



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 412 673 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 8028/2004
(22) Anmeldetag: 09.10.2003
(42) Beginn der Patentdauer: 15.10.2004
(45) Ausgabetag: 25.05.2005

(51) Int. Cl.⁷: **G01M 15/00**

(73) Patentinhaber:
AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).
(72) Erfinder:
DENKMAYR KLAUS DR.
GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) VERFAHREN ZUR ABSICHERUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT VON TECHNISCHEN BAUTEILEN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Absicherung der Zuverlässigkeit von technischen Bauteilen, insbesondere von Brennkraftmaschinen und deren Teile, mit einem Testprogramm. Um auf möglichst einfache und zuverlässige Weise die Zuverlässigkeit von Bauteilen absichern zu können, sind folgende Schritte vorgesehen:

- Auswählen zumindest eines kritischen Bauteiles und zumindest eines kritischen Schadensmodus,
- Definition eines Zuverlässigkeitszieles für jeden kritischen Bauteil,
- Auswählen zumindest einer Testprozedur für jeden kritischen Bauteil,
- Zuordnen einer Testdauer und/oder Testlänge zu jeder Testprozedur,
- Zuordnen von Beschleunigungsfaktoren zu den einzelnen Bauteilen und Testprozeduren,
- Bestimmen einer äquivalenten Testdauer und/oder Testlänge für den kritischen Bauteil und den jeweiligen Test mittels der Beschleunigungsfaktoren und der Testdauer bzw. Testlänge,
- Berechnen einer nachweisbaren Zuverlässigkeit für den kritischen Bauteil auf der Basis der gewählten Testprozedur.

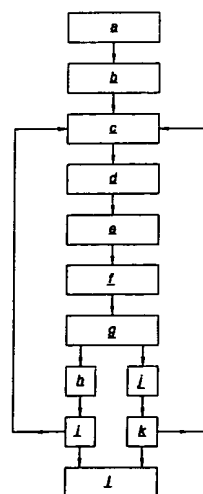


Fig.1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Absicherung der Zuverlässigkeit von technischen Bauteilen, insbesondere von Brennkraftmaschinen und deren Teile, mit einem Testprogramm.

Fahrzeugbesitzer erwarten von jeder neuen Motorgeneration höhere Leistung, geringeren Kraftstoffverbrauch und reduzierte Emissionen bei höchster Zuverlässigkeit. Gleichzeitig drängen die Fahrzeughersteller auf verkürzte Entwicklungszeiten. In diesem Spannungsfeld kommt der Zuverlässigkeitssicherung während des Entwicklungsprozesses eine besonders wichtige Bedeutung zu.

Aus der Veröffentlichung "Der AVL-Reliability-Engineering-Prozess für die Motor- und Antriebsstrangentwicklung", Klaus DENKMAYR, VDI-Berichte 1713, 2002, Seiten 27 bis 32 ist es bekannt, die Schädigung von Aggregaten, Bauteilen bzw. Baugruppen in einer Belastungsmatrix darzustellen. Mittels Testprogrammen, insbesondere unterschiedlicher Dauerlauftests können verschiedene Motoreigenschaften abgeprüft werden, wobei verschiedene Motorsubsysteme höchst unterschiedlich belastet werden. Beispielsweise wird in einem Thermoschocktest der Zylinderkopf hoch belastet, während die Kurbelwelle weniger belastet wird. Um die unterschiedlichen Belastungen darzustellen und mögliche Schwachstellen im Testprogramm aufzudecken, wurde in dieser Veröffentlichung die sogenannte Load-Matrix (Belastungsmatrix) eingeführt. Die Belastungsmatrix gibt dabei an, wie hoch der jeweilige Dauerlauf der Subsysteme im Vergleich zum typischen praktischen Einsatz während der Nominallebensdauer belastet.

Als Zuverlässigkeitsindex wird bei Verbrennungsmotoren meist die B_{10} -Lebensdauer verwendet, die jede Laufleistung angibt, bis zu der 10% der Gesamtpopulation einer Motorengruppe einen schwerwiegenden Defekt aufweist. Je nach Anwendung wird der B_{10} -Wert in Kilometern, Meilen oder Betriebsstunden angegeben.

Ein weiterer wichtiger Zuverlässigkeitsparameter ist die sogenannte Repair-Frequency, welche die Häufigkeit von Defekten von Bauteilen oder Baugruppen pro Garantiejahr angibt. Die Zuverlässigkeitsparameter B_{10} -Lebensdauer und Repair-Frequency haben maßgebend Einfluss auf Kosten durch Garantie- und Kulanzleistungen für Motoren- und Fahrzeughersteller. Kürzere Entwicklungszeiten, härtere Einsatzprofile und steigende Garantie- und Kulanzzeiten bewirken, dass der Zuverlässigkeitsabsicherung von Bauteilen und Baugruppen immer größere Bedeutung zukommt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Testprogramm zu generieren, das es erlaubt auf möglichst einfache, aber ausreichend umfangreiche Weise die Zuverlässigkeit von Bauteilen und/oder Baugruppen, sowie kompletten Aggregaten, wie z.B. Brennkraftmaschinen, abzusichern. Weiters dient das Verfahren dazu, eine Bewertung der Zuverlässigkeit von technischen Bauteilen und/oder Baugruppen zu entwickeln, mit der eine möglichst zuverlässige Abschätzung zukünftiger Kostenrisiken möglich ist.

Erfindungsgemäß erfolgt dies durch folgende Schritte:

- a) Auswählen zumindest eines kritischen Bauteiles und zumindest eines kritischen Schadensmodus,
- b) Definition eines Zuverlässigkeitszieles für jeden kritischen Bauteil,
- c) Auswählen zumindest einer Testprozedur für jeden kritischen Bauteil,
- d) Zuordnen einer Testdauer und/oder Testlänge zu jeder Testprozedur,
- e) Zuordnen von Beschleunigungsfaktoren zu den einzelnen Bauteilen und Testprozeduren,
- f) Bestimmen einer äquivalenten Testdauer und/oder Testlänge für den kritischen Bauteil und den jeweiligen Test mittels der Beschleunigungsfaktoren und der Testdauer bzw. Testlänge,
- g) Berechnen einer nachweisbaren Zuverlässigkeit für den kritischen Bauteil auf der Basis der gewählten Testprozedur.

Die Beschleunigungsfaktoren können zumindest für eine erste Annäherung geschätzt oder empirisch festgelegt werden. Eine wesentlich genauere Aussage lässt sich aber gewinnen, wenn gemäß einer bevorzugten Ausführung der Erfindung - im Rahmen des Schrittes e) - die Beschleunigungsfaktoren auf der Basis von Schädigungsmodellen ermittelt werden. Dabei werden die in Tests unter erschwerten Bedingungen, beispielsweise erhöhter mechanischer oder thermischer Belastung, nach einer bestimmten Testdauer auftretenden Schädigungen mit jener Dauer verglichen, bei der entsprechende Schädigungen im praktischen Einsatz auftreten. Aus diesen Informationen werden für die kritischen Komponenten und Schädigungsmodi Schädigungsmodelle aufgestellt. Umgekehrt können auch aus bekannten Schädigungsmodellen neue Tests definiert werden.

Die äquivalente Testdauer bzw. Testlänge gibt eine Referenzgröße zur Bewertung der Brauch-

barkeit der gewählten Testprozedur. In weiterer Folge können folgende zusätzliche Schritte vorgesehen sein:

- h) Vergleichen der nachweisbaren Zuverlässigkeit mit dem Zuverlässigkeitsziel,
- i) Modifizieren des Testprogramms, wenn die nachweisbare Zuverlässigkeit vom Zuverlässigkeitsziel abweicht und die Abweichung größer als ein vordefinierter Toleranzwert ist.

Dabei wird mindestens eine Testprozedur modifiziert, wenn die nachweisbare Zuverlässigkeit unter dem Zuverlässigkeitsziel liegt. Der Toleranzwert kann hierbei auch null sein.

Eine Modifizierung des Testprogramms wird notwendig, wenn die nachweisbare Zuverlässigkeit unzureichend ist, oder aber auch, wenn unnötig viel oder lange getestet wird. Im ersten Fall kann durch Änderung der Testprozeduren, der Testdauer oder der Beschleunigungsfaktoren die nachweisbare Zuverlässigkeit erhöht werden. Im zweiten Fall kann die Testdauer verkürzt oder Tests eingespart werden.

Alternativ oder zusätzlich zu den Schritten h) bis i) können folgende Schritte zur Absicherung der Zuverlässigkeit der Bauteile durchgeführt werden:

- j) Vergleichen der äquivalenten Testdauer und/oder Testlänge mit dem Lebensdauerziel,
- k) Modifizieren des Testprogramms, wenn die nachweisbare äquivalente Testdauer und/oder Testlänge vom Lebensdauerziel abweicht und die Abweichung größer als ein vordefinierter Toleranzwert ist.

Wenn die äquivalente Testdauer und/oder Testlänge unter dem Lebensdauerziel liegt, kann mindestens einer Testprozedur modifiziert werden. Der Toleranzwert kann auch hier null oder ungleich null sein.

Falls die nachweisbare äquivalente Testdauer bzw. Testlänge wesentlich größer ist, als das Lebensdauerziel, kann der Testaufwand durch Verkürzen oder eventueller Einsparung von einzelnen Testprozeduren reduziert werden. Falls jedoch die äquivalente Testdauer bzw. Testlänge das Lebensdauerziel nicht erreicht wird, müssen die Tests verschärft werden. Dies kann beispielsweise durch Steigerung der mechanischen oder thermischen Bauteil-Belastung während der Tests - und damit der Beschleunigungsfaktoren - oder durch Anheben der Testdauer erfolgen.

Vorteilhafterweise können zumindest die Schritte c) bis g), h) und i) und/oder j) und k) solange wiederholt werden, bis die nachweisbare Zuverlässigkeit zumindest dem Zuverlässigkeitsziel entspricht.

Wenn das Zuverlässigkeitsziel durch Dauerlauftests nicht abgesichert werden kann, so können alternativ zusätzliche Komponententests oder FE-Tests (Finite Elemente-Tests) durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der einzelnen Tests werden vorteilhafter Weise als Belastungsmatrix (Load-Matrix) für die einzelnen Bauteile dargestellt und/oder in einer Datenbank abgelegt, wobei vorzugsweise die Zeilen der Belastungsmatrix die einzelnen kritischen Bauteile und Schadensmodi sind.

Auf diese Weise können Haltbarkeit und Ausfallsrisiko von Bauteilen und Baugruppen hinreichend genau abgeschätzt werden und zukünftige Garantiekosten kalkuliert werden.

Das eigentliche Testen der kritischen Bauteile erfolgt nach der Absicherung der Zuverlässigkeit.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert.

Es zeigen Fig. 1 ein Blockschaubild mit den erfindungsgemäßen Verfahrensschritten, Fig. 2 ein Detailblatt für Kolbenringverschleiß und Fig. 3 ein Übersichtsblatt eines Ausführungsbeispiels der Erfindung.

In Fig. 1 wird der Prozess der Erstellung der Belastungsmatrix (Load-Matrix) illustriert. Aus Effizienzgründen ist es sinnvoll, sich auf kritische Komponenten zu beschränken. Die Auswahl dieser Komponenten und Schadensmodi erfolgt in einem ersten Verfahrensschritt a) zum Beispiel im Rahmen einer sogenannten FMEA (Fehler Möglichkeits- und Einfluss Analyse) unter Berücksichtigung vorhandener Felddaten vergleichbarer Komponenten. Im nächsten Schritt b) erfolgt eine Festlegung der Zuverlässigkeitsziele (Fehlerrate) für eine vorgegebene Nutzungsperiode (z.B. Gewährleistungszeit). Danach werden im Schritt c) die entsprechenden Testprozeduren für jeden kritischen Bauteil ausgewählt und im Schritt d) Testdauer bzw. Testlänge jeder Testprozedur zugeordnet.

Im Schritt e) werden den einzelnen Bauteilen und Testprozeduren Beschleunigungsfaktoren

und Testwiederholungszahlen zugeordnet. Zur Ermittlung der Beschleunigungsfaktoren werden Schädigungsmodelle aufgestellt. Dazu wird für den Einsatz im praktischen Betrieb und die Tests Dauer bis zum Auftreten einer bestimmten Schädigung bestimmt. Bei bekanntem Schädigungsmodell können auch neue Tests definiert werden. Durch Vergleichen der Dauer bis zur Schädigung aus dem praktischen Betrieb und den Tests können die Beschleunigungsfaktoren ermittelt werden.

Die Tests (Prüfstand und Fahrzeug) werden für die betrachteten Komponenten in sogenannten Detailblättern der Belastungsmatrix zusammengefasst.

Mittels der Beschleunigungsfaktoren, der Testwiederholungszahlen und der Testdauer und/oder Testlänge wird für den kritischen Bauteil eine äquivalente Testdauer und/oder Testlänge berechnet (Schritt f). Sodann wird im Schritt g) auf der Basis der gewählten Testprozedur eine nachweisbare Zuverlässigkeit für den kritischen Bauteil bestimmt.

Durch Vergleichen der nachweisbaren Zuverlässigkeit mit dem Zuverlässigkeitsziel (Schritt h) und/oder durch Vergleichen der äquivalenten Testdauer mit dem Lebensdauerziel (Schritt j) können Aussagen über die Qualität des Testprogramms und der ausgewählten Testprozedur getroffen werden. Wird das Zuverlässigkeitsziel bzw. das Lebensdauerziel nicht erreicht, so wird in den Schritten i) bzw. k) das Testprogramm bzw. mindestens eine Testprozedur solange modifiziert, bis das Zuverlässigkeitsziel bzw. das Testdauer- und/oder Testlängenziel erreicht wird. Die Schritte c) bis i) bzw. c) bis h), j) und k) werden dazu entsprechend oft wiederholt. Danach können die Testprozeduren in Schritt l) unter Verwendung von statistischen Zuverlässigkeitsverfahren in der Praxis angewendet werden.

In den Fig. 2 und 3 ist eine Belastungsmatrix exemplarisch für einen PKW-Motor dargestellt. Sie besteht aus einem Übersichtsblatt (Fig. 3) und einer Reihe von Detailblättern für die kritischen Komponenten und relevanten Schadensmodi. Auf jedem Detailblatt sind alle relevanten Informationen über eine Komponente zusammengefasst, siehe Fig. 2.

In dem in Fig. 2 exemplarisch dargestellten Detailblatt sind in Spalte A die geplanten Versuche für den kritischen Bauteil „Kolbenring“ für den Schadensmodus „Verschleiß“ aufgelistet. Als Testprozeduren werden Nennleistungstest, Thermoshocktest, Wechsellasttest, Kolben und Zylinderkopf-Bruchtest innerhalb der Prüfstands-Dauerläufe, sowie Autobahntest, Stadtzyklus, Hochgeschwindigkeitstest und Kundentest innerhalb der Fahrzeug-Dauerläufe exemplarisch ausgewählt. Die Spalten B und C zeigen Versuchsdauer und Einheiten (Stunden, Kilometer, etc.) an. Dann folgt in Spalte D der Beschleunigungsfaktor bezogen auf ein standardisiertes Lastprofil. Dieser Beschleunigungsfaktor wird speziell für den jeweils vorliegenden Versuch, die kritische Komponente und den Schadensmodus angegeben. Aus der Laufzeit des Versuches und dem Beschleunigungsfaktor werden die Äquivalenzkilometer berechnet (Spalte E, das ist die schädigungsäquivalente Anzahl von Kilometer im standardisierten Lastkollektiv). In Spalte F ist die Anzahl der Test angegeben, in Spalte G die Summe der Äquivalenzkilometer unter Berücksichtigung der Wiederholungen. Im Detailblatt werden weiters noch die Gesamtsumme aller abgefahrenen Äquivalenzkilometer und das Äquivalenzkilometer-Maximum errechnet. Ist mehr als ein Schadensmodus relevant, werden im Detailblatt weitere Blöcke von Spalten analog zu D bis G erstellt und die entsprechenden Auswertungen (Summe, Maximum) durchgeführt.

Das Belastungsmatrix-Übersichtsblatt (Fig. 3) beinhaltet eine Zusammenfassung aller wichtigen Informationen aus den Detailblättern, sowie Auswertungen für die Evaluierung und Optimierung des Testprogramms. In Spalte A sind die kritischen Komponenten, sowie die relevanten Schadensmodi aufgelistet. Im Beispiel sind der Bauteil „Kolbenring“ mit dem Schadensmodus „Verschleiß“ aus Fig. 2, sowie der Bauteil „Zylinderkopf“ mit den Schadensmodi „Bruch Ventilstege“ und „Sitzringverschleiß“ und - als Beispiel für eine elektrische Komponente - der Bauteil „Connector“ (elektrische Verbindungskupplung) mit dem Schadensmodus „Reibkorrosion“ gewählt. Im Falle einer Weiterentwicklung einer Brennkraftmaschine bzw. eines Upgrades wird eine Einstufung auf Komponentenebene vorgenommen. In den Spalten B und C werden Innovationsgrad und Belastungsniveau der Komponente angegeben. Dabei bezeichnet in Spalte B „1“ eine unveränderte Komponente, „2“ eine leicht veränderte Komponente und „3“ eine völlig neue Komponente. Eine analoge Bewertung wird für das Belastungsniveau verwendet: „1“ steht für gleiche oder niedrigere Belastung, „2“ für eine leicht erhöhte Belastung und „3“ für eine wesentlich höhere Belastung der Komponente oder für den Fall, dass kein Vergleich möglich ist, da eine neue Komponente vorliegt. Spalte D zeigt das Produkt aus Innovationsgrad und Belastungsniveau als Risiko-Prioritätszahl. In

der Spalte E sind die Summen der Äquivalentkilometer als Überträge der Detailblätter für die betrachteten Komponenten und den Schadensmodus angegeben. In der Spalte F werden die Zuverlässigkeitszielwerte angeführt. Zuverlässigkeitsziel 0,99990 bedeutet beispielsweise, dass 10 Bauteile von 100 000 einen schwerwiegenden Defekt aufweisen.

5 Ein zentraler Punkt ist die Identifikation von Risiken bei hoher Laufzeit. Im Übersichtsblatt der Belastungsmatrix wird in Spalte G berechnet, bis zu welcher Laufleistung maximal abgetestet wird. Die Werte ergeben sich aus den maximalen Äquivalenzkilometern der Spalte E der Detailblätter (Fig. 2). Ist dieser Wert für eine kritische Komponente und einen Schadensmodus weit vom Lebensdauerziel entfernt, wird damit das Risiko angezeigt, dass ein erst bei hoher Laufleistung auftretendes Problem in der Testprozedur unter Umständen nicht erkannt wird. Bei einem Lebensdauerziel von beispielsweise 250.000 km wären die aus den Testprozeduren ermittelten Äquivalenzkilometer von 160.600 km für den Bauteil „Zylinderkopf“ mit dem Schadensmodus „Sitzringverschleiß“ zu gering, so dass mit der gewählten Testprozedur nicht gewährleistet werden kann, dass das Lebensdauerziel wirklich erreicht wird. In diesem Falle könnte beispielsweise eine Steigerung der Dauer der Testprozedur oder Modifizieren der Testprozedur zur Erhöhung des Beschleunigungsfaktors eine Verbesserung der Aussagekraft des Tests bringen.

Die Spalte H zeigt, welche Zuverlässigkeit sich mit dem vorliegenden Versuchsprogramm und vorgegebenen Konfidenzniveau im Idealfall - das heißt während der Versuche treten keine Defekte auf - nachweisen lässt. Hierbei wird im Beispiel näherungsweise eine konstante Ausfallsrate angenommen. Die Berechnung der nachweisbaren Zuverlässigkeit basiert auf folgendem aus der Literatur bekannten Zusammenhang:

$$1-C = R_{\text{Test}}^n \quad (1)$$

25 wobei n die Anzahl der Tests, 1-C das Konfidenzniveau ist (z.B. 0.9 für 90%) und R_{Test} die nachzuweisende Zuverlässigkeit (z.B. 0,9999) bezeichnen. Hier wird vorausgesetzt, dass während der Tests am untersuchten Bauteil keine Schäden auftreten.

Folgende Formel gilt für den Fall, dass in den Tests ein oder mehrere Schäden am Bauteil auftreten:

$$30 \quad 1-C = \sum_{i=0}^f \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot (1-R_{\text{test}})^i \cdot R_{\text{test}}^{(n-i)}, \quad (2)$$

wobei f die Anzahl der maximal „erlaubten“ Defekte bezeichnet.

35 Das Übersichtsblatt der Belastungsmatrix (Load-Matrix) stellt außerdem eine ideale Grundstruktur dar, um Zuverlässigkeitsauswertungen in geschlossener Weise aufzubauen. In Spalte I wird die aktuelle Fehlerrate aus dem laufenden Versuchsprogramm errechnet, wobei die Laufzeiten mit den komponentenspezifischen Beschleunigungsfaktoren gewichtet werden.

Auf der Belastungsmatrix aufbauend, könnten unter Berücksichtigung der angenommenen mittleren Reparaturkosten pro Fall die Gewährleistungskosten abgeschätzt werden.

Die abschließende Evaluierung des gesamten Testprogramms auf Basis der Belastungsmatrix ist von zentraler Bedeutung. Folgende Optimierungsschritte sind mögliche Konsequenzen: Anpassung einzelner Testlängen (Verkürzung oder Erweiterung), Ergänzung durch zusätzliche Tests oder Anpassung der Anzahl der Wiederholungen, Modifikation von bestehenden Testprozeduren.

45

PATENTANSPRÜCHE:

1. Verfahren zur Absicherung der Zuverlässigkeit von technischen Bauteilen, insbesondere von Brennkraftmaschinen und deren Teile, mit einem Testprogramm, mit folgenden Schritten:
 - a) Auswählen zumindest eines kritischen Bauteiles und zumindest eines kritischen Schadensmodus,
 - b) Definition eines Zuverlässigkeitszieles für jeden kritischen Bauteil,
 - c) Auswählen zumindest einer Testprozedur für jeden kritischen Bauteil,

- d) Zuordnen einer Testdauer und/oder Testlänge zu jeder Testprozedur,
 - e) Zuordnen von Beschleunigungsfaktoren zu den einzelnen Bauteilen und Testprozeduren,
 - f) Bestimmen einer äquivalenten Testdauer und/oder Testlänge für den kritischen Bauteil und den jeweiligen Test mittels der Beschleunigungsfaktoren und der Testdauer bzw. Testlänge,
 - g) Berechnen einer nachweisbaren Zuverlässigkeit für den kritischen Bauteil auf der Basis der gewählten Testprozedur.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass Schädigungsmodelle für die kritischen Bauteile und Schädigungsmodi erstellt werden und die Beschleunigungsfaktoren auf der Basis der Schädigungsmodelle aufgestellt werden.
 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aufstellen der Schadensmodelle den Schritt des Vergleichens der Dauer bis zum Auftreten einer Schädigung im praktischen Einsatz mit der Dauer bis zum Auftreten gleicher Schädigung im Test beinhaltet.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
 - h) Vergleichen der nachweisbaren Zuverlässigkeit mit dem Zuverlässigkeitsziel,
 - i) Modifizieren des Testprogramms, wenn die nachweisbare Zuverlässigkeit vom Zuverlässigkeitsziel abweicht und die Abweichung größer als ein vordefinierter Toleranzwert ist.
 5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Testprozedur modifiziert wird, wenn die nachweisbare Zuverlässigkeit unter dem Zuverlässigkeitsziel liegt.
 6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schritte c) bis i) solange wiederholt werden, bis die nachweisbare Zuverlässigkeit zumindest dem Zuverlässigkeitsziel entspricht.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei ein Lebensdauerziel für den kritischen Bauteil vordefiniert wird, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
 - j) Vergleichen der äquivalenten Testdauer und/oder Testlänge mit dem Lebensdauerziel,
 - k) Modifizieren des Testprogramms, wenn die nachweisbare äquivalente Testdauer und/oder Testlänge vom Lebensdauerziel abweicht und die Abweichung größer als ein vordefinierter Toleranzwert ist.
 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Testprozedur modifiziert wird, wenn die äquivalente Testdauer und/oder Testlänge unter dem Lebensdauerziel liegt.
 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest die Schritte c) bis g), j) und k) solange wiederholt werden, bis die äquivalente Testdauer und/oder Testlänge zumindest dem Lebensdauerziel entspricht.
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ergebnisse der einzelnen Tests als Belastungsmatrix für die einzelnen Bauteile dargestellt oder in einer Datenbank abgelegt werden.

HIEZU 2 BLATT ZEICHNUNGEN

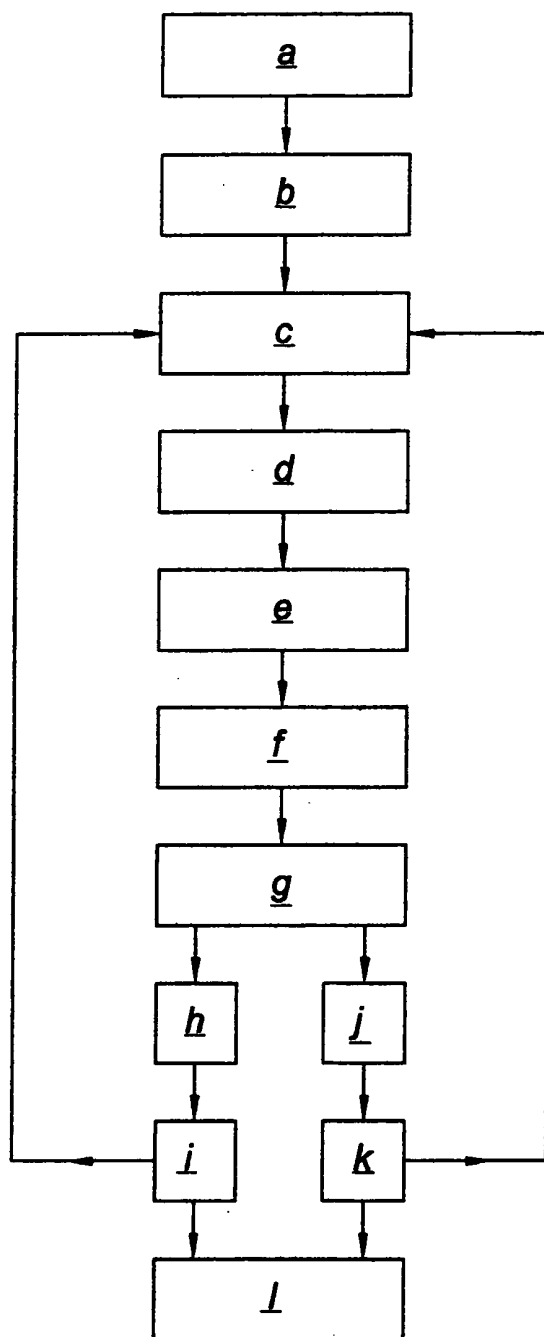


Fig.1

A	B	C	D	E	F	G
Kolbenring			Schadenmodus 1: Verschleiß			
	Dauer	Einheit	Beschl- fakt	Äquiv.- km	# Wiederh.	Gesamt- Äquiv.- km
Prüfstands- Dauerläufe						
Nennleistungstests	500	h	5,1	140.250	4	561.000
Thermoshocktest	300	h	2,9	47.850	4	191.400
Wechselasttest	1.000	h	5,9	324.500	4	1.298.000
Kolben- und ZK- Bruchtest	500	h	3,5	96.250	4	385.000
....	...	...	...	...	...	...
Fahrzeug- Dauerläufe						
Autobahntest	100.000	km	1,3	200.000	4	800.000
Stadtzyklus	50.000	km	1	50.000	4	200.000
Hochgeschwindig- keitstest	50.000	km	3,5	175.000	4	700.000
Kundentest	150.000	km	1	150.000	15	2.250.000
....	...	...	...	...	...	...
			Max:	324.500	Summe:	6.385.400

Fig.2

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Load Matrix Übersichts- blatt	Än- der- ungs- grad	Be- last- ung	Risi- ko	Summe Äqui- valent- km	Ziel- zuver- läs- sigkeit nach 2 Jahren	Lebens- dauer- risiko nach [km]	Nach- weis- bare Zuverläss- sigkeit	Zuverläss- sigkeit aus laufen- den Tests
Komponente/ Schadens- modus								
Kolbenring/ Verschleiß	1	2	2	6.385.400	0,99990	324.500	0,989969	1,00000
Zylinderkopf/ Bruch Ventilsteg	2	2	4	4.774.000	0,9990	198.200	0,986605	1,00000
Zylinderkopf/ Sitzring- verschleiß	2	2	4	5.230.000	0,99990	160.600	0,987766	1,00000
Connector/ Reib- korrosion	2	1	2	11.942.000	0,9995	250.600	0,994624	1,00000
....	...	...	...	...	...	...	...	...

Fig.3