

Sensoren für Test Rigs – *MADE TO MEASURE*

Hans Ajiet Holtkamp, disynet GmbH, Brüggen, Deutschland, holtkamp@disynet.de

Zunehmende Bedeutung von Sensoren bei der Maschinenüberwachung

Früher hat eine erfahrene Person durch ihre Sinnesorgane Änderungen im Verhalten von Maschinen wahrgenommen, die auf Störungen hinwiesen. Änderungen in der Art des Geräusches, des Vibrationsverhaltens, der Oberflächentemperatur, der Steifigkeit von Strukturen etc. waren Hinweise darauf. Heute übernehmen **Sensoren** diese Aufgabe. Sie werden bei Lebensdauer- und Belastungsprüfmethoden verwendet, um Schwachstellen von Prüflingen zu erkennen.

1 Betriebsfestigkeitsprüfungen

Die Betriebsfestigkeit prüft, wie ein Prüfling Belastungen in einem definierten Zeitraum schadensfrei überstehen kann und spielt damit eine wesentliche Rolle bei der Bestimmung der Lebensdauer von Produkten.

Dabei wird Betriebsfestigkeit in drei Bereiche aufgeteilt (bekannt als Wöhlerkurve [1]):

- Kurzeitfestigkeit (<10.000 Zyklen Schadensfreiheit)
- Zeitfestigkeit (>10.000 bis <1 Million Zyklen Schadensfreiheit) und
- Dauerfestigkeit (>1 Million Zyklen Schadensfreiheit)

1.1 Modalanalyse

Die Modalanalyse wird hauptsächlich verwendet, um die Schwingungsmuster (Moden) zu erkennen. Die Prüflinge werden dabei entweder durch einen Impulshammer oder einen Shaker angeregt und mit Sensoren an verschiedenen Stellen gemessen, um zu schauen, wie stark der jeweilige Bereich schwingt bzw. ausgelenkt wird. Auch die Riserkennung nicht sichtbarer Risse können durch **Modalanalyse** oder Ultraschall-Messungen erkannt werden. Bei der Modalanalyse werden die Spektren des Erzeuger-Impulses (Kraftsensor im Hammer) mit dem Spektrum des Antwortsignals verglichen.

1.2 Lebensdauer-Zeittraffersimulation

Um Betriebsfestigkeitsprüfungen zu bestimmen braucht es viel Zeit (bei Fahrzeugen manchmal 1 Million km Fahrstrecke und 3 Jahre Dauerversuche). Um diese Prüfungen in realistischen Zeiträumen durchführen zu können, ist eine Verkürzung notwendig. Dies kann beispielsweise durch Änderungen an Experiment-Parametern erreicht werden:

- 1) Höhere Belastungsamplituden
- 2) Höhere Geschwindigkeiten
- 3) Nur wesentliche Ereignisse
- 4) Vereinfachung (beispielsweise durch Verwendung von Sinus- statt realen Schwingungen)

1.3 Vor Inbetriebnahme (ESS [3])

ESS (Environmental Stress Screening), beschreibt eine Belastungsprüfung und -auslese in einer **beschleunigten Lebenszeit**. Hier werden Prüflinge in einer kurzen Zeit (Tage bis Monate) Belastungen unterworfen, die normalerweise während der gesamten Lebensdauer des Prüflings vorkommen. Ziel ist es, die **Ausfallhäufigkeit** zu minimieren.

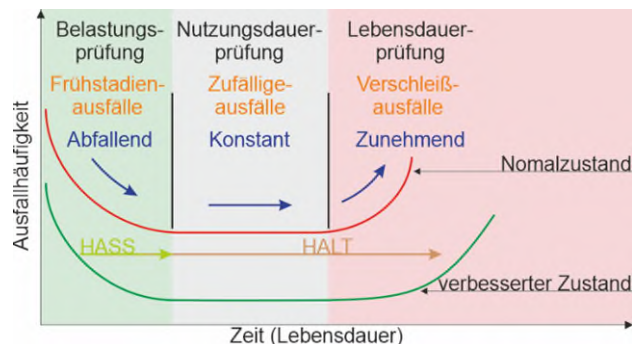


Bild 1 Beschleunigte Lebensdauerprüfung [2]

Hierbei wird versucht den in der Skizze dargestellten "Badewannenverlauf" so "tief" wie möglich zu halten. ESS wird in die zwei Bereiche **HALT** und **HASS** unterteilt, in der diese Ausfälle eintreten können. (**Bild 1**)

1.3.1 Entwicklungsphase (HALT [4])

HALT ist eine **Konstruktions**-Prüfung, die in der **Entwicklungsphase** eingesetzt wird, um **Designfehler** zu erkennen. Hier werden Prüflinge solange getestet, bis sie eine Beschädigung aufweisen (also während der Zeittraffersimulation, eher am Ende des Lebenszyklus des Produkts).

1.3.2 Produktionsphase (NDT, HASS [5])

HASS bezeichnet eine **Auslese**-Prüfung, die in der **Produktionsphase** eingesetzt wird, um **Fertigungsfehler** zu erkennen (also am Anfang des Lebenszyklus).

Hier wird die Qualität des Prüflings mit unterschiedlichen Verfahren untersucht, ohne ihn zu beschädigen. Diese Art von zerstörungsfreier Werkstoffprüfung (ZfP), bezeichnet man generell als NDT. Die verwendeten Verfahren können je nach Art des Verschleißes sehr unterschiedlich sein.

1.4 Nach Inbetriebnahme

Durch diese Maßnahmen werden schon viele Fehler erkannt und beseitigt und zwar vor der Inbetriebnahme. Werden die Maschinen nun in Betrieb genommen, ist es sehr wichtig eine ständige Kontrolle des Zustandes durchzuführen und somit frühzeitig Probleme erkennen zu können.

1.4.1 Condition Monitoring (Zustandsüberwachung)

Im Gegensatz zum ESS, die die Lebensdauer durch höhere Belastungen künstlich verkürzt, wird die Zustandsüberwachung während der Lebenszeit eines gefertigten Produkts

durchgeführt. Während des Betriebs eines Produktes können aufkommende Fehler schon früh erkannt werden, um dann entsprechende Maßnahmen vorzeitig ergreifen zu können, bevor ein größerer Schaden tatsächlich auftritt. Zurzeit erfolgt diese Erkennung meist noch durch geschultes Personal, das die Signale der Sensoren richtig interpretieren kann. In Zukunft wird diese Erkennung durch "intelligente Sensoren" in vorhandenen Bus-Systemen wie CAN-MD® kontinuierlich durchgeführt.

Es gibt also nicht nur eine Vielzahl von Methoden zur Optimierung eines Produkts, sondern eine ganze Fülle an Sensoren und Herstellern, die sich auf das jeweilige Sensorsystem bzw. eine bestimmte Prüfmethode spezialisiert haben. Was dem Anwender leider häufig fehlt, ist ein Überblick über die verschiedenen Methoden und Sensoren.

2 Sensoren sind die Grundlage

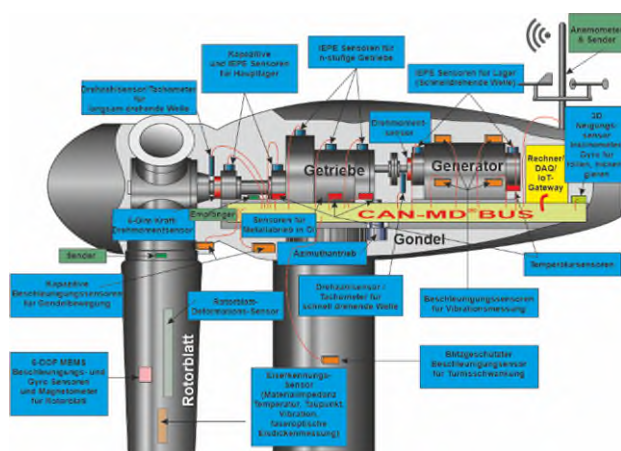


Bild 2 Sensoren für Windkraftanlagen als Beispiel

Grundlage für alle diese Prüfmaßnahmen sind geeignete Sensoren.

2.1 Unabhängigkeit vom Sensorprinzip

Sensoren mit verschiedenen zu Grunde liegenden physikalischen Messprinzipien können dieselbe Messgröße messen. Wobei, je nach Anwendung, der Sensor, der auf dem einen oder anderen Messprinzip beruht, seine jeweilige Stärke ausspielen kann.

2.2 Verschiedene Sensoren für den gleichen Prüfstand

Auch können Sensoren, die verschiedene Messgrößen messen, für den gleichen Prüfstand eingesetzt werden. Für die Erkennung von Motorverschleiß könnte man beispielsweise eine Temperaturmessung verwenden als Zeichen von Verschleiß, wobei der Verschleiß dann meistens schon weit fortgeschritten ist. Die Schwingungsanalyse, mit der man Verschleiß anhand von Veränderungen am Ton oder Geräuschpegel des Motors mit Hilfe von Beschleunigungssensoren erkennt, ist deutlich aussagekräftiger. Noch früher ist dieses möglich, wenn man den tatsächlichen Metall-Abrieb erkennt, bevor es zu einer wahrnehmbaren bzw.

messbaren Änderung im gemessenen Frequenzspektrum des Motors kommt.

2.3 Messungen an heißen und kalten Teilen

Für die Prüfung an heißen Teilen (wie beim Auspuff oder bei Turbinen) ist es zudem notwendig Sensoren einzusetzen, die hohe Temperaturen bis über 600°C aushalten, ohne selbst beschädigt zu werden.

Für Raketenantriebe, werden dagegen Messungen an sehr kalten Temperaturen mit kryogenischen Sensoren durchgeführt.

3 Ausblick

Die Zukunft aber liegt in intelligenten Sensoren und lernfähigen Erkennungs- und Wartungssystemen. Hier werden Sensoren vernetzt und senden nicht nur ihre Signale über ein BUS-System an ein Auslese- und Analysegerät, sondern analysieren die Daten selbstständig mit integrierten Mikroprozessoren.

3.1 IOT (Internet of Things)

Über das Internet können diese Maschinenzustandsdaten der Prüflinge (of Things) über ein IoT-Gateway von der "Cloud" für eine Fernsteuerung und -verwaltung abgerufen werden. Hier könnten beispielsweise dann mehrere Windparks miteinander kommunizieren.

3.2 Machine Learning

In Zukunft werden in einem beschleunigten Lebenszyklus des Objektes die zu überwachenden Parameter automatisch erlernt, in der die Zustände "Gut", "Kritisch" und "Schlecht" definiert werden.

3.3 KI (künstliche Intelligenz)

Mit diesen Informationen könnte ein KI-System dann ohne das Wissen und die Erfahrung von Menschen zu benötigen, sehr frühzeitig - *bevor* eine Maschine Probleme verursacht - Gegenmaßnahmen ergreifen. In der Entwicklungsphase könnten durch FEM-Methoden [6] strukturelle Schwachstellen rechtzeitig erkannt und Verbesserungsmaßnahmen zur Designverbesserung vorgeschlagen werden.

4 Fazit

Durch diese Maßnahmen können bereits jetzt nicht nur den Benutzern der geprüften Produkte eine Menge Ärger, sondern auch dem Hersteller der Produkte eine Menge Kosten erspart werden. Dadurch wird auch ein wertvoller Beitrag zur Nachhaltigkeit und zum Schutz unserer Umwelt geleistet. In Zukunft wird durch KI die Ausfallrate von Maschinen deutlich und sehr viel zuverlässiger minimiert.

5 Literatur

- [1] [Wählerkurve – Wikipedia.](#)
- [2,3,4,5,6] Sensorlexikon, [disynet: Sensor Kompendium \(sensoren.info\)](#)