

## **Berichte aus der DGAQS: Leitfadens zur Vereinbarung von Anforderungen an die Geräusch- und Schwingungsqualität von Produkten**

### **Vorstellung des aktuellen Standes der Diskussion**

**Dr. Benno Kotterba, DGAQS e.V.**

## **1 Einleitung**

Während des DGAQS-Forums 2006 haben wir über die Arbeiten des Arbeitskreises „Wertadäquates Geräusch“ über den Stand der Diskussionen berichtet und den systematischen Weg vom beanstandeten Teil, über die Anforderungen, die signaltechnische Analyse bis hin zum Merkmal beschrieben. Im Vordergrund standen Produkte, die aktiv Schwingungen und Geräusche erzeugen und sich durch Konstruktion, Qualitätsabweichungen, fehlerhafte Teile oder durch Fertigungsabweichungen unterscheiden.

Interessant waren dabei vor allem die Zusammenhänge zwischen konstruktiven, mechanischen und funktionalen Eigenschaften sowie den hörbaren und messbaren Geräusch- und Schwingungsmustern. Damals wurden folgende Schritte dargestellt und diskutiert:

1. Problembeschreibung
2. Spezifikation der Forderungen an das Teil
3. Messtechnische Spezifikation: Lagerung, Sensorik, Aufnahmetechnik
4. Messtechnische Analyse der Geräusch- und Schwingungssignale
5. Ermittlung der Unterschiede zwischen den Musterteilen
6. Definition der Merkmale
7. Verifikation der Merkmalunterschiede
8. Bewertung der Ergebnisse und Grenzen

In den letzten Monaten haben wir uns vor allem dem zweiten Punkt in dieser Liste gewidmet. Hintergrund dazu sind die zunehmend häufiger werdenden Anfragen und Erfahrungen mit Fragestellungen aus der Industrie. Im Rahmen von Reklamationen und Beanstandungen wird immer wieder um einen sehr heiklen Punkt gestritten: welche sind die richtigen Anforderungen an ein Produkt, das im Betrieb Schwingungen erzeugt und Geräusche abstrahlt.

Als Verantwortlicher für Geräusch und Akustik oder allgemein für die Qualität der Produkte steckt man in einem Dilemma: aktive Produkte wie z.B. Elektroantriebe, Getriebe, Lüfter, Pumpen, Wälzlager erregen während ihrer Benutzung Schwingungen. Der daraus resultierende Körperschall versetzt die umgebende Luft in Schwingungen, die als Luftschall hörbar werden. Man kann zunächst einmal sagen: Körperschall wird fühlbar und Luftschall hörbar. Wirksame Maßnahmen sind die Dämpfung und Dämmung von Körper- und Luftschall.

Wenn es so einfach wäre, würde das Problem ja nicht bestehen und schon gar nicht in Produkten auftreten, die entsprechend der Forderung leise oder sogar unhörbar arbeiten sollen.

## 2 Funktion und seine Wirkung

Die Wahrnehmung eines Geräusches hängt von der Funktion und vom Zweck des Geräusch erzeugenden Produktes ab. Die Beurteilung des Geräusches wird durch die Erwartung des Hörenden sowie der Funktion des Produktes geprägt. Für manche Funktionen wird das Geräusch als Rückmeldung erwartet. Dies gilt insbesondere für aktiv vom Benutzer veranlasste Funktionen wie z.B. das Öffnen eines Fensters, das Verstellen eines Spiegels oder das Betätigen der Positionsverstellung eines Sitzes. Für andere Funktionen ist das Geräusch eher störend. Dazu zählen Lüfter der Klimaanlage oder Kompressoren und Pumpen, wie sie z.B. in Kühlschränken oder Heizungen eingebaut sind. Auch Nebengeräusche z.B. von Lagern in Lüftern sind nicht nur störend, sondern wirken alarmierend, weil damit unmittelbar der Eindruck einer sich anbahnenden Störung hervorgerufen wird.

### 2.1 Spezifikation des Funktion

Die Spezifikation der Geräuscheigenschaften und der Geräuschqualität setzt die Festlegung und Bewertung der Funktion voraus. So muss definiert werden

- Beschreibung des Produktes und seiner Funktion
  - Beschreibung des Produktes in seinem konstruktiven Aufbau sowie der mechanischen, elektrischen usw. Eigenschaften
  - Angaben zur geplanten Funktion (System und Komponente – z.B. im Fahrzeug, Kundenwunsch!)
  
- Forderungen an die Funktion
  - Festlegen der Messgrößen für die ordnungsgemäße Funktionsweise (z.B. Öffnungs- und Schließgeschwindigkeiten oder die zugehörigen Zeiten einer drehbaren Monitoreinheit für das Navigationssystem),
  - Festlegen der Minimal- und Maximalanforderungen also der Qualitätsvorgaben für diese Messgrößen,
  - Grundsätzlich festlegen, ob es sich bei dem zugehörigen Schall- oder Schwingungssignalen um gewünschte, erforderliche oder zu vermeidende Schalle und Schwingungen handelt. Entscheidend dabei ist meistens, ob der Bediener mit einer Funktion rechnet oder die Funktion ohne aktives Einwirken oder Betätigen durch einen Benutzer ausgelöst wird.
  
- Beschreibung des Zusammenwirkens mit anderen Produkten oder Komponenten
  - Beschreibung der Montage- oder Einbausituation
  - Beschreibung des Zusammenwirkens mit anderen Komponenten
  - Beschreibung der gegenseitigen Abhängigkeit der kombinierten Komponenten
  
- Angaben zur Montage oder zu Art und Weise des Einbaus

### 2.2 Forderungen und Spezifikation

Das gemeinsame Ziel aller am Prozess Beteiligten muss sein, die Geräusche und Schwingungen funktionsgerecht zu gestalten. Dies erfordert also die Definition eines Zielklanges bzw. eines Zielgeräusches. Es gilt also, die Anforderungen bezüglich der drei Aspekte Funktion, Wirkung und Wahrnehmung zu beschreiben.

Zur Spezifikation der Schwingung oder des Geräusches sind folgende Schritte zu gehen sowie die Forderungen und Spezifikationen zu definieren

- Spezifikation des Gesamtsystems

- ❑ Festlegungen der Funktionen des Produktes: z.B. Verstellzeit, Drehzahl, Drehmoment, Bauraum
- ❑ Sinnvolle Spezifikation der Komponente abgeleitet aus Gesamtsystem

### 2.3 Aufbau des System bestehend aus Komponenten

Entsprechend der Konstruktionspyramide wird das Produkt mit seinen Komponenten abgeleitet aus der gewünschten Wirkung über die Realisierungsformen bis hinunter auf die Bauteile.

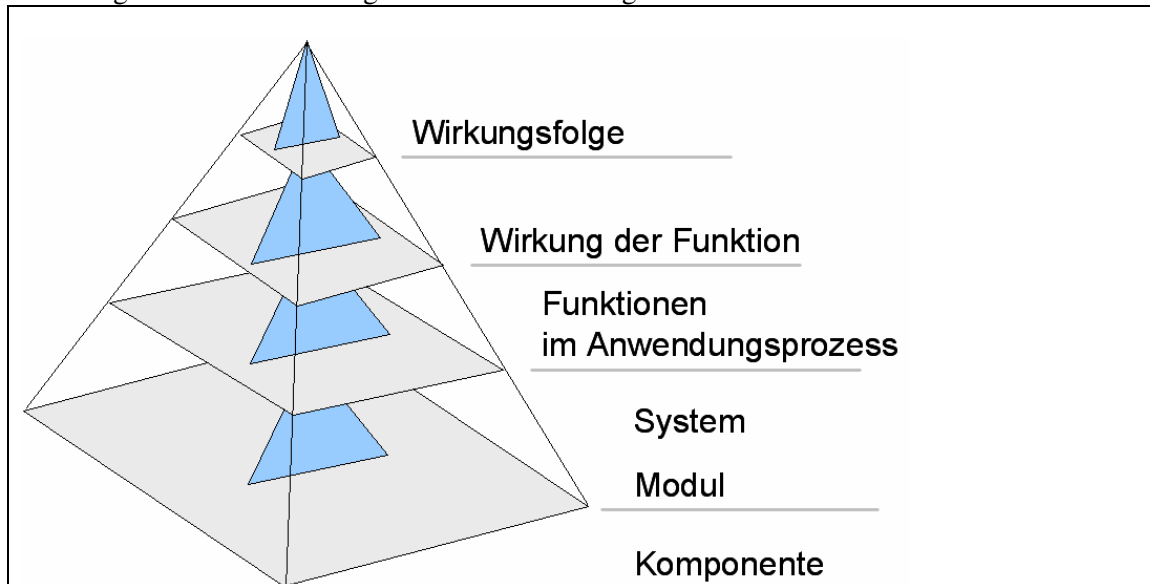


Abbildung 1: Konstruktionskette

In Abbildung 1 ist neben der Wirkung (z.B. Senken eines Fensters) auf die damit verbundene Wirkungsfolge genannt. Wirkungsfolge des Öffnens kann z.B. das Antriebsgeräusch oder die hervorgerufene Schwingung an der Tür sein. Wesentlich bei dieser Betrachtung ist immer, dass neben der gewünschten oder geforderten Wirkung auch unmittelbar die Wirkungsfolge bedacht und spezifiziert wird. Neben der Wirkung selbst (z.B. Zeitdauer vom geschlossenen Zustand bis zum vollständig geöffneten Zustand des Fensters) muss auch die Wirkungsfolge spezifiziert werden, um sie in einem Konformitätstest messen und bewerten zu können.

An diesem Beispiel ist gezeigt, dass das Geräusch die Wirkungsfolge einer Wirkung (hier im Beispiel des Absenken des Fensters) ist.

### 2.4 Forderungen an das Geräusch

Es gilt zu beschreiben, welche Anteile das Geräusch enthalten und nicht enthalten darf. Dabei kommt es ausschließlich auf die Hör-Wahrnehmung, also das psychoakustische Geräuschmuster, an.

Die Geräuschspezifikation erfolgt abhängig von Funktion, Wirkung und Wirkungsfolge. Definiert und spezifiziert werden müssen prüfbare akustische Geräuscheigenschaften (Zielvorgabe aus Kundensicht / geforderte Funktion und daraus abgeleitete Signalkennwerte). Eine Angabe „Geräusch muss unauffällig sein“ ist keine Spezifikation im Sinne einer messbaren Qualitätsvorgabe. Diese Forderung ist weder nachprüfbar noch Grundlage für einen Konformitätsnachweis im Sinne einer Qualitätsforderung.

Das Zielgeräusch oder die Zielschwingung muss messbar und damit nachprüfbar mit Angabe des Nennwertes, der zulässigen Toleranz, des Vertrauensniveau und der geforderten Messunsicherheit definiert werden.

Die Angabe „Geräusch muss unauffällig sein“ ist in dieser Betrachtungsweise als Wirkungsfolge zwar benennbar, taugt aber als Spezifikation alleine nicht. Sie definiert lediglich als eine verbale oder semantische Beschreibung das Zielgeräusch. Dieses gilt es nun in messbare Größen umzusetzen, damit die Messbarkeit erreicht wird. Hierbei bedient man sich der signaltechnischen Merkmale wie z.B. Amplitude, Leistung, Pegel, Frequenz, Periode, Modulationsgrad, Crestfaktor, spektrale Leistungsdichte, usw. oder der psychoakustischen Merkmale (Lautheit, Schärfe, Rauigkeit, Tonalität, Wohlklang usw.). Die verbale oder semantische Beschreibung muss heruntergebrochen und in den nächst tieferen Stufen der Konstruktionspyramide in Form von Messgrößen, messbaren Nennwerten und Toleranzen festgelegt werden. Ergebnis ist das Merkmalmuster des Zielgeräusches.

Für das System liegt dann das Zielgeräusch in Form von Messverfahren, Messgrößen, Nenn- und Toleranzwerten sowie den Prüf- und Randbedingungen dokumentiert und für die Prüfung freigegeben vor. Das Prüfverfahren für den Nachweis der Konformität muss geeignet sein. Dies bedingt von Seiten des Herstellers die Festlegung der Zielmessunsicherheit gemäß DIN EN ISO 14253 bzw. gemäß VDA5 oder DGQ 13-61.

### 3 Verantwortung der Partner

Kunden und Lieferanten sind gemeinsam für die Entwicklung der Prüfkriterien, Prüfbedingungen, Betriebszustände und Prüfgrenzen verantwortlich. Dies kann z.B. nicht mit der Vorgabe „Geräusch muss unauffällig sein“ delegiert werden.

Es existieren heute keine Patentrezepte für die detaillierte Spezifikation von Geräuschen. Man kann sich dem nur nähern, indem alle Beteiligten vor allem auf das Ohr des Benutzers achten und mit Phantasie und Partnerschaft die beste Lösung suchen und dokumentieren.

Bei der Lösung dieser Aufgabe sitzen alle gemeinsam im Boot und tragen ihren Anteil bei. So haben Designer, Entwickler, Hersteller und Vertrieb die gemeinsame Aufgabe zu lösen, um die Schwingungen, Resonanzen, Dämmung und Dämpfung so zu beschreiben, dass eingebautes Produkt z.B. ein Antrieb mit seinen technischen Eigenschaften sich richtig „einfügt“. so muss dann der Antriebshersteller die Schwingungs- und Resonanzeigenschaften der Fahrzeugtüre sowie die dynamischen Laständerung durch den Verfahrweg der Scheibe kennen, um sich z.B. mit Masse, Drehzahl, Unwucht, Ankopplung und der Getriebeübersetzung einzupassen.

### 4 Vergangenes

In der Vergangenheit wurde

- häufig kein Zielgeräusch definiert, sondern lediglich eine statische Grobangabe gemacht „Geräusch muss unauffällig sein“;
- sich am Endprodukt (z.B. Antrieb im eingebauten Zustand ...) orientiert
- unscharfe und nicht messbare Anforderung ausgesprochen (z.B. im Fahrzeug nicht störend – nicht auffällig).

Der „Leitfaden zur Vereinbarung von Anforderungen an die Geräusch- und Schwingungsqualität von Produkten“ soll den Beteiligten die Bedeutung einer gemeinsamen Festlegung der akustischen Eigenschaften von Produkten, Systemen und Baugruppen nahe bringen und eine Sensi-

bilisierung für die Verbindungs- oder Schnittstellen zwischen den Systemen, Modulen und Komponenten erreichen.

Die akustische Qualität hängt nicht von einem Teilprodukt oder einer Komponente ab. So wie bei einer Geige die Saite auf einen Klangkörper aufgebracht wird, beide zusammen schwingen und gemeinsam den Klang bestimmen, so sind auch in technischen Systemen alle beteiligten Komponenten und Materialien für die akustische Qualität mitbestimmend.

## **5 Vorgehensweise zur Festlegung der Anforderungen**

Wesentlich ist zunächst, dass für jede der in Abbildung 1 genannten Konstruktionsstufen diese Festlegung getroffen werden muss. Eine pauschale Festlegung über alles führt weder zum Erfolg noch ist sie von den einzelnen Beteiligten immer in gleicher Art zu erfüllen. Hier muss ebenenabhängig spezifiziert werden.

Benötigt werden

1. Stichprobe von Musterteilen mit io und nio Bewertung.
2. bei den Musterteilen darf es sich auch um präparierte oder künstliche Teile handeln.
3. Subjektive Beurteilungen der Teile aus der realen Situation
4. Informationen über
  - Struktureigenschaften (Resonanzen)
  - Funktions- und Ablaufeigenschaften (Dynamik und konstruktiver Aufbau)
  - Wirkungserwartungen => Signalanalysen
  - Merkmale
5. Aufzeichnung der Signale (Luftschall / Körperschall)
6. Analyse der Signale und definieren von Merkmalen
7. Bestimmen der Streubreite der Musterteile
8. Beschreibung des Messverfahrens.

## **6 Abschluss**

Im weiteren Verlauf der Arbeit des Arbeitskreises sollen akustische Standardverfahren, deren Aufbau und Methoden entwickelt und erprobt werden. Beispiele aus der Praxis sollen die fertigungsgerechte Umsetzung darlegen und die Vorteile und Grenzen aufzeigen.