



## FREQUENZANALYSE

Im breiten Themenfeld ‚NVH‘ (Noise, Vibration, Harshness) ist oft die Aufgabe gestellt, die Ursache von störenden Geräuschen und unangenehmen Vibrationen zu identifizieren. Dafür müssen Signale zunächst digitalisiert und dann am Computer analysiert werden.

Die Frequenzanalyse spielt bei der Analyse von Signalen eine zentrale Rolle. Sie dient dazu, aus dem Zeitverlauf eines Signals Informationen bezüglich der im Signal vorhandenen Frequenzanteile zu erlangen. Dieses White Paper gibt einen Einblick in dieses Themenfeld und erläutert den Zusammenhang bzw. das Zusammenspiel von Parametern der PAK-Software.

### Von den Zeitrohdaten zum Spektrum

Das Zeitsignal in Abbildung 1a stellt einen Ausschnitt eines Mikrofon-Kanals dar. Es ist ersichtlich, dass das Signal um die Nullpunktlage schwingt und mehrere Schwingungen überlagert sind. Um die dominanten Anteile aus dem Signal zu identifizieren, soll eine Frequenzanalyse durchgeführt werden.

Es gibt mehrere Arten der Vorgehensweise für die Frequenzanalyse. Die schnelle Fourier-Transformation (FFT-Analyse) ist dabei die am häufigsten verwendete Methode. Andere Methoden, wie die n'tel-Oktave-Analysen oder auch die Kurzzeit-Analyseformen (z. B. Wavelet-Analyse), finden bei anderen Problemstellungen ihre Anwendung. Dieses White Paper betrachtet die FFT-Analyse genauer.

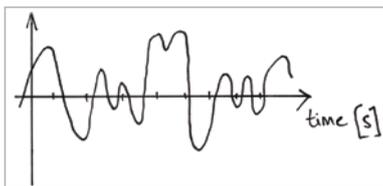


Abbildung 1a:  
Zeitsignal

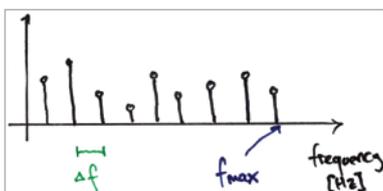


Abbildung 1b:  
Frequenzspektrum

Das Resultat der Frequenzanalyse ist in Abbildung 1b dargestellt. Der Algorithmus zerlegt das Zeitsignal in sinusförmige Anteile, welche dann ihrer Frequenz nach auf der Frequenzachse aufgezeichnet werden.

Die Amplitude eines Anteils, also einer bestimmten Frequenzstützstelle, ist aus der Höhe der Linie ersichtlich und repräsentiert die im Signal enthaltene Energie an einer Stützstelle (auch Bin genannt). Die maximale Frequenz, welche betrachtet werden kann, ist immer abhängig von der **Abtastfrequenz** des Signals. Nach dem Abtasttheorem von Shannon muss die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch sein wie die maximale Frequenz, welche von Interesse ist. In der PAK-Software existiert darüber hinaus ein Sicherheitsfaktor, welcher 2.56 beträgt. Die maximal analysierbare Frequenz errechnet sich in PAK somit durch die Formel

$$f_{\max} = f_s / 2,56$$

Konkret können so Signale, welche mit einer Abtastfrequenz von 48.000 Hz abgetastet werden, bis zu einer Frequenz von 18.750 Hz analysiert werden.

### Parameter der FFT-Analyse

Jedes Frequenzspektrum hat eine definierte Anzahl an Bins, wobei der Abstand zweier Bins zueinander als **Frequenzauflösung** bezeichnet wird. Es gilt folgender Zusammenhang: Je mehr Frequenzlinien in einem Signal vorhanden sind, desto kleiner wird der Abstand der Linien zueinander und es entstehen feinere Abstufungen der Frequenzinformationen.

Die Frequenzauflösung wird über den Parameter **Blocklänge** beeinflusst, welcher ein Maß dafür ist, wie viele Samples des Zeitsignals verwendet werden, um die Berechnung der FFT durchzuführen (Abb. 2). Eine größere Blocklänge resultiert in einer feineren Frequenzauflösung und hat zur Folge, dass ein größerer Ausschnitt des Zeitsignals zu einem Frequenzspektrum zusammengefasst wird. Dabei ist zu beachten, dass Ereignisse, welche nur kurz innerhalb des Analyseblockes auftreten, im Spektrum eventuell nicht ausgeprägt sind.

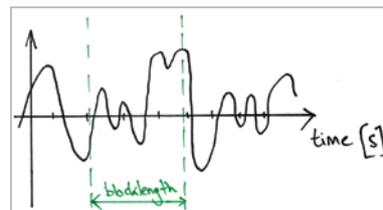


Abbildung 2:  
Blocklänge der FFT-Analyse

In der PAK-Software kann zudem eine Fensterung gewählt werden. Mittels der Fensterung wird festgelegt, mit welcher Gewichtung die Abtastwerte innerhalb eines Ausschnittes (Fenster) in die nachfolgenden Berechnungen eingehen. Als Fenster stehen in PAK das Hanning-, Flattop- und das Rechteckfenster zur Auswahl. Zur Verdeutlichung der Wirkung dieses Parameters wird der Algorithmus der FFT-Analyse detaillierter veranschaulicht.

Jeder Analyseblock einer FFT wird periodisch fortgesetzt. Bei den Übergängen zwischen den Blöcken entstehen Sprungstellen (Abb. 3a), welche sich im Frequenzspektrum als eine Anhebung aller Frequenzlinien auswirkt. Dies wird als **Leakage-Effekt** bezeichnet. Um diesen Effekt zu verhindern, kann ein Bewertungsfenster auf den Analyseblock angewendet werden, welches die Werte am Blockbeginn sowie Blockende auf 0 setzt (Abb. 3b) und damit die Sprungstellen vermeidet. Dies gilt für das Hanning- und das Flattop-Fenster. Das Rechteckfenster bietet keine Gewichtung der Werte an Blockanfang und Blockende auf 0 und verhindert daher nicht den Leakage-Effekt.

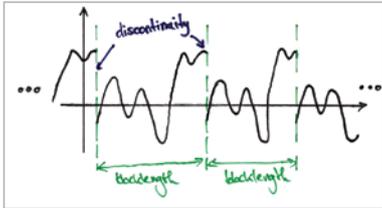


Abbildung 3a:  
Sprungstellen bei der  
FFT-Analyse

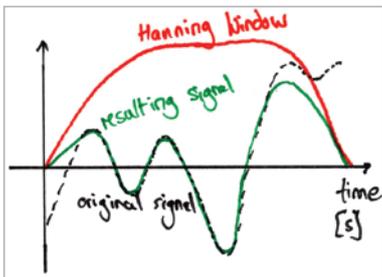


Abbildung 3b:  
Hanning-Fenster

## Frequenzanalyse bei nichtstationären Signalen

Das FFT-Spektrum eines Zeitsignals wird in PAK als 3D-Campbell-Diagramm dargestellt. Das bedeutet, dass zu bestimmten Analysezeitpunkten (Schrittweite) ein Analyseblock aus dem Signal verwendet wird, um ein 2D-Spektrum zu erzeugen, und danach alle 2D-Spektren aneinandergefügt werden.

Bei einer Hanning-Fensterung ist ein weiterer Parameter der FFT-Analyse notwendig: die **Überlappung**. Das Hanning-Fenster gewichtet Signalanteile am Blockanfang und Blockende auf 0 und hat einen Durchlassbereich von 1 in der Mitte des Analyseblocks. Durch das Hanning-Fenster werden jedoch die Übergangsbereiche massiv beeinflusst und Signalanteile herausgefiltert, was zu einem Informationsverlust führt.

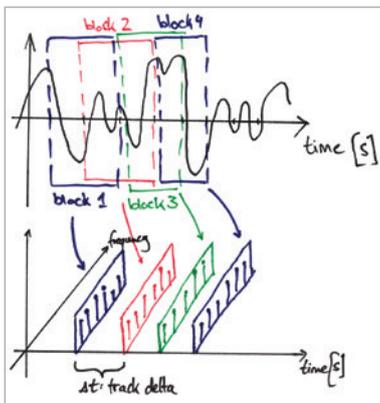


Abbildung 4:  
Überlappung der Blöcke durch  
Einstellen der Schrittweite

Daher kann mit der PAK-Software die Überlappung der Analyseblöcke mit der Schrittweite der Führungsgröße eingestellt werden (Abb. 4). Wird zum Beispiel eine Blocklänge von 1 s eingestellt, kann mit einer **Schrittweite** von 0,5 s eine Überlappung von 50% der Analyseblöcke beeinflusst werden und demnach der Effekt des Hanning-Fensters reduziert werden.

## Zusammenfassung

Die Frequenzanalyse stellt das zentrale Mittel dar, um Informationen aus Zeitverläufen von Signalen zu erhalten. Um dieses Analysetool erfolgreich anzuwenden, gilt es, folgende Punkte zu beachten:

- Abtastrate  $f_s$  muss 2,56-mal so hoch sein wie die maximal analysierbare Frequenz
- Je größer die Blocklänge, desto feiner die Frequenzauflösung
- Hanning-Fensterung verringert den Leakage-Effekt
- Überlappung mehrerer Analyseblöcke – gesteuert über die Schrittweite der Führungsgröße – reduziert die Wirkung des Hanning-Fensters auf die Signalanteile am Anfang und am Ende des Analyseblocks

Die PAK-Software bietet umfangreiche Möglichkeiten der Datenakquise und -analyse, insbesondere bei Akustik-, Schwingungs-, Struktur- oder Rotationsanalysen. PAK liefert für alle Anwendungen ein flexibles, effizientes und kompaktes Werkzeug. PAK ist erfolgreich im Einsatz bei hochstandardisierten, genormten Aufgaben, der Qualitätsprüfung und dem Troubleshooting.

Einen vertiefenden Einblick in die Signalanalyse und weitere Themen rund um die Analysewerkzeuge von Müller-BBM VibroAkustik Systeme erhalten Sie im Rahmen eines von uns angebotenen Praxistrainings. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.muellerbbm-vas.de/service/training>.

Müller-BBM VibroAkustik Systeme ist einer der führenden Anbieter für vibroakustische Messtechnik. Wir sind Know-how-Träger für die Interpretation dynamischer oder physikalischer Daten, insbesondere in den Bereichen NVH, Festigkeit und Komfort. Im Fokus unserer Systemkompetenz stehen innovative Lösungen, die sich nahtlos in gegebene Systemumfelder integrieren.

### Weiterführende Literatur

- [1] Kluge, Bruno: Fouriertransformation für Ingenieur- und Naturwissenschaften, 2013
- [2] Hufschmid, Markus: Information und Kommunikation: Grundlagen und Verfahren der Informationsübertragung, 2007
- [3] Müller, Gerhard; Möser, Michael: Taschenbuch der Technischen Akustik, 2012

## Kontaktdaten

**Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH**  
Robert-Koch-Straße 13, 82152 Planegg  
Tel. +49-89-85602-400  
Fax +49-89-85602-444  
E-Mail: [sales@MuellerBBM-vas.de](mailto:sales@MuellerBBM-vas.de)  
[www.MuellerBBM-vas.de](http://www.MuellerBBM-vas.de) | [www.MuellerBBM-vas.com](http://www.MuellerBBM-vas.com)