Akustische Qualitätskontrolle von Elektromotoren mit Zeitfrequenzverteilungen

J. Timmer, C. Heitz
Zentrum für Datenanalyse und Modellbildung,
Eckerstr. 1, 79104 Freiburg
http://phym1.physik.uni-freiburg.de/~jeti/
e-mail: jeti@fdm.uni-freiburg.de

Die abschließende akustische Qualitätskontrolle von Elektromotoren geschieht nach wie vor durch menschliche Prüfer. Ziel des Projektes war die Entwicklung eines algorithmischen Prüfverfahrens für Kleinmotoren mit Getriebeansatz.

Die Daten Die Daten wurden mit Luftdruck-Mikrophonen unter Werksbedingungen bei einer Umlauffrequenz der Motoren von 100 Hz für 1.66 s mit einer Samplingfrequenz von 24 KHz gemessen. Die Untersetzung des Getriebes betrug 35:1. Es standen Daten von 33 "guten" Motoren zur Verfügung, 11 von als "rauh laufend" und 9 von als "klopfend" empfundenen defekten Motoren. Der Ursprung des "Klopfens" ist ein Defekt im Getriebe, der sich bei jeder 35. Umdrehung bemerkbar macht. Die Entstehung des "rauhen" Laufeindrucks entsteht durch eine nicht genau verstandene Instationarität des Signals, die das menschliche Ohr nicht im Einzelnen aufzulösen vermag. Abb. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem Datensatz der guten Motoren. Man erkennt ein periodisch instationäres Verhalten. Die Periode entspricht einer Umdrehung des Motors.

Zeitfrequenzverteilungen Zeitfrequenzverteilungen (ZFV) stellen einen allgemeinen Rahmen zur Analyse von instationären Signal dar, siehe Cohen (1989)

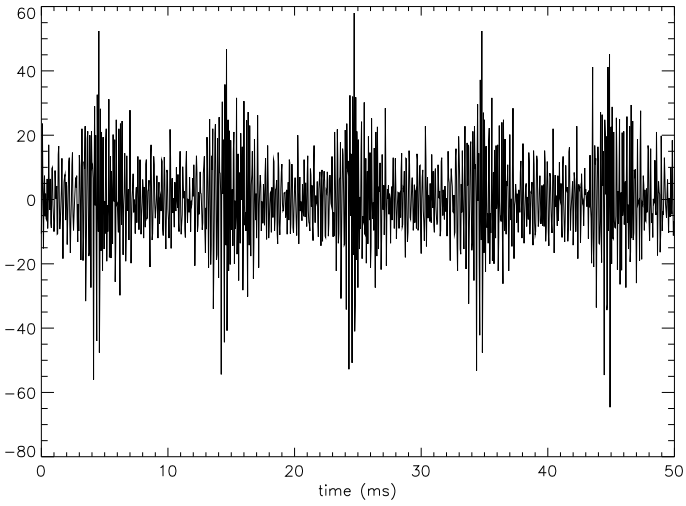

Abbildung 1: Beispiel eines intakten Motors. Eine Periode im instationären Verhalten entspricht einer Umdrehung des Motors.

für einen Überblick. Sie bilden eine Überklasse der bekannten Methoden der Wavelets oder des Spektrogramms. Ausgehend von der Ambiguitätsfunktion des Signals $x(t)$:

$$A(\xi,\tau) = \int x(\mu+\tau)\, x(\mu-\tau)\, e^{i\,\xi\,\mu}\, d\mu$$

ist die Klasse der ZFV definiert durch:

$$C(t,\omega,\Phi) = \int\int A(\xi,\tau)\, \Phi(\xi,\tau)\, e^{-i\,(\xi\,t\,+\,\tau\mu)}\, d\xi\, d\tau$$

Die spezielle ZFV hängt von der Wahl von $\Phi(\xi,\tau)$ ab. Die Grundidee des vorgestellten Projektes ist es, die Funktion $\Phi(\xi,\tau)$ datengetrieben so zu wählen, daß eine möglichst gute Klassifikation erreicht wird (Heitz, 1995).
Hierzu werden alle Zeitreihen in Segmente der Länge einer Motorrotation zerlegt. Für jedes Segment wird eine ZFV berechnet. Abstände zwischen ZFV sind durch die euklidische Norm gegeben. Für einen "rundlaufenden", intakten Motoren unterscheiden sich diese ZFV von Segment zu Segment kaum. Für die "rauhen" Motoren erwartet man eine erhöhte Variabilität zwischen den Segmenten. Als charakteristisches Merkmal bietet sich daher die Varianz an. Bei den klopfenden Motoren ist jede 35-te ZFV deutlich von den anderen unterschieden. Als Merkmal wird daher jeweils der Abstand der Menge aller 35-ten ZFV von den

verbleibenden ermittelt und davon das Maximum gewählt (Heitz und Timmer, 1997).
Um die ZFV für die Klassifikation mit Hilfe dieser Merkmale zu optimieren, muß $\Phi(\xi, \tau)$ parametrisiert werden. Wir wählen :

$$\Phi(\xi, \tau) = e^{-(\frac{\xi}{\xi_0})^2} \, e^{-(\frac{\tau}{\tau_0})^2}$$

Für folgende Fälle hat die ZFV eine anschauliche Bedeutung :

- $\xi_0 = 0$, $\tau_0 = 0$: Varianz
- $\xi_0 = 0$, $\tau_0 = \infty$: Periodogramm
- $\xi_0 = 0$, $\tau_0 < \infty$: geglättetes Periodogramm (Spektralschätzer)
- $\xi_0 = \infty$, $\tau_0 = 0$: $|x(t)|^2$
- $\xi_0 < \infty$, $\tau_0 = 0$: $|x(t)|^2$ (gleitender Varianzschätzer)

Die Parameter ξ_0 und τ_0 werden nun numerisch so bestimmt, daß die Klassifikationsrate maximal ist. Ferner wird die maximale Klassifikationsrate für $\xi_0 = 0$ (optimaler Spektralschätzer) und τ_0 (optimaler Varianzschätzer) ermittelt.

Ergebnisse Abb. 2 zeigt das Klassifikationsratengebirge für die klopfenden Motoren in Abhängigkeit von ξ_0 und τ_0. Die Ergebnisse im Einzelnen:

Optimale ZFV	100 %
Optimaler Spektralschätzer	88 %
Optimaler Varianzschätzer	98.5 %

In Anbetracht der geringen Anzahl von zur Verfügung stehenden Zeitreihen ist die Klassifikationsgüte des Varianzschätzers von der der ZFV nicht zu unterscheiden. Das Verfahren zeigt also an, daß der einfachere Varianzschätzer hinreichend ist.

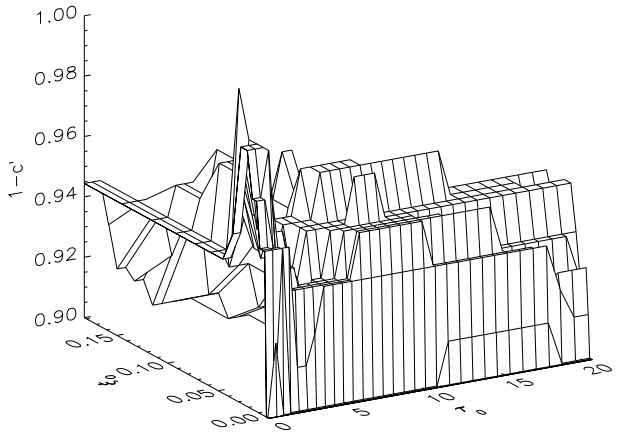

Abbildung 2: Klassifikationsgüte für die klopfenden Motoren.

Für die rauh laufenden Motoren ergab sich:

Optimale ZFV	92.5 %
Optimaler Spektralschätzer	75.7 %
Optimaler Varianzschätzer	86.3 %

Hier erweist sich die Klassifikation mit ZFV als den einfacheren Verfahren überlegen. Bleibt abschließend zu bemerken, daß die vorgestellte Untersuchung, für eine detailierte Darstellung siehe (Heitz und Timmer, 1997), auf Grund der geringen Anzahl von Datensätzen als explorativ anzusehen ist.

Wir danken den Firma Bosch für die Bereitstellung der Daten.

Literatur:

Cohen L.: Time-frequency distributions – a review. Proc IEEE **77**, 1989, 21-67

Heitz C.: Optimum Time-Frequency representations for the classification and Detection of Signals. Applied Sig. Process. **3**, 1995, 124-143

Heitz C., Timmer, J.: Using Optimized Time-Frequency Representations for Acoustic Quality Control of Motors, in press: Acustica, 1997