

Zusammenfassung des Expertengesprächs (Teil 1)

Prof. Dr. Benno Kotterba, DGaQs e.V.

Akustische Mess- und Prüftechnik - Ein Spiel mit verteilten Rollen

Man könnte hier frei nach Wilhelm Busch sagen: "Es ist ein Brauch von *alters her*. Wer Sorgen hat, hat auch Likör." Vielleicht wäre manchmal ein Likör gut, um sich zu erfreuen. In der akustischen Prüftechnik könnte man es auch schon als einen Brauch von *alters her* bezeichnen, dass man zu einem Messsystem greift und damit hofft, alle Sorgen los zu sein. Nur leider ist es nicht ganz so einfach. Auf der einen Seite gibt es natürlich den, der die akustischen Sorgen hat. Und auf der anderen Seite reicht jemand die Lösung an, die in diesem Fall Mess- oder Prüfsystem heißt. So mancher wiegt sich dann in der Hoffnung, mit dem Kauf eines Systems alle Probleme los zu sein.

In unserem Fachgespräch zeigte es sich sehr schnell, dass die Sorgen nicht ganz so einfach zu lösen sind wie bei Wilhelm Busch. Es gibt mehrere Mitspieler und die Rollen und Aufgaben und Herangehensweisen sind ganz unterschiedlich verteilt.

Da gibt es den Endkunden, der oft nur eine passive und geduldige Rolle übernimmt. Zu Beginn unseres Fachgesprächs stellten wir eine Kundin vor, die in ihrem Fahrzeug gerne leise Fensterheber hätte. Sie stellt Vergleiche an. Sie kann zwar einen Wunsch äußern, die Verwirklichung, für sich speziell Aggregate herstellen zu lassen, scheitert an den technischen, logistischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten. Ihr Wunschfahrzeug mit ihren Wunschaggregaten ausstatten zu lassen, ist nicht machbar.

Am Wunsch der Kundin kann sich natürlich ein Lieferant orientieren. Dieser Wunsch führt zu einer Qualitätsforderung, die vom OEM an den Lieferanten weitergegeben wird. Bei den Lieferanten ist nun zu unterscheiden zwischen dem Hersteller von Universalaggregaten und von Aggregaten, die für spezielle Aufgaben vorgesehen sind.

Eigene oder fremde Vorgaben

Aus dem Kreis der Fachleute aus den produzierenden Unternehmen wurde die Vorgehensweise für vier Gruppen bei der Spezifizierung der Qualität von Aggregaten unterschieden.

1. Spezifikation und Design

Da gibt es zum Beispiel den Hersteller von Elektroantrieben (maxon), deren Produkte für den universellen Einsatz entwickelt werden. Die Qualitätsforderungen werden durch den Markt formuliert und vom Hersteller in eigene Spezifikationen gegossen. Sie sind so gestaltet, dass sie für möglichst viele Anwendungen passen können. Der Kunde kann die Produkte aus einem Katalog auswählen. Kundenspezifische Anpassungen finden in der Gruppe nicht statt. Die Qualitätsforderungen sind also anwendungsunabhängig. Hier steht die Standardisierung auf hohem Qualitätsniveau im Vordergrund (High end Produkte).

2. Design und Spezifikation

In der zweiten Gruppe entwickeln Hersteller ein Baukastensystem. Auch hier geht es um die Ausrichtung auf das, was der Markt braucht. Die Orientierung basiert auf Benchmarks vor allem oft im Hinblick auf die Performance der Produkte. Das Design der Produkte erfolgt nach internen Erfahrungen, nach Messungen werden die Spezifikationen festgelegt, daraus entsteht der Produktkatalog bzw. die Präsentation beim Kunden. Anpassungen an den Kunden können erfolgen.

Es gibt eine dritte Gruppe von Herstellern (Mercedes Benz), die für die eigene Produktpalette Universalaggregate (z.B. Getriebe) baut, die in möglichst viele Typen eingebaut werden können. Auch hier ist der erste Ansatz zunächst eher universal, ohne dabei schon zu berücksichtigen, was an das Aggregat noch angebaut wird. Auch hier gibt es Qualitätsvorgaben für die Universalaggregate, ohne dabei die weitere Verwendung spezifisch zu berücksichtigen.

Die vierte Gruppe bilden die Hersteller, die nach Vorgaben des Kunden Produkte entwickeln und herstellen müssen, die für spezifische Anwendungen eingesetzt werden. Hier kommt die Qualitätsforderung vom Kunden. Und diese ist meist so formuliert, dass die erstellten Produkte im eingebauten Zustand Vorgaben erfüllen müssen.

Erfahrungen in der Designphase

Bei allen vier Gruppen beginnt nach der Spezifikation die Designphase. Die Produkte werden entwickelt und innerhalb der Designphase mit Mess- und Auswertesystem hinsichtlich der Erfüllung der Spezifikationen geprüft.

Für die Designprüfung werden Messsysteme verwendet, die entsprechend des Laborcharakters universell einsetzbar sind, und eine große Palette an Mess-, Analyse- und Auswertemöglichkeiten bieten. Diese können akustische Universalssysteme sein, sind also eher Labormessgeräte, mit denen die Designvorgaben geprüft und beurteilt werden. In dieser Phase wird durchaus auch schon entsprechend der Spezifikationen entschieden, welche Parameter in der Produktionsphase gemessen und geprüft werden müssen. Aus der Designphase entstehen also die Anforderungen an das Serienprodukt.

In dieser Phase kommen also eher akustische Universal-Messsysteme oder auch Eigenentwicklungen z.B. auch auf der Basis von Labview zum Einsatz. Wesentlich dabei ist, dass sie über einen großen Vorrat an Analyse- und Auswertefunktionen verfügen, die frei parametrierbar und in weiten Bereichen anpassbar sind.

Die Erfahrungen zeigen, dass man in der Designphase noch sehr flexibel ist und auch über die entsprechende Mess- und Analysekompetenz verfügt.

Allerdings zeigen auch hier die Erfahrungen aus wissenschaftlichen Studien und anwendungsnahen Projekten, dass es nicht nur um auf die Messung an den Produkten selbst ankommt, sondern dass dabei bereits der Fokus auch auf dem gesamten Design- und Messprozess liegen muss. Auch hier gilt schon die ganzheitliche Betrachtung, wie und wo die Messergebnisse zustande kommen. Speziell die Frage nach den Randbedingungen des Messprozesses muss hier beantwortet werden.

Neben der Prozesssicht stellen gerade die kleinen Losgrößen ein Problem dar. Mit wenigen Designmustern müssen bereits mögliche Unterscheidung zwischen Spezifikationserfüllung und Abweichungen von der Spezifikation getroffen und erkannt werden.

Gerade in dieser Phase ist es wichtig, die Messprozesse detailliert zu dokumentieren und alle möglichen Einflüsse zu annotieren, um später Rückschlüsse auf nicht Produkt- und Designbedingte Daten ziehen zu können.

Als Beispiel wurden hier von Entwicklungen berichtet, bei denen die Untersuchungen und Messungen aus logistischen Gründen immer zu einer bestimmten Uhrzeit durchgeführt werden mussten. Die Demonstration der entwickelten Mess- und Analyseverfahren fanden zu einem anderen Zeitpunkt statt. Es stellte sich dann heraus, dass zu den Zeiten der Untersuchungen andere Umgebungsverhältnisse herrschten als zum Zeitpunkt der Demonstration.

Diese und weitere erwähnte Erfahrungen zeigen, dass neben den eigentlichen Mess- und Analysesystemen die Prozesse und auf sie einwirkende Parameter wichtig sind. Folgerung daraus ist zum einen die möglich vollständige Annotation aller Prozessparameter und deren Berücksichtigung in den Mess- und Analysealgorithmen. Ob sie wichtig oder nebensächlich sind, stellt sich erst mit den Auswertungen heraus.

Um die Spezifikationen (auch die des Kunden) sicher zu erfüllen, wird beim Design darauf geachtet, dass die Messergebnisse der Produkte möglichst eng sind und weit von den Qualitätsgrenzen entfernt, dass also genügend „Spielraum“ für die Streuungen in der Produktion bleibt. Die Produktion wird immer schlechter ausfallen (breiter streuen) als die Muster in der Designphase.

Fazit: In der Designphase kommt es weniger auf die eingesetzten Mess- und Analysesysteme an, sofern sie alle Möglichkeiten der Auswertung bieten, sondern vielmehr auf die ganzheitliche Sicht auf die Prozesse.

Weiterhin gilt: wenn die Designprüfung zeigt, dass die Designvorgaben erfüllt werden, darf daraus noch nicht geschlossen werden, dass das entwickelte Produkt auch für die vorgesehene Anwendung geeignet sein wird. Die Spezifikationen werden durch das Design erfüllt.

In der Designphase wird definiert, welche Merkmale und Parameter in der Produktion zum Nachweis der Konformität mit Qualitätsvorgaben gemessen und beurteilt werden müssen. In der Regel beschränkt man sich dabei auf die Messung kritischer Eigenschaften, für die man vermutet, dass sie hinsichtlich der Prozesse nicht stabil und somit für den Nachweis der Konformität problematisch sein könnten.

Designentwicklung und Designprüfung finden immer in einem Modellprozess statt, der weder den Produktionsbedingungen noch der Prüfung unter Produktionsprozessbedingungen entspricht.

Vom Design zur Produktion

Die Herstellung der Produkte - vor allem, wenn es sich um Massenprodukte bzw. größere Stückzahlen handelt, erfolgt in der Regel in weitgehend automatisierten Produktionsprozessen. Dazu zählt auch die automatisierte Messung und Auswertung vibroakustischer Signale in einem EOL-Prüfstand. Der Prüfstand besteht aus einer Mechanik und dem Mess- und Auswertesystem. Beides zusammen ist das Prüfmittel.

Während auch heute noch im Markt konfigurierbare und für Mess- und Prüfaufgaben zugeschnittene Mess- und Auswertesysteme angeboten werden, muss die Mechanik des Prüfstands in der Regel speziell für die zu prüfenden Produkte entwickelt und gebaut werden. In vielen Fällen übernimmt das in Unternehmen der Werkstattbau. Gerade in einer automatisierten Fertigungslinie sind dabei Fragen der Entkopplung (Schwingungen, elektromagnetische Einstrahlungen, usw.), der Sensoradaption, der Kontaktierung und vor allem der Handhabung und Fixierung zu lösen. Wie groß diese Einflüsse sein können, wurde an praktischen Beispielen gezeigt.

Lieferanten von Mess- und Auswertesystemen bieten zwar manchmal auch die Realisierung der Prüfstandsmechanik an, verfügen aber nur selten über das Know how. Auch das Unternehmen selbst, das den Prüfstand benötigt, ist durch derartige Aufgabenstellungen oft überfordert. Gerade die Mechanik ist

aber der kritische, ja der kritischste Teil des Prüfstandes. Eine tiefgehende Betrachtung der erforderlichen Prüfprozesse, die Auswirkungen auf die Messung sowie die genaue Festlegung aller kritischen Einflüsse unterbleibt häufig aus Kostengründen.

Allein die Tatsache, dass der Mess- und Auswerteprozess im EOL-Prüfstand anders durchgeführt wird als im Design-Prüfstand bedingt schon, dass Messdaten nicht miteinander vergleichbar sind. Es wird zwar häufig auf eine „Korrelation“ mit Messdaten aus dem Designprozess verwiesen, nur ist oft nicht klar, was mit Korrelation gemeint ist und wie sie bestimmt wird. Die Messdaten aus beiden Messprozessen sind grundsätzlich nicht vergleichbar, weil die Messprozesse unterschiedlich sind. Formgerechte Lagerung des Prüflings, Adaption des Sensors, u.U. Einflüsse der Pneumatik bei der Anpressung der Sensorik, Eigenresonanzen der Halterung und Lagerung und der gesamten Mechanik spielen eine Rolle. Auch hier gilt wieder die Forderung nach der ganzheitlichen Betrachtung des Mess- und Auswerteprozesses.

Die Fachleute aus den produzierenden Unternehmen bestätigen, welcher Aufwand erforderlich ist, um die EOL-Prüfstände so zu gestalten, dass die Anforderungen an das Produkt in vorgegebenen Prüfzeiten messtechnisch ausgewertet werden können.

Bei Parallelprüfstände nie identische Parameter - unterschiedliche Messergebnisse - !!! Prüfstandsauflage sehr sensible. Mechanische Unterschiede - Die Entscheidungen müssen gleichartig sein und dann übereinstimmend.

Sowohl von wissenschaftlicher Seite (FhG) von Seiten der beratenden Fachleute sowie auch von Seiten der Unternehmensvertreter besteht die einhellige Meinung, dass ein EOL-Prüfstand nur zwischen iO-Teilen und Anomalien unterscheiden kann. Eine Fehleridentifikation und Ursachenerkennung kann der EOL-Prüfstand bei einem neuen Produkt nicht leisten, er kann es erst wenn man das Expertenwissen aufgebaut ist. Werden Anomalien festgestellt, so müssen die Fehler diagnostiziert und hinsichtlich der maßgeblichen Merkmale auf dem Designprüfstand untersucht werden. Wie sich Anomalien und iO-Teile unterscheiden, muss dann durch eine Anpassung der Mess- und Auswertekriterien im EOL-Prüfstand erfolgen.

Fazit: Entscheidend für eine produktionsintegrierte EOL-Prüfung ist zunächst die Prüfstandsmechanik, die es nicht von der Stange zu kaufen gibt. Sie muss an die Geometrie der Prüflinge angepasst werden und entkoppelt in die Produktionslinie integriert werden.

Auswahl des Mess- und Auswertesystems

Mess- und Auswertesysteme werden heute als Universal-Mess- und Auswertesysteme von Systemherstellern angeboten. Entscheidend für die Auswahl eines geeigneten Systems ist, die richtigen Fragen zu stellen und sich nicht mit vorgefertigten Antworten abspeisen zu lassen. Aussagen wie: unser System kann Fehler erkennen, beeindruckt zwar, aber wenn man hinterfragt, wie das passiert, werden typische Beispiele angeführt und auch gezeigt, die aber mit dem beabsichtigten Anwendungsprozess nichts zu tun haben.

Grundsätzlich können solche Systeme natürlich Fehler erkennen, wenn sie entsprechend trainiert worden sind. Allerdings treten typische Fehler in der Serienproduktion nicht häufig auf, und wenn sie auftreten, sind es zunächst Anomalien. Wenn man die Anomalien herausnimmt und analysiert, muss es erklärtes Ziel sein, die Ursachen für die Anomalien abzustellen. Werden sie abgestellt, nach einer Verifikation auf dem Designprüfstand treten sie in der Produktion nicht mehr als gleicher Fehler, sondern höchstens mit einer gewissen Ähnlichkeit auf.

Für die Auswahl und die erste Einstellung eines Mess- und Auswertesystems wird häufig auf sogenannte Testmuster gesetzt. Darunter wird eine Auswahl von iO-Teilen und definierten niO-Teilen verstanden. Mit diesen Teilen wird dann gezeigt, dass das mess- und Auswertesystem die Teile korrekt unterscheiden kann. Diese Art der Erkennung wird auch Reklassifikation genannt: die Trainingsmuster werden in der Testphase wiedererkannt.

Gerade in der Phase der Beschaffung eines Mess- und Auswertesystems besteht die Problematik der kleinen Musterklassen. Es mag zwar z.B. aus der Vorserie oder sogar aus der Designphase Musterteile geben, davon vielleicht eine größere Anzahl von iO-Teilen und nur wenige niO-Teilen. Mit diesen Teilen lässt sich vielleicht eine erste Erkennung von Anomalien erreichen, aber eine Unterscheidung in unterschiedliche Fehlerklassen, also die Fehlererkennung, gelingt nur mit der Reklassifikation.

Um dem Problem der kleinen Klassen zu begegnen, werden Fehler simuliert bzw. künstlich hergestellt. Diese kommen real auftretenden Fehler nur selten nah. Ein Trainieren des Mess- und Auswertesystems mit simulierten Fehlern führt nur in ausgewählten Fällen zu guten Klassifikationserfolgen bei Fremdklassifikation (also nicht vorher trainierten Musterteilen).

Für das Problem der kleinen Stichproben von Mustern gibt es derzeit noch keine veröffentlichten wissenschaftlichen Erkenntnisse. Es wird aber daran gearbeitet.

Fazit: Mess- und Auswertesysteme sind dann einsetzbar, wenn sie über die erforderlichen Analysealgorithmen verfügen. Die messbaren und parametrierbaren Merkmale müssen an die Eigenschaften der iO- und Anomalieteile anpassbar sein, unter Berücksichtigung der Prozessrandbedingungen.

Die Lieferanten der Mess- und Auswertesysteme müssen über die Kompetenz verfügen, den Anwender bei seinem Problem zu helfen. Das bedeutet, der Systemlieferant muss die Messprozesse verstehen, aus den Eigenschaften der Produkte und deren akustischen Signalen die richtigen Merkmale auszuwählen, einzustellen und prozessorientiert zu parametrieren. Prozessparameter müssen in die Entscheidungsfindung einbezogen werden. Ohne Produkt- und Prozessverstehen ist eine zielführende Integration eines Mess- und Auswertesystems nicht machbar. Der Systemlieferant muss ebenfalls in der Lage sein, neue angepasste Algorithmen zu entwickeln und in das System zu integrieren.

Das System muss sich auf Anomalieerkennung inklusive der zugehörigen Streuungen beschränken.

Der gesamte EOL-Prüfstand muss für den Prüfprozess geeignet sein. Das erfordert die Bestimmung der Messunsicherheit des Prüfprozesses für jedes Prüfmerkmal.