

# Wavelet-Transformation und Verzahnungsgeräusche

Daniel Bader<sup>1</sup>, Peter Holstein<sup>2</sup>, Heiko Marx<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Ilmenau, FG Kraftfahrzeugtechnik, Postfach: 100565, 98684 Ilmenau, Germany, Email: daniel.bader@tu-ilmenau.de

<sup>2</sup> Sinus Meßtechnik GmbH, Foeppelstraße 13, 04347 Leipzig, Germany

## Einleitung

Verschleiß, Geräusch und Herstellungsfehler äußern sich bei Verzahnungen fast ausschließlich über Vibrationen und akustische Emission. Dabei ist zu berücksichtigen, daß prinzipiell jedes Zahnradpaar auch im einwandfreien Zustand aufgrund des genutzten mechanischen Prinzips Schwingungen in die Kraft- und Bewegungsübertragung einprägt [1]. Diese jederzeit vorhandenen Schwingungen erschweren die Detektion nichtstationärer Ereignisse, durch die sich vor allem Fehler an einzelnen Zähnen äußern, außerordentlich. Heute übliche Meß- und Diagnosemethoden bedienen sich vor allem der Fast-Fourier-Transformation. Die Grenzen dieser Methode liegen beim Auftreten von Drehzahländerungen während der Messung sowie in der Eigenschaft, Signale in harmonisch auftretende Frequenzen aufzuteilen. Aufgrund dieser Tatsache gehen nichtstationäre Signalanteile und Einflüsse nahezu vollständig verloren. Ein weiteres prinzipielles Problem stellen die bei der Schwingungsmessung anfallenden großen Datenmengen dar, die eine zeitnahe Auswertung in den meisten Fällen verhindern.

Es besteht eine Bedarfserweiterung hinsichtlich nichtstationärer Meßmethoden, die im Gegensatz zu den weitgehend auf Basis klassischer Frequenzanalysen beruhenden Methoden auch wichtige einmalige Ereignisse und solche mit geringem Energieeintrag detektiert und in Echtzeit ausgewertet. Diesem Bedarf soll mit Hilfe der Real Time Wavelet-Transformation Rechnung getragen werden.

## Die RT-Wavelet-Transformation als neue Diagnosemethode

Die im DSP umgesetzte Diskrete Wavelet Transformation [2] arbeitet nach der Multi-Resolutionsanalyse [3]. Hierbei wird das Eingangssignal in symmetrische Hoch- und Tiefpaßanteile zerlegt. Die entstehenden Hochpaßwerte werden als Waveletkoeffizienten interpretiert, während die Tiefpaßwerte dezimiert werden und wieder die Zerlegung in Halbbänder erfahren. Die Anzahl der Filterstufen bestimmt die Anzahl der Detaillevel der diskreten Wavelettransformation.

Um hohe Flexibilität in der Anwendung zu gewährleisten, wurde die Wavelet-Transformation auf zwei DSP eines vierkanaligen akustischen Meßsystem der Harmonie-Familie der Fa. Sinus-Meßtechnik implementiert. Somit ist gewährleistet, daß auf allen Kanälen gleichzeitig eine Wavelettransformation mit verschiedenen Wavelets als Kernfunktion berechnet werden kann. Diese können bei Bedarf selbst erstellt werden. Die Anzahl der Detailstufen ist

gleichermaßen frei einstellbar. Für Nachuntersuchungen gewonnener Daten ermöglicht die Hardware nicht nur das Bearbeiten der angelegten Eingangssignale, sondern ebenso die Echtzeitauswertung vom PC eingespielter Aufnahme-daten. Dies kann kanalweise sogar gleichzeitig geschehen. (Beispiel: Kanäle 1, 2 als originales Signal, Kanäle 3, 4 vom PC). Dieser „re live“-Modus wird in dieser Untersuchung angewendet.

## Nachweis der Echtzeitfähigkeit

Der Nachweis der Tragfähigkeit der neuen Real Time Waveletanalyse wird anhand eines Vergleiches ihrer Ergebnisse mit denen der MATLAB Wavelet Toolbox geführt. Untersucht wurden zwei Signale.

Zuerst wurde ein simuliertes Verzahnungssignal, bestehend aus drei Sinusschwingungen und einer Sprungstelle, untersucht. Es simuliert eine Umdrehung eines Radsatzes mit 96 Zähnen bei einer Drehzahl von  $60 \text{ min}^{-1}$ . Die Abtastrate beträgt  $51,2 \text{ ksamples/s}$ . Die sinusförmigen Signalanteile spiegeln die Zahneingriffsfrequenz und ihre Harmonischen wider. Die Sprungstelle, welche durch eine einmalig auftretende Rechteckfunktion bei  $5,06 \times 10^4$  samples gebildet wird, simuliert einen Zahnfehler. Die Amplitude des Rechtecksignals beträgt 5% der Amplitude des den Zahneingriff simulierenden Sinus. Damit wird die Detektionsfähigkeit geringer Energieeinträge nachgewiesen. Die unterschiedlichen sample-Zahlen der x-Achsen sind auswertebedingt. Jede Grafik repräsentiert ein Umdrehung.

Als Mutterfunktion wird ein Daubechies-Wavelet 4. Ordnung genutzt. Die Stelle wird eindeutig von beiden Wavelettransformationen erkannt, wie in *Fig. 2 und 3* zu erkennen ist. Die Approximations-Level a6 repräsentieren das Signal deutlich. Die höheren Harmonischen werden in den unteren Leveln detektiert. Wie erwartet detektieren die höherfrequenten Level die sich aus der Rechteckfunktion ergebende Unstetigkeit. Diese Detektion erfolgt im Echtzeit-Modus wie im Postprocessing gleichermaßen.

Nachfolgend wurde ein reales Schwingungssignal einer Automobilverzahnung mit 96 Zähnen geprüft [4]. Dazu wurde ein mit einer Schlagstelle behaftetes schrägverzahntes Stirnradpaar aus der Produktion entnommen und dessen Körperschallemission mit einer Abtastrate von  $12,5 \text{ ksamples/s}$  an einer Verzahnungsprüfmaschine aufgenommen. Deutlich ist wiederum die Zahneingriffsfrequenz in den Approximations-Leveln a6 zu erkennen. Die Stufen d6 zeigen die höheren Harmonischen. In Level d2 bis d5 detektieren beide Methoden gleichermaßen eine Schlagstelle eindeutig.

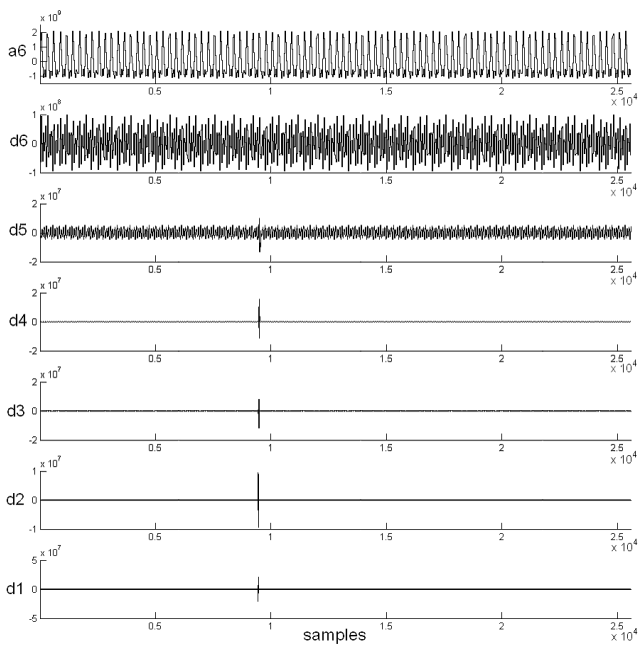


Fig. 1 diskrete RT-Waveletanalyse des simulierten Verzahnungssignals

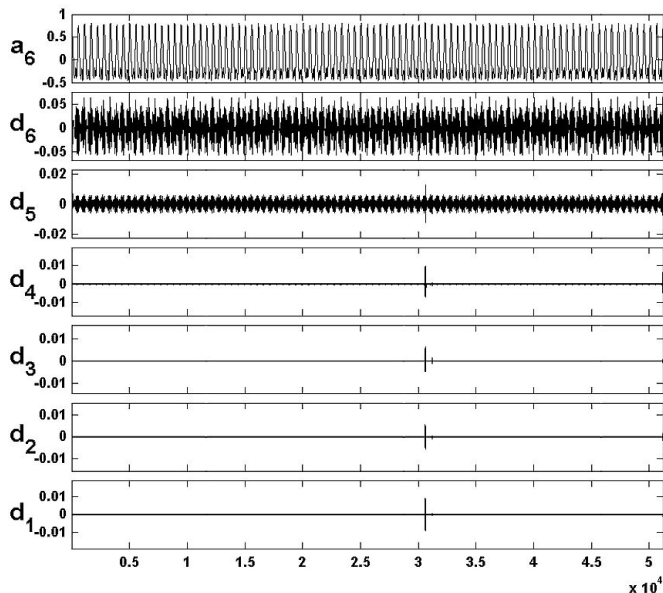


Fig. 2 diskrete MATLAB-Waveletanalyse des simulierten Verzahnungssignals

Die Identität der DSP- und der Postprocessing-Ergebnisse liefert das Kriterium für die numerische Korrektheit des Verfahrens.

## Zusammenfassung

Es wurde erfolgreich eine diskrete Waveletanalyse auf einem DSP implementiert und in Echtzeit durchgeführt. Anhand eines Vergleiches mit einer in MATLAB durchgeführten Wavelet-Analyse im Postprocessing wurde dargestellt, daß die Echtzeit-Analyse erfolgreich und ihre Anwendung im Bereich der automatisierten Getriebeprüfung möglich ist. Damit ist die Grundlage der erfolgreichen automatischen Erkennung von Verzahnungsfehlern geschaffen.

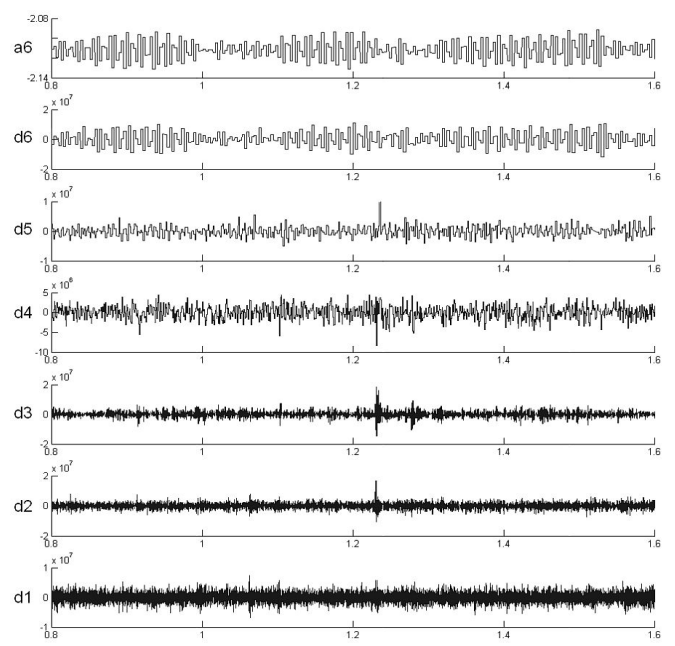


Fig. 3 diskrete RT-Waveletanalyse des realen Verzahnungssignals

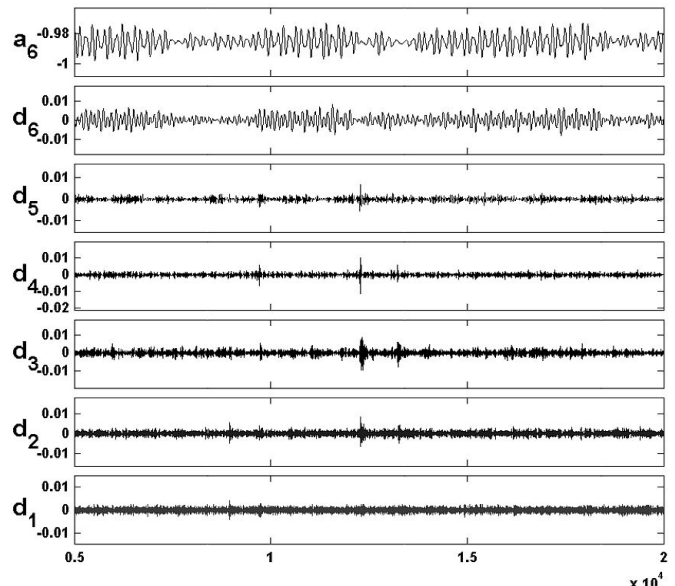


Fig. 4 diskrete MATLAB-Waveletanalyse des realen Verzahnungssignals

## Referenzen

- [1] Klein, U.; Stockmanns, G.: Ansätze zur Integration der Wavelet - Transformation in ein Getriebediagnosesystem in: Maintenance Ideas, VDI-Verlag, 2000.
- [2] Holstein, P.; Koch, M.; Hirschfeld, D.; Bader, D.; Augsburg, K.: A Strategy for Signal Recognition unter Adverse Conditions. Korea, Intnoise 2003.
- [3] Ifeachor, E. C.; Jervis, B. W.: Digital Signal Processing - A Practical Approach; Second Edition; Prentice Hall Verlag, 2002.
- [4] Bader, D.; Holstein, P.; Mackenzie, D.; Marx, H.; Holinski, O.; Augsburg, K.: Real-Time Diagnostics for non-stationary Gear Noise on Automotive Tooth Gears (submitted). Prag, Intnoise 2004.