessierenden Ringbestückungen sollen nicht vorliegen. Es sind deshalb Versuche notwendig.

Ein Fahrzeugmotor wird in der Praxis im ganzen Drehzahl-Last-Bereich beansprucht; der Schlepptrieb soll hier außer acht gelassen werden. In Bild 1 ist links oben über der Drehzahl die Grenzlinie des möglichen Nutzdruckes aufgezeichnet. Der darunter liegende Betriebsbereich wird gut überdeckt, wenn die Meßpunkte für die zu untersuchenden Größen jeweils auf Linien konstanten Nutzdruckes gelegt werden. Dies gibt auch eine gute Vergleichsbasis für verschiedene Motoren untereinander. Wenn man nun auf diesen Linien genügend viele Punkte fährt, erhält man beispielsweise Kurven, wie sie rechts oben für den Gasdurchtritt und in der unteren Bildhälfte für den Ölverbrauch aufgezeichnet sind. Der Kraftstoff-Verbrauch (oben Mitte) soll nur zur Kontrolle für den Zustand des Motors mit aufgezeichnet sein.

Am Ölverbrauch soll noch erklärt werden, in welcher Weise auch die Wahl der Dimension zur Anschaulichkeit beiträgt: Für Wirtschaftlichkeitsfragen ist es interessant zu wissen, wieviel Öl in einer Stunde (links unten) oder wieviel Öl je PS h (Mitte unten) verbraucht wird. Für die Funktion der Kolbenringe möchte man aber wissen, wieviel Öl bei jedem Hub an den Kolbenringen vorbeigeht (der Öldurchtritt an den Ventilschäften ist hier durch andere Maßnahmen ausgeschaltet). Aus diesem Grunde wurde rechts unten dieselbe Größe, aber nun in der Dimension Gramm 10^6 Umdrehungen beziehungsweise 10^6 Kolbenhübe aufgetragen (10^6 wegen der besser vorstellbaren Menge). Es zeigt sich, daß man aus dem Bild links unten (g/h) an eine besonders starke Verschlechterung der Ringfunktion mit der Drehzahl oder aus der Mitte unten an eine übersteigerte Verschlechterung bei geringer Last glauben könnte, während rechts unten sich ein richtiges Bild ergibt (die Leitern rechts lassen aus dem gleichen Bild auch den Ölverbrauch in $g/PS h$ ablesen).

¹⁾ Nach Messungen auf den Prüfständen der Goetzwerke AG in Burscheid und Opladen

Die Diagramme rechts oben und rechts unten geben ein recht genaues Bild der zu untersuchenden Funktion einer Ringbestückung. Der Vergleich mehrerer verschiedener Bestückungen mittels solcher Bilder wäre aber sehr unübersichtlich und der Versuchsaufwand wegen der vielen notwendigen Meßpunkte untragbar hoch. Es hat sich deshalb bewährt, anstelle der ganzen Linien gleichen Nutzdruckes jeweils nur drei oder zwei Punkte bei drei beziehungsweise zwei bestimmten Drehzahlen zu fahren. Die Punkte sind links oben als Kreise angedeutet. Außerdem kann man dann jeweils die drei Punkte einer Drehzahl noch in einer Ölverbrauchs-messung zusammenfassen.

Will man dann verschiedene Bestückungen oder Motoren miteinander vergleichen (Bild 2), so stellt man das Ergebnis der Ölverbrauchs-messung für jede Drehzahl als eine Blocksäule dar (oben im Bild) und dazu die Gasdurchtritte bei den verschiedenen Lasten derselben Drehzahl als Strichsäule (unten im Bild).

Diese Säulen, für verschiedene Bestückungen zweckmäßig nebeneinander gestellt, geben eine übersichtliche Vergleichsmöglichkeit. Es lassen sich die unterschiedlichen Ölverbräuche bei verschiedenen Drehzahlen und die Gasdurchtritte bei verschiedenen Lasten und Drehzahlen ablesen.

Das Bild 2 zeigt Vergleichsversuche einer normalen Kolbenringbestückung (jeweils links und rechts) mit verschiedenen Sonderbestückungen (dazwischen) in normal runden Zylindern (links) und in definiert unrunder Zylindern (rechts). Der Ölverbrauch ist aufgetragen in der vorher erläuterten Dimension $g/10^6 U$, der Gasdurchtritt jeweils von links nach rechts innerhalb der einzelnen

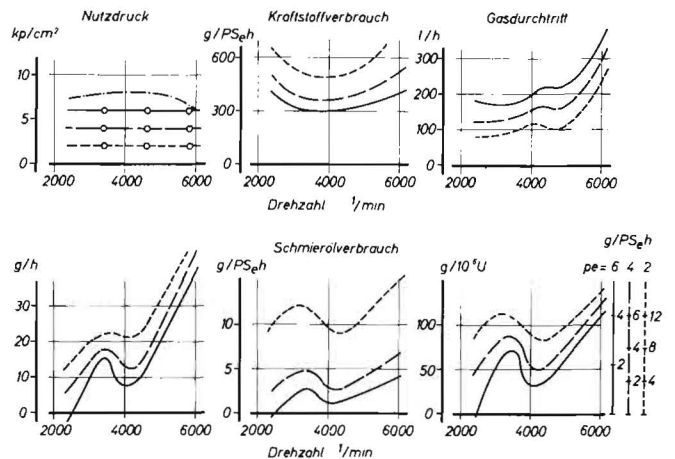


Bild 1: Zweckmäßige Dimension einer Meßgröße am Beispiel Ölverbrauch von Motoren

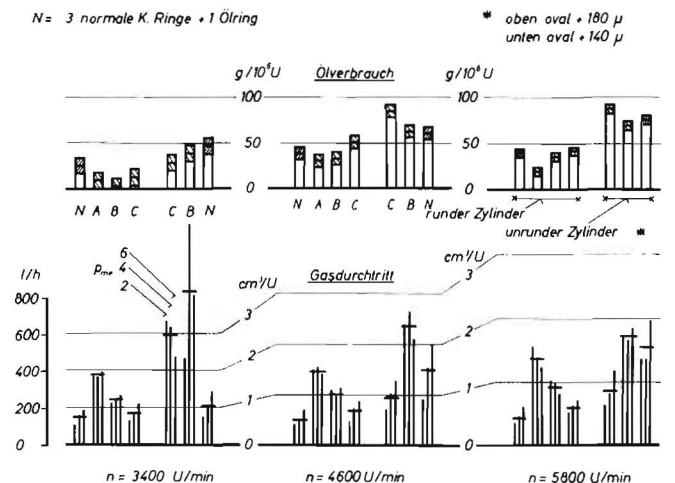


Bild 2: Vergleich verschiedener Meßergebnisse am Beispiel Ölverbrauch und Gasdurchtritt in Motoren

Säulen bei $p_e = 2, 4$ und 6 kp/cm^2 in der Dimension l/h . Gleichzeitig sind aber auch Maßhilfslinien für die Dimension cm^3/U eingezeichnet.

Der kurze waagerechte Strich beim Gasdurchtritt bezeichnet den Mittelwert; der schraffierte Kopf der Säulen des Ölverbrauches gibt die Streuung des Meßverfahrens (nicht die Streuung des Ölverbrauches) an. Dazu etwas später! Vorher noch eine allgemeine Beurteilung der zu vergleichenden Ringbestückungen: Alle Sonderformen zeigten gegenüber der Normalbestückung Mängel, spätestens beim Einsatz im unrunder Zylinder. Teilweise konnten aber diese Mängel nur erkannt werden, weil die Untersuchung auf verschiedene Drehzahlen ausgedehnt wurde.

Änderung und Streuung der Ergebnisse während der Versuche

In übrigen sei hier darauf hingewiesen, daß sich bei vielen Meßgrößen, besonders beim Ölverbrauch oder Verschleiß ein gleichbleibender Wert erst nach längerer Betriebszeit einstellt. Hier muß beispielsweise jeweils festgelegt und beachtet werden, was unter dem Begriff „Einlauf beendet“ verstanden werden soll. Soll das gelten, wann einer oder alle Ringe rundum wenigstens in einer Linie tragen, wann die volle Tragbreite erreicht ist, wann Oberflächenschichten linienförmig oder wann sie völlig abgetragen sind, wann ein eventuelles Drehbild verschwunden ist, oder wann schließlich der Verschleiß bis zum eigentlichen, von der Bearbeitung her nicht mehr gestörten Grundgefüge vorgedrungen ist? Oder mit Hilfe der Funktion definiert: wann ein gleichmäßiger Gasdurchtritt, ein gleichmäßiger Ölverbrauch oder ein gleichbleibender Verschleiß oder eine gleichbleibende Leistung erreicht ist?

Bei den Streuungen der Versuchsergebnisse (Bild 3) sind zwei Dinge auseinanderzuhalten: die Streuungen des Meßverfahrens und die Streuungen des Vorganges selbst.

Wenn beispielsweise der Ölverbrauch eines Motors in einem Betriebspunkt durch vielfaches, kurz hintereinander folgendes Ablassen von Öl aus dem Kurbelgehäuse und wiederholtes Wiegen dieser Ölmenge bestimmt wurde, haben sich Werte ergeben, wie sie in Bild 3, unten von links nach rechts, über der Laufzeit aufgetragen sind. Eine überschlägig durch diese Punktfolge gezogene Ausgleichsgerade gibt mit ihrem Gefälle den durchschnittlichen Ölverbrauch des Motors an. Über die gesamte Versuchszeit war er im wesentlichen gleichbleibend; eventuelle Schwankungen in kurzen Intervallen sind nicht sehr wahrscheinlich und sollen nicht berücksichtigt werden. Die Abweichungen der einzelnen Punkte von der Ausgleichsgeraden rühren dann aus der Streuung des einzelnen Meßpunktes her. Die Neigung der Geraden $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ ist ein Maß für den Ölverbrauch ($4,5 \text{ g je } 10 \text{ min}$). Die Standardabweichung der einzelnen Meßpunkte von einer Ausgleichsgeraden ist mit $7,5 \text{ g Öl}$ errechnet worden.

Es wäre jedoch falsch, diese Abweichungen der Meßpunkte von der Ausgleichsgeraden als die Streuung des Meßverfahrens anzusehen. Man muß vielmehr bedenken, daß jeder einzelne Ölverbrauch aus der Differenz zweier Einzelmessungen, nämlich der

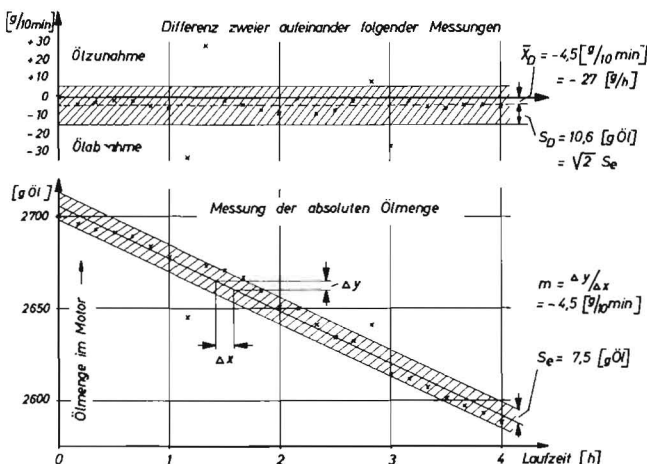


Bild 3: Streuung des Meßvorganges bei Ölverbrauchsmessungen

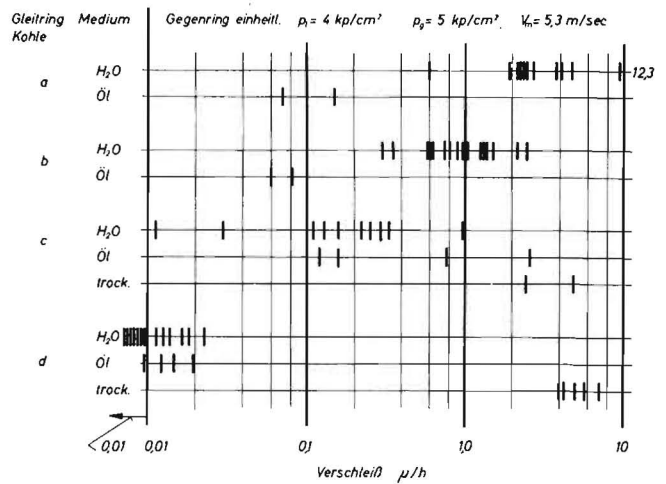


Bild 4: Beispiel der Auftragung von Meßergebnissen bei Vielzahl-Untersuchungen (Verschleiß von Kohle-Gleitringen)

Wägung vor und nach dem kurzen Laufintervall besteht. Richtiger ist deshalb das in Bild 3 oben gezeichnete Vorgehen: Über der Laufzeit sind jeweils die Differenzen der Wägungen aufgetragen. Deren Mittelwert ist dann der mittlere Ölverbrauch (entsprechend dem Gefälle der Ausgleichsgeraden unten) und aus den Abweichungen vom Mittelwert kann die Standardabweichung s_D des Meßverfahrens errechnet werden. Dieser Wert ist nach den Regeln der Statistik wegen der Summation zweier Streuungen $\sqrt{2}$ mal so groß wie die Standardabweichung der einzelnen Meßpunkte gegenüber der Ausgleichsgeraden ($10,6 \text{ g Öl}$ gegenüber vorher $7,5 \text{ g Öl}$).

Eine entsprechend wie hier errechnete Streuung des Meßverfahrens war im vorigen Bild als $\pm s$ bei den Ölverbrauchssäulen als schraffierter Kopf eingetragen.

Gegen Streuungen des Meßverfahrens kann man sich in etwa so schützen, daß man die Versuchszeit so groß wählt, daß der geringste interessierende Verbrauch wenigstens drei- bis viermal so groß ist wie diese Streuung. Damit kommt man dann bei Ölverbrauchsmessungen zu Meßpunkt-Dauern von zwei bis vier Stunden. Eine größere Sicherheit ist wegen der Kosten illusorisch.

Gegen die Streuungen des Vorganges selbst kann man sich am besten durch Vielzahl-Messungen, möglichst an vielen gleichartigen Versuchsteilen schützen. Praktisch läßt sich das wegen des Zeitaufwandes oft nur an Vielfach-Prüfständen durchführen.

Einen Auszug aus einer Versuchsreihe mit solchen Prüfständen zeigt Bild 4. Es mußte eine verschleißfeste Kunstkohle-Sorte für Gleitringdichtungen entwickelt werden. Als Abszisse ist in logarithmischem Maßstab der Verschleiß in μ/h aufgetragen. Die einzelnen Zeilengruppen enthalten die Meßergebnisse mit vier verschiedenen Kohle-Sorten a bis d, jeweils aufgetragen für Lauf in Wasser, Öl und teilweise auch Trockenlauf.

Jeder einzelne Strich ist das Meßergebnis eines Prüflaufes von 200 Std. Den Ausgangspunkt der Entwicklung zeigen die beiden oberen Zeilen. Der Verschleiß liegt zu hoch (bis $10 \mu/h$) und hat große Streuungen. Der Trockenverschleiß lohnt hier keine größere Untersuchung. Den jetzigen Stand zeigen die unteren drei Zeilen. Der Verschleiß für Wasser und Öl liegt sehr niedrig und hat wenig Streuungen; der nur kurzzeitig auftretende Trockenverschleiß ist tragbar.

Es leuchtet ein, daß solche Vielfach-Prüfstände bei Verbrennungsmotoren nicht für Einzelprobleme angesetzt und Vielzahl-Untersuchungen mit Motoren, wenn überhaupt, erst im Stadium der Sreinerprobung durchgeführt werden können. Für die Vorentwicklung muß man sich mit wenigen Meßläufen bescheiden.

Hier muß man dann anstreben, durch planvolles Durchdenken des technischen Vorganges die funktionellen Streuungen möglichst klein zu halten und durch Vorversuche sich ein Bild über die Größe der Streuungen des Meßvorganges zu machen.

Untersuchung von Vorgängen mit Ausreißern

Ein besonders schwieriges Kapitel sind dabei Vorgänge, die mit vereinzelt Ausreißern behaftet sind. Es möge beispielsweise ein bestimmter Werkstoff A, unter normalen Bedingungen an einem obersten Kolbenring eingesetzt, einen Verschleiß zwischen 0,3 und 0,5 μh zeigen. Ausreißer werden bei ihm nicht gefunden. Unter den gleichen Bedingungen soll ein Werkstoff B normalerweise einen Verschleiß zwischen 0,2 und 0,35 μh haben, er erscheint also besser als der Werkstoff A. Etwa bei jedem fünfzigsten Versuch würden aber bei B leichte oder starke Fresser auftreten. Solche Ausreißer auf in Durchschnitt 50 Kolbenringe würden für ein Motorenwerk, welches täglich 1000 Vierzylinder-Motoren herstellen möge, eine Reklamationsrate von arbeitstäglich 80 Motoren bedeuten. Das wäre selbstverständlich zu hoch.

Solche Ausreißer treten unter anderem häufig im Zusammenhang mit sogenannten Brandspuren an Kolbenringen auf. Brandspuren entstehen durch das Überschreiten einer kritischen Belastungsgrenze im Dichtspalt. Eine nach dem Überschreiten der Grenze einsetzende Selbstverstärkung erhöht zuerst den Verschleiß um mehrere Größenordnungen (bis zum 10000fachen) gegenüber dem Normalverschleiß und führt schließlich zu Freßerscheinungen zwischen Kolbenringen und Laufbüchsen. Als weitere Folge können Kolbenfresser und dadurch noch schwerere Schäden am Motor auftreten.

Wegen der dem Vorgang innewohnenden Selbstverstärkung ist das Verschleißverhalten in der Nähe dieser Belastungsgrenze ziemlich labil und wechselt steil zwischen Normalverschleiß und schweren Motorschäden. Das folgende Beispiel soll noch zeigen, mit welchen Maßnahmen es gelang, in unmittelbarer Nähe einer solchen kritischen Belastungsgrenze wiederholbare Versuche zu fahren:

Zuerst wurde mit Hilfe der Bilder 5 und 6 ein Überblick über die Einflußmöglichkeiten auf den Dichtspalt geschaffen. Dessen Belastungsfähigkeit hängt ab vom Schmierfilm und von den beteiligten Oberflächen. Diese Größen können durch vier Einflußgrößen (im unteren Teil des Bildes 5) über mehrere Zwischengrößen grobenteils unter gegenseitiger Verschlingung beeinflusst werden. Zwei der Einflußgrößen hängen von Konstruktion und Fertigung, zwei vom Betrieb des Motors ab.

In Bild 6 ist die Einflußmöglichkeit nur auf die Schmierfilmdicke nochmals etwas mehr aufgeschlüsselt. Die Schmierfilmdicke hängt direkt ab von der Menge des dem Dichtspalt von der Triebwerkseite her angebotenen Öles, von der Menge des von der Zylinderwand abdampfenden Öles, so lange der Kolben sich unterhalb befindet, weiter von Temperatur, Ölsorte, Pressung, Spaltform und Adhäsion. Zwischen diesen Größen und den unten wiederholten vier unabhängigen Einflußgrößen bestehen ebenfalls vielfach Verschlingungen die dargestellten Abhängigkeiten. Zur besseren Erklärung sind einige Zwischengrößen eingezeichnet. Ein solcher Überblick, den die beiden letzten Schemata zeigen sollten, ist für jede gezielte Untersuchung notwendig.

Im ersten Zeitraum der Brandspurversuche wurde nun versucht, mit normalem Vorgehen die Belastung für den Dichtspalt auf die gewünschte Höhe zu bringen. Normal insofern, als alle Einflußgrößen mit Ausnahme einer einzigen möglichst unverändert gelassen wurden. Dies führte zu keinem Erfolg. Sehr oft ergaben sich überhaupt keine Brandspuren, dann wieder vereinzelt nicht wiederholbare Brandspuren und sehr oft gleich Kolbenfresser.

Die Lösung, die schließlich zum Erfolg führte, schematisiert Bild 7. Das Anheben der Belastung aus dem Normal-Niveau auf das gewünschte Belastungsgebiet der Brandspuren wurde in mehrere kleinere Schritte aufgelöst. Der einzelne große Schritt war wegen seiner Spannweite mit großen Streuungen behaftet. Die Streuungen der kleineren Schritte sind an sich schon kleiner und gleichen sich außerdem durch ihre Überdeckungen (hier durch die sich überdeckenden Schraffuren angedeutet) noch weiter aus.

Die vier Treppen sollen die vier Zylinder des Versuchsmotors symbolisieren. Zuerst wurde die Belastung jedes Zylinders um die gleiche Stufenfolge mit der Höhe h angehoben (beispielsmäßig ein schlechtes Öl, hohe Öltemperatur, glatte Büchsen und weite Büchsen).

Um Übertragungsschwierigkeiten von einem Lauf auf den anderen zu vermeiden, sind in den Vierzylinder-Motor gleichzeitig Ver-

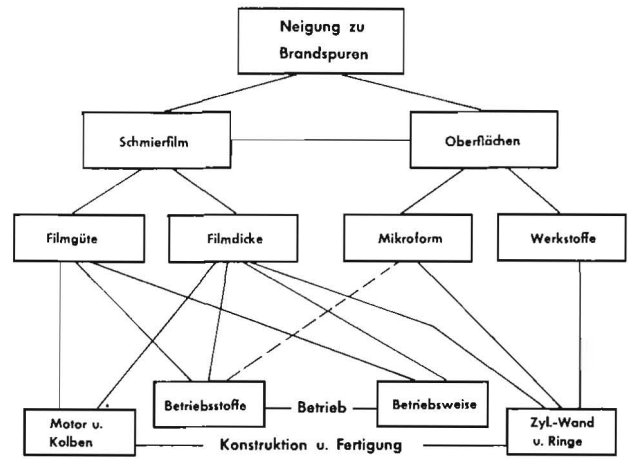


Bild 5: Einflüsse auf die Neigung zu Brandspuren an Kolbenringen in Verbrennungsmotoren

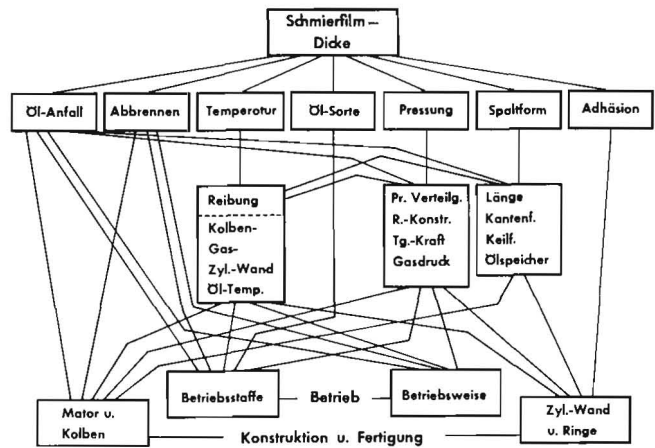


Bild 6: Einflüsse auf die Schmierfilmdicke am Kolbenring

suchs- und Vergleichsteile eingebaut. Im Schema ist dies dargestellt durch die Stufe v , um die die Belastung der Zylinder 1 und 2 wieder abgesenkt ist (das Versuchsteil ist hier als brandspurverhindernd gedacht). Ohne sonstige Maßnahmen würden nun diese beiden Zylinder ohne und die beiden anderen Zylinder mit Brandspuren laufen. Falls sich aber durch irgendeine Zufälligkeit das Normalniveau des Motors bei dem Versuch etwas gesenkt haben sollte, ergäben sich in keinem Zylinder Brandspuren.

Es wird deshalb die Treffer-Wahrscheinlichkeit nochmals erhöht, indem die Zylinder 1 und 4 um das Maß d in drei weiteren Stufen angehoben werden (beispielsweise verstärkte Einspritzung, verschärftes Ölabbreien und erhöhte Kühlwassertemperatur). Auch hier wieder drei kleinere anstelle eines einzigen großen Schrittes. Diese zusätzliche Niveau-Erhöhung der Zylinder 1 und 4 gibt

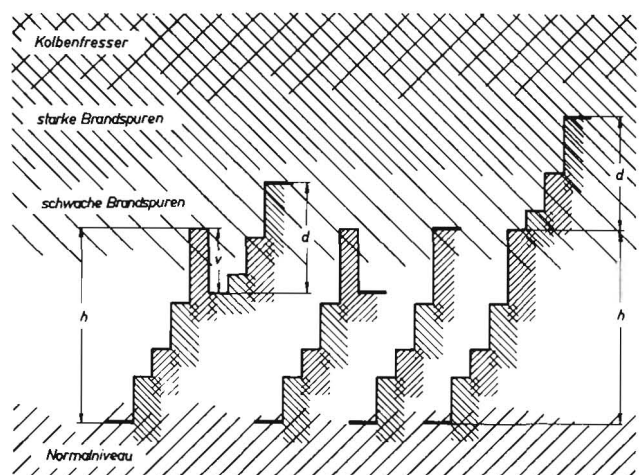


Bild 7: Versuchs-Schema für Brandspurversuche

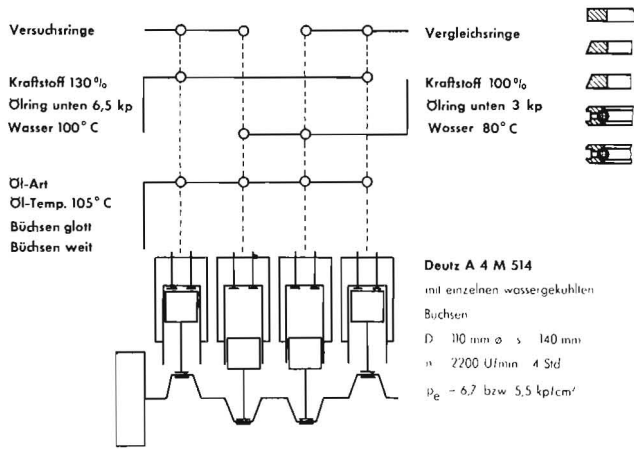


Bild 8: Motorschema für Brandspurversuche

außer der höheren Treffer-Wahrscheinlichkeit auch noch eine sehr wichtige Kontroll-Möglichkeit, auf die unten eingegangen wird.

Bild 8 zeigt das Versuchsschema des Bildes 7 am Beispiel eines Motors selbst: Das Gesamt-Niveau aller vier Zylinder wird angehoben durch ein besonders brandspurbegünstigendes Schmieröl, ferner durch Einstellen der Öltemperatur auf 105°C, durch besonders glatt gehonte Büchsen (die Büchsen werden vor jedem Lauf neu gehont) und durch vergrößertes Kolbenspiel (etwa 300 µ vom Nennmaß des Kolbens zum kalten Büchsenmaß). In alle vier Zylinder des Motors sind anstelle der normalen Ölschlitzringe wegen der besseren Schmiegsamkeit und Einstellbarkeit Schlauchfederringe eingesetzt.

Die zwei mittleren Zylinder des Motors laufen mit normaler Voll-einspritzung. Die Ölringe haben dort etwa die Tangentialkraft der Serienringe. Die Wasseraustrittstemperatur wird auf 80°C gehalten.

Gegenüber der Belastung dieser beiden Zylinder sind die beiden äußeren Zylinder nochmals um drei Stufen angehoben: Die Einspritzpumpe wurde so verstellt, daß 30% mehr Kraftstoff gefördert wird — die beiden Zylinder laufen stark über der Rußgrenze; die Tangentialkraft der unteren Ölabbstreifringe ist auf 6,5 kp erhöht, und die Wasseraustrittstemperatur wird auf 100°C gehalten.

In die Zylinder 1 und 2 wird die Versuchsbestückung eingebaut und in die Zylinder 3 und 4 eine ausgesuchte Vergleichsbestückung.

Jeder Versuchslauf dauert vier Stunden bei Vollast, normalerweise ohne jeden vorherigen Einlauf.

Im Versuchsplan enthaltene Kontrollmöglichkeit

Nun noch in Bild 9 ein Auswerteschema für die Versuche: Über den vier Zylindern sind in 16 Zeilen alle theoretischen Möglichkeiten dafür aufgetragen, ob in einem Zylinder Brandspuren oder nicht aufgetreten sind. Ein liegendes Kreuz soll immer „Brandspuren“ und ein Kreis „keine Brandspuren“ bedeuten. Unter-

	○	○	×	×	viel besser besser	auswertbar
	○	○	○	×	gleich ¹⁾	
	×	×	○	×	schlechter · viel schlechter	
Versuchssteile in Zylinder 1 und 2	×	×	×	×	Niveau zu hoch Niveau zu niedrig	nicht auswertbar
Zyl. 1 und 4 heiß	×	×	×	○	Störung ·	
Zyl. 2 und 3 kalt	○	×	×	○	·	
	○	×	×	○	·	
	○	×	×	×	· · ·	
	1	2	3	4	Zylinder-Nr.	¹⁾ oder Niveau- Differenz zu groß

Bild 9: Auswerteschema für Brandspurversuche

schiede zwischen starken und schwachen Brandspuren sind nicht berücksichtigt.

Es sei nun vorausgesetzt, daß die Versuchsteile in Zylinder 1 und 2 eingebaut waren, und daß die Zylinder 1 und 4 auf dem vorher beschriebenen zweimal erhöhten Niveau, die Zylinder 2 und 3 auf dem weniger erhöhten Niveau gefahren wurden. Es gibt dann sieben Bilder (die oberen sieben Zeilen), welche eine Beurteilung der Versuchsteile im Vergleich zu den Normalteilen zulassen. Die nächsten zwei Zeilen zeigen an, daß das Versuchsniveau falsch eingestellt war. Die sieben unteren Zeilen schließlich sollten eigentlich nicht vorkommen; wenn ein solches Bild auftritt, muß eine Störung im Versuch vorgelegen haben, da ja ein „kalter“ Zylinder (2 oder 3) keine Brandspuren ergeben dürfte, wenn nicht gleichzeitig auch sein zugehöriger „heißer“ Zylinder (1 bzw. 4) Brandspuren hatte.

Jeder Lauf kann nun störungsfrei oder mit einer ein Bild hervor-rufenden Störung abgelaufen sein. Echte Ergebnisbilder gibt es nur sieben, als Störung unmittelbar zu erkennen sind ebenfalls sieben. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Ergebnis durch eine Störung nur vorgetäuscht wird, beträgt für den Einzelversuch aus den Möglichkeiten dieses Schemas nur 30% anstelle der 50% Gefahr beim einfachen Vergleichsversuch.

Tatsächlich lag jedoch die Sicherheit der Aussage bedeutend höher: Es kann hierzu angegeben werden, daß nach dem beschriebenen Versuchsschema für die Brandspurversuche insgesamt 29 Versuche gefahren wurden. Davon zeigten 17 ein Unterschiedsbild nach Zeile 1 bis 3 oder 5 bis 7; sechs Versuche zeigten Gleichheit oder einen Niveaudifferenz-Fehler (d zu groß); vier Versuche lagen im Gesamtniveau zu niedrig und nur zwei Versuche zeigten ein Störungsbild. Das ergibt stark vereinfacht gerechnet nur noch eine Wahrscheinlichkeit von etwa 5% dafür, daß in den Ergebnisbildern nicht erkannte Störungsbilder enthalten waren.

Die Ursache der beiden Störungsbilder ist übrigens später erkannt worden und für beide die gleiche gewesen. Ein unter den Ergebnissen gezähltes Bild wurde auf Grund des Laufbildes der Ringe nicht als echt erkannt. Wegen der guten Kontroll-Möglichkeit wurden nur wenige Wiederholungsversuche gefahren und mehr eine breite Streuung des Versuchsprogramms angestrebt. Die Ergebnisse gaben gute Hinweise für den Kampf gegen Brandspuren.

Versuchsergebnisse und Praxis

Es wurden einzelne Maßnahmen aufgezeigt, mit denen die Sicherheit von Prüfstandsversuchen beeinflusst oder beurteilt werden kann. Wie verhält es sich nun mit der Übertragbarkeit auf die Praxis? Wenn man nicht aus Unkenntnis einen schwerwiegenden Einflußfaktor außer acht gelassen hat, liegt in solchen Prüfstandsversuchen eine verhältnismäßig große Sicherheit. Auch dann, wenn nur Einzelversuche vorliegen, braucht man nicht befürchten, daß sich die Verhältnisse beim Übergang auf eine andere Maschine derselben Typenreihe grundsätzlich ändern werden. Beim Wechsel der Type können sich die Gewichte einzelner Maßnahmen oft verschieben. Eine grundsätzliche Umkehr der Wirkung ist glücklicherweise sehr selten, kann aber beim Überschreiten irgendeiner Belastungsgrenze nicht ausgeschlossen werden. Das letzte Wort wird immer die Bewährung in der Praxis sprechen müssen. Da hier aber auf die Antwort viel zu lange gewartet werden muß und dann schon sehr große Summen im Spiel sind, ist eine Entwicklung ohne Prüfstandsversuche nicht möglich.

Zusammenfassung

An Beispielen aus Versuchen mit Kolbenringen und Gleitringdichtungen werden Überlegungen zu einer systematischen Versuchsplanung behandelt.

Erste Voraussetzung dazu ist eine wohlüberlegte Fragestellung und Berücksichtigung der schon vorliegenden theoretischen oder praktischen Kenntnisse. Weiter darf die Zahl der Meßpunkte weder zu klein noch zu groß sein und soll gut über den interessierenden Betriebsbereich verteilt sein. Auf eine anschauliche Darstellung der Ergebnisse ist schon bei Versuchsbeginn zu achten.

Streuungen der Ergebnisse können durch das Meßverfahren oder durch den Vorgang selbst verursacht sein. Sie können durch Vor-

untersuchungen nach Herkunft und Größe abgeschätzt werden. Ein Verkleinern der Streuungen kann durch längere Versuchszeiten oder Vielzahl-Versuche erreicht werden.

Ein letztes Beispiel zeigt, mit welchen Maßnahmen die wiederholbare Untersuchung einer Störung ermöglicht wurde, die in der Praxis nur in Form vereinzelter Ausreißer auftritt. Dabei wird auch noch eine in den Versuchsplan mit eingebaute Kontrollmöglichkeit beschrieben.

Résumé

Hermann Bäumler: "Systematics of Experiments with Built-In Parts."

Based on examples from experiments with piston rings and sliding circumferential joints comments on a systematic planning of experiments are discussed.

Pre-condition is a deliberate questioning and consideration of the already existing theoretical or practical findings. Moreover, the number of the measuring points may not be either too small or too large and should be well distributed over the whole range to be examined. Already at the beginning of the experiment care should be taken that the results are clearly represented.

Deviations of the results may be caused by the measuring method or by the process itself. In preliminary experiments they can be assessed according to origin and value. The deviations can be reduced by experiments over a longer period or by multiple experiments.

A last example shows which measures enabled the reproducible examination of a disturbance appearing in practice only now and then. In this connection a control possibility incorporated in the experimental plan is also described.

Hermann Bäumler: «Planification systématique des essais de pièces de construction.»

On cite comme exemple des essais de segments de piston et de segments d'étanchéité et en déduit des idées sur une planification systématique des essais.

Otto Cordier:

Motor und Luftfilter bei Staub und Hitze

Der folgende Aufsatz ist ein Auszug aus dem Referat, das Dr.-Ing. OTTO CORDIER auf der Tagung „Erprobungsmethoden für Landmaschinen“ der VDI-Fachgruppe Landtechnik in Heidelberg am 22. Oktober 1963 gehalten hat.

Leistungsverlust durch hohe Temperaturen

Der Betrieb des Dieselmotors wird durch hohe Umgebungstemperaturen in zweifacher Weise ungünstig beeinflusst: Das geringere spezifische Gewicht der angesaugten Luft liefert für die Verbrennung weniger Sauerstoffmoleküle; wir haben daher mit einem kleineren Verbrennungsluft-Überschuß zu rechnen. Motoren, die in ihrer normalen Auslegung bereits nahe an der Rauchgrenze betrieben werden, können aus diesem Grund bereits gefährdet sein; zumindest ist ihre Reserve gegenüber dem Erreichen der Rauchgrenze erheblich in Anspruch genommen. Ebenso wird die Thermische Belastung der Brennraumbegrenzungswände und die Auspufftemperatur in einem solchen Fall zunehmen. Gegen den durch die hohe Außentemperatur hervorgerufenen Luftmangel kann bei nichtaufgeladenen Motoren nichts unternommen werden, der Motor ist eben reichlich zu bemessen. Bei einer Umgebungstemperatur von 50°C ist die dadurch hervorgerufene Leistungseinbuße gegenüber 20°C nach DIN 6270 15%.

Anpassung an hohe Außentemperaturen

Zur Leistungseinbuße und erhöhten thermischen Belastung durch Verringerung der Luftdichte kommt noch die direkte Erhöhung des Temperaturniveaus der Verbrennungs- und Kühlluft. Die Auswirkung der Verbrennungsluft-Temperatur muß ebenfalls hingenommen werden, sie wirkt sich bei wasser- und luftgekühlten Motoren ziemlich gleichartig aus. Der Einfluß höherer Kühlluft-Temperatur ist bei wassergekühlten Motoren größer als bei luftgekühlten, da bei ersteren die Temperaturdifferenz zwischen Luft

La première condition à remplir est de bien poser le problème et d'utiliser toutes les connaissances théoriques et pratiques disponibles. De plus, le nombre des points de mesure ne doit être ni trop élevé ni trop faible et ces points doivent être bien répartis sur la zone examinée. Il faut faire attention déjà au début des essais à une bonne représentation des résultats.

Les dispersions des résultats peuvent provenir de la méthode de mesure ou de l'exécution de la mesure elle-même. Leur origine et leur importance peuvent être appréciées par des essais préliminaires. On peut réduire la dispersion des résultats par des essais prolongés ou en effectuant un nombre élevé d'essais.

Un dernier exemple illustre les moyens par lesquels on a pu reproduire des pannes qui ne se rencontrent dans la pratique qu'accidentellement. En relation avec ces mesures, on mentionne une possibilité de contrôle prévue dans le plan d'essais.

Hermann Bäumler: «Método de ejecutar ensayos en piezas de máquinas.»

Se trata de las consideraciones que es preciso hacer al establecer un plano metódico de ensayos y se presentan ejemplos de ensayos hechos con segmentos de émbolo y con empaquetaduras deslizantes.

Es condición fundamental la de que el problema se plantee con acierto y que se tengan en cuenta los conocimientos teóricos y prácticos de que se dispone. Además el número de puntos de medición ni debe ser demasiado reducido, ni demasiado grande, encontrándose los puntos repartidos por igual sobre toda la zona que interesa. Antes de empezar los ensayos ya se debe pensar en la forma de describir los resultados con claridad.

La dispersión de los resultados puede tener su causa en el mismo procedimiento de medición que se emplee, o en el proceso; se la puede estimar en cuanto a su causa y su valor con ensayos previos. Se puede conseguir una reducción del número de dispersiones, o prolongando el tiempo, o sea la duración del ensayo, o repitiéndolo varias veces.

El último ejemplo explica las medidas que permiten la repetida investigación de una perturbación que en la práctica se presenta solamente como fallo aislado, describiéndose al mismo tiempo un dispositivo de comprobación incluido en el plano de ensayo.

und Kühleroberfläche wesentlich kleiner ist als zwischen Luft und Zylinderverrippung bei letzteren. Wird man den luftgekühlten Motor in dieser Hinsicht nicht verändern müssen, so wird es sich meist als notwendig erweisen, den Rückkühler bei indirekt gekühlten Motoren für Tropenbetrieb zu vergrößern oder durch Übergang auf Druckkühlung die Siedetemperatur des Kühlwassers hinaufzusetzen.

Bei Konstruktionen für heiße Gegenden wird eine Forderung, die bei Anlagen für mitteleuropäische Bedingungen zweckmäßig ist, unumgänglich: Ein Warmluftkurzschluß ist zu vermeiden, beziehungsweise weitgehend zu verhindern. Luftgekühlte Motoren sind wegen der höheren Warmlufttemperatur empfindlicher als wassergekühlte. Die Beimengung von 20% Warmluft zur Frischluft erhöht deren Temperatur um 12°C, die von 40% um 33°C. Hier hat der Konstrukteur dafür zu sorgen und der Benutzer zu beachten, daß keine eigenmächtigen Veränderungen an Aufbau und Verkleidung vorgenommen werden.

Als weitere Auswirkungen, die hohe Außentemperatur auf den Motor haben können, sind in erster Linie die Schmiereigenschaften des Öles und die Haltbarkeit der nichtmetallischen Teile, besonders der Dichtungen, zu nennen. Aus dem Katalog der heute verfügbaren Dichtungsmaterialien kann man eines mit passenden Temperatureigenschaften leicht herausfinden. Der Versuchingenieur muß nur die höchstmögliche Betriebstemperatur hinlänglich genau angeben. Versuche im Tropenraum können zu zufriedenstellenden Aussagen verhelfen. Die Schmieröle werden mit höheren Temperaturen nicht nur dünnflüssiger, auch der Schmierfilm kann leichter zerstört werden, was Kolben- und Lagerfresser zur Folge hat. Auch die Alterung der Schmieröle nimmt mit der Temperatur erheblich zu. Eine zu geringe Zähigkeit läßt sich durch die Wahl einer höheren Viskositätsklasse ausgleichen, wenn nicht gleichzeitig Start bei niedrigen Temperaturen, zum Beispiel Nachttemperaturen in der