

## **Strategie der akustischen Qualitätssicherung**

**Prof. Dr. Benno Kotterba**

**Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft  
für Akustische Qualitätssicherung e.V. (DGAQS)**

### **1 Einleitung**

Seit der Gründung der Deutschen Gesellschaft für Akustischen Qualitätssicherung e.V. (DGAQS) vor etwas mehr als einem Jahr wurde mir immer wieder die Frage gestellt: Was ist akustische Qualitätssicherung?" Und bei der Antwort fiel mir auf, dass wir diese Bezeichnung so selbstverständlich benutzen, aber wenn wir es erklären sollen, viele Themenfelder aufzählen müssen. Der Laie hat von „Akustischer Qualitätssicherung“ noch nichts gehört.

Das Erste, was ich dann immer erwähne, ist „Geräuschprüfung“. „Ach ja, davon habe ich auch schon etwas gehört“, kommt prompt die Antwort. Aber auch dahinter verbergen sich dann sehr unterschiedliche Antworten: ob ein Raum gut klingt, ob ein Staubsauger beim Saugen knistert, ob ein Lautsprecher High Fidelity Qualität hat und vieles andere mehr.

Dann komme ich ins Grübeln und stelle fest, dass auch die Anwender und Fachleute unter „Akustische Qualitätssicherung“ sehr unterschiedliche Dinge verstehen. Eigentlich hätte es mir klar sein müssen, denn die Arbeitsgemeinschaft für Akustische Qualitätssicherung, die nun fast 10 Jahre zusammengearbeitet hat, und auch die verschiedenen Fachgruppen, die sich daraus gebildet haben und heute innerhalb der DGAQS arbeiten, diskutieren immer wieder heftig. Also ist es Zeit, den Begriff zu definieren und die Strategien, Methoden und Anwendungen einmal zu umreißen.

### **2 Produkte müssen die Qualitätsforderungen erfüllen**

Akustische Qualitätsforderungen an industriell gefertigte Produkte sind heute – oft unbegründet – hoch. Da sind natürlich zunächst einmal Produkte, die während des Betriebes Schwingungen und Geräusche erzeugen: Antriebe, Elektromotoren, Lüfter, Lager, Getriebe, Zahnräder usw. Eine andere Gruppe sind die eher passiven Produkte, die bei Fremdanregung hörbar werden: wie klingt eine Glocke, ein Glas, ein Porzellanteller, eine Tasse usw. Bei dieser Gruppe geht es nicht mehr unmittelbar um das Geräusch, also die akustische Qualität, sondern aus dem Klang oder Geräusch wird ein Urteil über die Qualität und Funktionsfähigkeit des Produktes abgeleitet.

Die Geräusche und Klänge hören wir mit unseren Ohren und fällen auf Grund unserer Wahrnehmung ein Urteil über den Klang und damit die Qualität des Produktes.

Diese Fähigkeit, aus dem Klangeindruck eine Qualitätsentscheidung zu treffen, wird seit langer Zeit im industriellen Bereich für die Prüfung der Produkte genutzt. Menschen prüfen die Klänge und Geräusche der Produkte und entscheiden über „in Ordnung“ oder „nicht in Ordnung“. Irrtum nicht ausgeschlossen!

Akustische Messtechnik ist im Bereich der Bau- und Raumakustik seit langer Zeit eingeführt. Die Messung des Schalldruckpegels als Maß für die wahrgenommene Lautstärke, Die A-Bewertung der gemessenen Signale zur Anpassung an die Wahrnehmungskurven gleicher Lautstärke, die Berücksichtigung von Maskierungs- und Verdeckungseffekten bei der Messung der Lautheit nach Zwicker sind nur ein paar Beispiele für akustische Messmethoden.

Um die Subjektivität des Prüfers oder der Prüferin auszuschalten, wurde die akustische Messtechnik für die „objektive“ Prüfung der Produkte eingeführt. Sehr schnell stellte sich aber heraus, dass die eingeführten Messmethoden für die Anwendung im Bereich der Qualitätsprüfung nicht ausreichten. Das „subjektive“ Ohr des Prüfers ist sensibler und kritischer als die Messmethoden.

Mit Schwingungs- und Schallsignalen für die Qualitätsbeurteilung muss man also anders umgehen, als für die Messung von Lärm. Warum?

Der Grund:

Das Schall- oder Schwingungssignal trägt die Information über den Geräuscherzeuger; aus dem Geräusch und der Schwingung kann man schließen, ob der Prüfling in Ordnung oder nicht in Ordnung ist, ob er die Qualitätsforderungen einhält oder ob man sogar auf einen vorhandenen oder sich anbahnenden Fehler schließen kann.

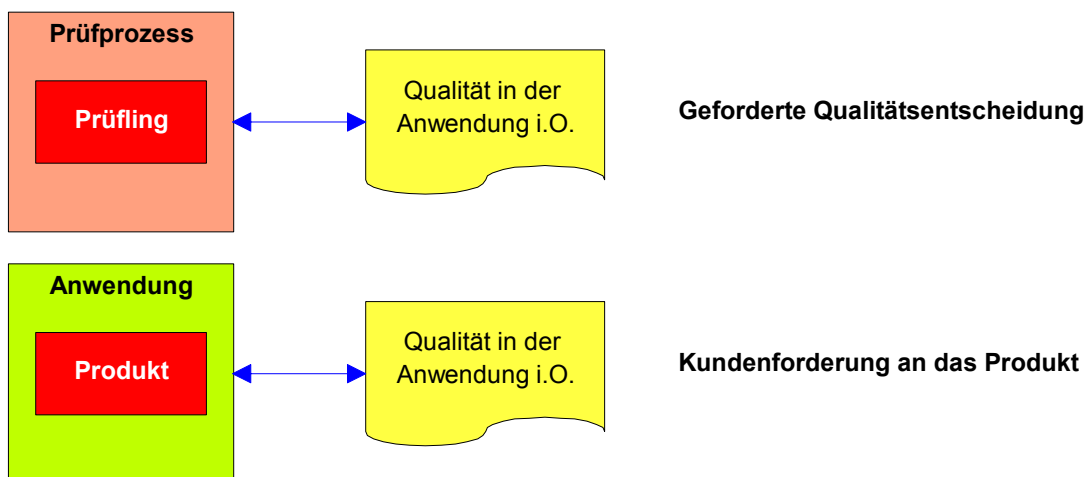


Abbildung 1: Prüf- und Anwendungssituation

Die geforderte Aussage ist also differenzierter und detaillierter. Die Qualitätsforderung geht auch über die für die herkömmlichen Messungen geforderten Ergebnisse hinaus:

Das Urteil über die Qualität der Schwingung oder des Schalls muss eine Aussage liefern für die geplante Anwendung. Beispiel: ein Elektromotor, der beim Motorenhersteller gefertigt und geprüft wird, muss vor der Auslieferung an den Kunden, der den Motor in eine Waschmaschine einbauen will, so ruhig laufen und so leise sein, dass er im eingebauten Zustand nicht stört. Die Entscheidung am Ende der Fertigung muss also eine Aussage über die Qualität im eingebauten Zustand bzw. in der Anwendung sein.

Die in Abbildung 1 dargestellte Situation ist deswegen problematisch, weil in vielen Fällen, der Prüfling, das Produkt, von dem belieferten Kunden noch weiterverarbeitet – häufig in ein „umgebendes“ Produkt eingebaut wird. Am Beispiel der Waschmaschine wird es deutlich. Der Elektromotor, beim

Hersteller geprüft und für i.O. befunden, wird in das Gehäuse der Waschmaschine montiert. Die Kundenforderung lautet nun, in dieses Gehäuse eingebaut muss der Elektromotor leise sein oder präziser: er darf nicht stören.

### **3 Szenario**

An dieser Stelle kommen drei unabhängige Qualitätsurteile zusammen: das Urteil des Komponentenprüfers (im Beispiel: Motor-Prüfer), das Urteil des Produktprüfers (im Beispiel: Prüfer des Waschmaschinenherstellers) und das Urteil des Anwenders (im Beispiel: Waschmaschinenbenutzer). An dem Beispiel können wir aufzeigen, welche Wirkung die Entscheidungen haben sollen:

- Der Motorenhersteller will oder muss dem Waschmaschinen nachweisen, dass der Elektromotor die Qualitätsforderung einhält: er will liefern. Ist der Motor laut, so wird er nachgebessert und erneut geprüft.
- Der Waschmaschinenhersteller will vor der Wertschöpfung „Montage“ sicher sein, dass der Elektromotor die Qualitätsforderung erfüllt, damit sein Kunde, der Anwender, zufrieden ist und nicht durch eine Reklamation Kosten entstehen. Ist der Motor in einer Eingangsprüfung laut, so wird er reklamiert. Ist die Maschine in der Qualitätsprüfung laut, so wird der Motor demontiert und ein anderer eingebaut, erneut geprüft und im Falle i.O. ausgeliefert.
- Der Anwender ist zufrieden, solange die Waschmaschine funktioniert und nicht auffällig ist. Treten Schwingungen oder Geräusche auf, so ist er gestört (1. Reklamationsgrund) oder in seiner Komforterwartung enttäuscht (2. Reklamationsgrund) oder er befürchtet, dass die Maschine bald kaputt geht (3. Reklamationsgrund).

Die Qualitätsentscheidungen haben zusätzlich unterschiedliche Grundlagen. Der Motorenhersteller hat mit seinem Kunden (hier Waschmaschinenhersteller) eine Qualitätsvereinbarung getroffen, die in Form einer Spezifikation niedergelegt ist. Der Kunde hat aus seiner Markt-Erfahrung eine Vorstellung, welche Qualitätsforderungen der Anwender hat.

Die Qualitätsentscheidungen wird aus folgenden Aspekten getroffen:

Hersteller: Funktion, Geräusch und Schwingung laut Spezifikation

Kunde: Funktion, Geräusch und Schwingung entsprechend der Anwenderwünsche

Anwender: Funktion, Lästigkeit und Komfort.

Damit es also nicht zu Reklamationen kommt, lautet die Qualitätsforderung entsprechend Abbildung 1 also:

- Der Prüfling muss beim Hersteller die Forderungen erfüllen, die der Anwender an das Produkt hat!

Diese Forderung kann der Hersteller (im Beispiel des Elektromotors) nicht erfüllen, da er keinen Einfluss auf das Gehäuse und den Montageprozess und schon gar keinen Einfluss auf den Kunden sowie dessen Anwendungsumgebung und -prozess hat.

### **4 Motivation**

Die Motivation, sich mit dem Thema der akustischen Qualitätssicherung intensiver auseinander zu setzen, entspringt aus den vielen Diskussionen, die Hersteller und Kunden miteinander geführt haben,

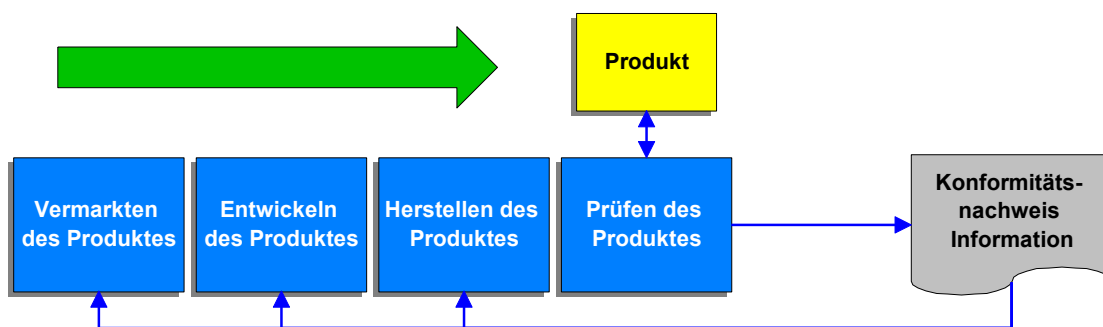
aus den Forderungen nach instrumenteller (auch objektiv genannter) Prüfung und aus den Forderungen, die Informationen aus den Prüfprozessen für die Produkt- und Prozessverbesserung (KVP) zu nutzen.

Die instrumentellen Mess- und Prüfverfahren haben in den letzten Jahren einen immensen Schub erhalten, da immer kleinere, schnellere und leistungsfähigere Prozessoren zusammen mit der Software immer komplexere Funktionen erfüllen können. Die Qualitätsmethoden der Failure Mode and Effekt Analysis (FMEA) sowie der Statistical process control (SPC), der Einsatz von Datenbanken und die Möglichkeiten der Informationsspeicherung ermöglichen, das Wissen um die Sicherung der Qualität mit akustischen Methoden zu erweitern und für die Produkt- und Prozessverbesserung nutzbar zu machen.

Definition: Akustische Qualitätssicherung

Akustische Qualitätssicherung ist die Anwendung von akustischen Verfahren zur Sicherung der Qualität von Prozessen und Produkten

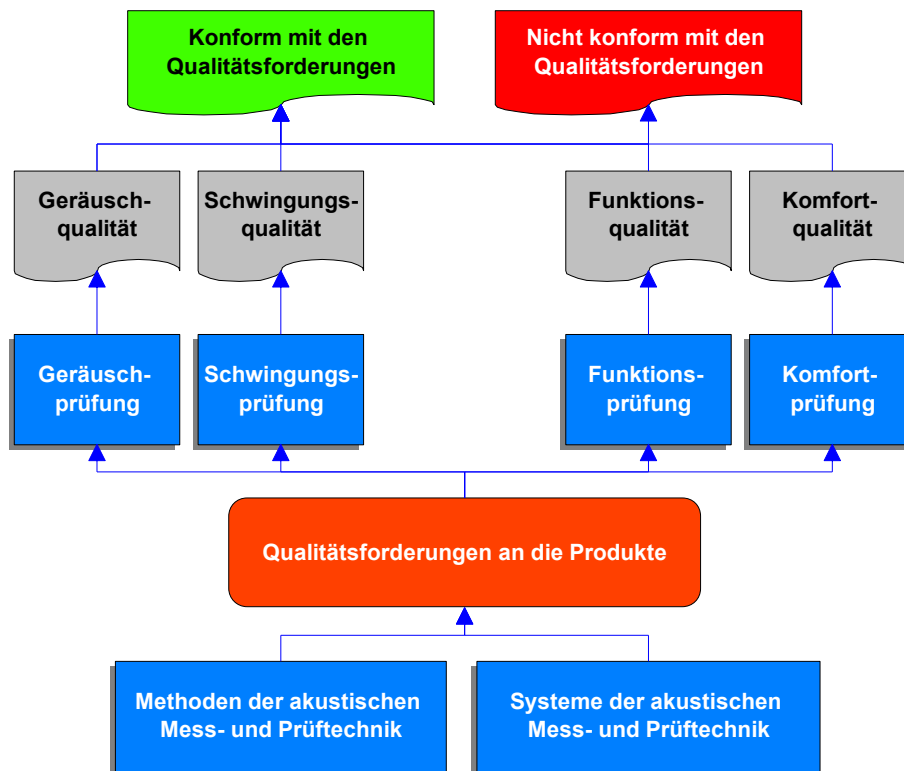
DGAQS 2000



**Abbildung 2: Sichern der Qualität**

Der Kern steckt in dem angehängten "Sicherung". Qualität sichern ist eben mehr als nur Prüfen. Aus den gewonnenen Informationen Konsequenzen ziehen, um die Qualität der Produkte sicherzustellen oder auch wieder herzustellen. Akustische Qualität ist natürlich zunächst alles, was wir mit unseren Ohren hören und beurteilen. Töne können angenehm sein, Geräusche lästig, Klänge uns stören. Zirpen, rattern, jaulen und ähnliche Bezeichnungen drücken unsere Wahrnehmung aus und beschreiben das Gehörte.

Akustisch die Qualität sichern bezieht sich auf die Geräusche und Schwingungen, aber in gleicher Weise auf die Funktionen und Spezifikationen der Produkte. Ob ein Getriebe oder Lager die Spezifikationen unter vorgegebener Last erfüllt, ein Lüfter die geforderte Drehzahl einhält oder eine Maschine die Vibrationen ohne Materialermüdung verkraftet, lässt sich mit akustischen Verfahren feststellen.



**Abbildung 3: Bereiche der Akustischen Qualitätssicherung**

Die akustische Qualitätssicherung ist im Bereich der zerstörungsfreien Prüfverfahren eine wichtige Methode. Häufig existiert kein anderes Verfahren, um Risse und Materialveränderungen an Produkten nachzuweisen.

## 5 Sichern der Qualität

Ziel jedes Unternehmens ist es die gelieferten Produkte oder Dienstleistungen so zu liefern, dass die mit dem Kunden vereinbarten Forderungen an die Qualität erreicht wird, ohne dass dem Unternehmen zusätzliche (nicht kalkulierte) Kosten entstehen und dass die gültigen Gesetze und Normen, insbesondere in Bezug auf die Produktsicherheit, eingehalten werden

Definition Qualitätssicherung:

Qualitätssicherung umfasst alle diejenigen geplanten und systematischen Tätigkeiten, die notwendig sind, um ein hinreichendes Vertrauen zu schaffen, dass ein Produkt die festgelegten Qualitätsforderungen erfüllen wird.

Qualitätssicherung dient also

- der Herstellung und Lieferung konformer Produkte
- der Vertrauensbildung und -bewahrung
- der Vermeidung von Fehlerkosten im Prozess und nach Verkauf
- und damit dem Ziel der Kundenzufriedenheit und des Unternehmenserfolges.

Akustische Qualitätssicherung hebt dabei besonders auf die akustischen Methoden ab.

Geplante und systematische Tätigkeiten setzen beim Lastenheft und Pflichtenheft an und setzen sich über die Entwicklungs-, Herstellungs- und Produktionsprozesse bis zum Service während der Verwendung des Produktes fort. In allen Phasen werden Erkenntnisse über die Eignung des Produktes für den Kunden gewonnen. Diese sind die grundlegenden Informationen, um die Produkte und Prozesse zu optimieren und weiterzuentwickeln.

Die akustischen Methoden zur Sicherung der Qualität erfordern Fachwissen, Wissen über die Prozesse und Produkte und Anwendungserfahrungen. Zum Erfolg tragen somit alle Beteiligten bei und müssen in der Entwicklungs- und Herstellungsphase an einem Strang ziehen.

In der Praxis hat sich eine enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Partnern als besonders zielführend herausgestellt. Mitte der 80-er Jahre gab es bei verschiedenen Unternehmen Projektgruppen, die als Aufgabe die akustische Optimierung der Produkte hatten. Sie waren interdisziplinär aus Mitarbeitern der Bereiche Entwicklung und Konstruktion, Fertigungsplanung und Fertigung, Qualitätsprüfung und Kundenbetreuung zusammengesetzt.

Diese Gruppen wurden dann in den 90-er Jahren aufgelöst - meist aus Kostengründen. Heute haben wenige Unternehmen das bestehende Defizit erkannt und richten ähnliche Gruppen wieder ein. Allerdings auch mit neu definierten Zielen: alle Informationen aus den Qualitätsprüfungen, den Fertigungs- und Anwendungserfahrungen werden genutzt, um die Produkte und Prozesse zu optimieren.

Akustische Mess- und Prüftechnik dient dem Ziel, alle Prozesse zu beherrschen. Der Nachweis der Konformität mit den vereinbarten Qualitätsforderungen ist somit ein Teilergebnis der akustischen Qualitätssicherung.

Qualitätssicherung erfordert geplante und systematische Tätigkeiten (siehe Definition). Somit steht am Anfang der akustischen Qualitätssicherung das Planen der Prozesse. Die Prozesskette der akustischen Qualitätssicherung ist in dargestellt.

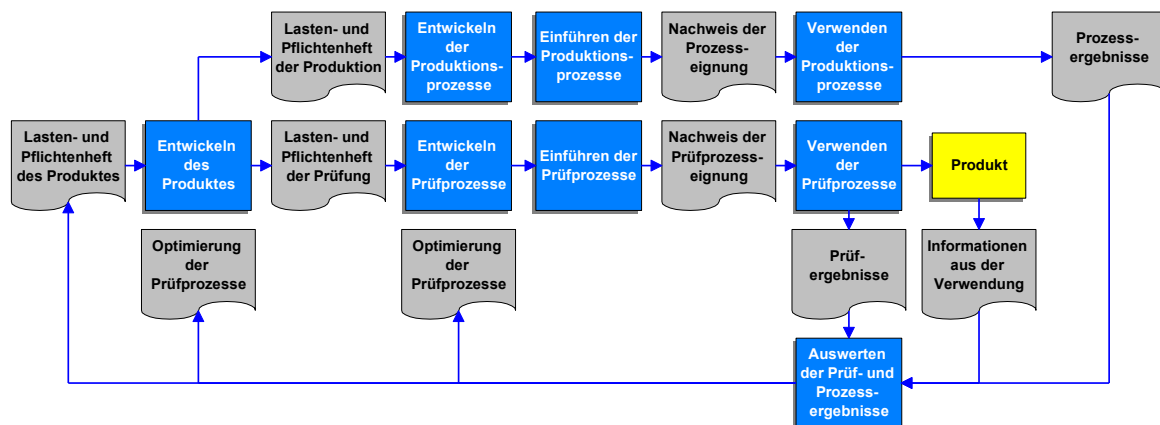


Abbildung 4: Prozesskette der akustischen Qualitätssicherung

Die Prozesskette der akustischen Qualitätssicherung (Abbildung 4) zeigt den Zusammenhang der Teilprozesse und die Abhängigkeiten der einzelnen Ergebnisse von den Prozess- und Prüfinformationen. Entscheidend für alle Prozesse ist die Festlegung der Forderungen an das Produkt in Form des Lasten- und Pflichtenheftes.

Davon ist die akustische Qualitätssicherung in besonderem Maße betroffen. Da die Qualität des Produktes vom Kunden beurteilt wird - insbesondere wenn es um Geräusch- und Schwingungsanteile geht - müssen dessen Beurteilungskriterien und die daraus abgeleiteten Qualitätsmerkmale beschrieben und bezüglich der messbaren Forderungen eindeutig definiert sein.

Hierzu ist immer eine Korrelation zwischen den subjektiven Beurteilungsaspekten oder funktionsbezogenen Kenngrößen und den messtechnisch zu ermittelnden Merkmalwerten notwendig. Das Pflichtenheft des Produktes muss immer Angaben zur Spezifikationsgrenze (Toleranz) machen. Gerade bei der Korrelation zwischen unterschiedlichen Größen ist deswegen die Angabe, welche physikalische Toleranz durch welche messtechnische Toleranz repräsentiert wird, unabdingbar.

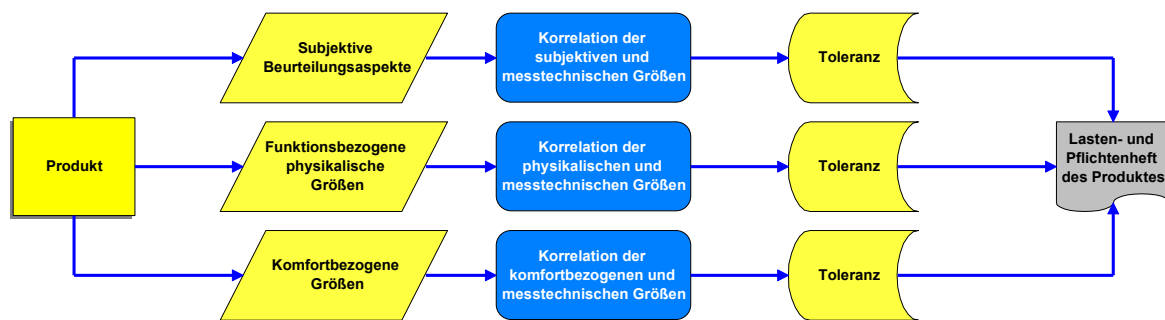


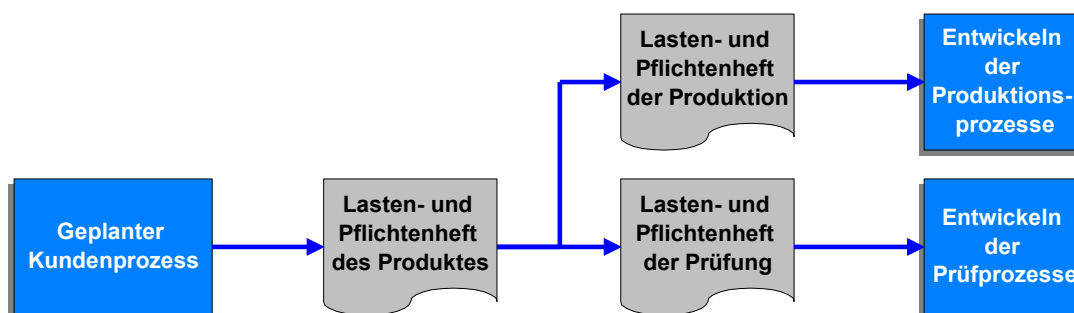
Abbildung 5: Festlegungen im Lasten- und Pflichtenheft

Die Qualitätsforderungen sind ausschlaggebend für die Wahl der angemessenen Instrumentierung und der geeigneten Verfahren. Da akustische Größen, die für die subjektive Wahrnehmung des Menschen relevant sind, einen sehr weiten Dynamikbereich überdecken können, stellen sie für die Mess- und Prüftechnik eine besondere Herausforderung dar. Die technische Ausstattung muss dafür speziell angepasst werden. Nachträgliche Änderungen wegen falscher Spezifikation der Produkteigenschaften haben in der Regel einen hohen Änderungsaufwand zur Folge.

Die technische Spezifikation der Produkte und damit die Vorgehensweise bei der akustischen Qualitätssicherung zur Planung der Mess- und Prüfprozesse kann nun nach drei Strategien erfolgen.

### 5.1 Top-Down-Strategie

Die Top-Down-Strategie orientiert sich ausschließlich an den Qualitätsforderungen an das Produkt. Das ist immer der Fall, wenn von Seite des Kunden die technischen Spezifikationen vorgegeben und so erfüllt werden müssen, damit das Produkt im vorgesehenen Kundenprozess verwendet werden kann.



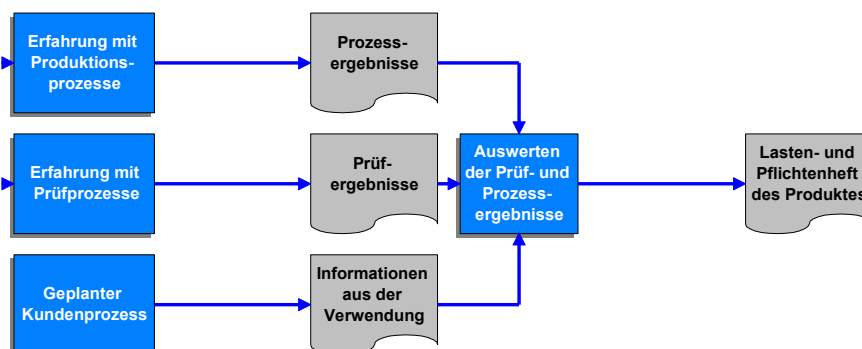
**Abbildung 6: Abhängigkeit des Produktmerkmale vom geplanten Kundenprozess**

In diesem Fall muss sich die Gestaltung der Produktions- und Prüfprozesse nach den Vorgaben richten (Abbildung 6). Ob der notwendige Prüfprozess technisch machbar und somit für die vorgesehene Aufgabe geeignet ist, spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Die Prüfergebnisse sind in diesen Fällen mit einer großen Messunsicherheit behaftet. Das bedeutet aber auch, dass in kritischen Fällen von diesen Prozessen keine Prüfprozesseignung gefordert werden darf.

## 6 Bottom-up-Strategie

Die zweite Strategie geht den umgekehrten Weg. Sie orientiert sich zunächst an der technischen Machbarkeit der Produktions- und Prüfprozesse. aus dem Wissen dieser Prozesse insbesondere aus der Kenntnis, wann diese Prozesse beherrscht sind, richten sich die Spezifikationen für das Produkt.

Die Spezifikation des Produktes wird also aus den Erfahrungen mit dem geplanten Herstellungsprozess (technisch mögliche und wirtschaftlich vertretbare Prozessqualität) und den Erfahrungen mit dem geplanten (technisch möglichen und wirtschaftlich vertretbaren) Prüfprozess zusammen mit den Kenntnissen des geplanten Kundenprozesses, in dem das Produkt eingesetzt werden soll, getroffen.

**Abbildung 7: Abhängigkeit der Produktspezifikation von dem Wissen der Produktions- und Prüfprozesse**

Diese Strategie wird bei der akustischen Qualitätssicherung immer dann angewendet, wenn man noch keine Vorgaben für die Produkte hat. Die Orientierung an der technischen Machbarkeit liefert zumindest technisch mögliche und wirtschaftlich vertretbare Qualitätsforderungen. In vielen Fällen der akustischen Qualitätssicherung ist das die einzige Möglichkeit, sich an realistische Toleranzen heranzutasten.

### 6.1 Strategie der interativen Spezifikation

Der beste Weg - allerdings auch etwas mühsamer - ist die iterative Spezifikation des Produktes und der Produktions- und Prüfprozesse. Diese Vorgehensweise trägt die Bezeichnung „Simultaneous Engineering“.

Hierbei werden die Forderungen an das Produkt und die Erfahrungen aus Produktions- und Prüfprozessen zusammengeführt. Das bedeutet aber auch, dass auf beiden Seiten, nämlich der der Produktspe-



zifikation wie auf der Seite der Prüfprozessspezifikation Kompromisse gemacht werden müssen. Auch diese sind messbar - d.h. mit messtechnisch relevanten Toleranzen - zu definieren.

Die Iteration Spezifikation ist besonders wichtig bei der Neueinrichtung der Produktions- und Prüfprozesse. Da akustische Qualitätssicherung aber ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess ist, muss diese Iteration kontinuierlich erfolgen.

## **7 Zusammenfassung**

Die Planung von Prozessen und die Festlegung von Qualitätsforderung für die akustische Qualitätssicherung unterscheidet sich hinsichtlich der Dynamik und Komplexität der Messgrößen von anderen industriellen Qualitätssicherungsprozessen. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist gleich. Die Unterschiede liegen in der Spezifikation des Produktes und der Prozesse.

Ziele der akustischen Qualitätssicherung sind die Beherrschung der Produktions- und Prüfprozesse und die Konformität der Produkte mit den festgelegten Qualitätsforderungen. Damit diese Ziele erreicht werden, müssen die Informationen aus den unterschiedlichen Prozessen ausgewertet und für die Optimierung der Prozesse verwendet werden.

Jede Strategie hat Konsequenzen bezüglich der Fähigkeit der Produktionsprozesse sowie der Eignung der Prüfprozesse. Diese Abhängigkeit von der Spezifikation der Produkte ist deswegen bei der akustischen Qualitätssicherung besonders kritisch, da die verwendeten Qualitätsmerkmale komplexer und von einer größeren Dynamik sind als in anderen industriellen Messprozessen.

Entscheidend für den Erfolg der akustischen Qualitätssicherung ist die Zusammenarbeit zwischen den Partnern, die möglichst als Team interdisziplinär zusammengesetzt sind, um einen möglichst großen Erfahrungshintergrund einzubeziehen.

