

## Wie spezifizieren wir die akustische Qualität von Produkten?

Prof. Dr. Benno Kotterba  
md-pro GmbH, Karlsruhe

### 1 Einleitung

In welcher Spezifikation finden wir Angaben über das Geräuschverhalten oder die Schwingungseigenschaften eines Produktes oder vielleicht sogar Toleranzen für Merkmale. Die häufigste Aussage ist: „Das Produkt muss im eingebauten Zustand leise sein!“ Diese Aussage zielt immer auf die Verwendung der Teilprodukte ab. Diese Forderung müssen häufig die Zulieferer erfüllen, die für einen größeren Hersteller Teilprodukte oder Komponenten fertigen und liefern.

Solange die Teilprodukte i.O. sind, ist alles gut, aber wenn die Produkte die subjektive „Qualitäts“-Grenze überschreiten, dann entstehen die Probleme.

Auf welcher Grundlage wird denn die Entscheidung „i.O.“ oder „n.i.O.“ getroffen? Sind Sie denn sicher, dass Ihre Entscheidung richtig ist? Worauf stützen Sie die Aussage ab?

### 2 Definition

Das **akustische Qualitätsurteil** ist das Urteil, dass durch ein akustisches Verfahren ermittelt wurde.

- Ein Urteil kommt immer aus einer Erfassung, Messung, Vergleich und Bewertung zustande. Das Qualitätsurteil macht eine Aussage über die Konformität der Messwerte mit den Qualitätsforderungen.
- Akustische Mess- und Beurteilungsverfahren sind solche, die ein akustisches Signal, das selbsterregt abgestrahlt oder durch aktive Anregung als Systemantwort hervorgerufen wird.

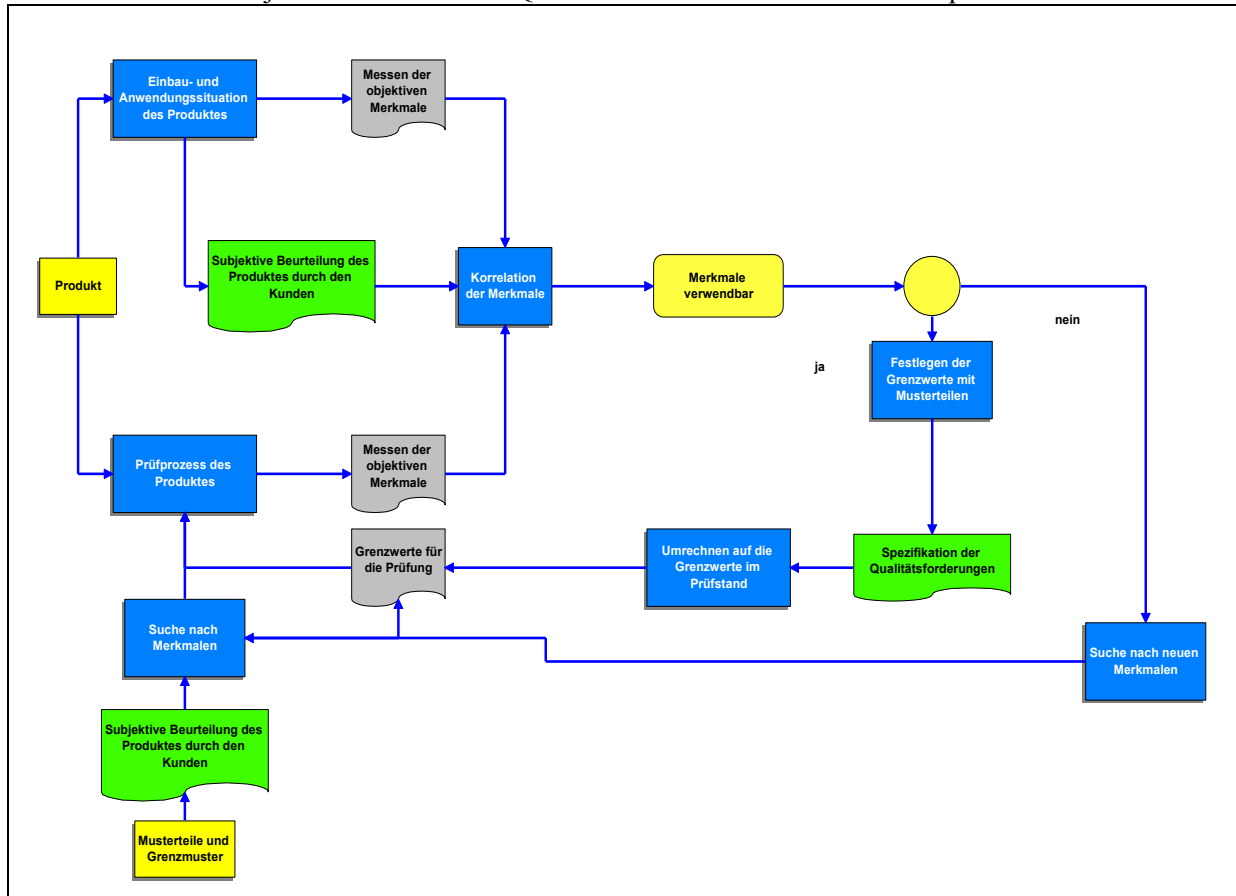
Als objektive Beurteilungskriterien werden instrumentell messbare Größen verstanden. Durch Messung der Messgröße erhält man einen Messwert der Messgröße. Dieser Messwert wird herangezogen, um ein Produktmerkmal zu beurteilen.

Die gemessene Größe muss mit der Beurteilungsgröße (der Qualitätsforderung) korreliert sein. Als Korrelation bezeichnen wir die lineare Abhängigkeit zweier Größen.

### 3 Modell zur Festlegung der Spezifikation

Jedes akustische Qualitätsurteil hat zwei Bezugspunkte

- zur subjektiv empfundenen Qualität des Geräusches oder der Schwingung
- zur objektiv bestimmbaren Qualität des Produktes oder der Komponente.



Es gibt also zwei Punkte, an denen sich akustische Qualität festmacht.

#### 3.1 Ebene 1: Subjektive Beurteilung des Prüflings in der endgültigen Einbausituation

Der wesentliche Bezugspunkt für die akustische Qualität ist das Urteil des Benutzers (auch Kunde genannt), der sich während der Verwendung des Produktes oder der Komponente ein Qualitätsurteil bildet und ev. einen Qualitätsmangel bildet.

Die Aussage des Kunden kann sein

- die subjektive Empfindung des Geräusches oder der Schwingung (lästig, laut, rau, hart, weich, hell, scharf, unangenehm usw.)
- die Angabe über Schallursache (krachen, knirschen, klopfen, hämmern, singen, brummen usw.)
- eine Angabe über den vermuteten Fehler (Getriebesingen, Verzahnungsfehler, Unrundheit, Lagerschaden, Exzentrizität usw.)

- eine Beschreibung der Funktionsstörung (Drehzahl zu gering, Erhitzung des Lagers, Aussetzung der Lüftung usw.)

Um die subjektive Angabe über die Qualität in eine messbare Größe überführen zu können, sind objektive Beurteilungskriterien bzw. ein Instrument zur wiederholbaren Schätzung der Wahrnehmung und zum Vergleich mit zugehörigen Vergleichswerten notwendig.

Notwendig ist also

- ein Instrument zur Beschreibung der subjektiven Beurteilung

Den subjektiven Beurteilungsgrößen müssen dann objektive Beurteilungskriterien zugeordnet werden. Es kann sein, dass mit einer subjektive Beurteilungsgröße eine oder auch die funktionale Verknüpfung mehrerer objektiver Beurteilungskriterien korreliert.

Hinweise für objektive Beurteilungskriterien liefern die VDA 2.6.3, die BMW Vorschrift zur Prüfung von Produkten sowie die VDI-Richtlinie.

Sowohl die subjektive Beurteilung wie auch die objektive Messung ist mit Messunsicherheiten behaftet. Sie stammen aus dem eigentlichen Messprozess und aus allen Einflüssen, die sich auf die Schätz- und Messwerte auswirken.

### **3.2 Ebene 2: Beurteilung des Prüflings im Prüfstand**

Die Prüflinge werden vor der Auslieferung an den Kunden und vor Einbau in das Endprodukt auf ihre Qualität geprüft. Das kann stichprobenartig oder zu 100 % erfolgen. Für die Prüfung wird in der Regel ein Prüfstand oder zumindest eine Prüfvorrichtung eingesetzt, die den Prüfling aufnimmt und alle Messinstrumente (Sensoren) für die Erfassung der relevanten Größen an den Prüfling adaptiert.

Im Prüfstand werden Merkmale gemessen, die eine Aussage über die Konformität des Produktes mit den Qualitätsforderungen erlauben. Bei akustischen Prüfverfahren werden akustische Sensoren eingesetzt und die Auswertung erfolgt mit Methoden der Signalanalyse und Klassifikation. Aus den akustischen Signalen werden Merkmale ermittelt und in ihrer Größe bestimmt. Die Merkmalwerte sollen mit den subjektiven Beurteilungsgrößen und den objektiven Beurteilungskriterien korrelieren.

In dieser Ebene wird ein Augenmerk auf die Bestimmung der Korrelation gelegt. Die Bearbeitung dieser Thematik ist derzeit noch etwas zurückgestellt.

### **3.3 Ebene 3: Entwicklung eines Prüfstandes**

Der in Modellebene 2 bereits erwähnte Prüfstand muss entwickelt werden. Dazu zählen neben der Mechanik insbesondere alle Komponenten zur Messung und Prüfung der Prüflinge. Unter definierten Randbedingungen berechnen signalanalytische Funktionen die Werte bzw. Ausprägung von Merkmalen. Diese werden mit Grenzwerte verglichen, die sich aus den Qualitätsforderungen ergeben.

Die Prüfung der Produkte in einem Prüfstand erfordert die Ableitung von Prüfmerkmalen aus den subjektiven Urteilen und von Grenzwerten aus der Beurteilung und Messung von Musterteilen und Grenzmustern.

m:d:  
pro

## Der Kunde definiert

- Spezifikation (Sollwert des Produktes)
- Maximal zulässige Abweichung von der Spezifikation (Toleranz)
  - Bereitstellen von Musterteilen
    - für die Einstellung (Grenzmuster)
    - Für den Nachweis (Stichprobe)
- Messverfahren, Messbedingungen, Merkmal, Sollwert, Toleranz

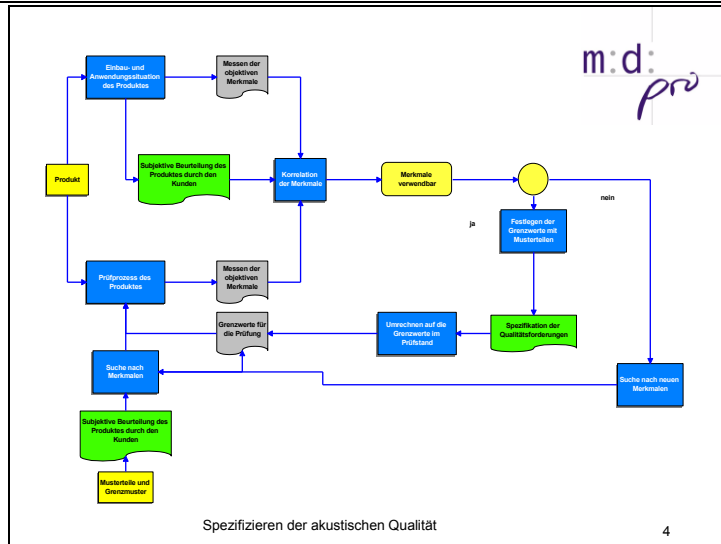
Spezifizieren der akustischen Qualität 2

m:d:  
pro

## Korrelation

- Jedes akustische Qualitätsurteil hat zwei Bezugspunkte
  - subjektiv empfundene Qualität des Geräusches oder der Schwingung
  - objektiv ermittelbare Qualität des Produktes oder der Komponente

Spezifizieren der akustischen Qualität 3



## Vorgehen

1. Einbausituation
  - Anhören, beurteilen und dokumentieren
  - Messen, speichern und auswerten
2. Laborsituation
  - Messen und Merkmale definieren
  - Korrelation subjektiv / objektiv
3. Prüfprozesssituation
  - Spezifizieren, Einrichten, Nachweisen

## Subjektives Urteil

m:d:  
pro

- Subjektive Beurteilung des Prüflings in der endgültigen Einbausituation
  - Anhören
  - Qualität beschreiben (Merkmale)
  - Grenzmuster definieren (Grenzwert)
  - Forderungen festlegen
    - Erkennbarer minimaler Unterschied
    - Wiederholbarkeit der subjektiven Urteile

Spezifizieren der akustischen Qualität

6

## Objektiv ermittelbare Qualität

m:d:  
pro

- Signalaufzeichnung in der Einbausituation
- Analyse der Signale
- Merkmale festlegen (Messverfahren)
- Forderungen ableiten:
  - Korrelierte Grenzwerte
  - Zu erkennender minimaler Unterschied
  - Zulässige größte Messunsicherheit

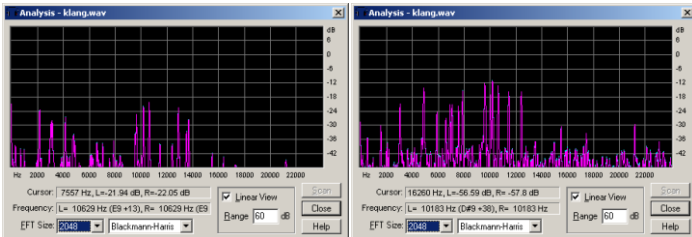
Spezifizieren der akustischen Qualität

7

m:d:  
pro

## Produktspezifikation

- Kunden spezifiziert die Produktqualität (Lastenheft Produkt)



Spezifizieren der akustischen Qualität

8

m:d:  
pro

## Prüfprozesssituation

- Spezifizieren des Prüfprozesses (Lastenheft des Kunden)
- Entwickeln(Pflichtenheft des Lieferanten) und Einrichten
- Nachweisen der Eignung
  - Messunsicherheit
  - Prüfprozesseignung

Spezifizieren der akustischen Qualität

9