

## **Klassifizierung der Lebenserwartung von KFZ-Glühlampen mittels akustisch-vibrometrischer Güteprüfung**

**Dipl.-Ing. (FH) Ingo Grothe**  
**PNA Polytec Noise Analysis GmbH, D-76275 Ettlingen**

### **1 Einleitung**

Die zunehmende Globalisierung der Wirtschaft führt vermehrt zur Auslagerungen von Fertigungslinien in Niedriglohnländer. Diese Standorte sind zumeist wegen der geringen Lohnkosten attraktiv. Der Automatisierungsgrad ist häufig viel geringer als in vergleichbaren Fertigungsumgebungen der Hochtechnologie-Länder. Der hohe Anteil an Handarbeit hat bei Fertigungsstätten in Niedriglohnländern einen z.T. negativen Einfluss auf die Qualität der gefertigten Produkte. Um den dennoch geforderten hohen Qualitätsstandard zu erfüllen, werden Qualitätsprüfsysteme im Rahmen einer Endkontrolle eingesetzt, die eine 100%-Prüfung ermöglichen. Besonders Produkte mit hohem Kostendruck sind von der Verlagerung der Fertigungsstandorte betroffen, dies gilt insbesondere für die KFZ-Zulieferer. So wird auch das in diesem Beitrag betrachtete Produkt, zumindest teilweise, in Niedriglohnländern gefertigt. Es handelt sich hierbei um die H4 Glühlampe, welche heute noch dominierend im Bereich der KFZ Beleuchtung eingesetzt wird.

Im Leben einer H4-Kfz-Glühlampe ist diese permanenten Schwingungen ausgesetzt. Besonderen Belastungen sind die H4 Lampen unter anderem bei Motorrädern ausgesetzt. Speziell die Einzylindermotoren führen in ausgezeichneten Betriebszuständen zu enormen Schwinganregungen des Lampenkörpers. Abhängig von den Resonanzeigenschaften der Einzelkomponenten der H4 Lampe fällt diese als Folge der Schwinganregungen vorzeitig aus (Feldausfall).

Die sichere Vermeidung der oben beschriebenen Feldausfälle erfordert eine 100% Endkontrolle der gefertigten Lampen. Als besondere Herausforderung stellt sich hierbei die Messung des im Glaskolben verbauten Glühwendelrahmens sowie des Reflektors heraus. Dieses Problem lässt sich ausschließlich mit berührungsfreien Messverfahren lösen. Eine Möglichkeit für derartige Messungen bieten rein optische Stroboskopverfahren, die jedoch eine schlechte Auflösung besitzen. Die Laservibrometrie bietet eine sehr präzise Messmöglichkeit zur Erfassung der Schwingungen des Glühwendelrahmens. Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung dieses Verfahrens können neben der Auslenkung weitere Schwingungseigenschaften wie Schwinggeschwindigkeit oder Beschleunigung direkt bestimmt werden.

Dieser Beitrag beschreibt die Umsetzung eines fertigungstauglichen Prüfverfahrens zur Bestimmung des Resonanzverhaltens, welches eine 100% Prüfung ermöglicht. Besonderheiten sind neben der laservibrometrischen Erfassung des Schwingungssignals auch die Anregungsfunktion sowie die softwaretechnische Umsetzung.

## 2 Das Prüfsystem

Für die H4-Lampenfertigung wurde ein Prüfstand konstruiert, der die 100% Prüfung des Resonanzverhaltens des Glühwendelrahmens von H4-Kfz-Glühlampen bei einer Taktzeit von 5 sek. gestattet. Resonanzfrequenz und -amplitude lassen dabei Rückschlüsse auf die Lebenserwartung der Glühlampe zu.

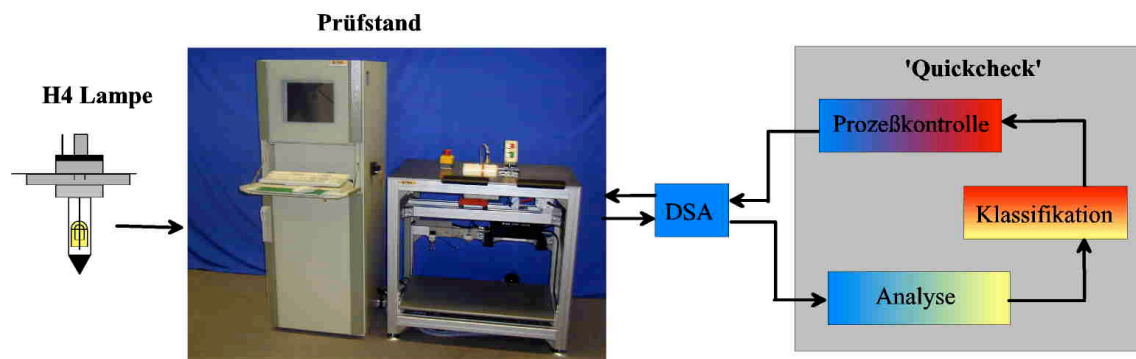


Abbildung 1 : Automatischer H4-Glühlampenprüfstand mit manueller Bestückung

Eine Anforderung an das Prüfsystem ergibt sich aus der Typenvielfalt. Das System ist schnell auf neue Typen umrüstbar, da alle Parametervorlagen typabhängig verwaltet werden. Die „sensiblen“ Systemparameter lassen sich nur durch besonders geschulte Einrichter ändern (Passwortschutz), während grundlegende Bedienschritte wie Typwechsel, Wiederholungsmessung und Trendanalyse sehr einfach und transparent für jeden Bediener durchführbar sind.

Eine messtechnisch reproduzierbare Einspannung des Prüflings erfolgt automatisch und typabhängig. Das System integriert eine Überwachung der schwingungstechnischen Kenngrößen der Prüflingsaufnahme (Prüfstandskalibration). Selbstverständlich ist eine Vorrichtung zur Kalibration der Messkette in den Prüfstand integriert (Körperschallkalibrator). Hierdurch lässt sich das System problemlos in vorhandene Strukturen überwachter Prüfmittel integrieren (QS 9000).

## 3 Das Meßprinzip

Das Prinzip zur Bestimmung des Resonanzverhaltens des Glühwendelrahmens ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Prüfling wird zum Zweck der Bestimmung des Resonanzverhaltens mit einer speziellen Funktion angeregt. Die konventionelle Methode der Anregung mittels Sweep scheidet für diese Prüfung aus Taktzeitgründen aus. Die z.T. sehr schmalen Resonanzen können in der zur Verfügung stehenden Messzeit von 0,5 sec mittels Sweep- Funktion nicht ausreichend angeregt werden, was zu einer unzureichenden Ausprägung der Resonanzamplituden führt. Es wurde daher eine impulshafte Anregung gewählt, die alle relevanten Resonanzen gleichzeitig anregt. Die Besonderheit liegt hierbei in der Impulsform. Diese wurde so gewählt, dass alle Frequenzen im Bereich zwischen 0 und 1 kHz gleich stark angeregt werden, während oberhalb von 1 kHz keine Anregung erfolgt (rechteckförmiges Spektrum). Aus der Theorie der Fouriertransformation ergibt sich, dass die zu dem o.g. Spektrum gehörige Anregungsfunktion folgenden Verlauf hat :

$$y(t) = \frac{\sin(\omega t)}{\omega t}$$

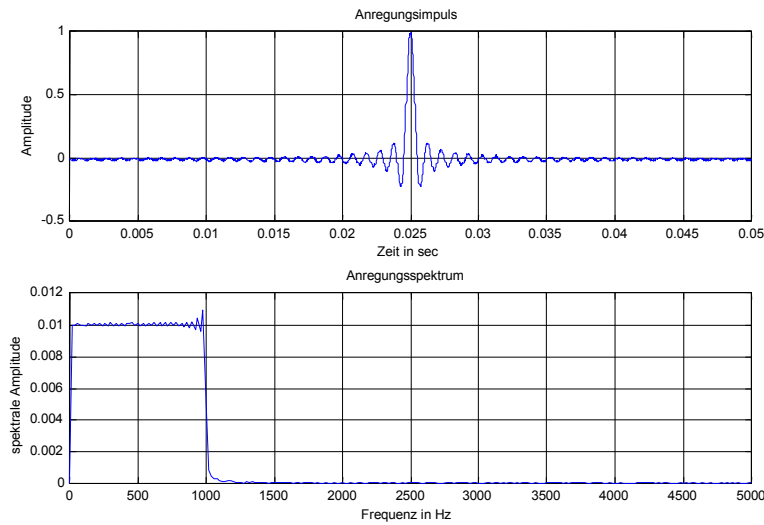


Abbildung 2 : Die Anregungsfunktion

Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Anregungsfunktion (oben) und das zugehörige Spektrum (unten). Man erkennt, dass alle Frequenzen bis 1 kHz gleich stark im Spektrum vertreten sind. Dies garantiert eine energieoptimale Anregung aller Frequenzen im Auswertebereich durch die dargestellte Funktion.

Die mit der oben dargestellten Funktion angeregte Lampe weist im Auswertebereich mindestens eine ausgeprägte Resonanz auf. Mit dem Compact Laser Vibrometer (CLV), welches nach dem Doppler-Prinzip funktioniert, wird berührungslos durch den Glaskolben auf dem Reflektorspiegel der H4-Lampe dessen Resonanzantwort gemessen und zur Analyse über das DSA-Board digitalisiert. Das Klassifikationsergebnis wird dem Bediener auf einer Signalampel als Gut/Schlecht-Information und am Bildschirm mit kundenspezifischer Oberfläche ausgegeben

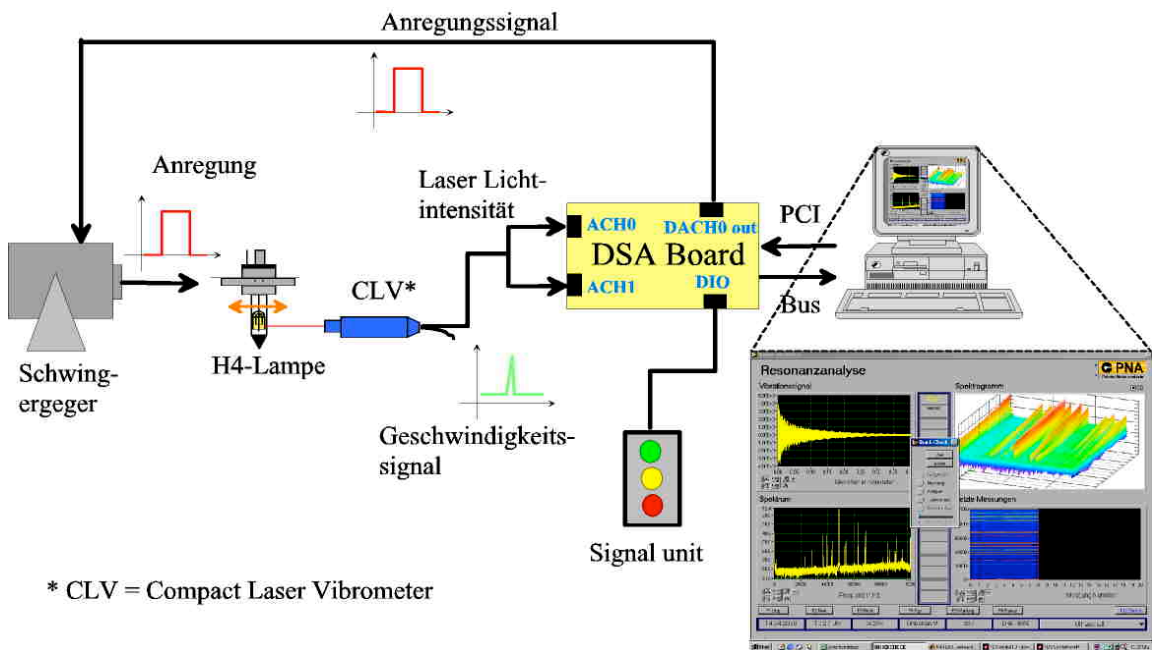


Abbildung 3 : Das Messprinzip zur Bestimmung der Resonanzfrequenz am H4 Glühwendelrahmen

### 3.1 Analyse und Klassifikation

Für die Analyse wurde das Zeitsignal in ein Frequenzspektrum transformiert. Anhand von Resonanzfrequenz und -amplitude im Frequenzbereich 1 Hz bis 1000 Hz wurden die Prüflinge anschließend über einen Schwellwertklassifikator als Gut- bzw. Schlechteil deklariert und es erfolgt ein entsprechender Prozesseingriff. Die eigentliche Messung startet dabei nach einer definierten Verzögerung.

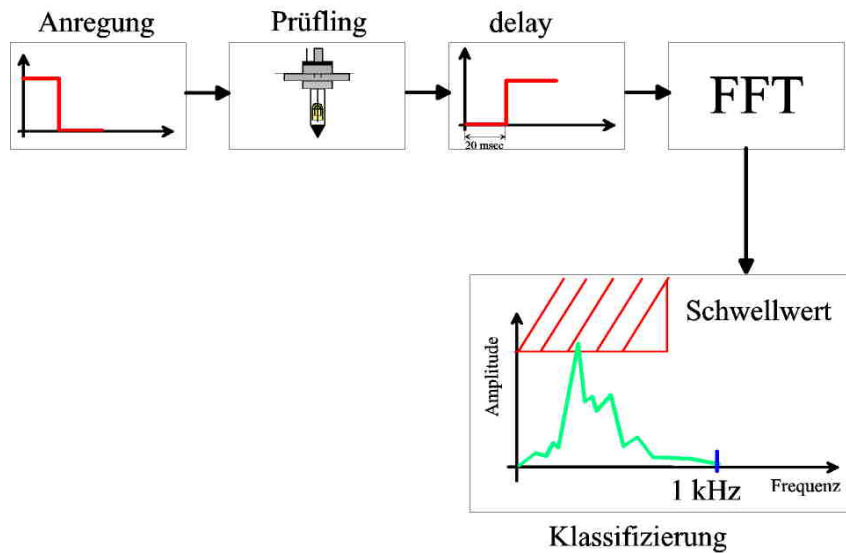


Abbildung 4 : Analyse und Klassifizierung des Prüflings

### 3.2 Prozesssteuerung

Die vielseitigen Aufgaben der Prozesssteuerung sind im Abbildung 5 dargestellt. Diese beinhaltet neben einer Sicherheitsabfrage vor dem Verriegeln der pneumatischen Spannvorrichtung die Prüfung der korrekten Positionierung des Prüflings, die eigentliche Verriegelung, die Anregung des Prüflings, den Start der Messung sowie die Visualisierung des Ergebnisses über eine Ampel und die Freigabe des Prüflings. Eine Überwachung löscht das Prüfergebnis, sobald der Prüfling entnommen wird. Hierdurch sind nicht geprüfte Teile, die in die Halterung eingelegt wurden, jederzeit sicher identifizierbar.

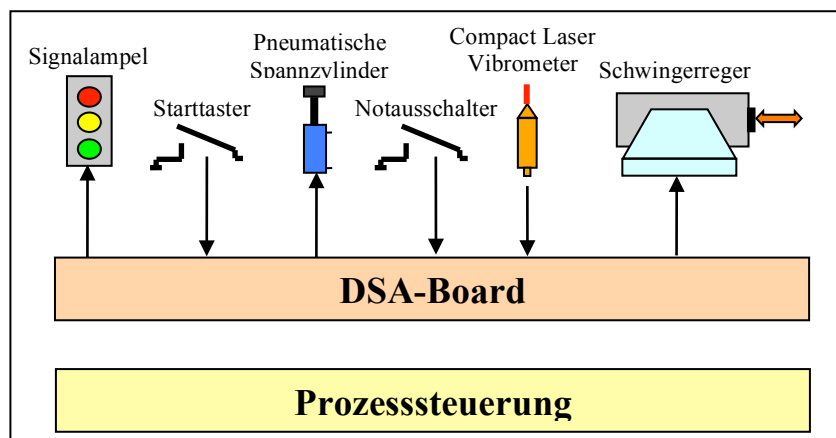


Abbildung 5 : Die Prozesssteuerung übernimmt umfangreiche Aufgaben zur sicheren Prüfung der H4 Lampen

## 4 Zusammenfassung

Das vorgestellte Prüfsystem wurde in knapp 5 Wochen vollständig entwickelt und erlaubt dem Anwender eine 100% Prüfung der gefertigten Lampen. Dies versetzt ihn bereits in der Prototypphase in die Lage, steuernd auf einzelne Fertigungsabschnitte einzugreifen, um den Prozess zu optimieren.

Die Messung an Objekten mit geringer Baugröße, Masse sowie örtlicher Isolation des Meßpunktes ist durch den Einsatz der berührungslosen Meßtechnik, dem Compact Laser Vibrometer (CLV), erst möglich geworden. Durch den vielseitigen Signalabgriff am CLV konnte mit nur einem Sensor nicht nur gemessen, sondern auch die Position der H4-Glühlampe in der Prüflingsaufnahme bestimmt werden, was zu einem rationellen Einsatz der Sensorik führte. Mit der Software konnten neben der Messung, Analyse und Prozeßsteuerung die in einer modernen Produktion notwendigen Funktionalitäten der Messkettenüberwachung (Messmittelüberwachung) sowie Prüfstandsüberwachung realisiert werden.

Dieser Beitrag zeigt, dass auch unkonventionelle Prüfaufgaben mittels akustischer / schwingungstechnischer Prüftechnik zuverlässig lösbar sind. Die problemorientierte Kombination von zeitgemäßen Standardkomponenten der Sensorik und Messdatenverarbeitung erschließt der akustischen / schwingungstechnischen Prüftechnik viele neue Anwendungsgebiete und ist geeignet, die Produktqualität in vielen Industriezweigen dauerhaft zu verbessern.

