

Kalibrierung und Nachweis der Fähigkeit akustischer Prüfmittel - Empfehlungen der AG-AQS -

**Prof. Dr. B. Kotterba
Dipl.-Ing. G. Diethelm
Dipl.-Ing.(FH) M. Eggers
Dipl.-Ing. K.-H. Maier
Dipl.-Ing.(FH) G. Schneider
(AG-AQS Arbeitsgruppe 2)**

1 Einleitung

Das Prüfen der akustischen Eigenschaften von Produkten ist heute ein wesentlicher Bestandteil in vielen Bereichen. Dabei macht die instrumentelle akustische Qualitätsprüfung ständig Fortschritte. Das Prüfen dient dabei aber nicht nur der Aussonderung von Produkten, die die Qualitätsanforderungen nicht erfüllen, sondern aus dem Prüfprozeß sollen wesentliche Erkenntnisse über die Produkte sowie die Herstellungs-, Fertigungs- und Montageverfahren geschöpft werden.

Die instrumentelle akustische Qualitätsprüfung besitzt aber nur dann Aussagekraft, wenn die erhobenen Meßwerte selbst Aussagekraft besitzen. Da diese Daten mit Meßmitteln gewonnen werden, muß man die Forderung erheben, daß die Meßmittel aussagekräftige Werte liefern. Alle Meßmittel besitzen ein gewisses Maß an Meßwertabweichung und Meßunsicherheit, es ist deswegen wichtig zu wissen, ob diese Unzulänglichkeiten innerhalb vernünftiger und für den jeweiligen Prüfvorgang zweckmäßiger Grenzen liegen.

In Anlehnung an die Forderungen der DIN EN ISO 9001 ff. sowie anderer Normen und Standards ist es sinnvoll und notwendig, die akustischen Prüfmittel ebenfalls der Systematik des Prüfmittelmanagements zu unterwerfen. Ziel ist dabei, das Vertrauen der Kunden in die akustische Qualität der Produkte zu stärken und die Prozesse zur Herstellung dieser Qualität besser beherrschen zu lernen.

Das vorliegende Arbeitspapier will die Notwendigkeit der Kalibrierung und der Untersuchung der Fähigkeit akustischer Prüfmittel aufzeigen und gleichzeitig Hilfestellung auf dem Wege zu ihrer Umsetzung geben. Es sind erste Schritte, die auf einem steinigen Weg gegangen werden müssen, da die Erfahrung mit den vorgeschlagenen Verfahren und Untersuchungsmethoden noch weitgehend fehlen. Erklärtes Ziel dieses Arbeitspapiers ist es aber auch, eine systematische Grundlage für die Erprobung und Anpassung der Methoden an die Belange der akustischen Qualitätssicherung zu entwickeln. Das Papier stützt sich dabei sehr stark auf Arbeitsergebnisse ab, die z.Z. von der DGQ-Arbeitsgruppe „Prüfmittelmanagement“ (DGQ-AG 136) entwickelt werden. Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe sollen im Laufe des nächsten Jahres in Form einer DGQ-Richtlinie verabschiedet werden. Das vorliegende Papier soll Handlungshilfe und Diskussionspapier gleichzeitig sein. Anregungen und Verbesserungshinweise sind deswegen sehr erwünscht.

2 Forderungen der DIN ISO 9001 ff.

Die Empfehlungen der Arbeitsgruppe 2 der Arbeitsgemeinschaft Akustische Qualitätssicherung beschreibt die Vorgehensweise bei der Einordnung und Behandlung von Meß- und Prüfmitteln im Rahmen des Qualitätselementes 4.11 Prüfmittelüberwachung gemäß DIN EN ISO 9001 ff. Die Forderungen zur Prüfmittelüberwachung sind in diesen Normen gleich; sie lauten:

4.11.1 Allgemeines

Der Lieferant muß Verfahrensanweisungen erstellen und aufrechterhalten, um die durch ihn zur Darlegung der Konformität von Produkten mit der festgelegten Qualitätsforderung benutzten Prüfmittel (eingeschlossen Prüfsoftware) zu überwachen, zu kalibrieren und instandzuhalten. Prüfmittel müssen in einer Weise benutzt werden, die sicherstellt, daß die Meßunsicherheit bekannt und mit der betreffenden Forderung vereinbar ist.

Wo Prüfsoftware oder Bezugsnormale wie Prüfhardware als geeignete Mittel zur Prüfung benutzt werden, müssen sie geprüft werden, um nachzuweisen, daß sie geeignet sind, die Annehmbarkeit eines Produktes zu verifizieren, bevor sie zur Benutzung während Produktion, Montage oder Wartung freigegeben werden, und sie müssen in vorgegebenen Intervallen einer wiederkehrenden Prüfung unterzogen werden. Der Lieferant muß Umfang und Häufigkeit solcher Prüfungen festlegen und Aufzeichnungen als Überwachungsnachweis aufbewahren (siehe Abschnitt 4.16).

Wo die Verfügbarkeit der die Prüfmittel betreffenden technischen Daten eine festgelegte Forderung ist, müssen solche Daten zugänglich gemacht werden, wenn sie von Kunden oder seinem Beauftragten für die Verifizierung angefordert werden, um prüfen zu können, ob die Prüfmittel in ihrer Funktion angemessen sind.

4.11.2 Überwachungsverfahren

Der Lieferant muß

- a) die durchzuführenden Messungen und die geforderte Genauigkeit festlegen sowie die geeigneten Prüfmittel auswählen, die bezüglich der erforderlichen Richtigkeit und Präzision (erforderliche Genauigkeit) geeignet sind;
- b) alle Prüfmittel, welche die Produktqualität betreffen können, identifizieren und sie in vorgegebenen Intervallen oder vor dem Einsatz kalibrieren und justieren, und zwar mit zertifizierten Mitteln, die in bekannter Weise an anerkannte internationale oder nationale Normale angeschlossen sind. Wo solche Normale nicht existieren, muß die benutzte Kalibriergrundlage dokumentiert werden;
- c) den für die Kalibrierung von Prüfmitteln angewendeten Prozeß festlegen, eingeschlossen Einzelheiten zu Gerätetyp, eindeutiger Identifikation, Einsatzort, Prüfhäufigkeit und -methode, Annahmekriterien sowie zu den durchzuführenden Maßnahmen bei nicht zufriedenstellenden Ergebnissen;
- d) zur Aufzeigung des Kalibrierstatus Prüfmittel mit einem geeigneten Indikator oder mit einer anerkannten Identifikationsaufzeichnung identifizieren;
- e) Aufzeichnungen über Kalibrierung von Prüfmitteln aufbewahren (siehe Abschnitt 4.16);
- f) die Gültigkeit von Ergebnissen vorausgegangener Qualitätsprüfungen bewerten und dokumentieren, wenn ein Prüfmittel bei der Kalibrierung als fehlerhaft befunden wurde;
- g) sicherstellen, daß die Umgebungsbedingungen für die durchzuführenden Kalibrierungen, Prüfungen und Messungen geeignet sind;
- h) sicherstellen, daß die Handhabung, der Schutz und die Lagerung von Prüfmitteln so erfolgen, daß die Genauigkeit und Gebrauchstauglichkeit aufrechterhalten bleiben;

- i) Prüfmittel samt Prüfhardware und -software vor Verstellungen schützen, welche die Kalibriereinstellung ungültig machen würden.

3 Begriffe und Definitionen

Um eine gemeinsame Sprache zu sprechen, werden nachfolgend zunächst die Begriffe erläutert, die im Bereich des Prüfmittelmanagements heute definiert sind.

3.1 Prüfmittel

Nach der oben zitierten Festlegung der DIN EN ISO 9001 ff. sind Prüfmittel damit Meßmittel, die zur Darlegung der Konformität von Produkten bezüglich festgelegter Qualitätsanforderungen benutzt werden. Diese Klassifizierung gilt auch für die hier betrachteten akustischen Meßmittel. Messen und vergleichen sie die physikalischen Größen wie z.B. Schalldruck oder Beschleunigung eines Produktes mit den zugehörigen Qualitätsforderungen, so handelt es sich um Prüfmittel, die der Prüfmittelüberwachung unterliegen (Bild 1).

Zu den Aufgaben der Prüfmittelüberwachung zählen die Untersuchung und der Nachweis der Eignung (siehe DIN ISO 9001 ff. Abschnitt 4.11.1) sowie die wiederkehrende Prüfung durch eine Kalibrierung.

Als Abgrenzung zu den Prüfmitteln werden alle Meßmittel, die nicht der Darlegung der Konformität von Produkten mit festgelegten Qualitätsforderungen dienen, als Betriebsmittel bezeichnet. Sie unterliegen nicht der Prüfmittelüberwachung.

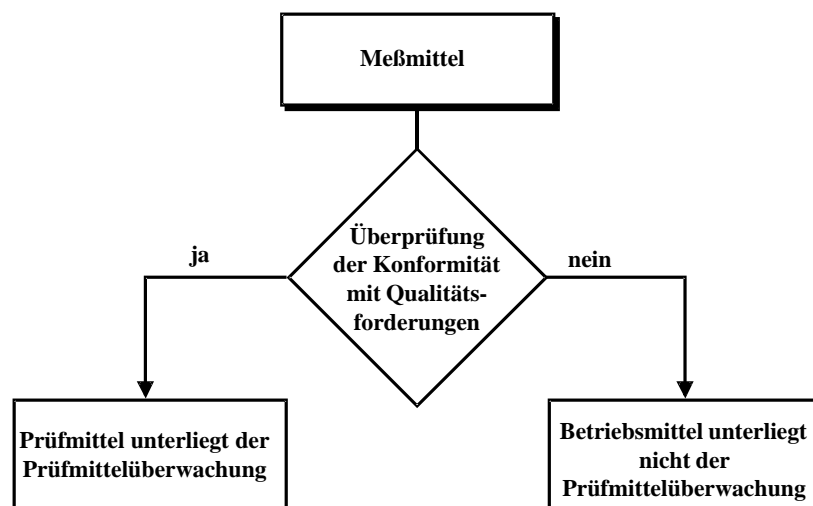


Bild 1: Entscheidungskriterien zur Einordnung von Meßmitteln in die Prüfmittelüberwachung

3.2 Qualitätsforderung

Nach DIN ISO 8402 ist Qualitätsforderung die

Formulierung der Erfordernisse oder deren Umsetzung in eine Serie von quantitativ oder qualitativ festgelegten Forderungen an die Merkmale einer Einheit zur Ermöglichung ihrer Realisierung und Prüfung.

3.3 Prüfung (inspection) - Qualitätsprüfung (quality inspection)

Prüfung (DIN ISO 8402):

Tätigkeit wie Messen, Untersuchen, Ausmessen bei einem oder mehreren Merkmalen einer Einheit sowie Vergleichen der Ergebnisse mit festgelegten Forderungen, um festzustellen, ob Konformität für jedes Merkmal erzielt ist.

Qualitätsprüfung (DGQ-Definition)

Feststellen, inwieweit eine Einheit eine Qualitätsforderung erfüllt. Die Qualitätsprüfung umfaßt das Messen oder Zählen sowie das Vergleichen des Meß- oder Zählwertes mit einer Qualitätsforderung.

3.4 Fähigkeit - Eignung - Brauchbarkeit

Fähigkeit

Fähigkeit ist die quantitative Bewertung des Prüfmittels hinsichtlich

- der Funktion
- des Meßbereichs und
- der Meßgenauigkeit.

Beispiel: In einem Kalibrierlabor kann lediglich ermittelt und belegt werden, wie groß die systematische Abweichung der Anzeige des Prüfmittels bei Vergleich mit einem Normal ist.

Eignung

- Eignung setzt die Fähigkeit voraus. Die Eignung ist ein qualitativer Ausdruck zum Prüfmittel-Einsatz in einem vorliegenden Prozeß. Die Eignung kann nur unter Einsatzbedingungen beurteilt werden.

Brauchbarkeit (nach DIN 2257):

- Die Brauchbarkeit eines Meßverfahrens ist dann gegeben, wenn das Verhältnis v aus Meßunsicherheit u bezogen auf die Fertigungstoleranz T für gefertigte Produkte

$$v = \frac{u}{T} = 0.1 \dots 0.2$$

und angewendet auf die Brauchbarkeit von Lehren und Meßgeräten

$$v \leq \frac{u}{T} = 1.0$$

eingehalten wird.

Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung

Die Fähigkeitsuntersuchung eines Prüfmittels ist immer eine Prüfung, die

- eine Aussage, ob die geforderte Funktion gegeben ist;
- eine Aussage über die Meßunsicherheit der Meßergebnisse ermöglicht;
- die Einflußgrößen durch die Gerätebediener und den Aufstellungsort ermittelt;
- bei der Fehleranalyse Hinweise auf die Fehlerursache geben kann.

Stabilität (Stability)

- Stabilität ist das Maß für die Gleichheit der Differenz der Genauigkeitsabweichungen der Mittelwerte von Meßreihen, die unter Wiederholbedingungen erhoben wurden.

Linearität (Linearity)

- Linearität ist das Maß für die Gleichheit der Differenz der Genauigkeitsabweichungen der Mittelwerte von Meßreihen, die unter Wiederholbedingungen über dem Meßbereich erhoben wurden. Die Linearität wird analytisch in Form einer Geradengleichung gegeben. Die Linearitätsabweichung ist somit die Abweichung der gemessenen Kennlinie im Meßbereich von der Sollkennlinie.

Präzision

- Die Präzision ist entsprechend DIN 5725 ein allgemeiner Ausdruck für die Streuung zwischen Ergebnissen wiederholter Messungen. Die Wiederholpräzision und die Vergleichspräzision haben sich in vielen Fällen als ausreichend erwiesen, um die Streuung der Meßergebnisse eines Meßverfahrens zu beschreiben.

Wiederholpräzision (Repeatability)

- Die Wiederholpräzision bezieht sich auf Messungen, die unter möglichst konstanten Bedingungen ausgeführt werden. Sie ist die Standardabweichung der Meßreihe, die sich durch Messungen unter Wiederholbedingungen ergibt. Die Wiederholpräzision erfaßt das Minimum der möglichen Streuungen der Ergebnisse (DIN ISO 5725).

Der Begriff Wiederholbarkeit wird synonym verwandt. Der Begriff Reproduzierbarkeit sollte nicht mehr verwendet werden.

Wiederholbedingungen

Prüfungen unter Wiederholbedingungen bedeuten, daß die Einflußparameter wie z.B.

- mit einem Meßverfahren
- durch denselben Bediener

- durch eine Meßeinrichtung
- an einem Ort
- identische Teile oder Normale

während der Messungen möglichst unverändert bleiben.

Vergleichspräzision (Reproducibility)

- Die Vergleichspräzision bezieht sich auf Messungen, die unter weithin veränderlichen Bedingungen ausgeführt werden. Gesamtmittelwert und Gesamtstreuung aller Messungen werden unter Vergleichsbedingungen ermittelt. Die Vergleichspräzision erfaßt somit das Maximum der möglichen Streuungen der Ergebnisse. (DIN ISO 5725)

Die Begriffe Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit werden identisch verwandt.

Vergleichsbedingungen

Als Vergleichsbedingungen werden die Variation

- des Bedieners oder
- der Meßorte oder
- der eingesetzten Geräte
- bei Verwendung eines festgelegten Meßverfahrens am identischen Objekt oder Normal verstanden.

3.5 Meßunsicherheit - Empfindlichkeit - Auflösung - Genauigkeit

Meßunsicherheit

- Die Meßunsicherheit eines Meßergebnisses ergibt sich immer aus den zufälligen Fehlern sowie aus nicht erfaßten systematischen Fehlern aller Einzelgrößen, die aufgrund funktionaler Zusammenhänge am Ergebnis beteiligt sind. Die Meßunsicherheit gibt bezogen auf das ermittelte Meßergebnis den Bereich an, innerhalb dessen das unbekannt fehlerfreie Ergebnis mit der statistischen Sicherheit z.B. $P = 95\%$ oder bei Ford von $3s = 99.7\%$ oder bei General Motors von $5.15s = 99\%$ liegen wird.

Empfindlichkeit

- Die Empfindlichkeit eines Meßgerätes ist der Quotient einer beobachteten Änderung der Ausgangsgröße durch die sie verursachende Änderung der Eingangsgröße.

Auflösung

- Die Auflösung ist die erforderliche Änderung der Eingangsgröße, um eine festgelegte Änderung der Ausgangsgröße z.B. der Anzeige zu erreichen.

Genauigkeit (Accuracy)

- Abweichung zwischen dem wahren Wert und dem Mittelwert einer Meßreihe unter Wiederholbedingungen, der sich bei wiederholtem Messen eines Normals ergibt.

Der Begriff Richtigkeit wird synonym verwendet.

3.6 Normale

Normal (DIN ISO 10 012 Teil 1 Nr. 3.18):

- Normale sind die Maßverkörperung, das Meßgerät, das Referenzmaterial oder die Meßeinrichtung, die den Zweck haben, eine Einheit oder einen oder mehrere Größenwerte festzulegen, zu verkörpern, zu bewahren oder zu reproduzieren, um diese an andere Meßgeräte durch Vergleich weiterzugeben.

Primärnormal

- Ein Normal, das auf einem Anwendungsgebiet die höchste metrologische Anerkennung erfüllt, wird Primärnormal genannt.

Nationales Normal

- Normal, das in einem Land als Basis zur Festlegung des Wertes aller anderen Normale der betreffenden Größe anerkannt ist.

Internationales Normal

- Normal, das durch ein internationales Abkommen als Basis zur Festlegung des Wertes aller anderen Normale der betreffenden Größe anerkannt ist.

Sekundärnormal

- Ein Sekundärnormal ist ein Normal, das mit einem Primärnormal verglichen wird.

Bezugsnormal

- Normal von der höchsten an einem betrachteten Ort verfügbaren Genauigkeit, von dem an diesem Ort vorgenommene Messungen abgeleitet werden.

Gebrauchsnormal

- Normal, das unmittelbar oder über einen oder mehrere Schritte mit einem Bezugsnormal kalibriert ist und routinemäßig benutzt wird, um Maßverkörperungen oder Meßgeräte zu kalibrieren oder zu prüfen.

3.7 Kalibrieren - Justieren - Eichen

Kalibrieren (DIN ISO 10 012 Teil 1 Nr. 3.23):

- Kalibrieren sind die Tätigkeiten, die unter vorgegebenen Bedingungen die gegenseitige Zuordnung zwischen den ausgegebenen Werten eines Meßgerätes oder einer Meßeinrichtung oder den von einer Maßverkörperung oder einem Referenzmaterial dargestellten Werten einerseits und den zugehörigen Werten einer durch ein Sekundär, Bezugs- oder Gebrauchsnormal dargestellten Größe andererseits bestimmen.

Hinweis: Beim Kalibrieren erfolgt kein Eingriff, der das Meßgerät verändert.

Justieren (DIN ISO 10 012 Teil 1 Nr. 3.11):

- Justieren ist die Tätigkeit, die das Meßgerät in einen betriebsbereiten Zustand versetzt, wobei für die vorgesehene Anwendung verfälschend wirkende systematische Meßabweichungen beseitigt werden.

Hinweis: Beim Justieren erfolgt ein Eingriff, der das Meßgerät verändert. Vor dem Justieren ist eine Kalibrierung erforderlich.

Eichen

- Qualitätsprüfung einer Meß- oder Prüfeinrichtung in bezug auf die Forderungen der Eichvorschrift und bei Erfüllung dieser Forderungen deren diesbezüglicher Kennzeichnung.

Eine Eichung kann nur durch ein Eichamt durchgeführt werden. Der Begriff „Eichen“ wird im Rahmen der akustischen Prüfmittelüberwachung nicht verwendet.

Rückführbarkeit

- Nach DIN ISO 10 012 Teil 1 Nr. 3.22 ist Rückführbarkeit die Eigenschaft eines Meßergebnisses, durch eine ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen auf geeignete Normale, im allgemeinen internationale oder nationale Normale, bezogen zu sein.

4 Kalibrierung

Meßmittel und Meßverfahren weisen Unzulänglichkeiten auf. So wirkt der Sensor auf das Meßobjekt zurück, Umgebungsbedingungen beeinflussen die Meßgröße; Bedienerinfluß, Temperatur, Feuchte u.ä. rufen Änderungen der Meßgröße hervor [DIN 1319]. Der angezeigte Wert der Meßgröße wird daher in der Regel vom wahren Wert der Meßgröße abweichen. Diese Abweichungen kann man in die systematische und zufällige Abweichung unterteilen:

Angezeigter Wert = Wahrer Wert + Systematische Abweichung + zufällige Abweichung

$$y_A = y_R + K + u$$

Die zufälligen Abweichungen u entsprechen der Meßunsicherheit, da sie auch systematische Abweichungen enthalten können, deren Einflußgröße nicht bekannt ist.

Die Meß- und Prüftechnik ermöglicht es, Produkte oder Leistungen hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu messen und miteinander oder mit Qualitätsanforderungen zu vergleichen. Um dies zeit-, orts- und werkzeugunabhängig zu machen, bezieht man sich auf nationale oder internationale Standards. Man führt die Prüfgrößen mit Hilfe der Kalibrierung auf ein nationales Normal zurück und stellt so einen Zusammenhang zwischen dem angezeigten Wert und dem wahren Wert des Normals her.

Die systematische Abweichung wird unter gleichbleibenden Bedingungen immer mit gleichem Betrag und gleichem Vorzeichen auftreten. Die zufälligen Abweichungen ändern dagegen auch unter gleichbleibenden Bedingungen Betrag und Vorzeichen. Da die zufälligen Abweichungen für eine große normalverteilte Stichprobe im Mittel gleich Null werden (Bild 2), läßt sich also durch eine große Anzahl von Messungen die systematische Abweichung K ermitteln.

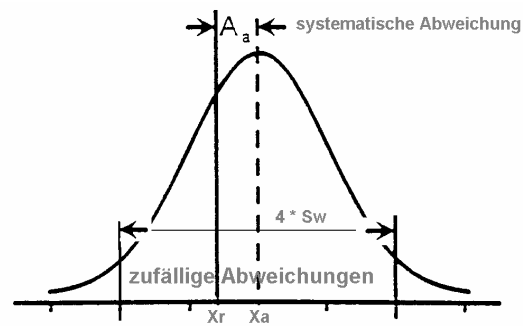


Bild 2: Systematische und zufällige Abweichungen der Normalverteilung

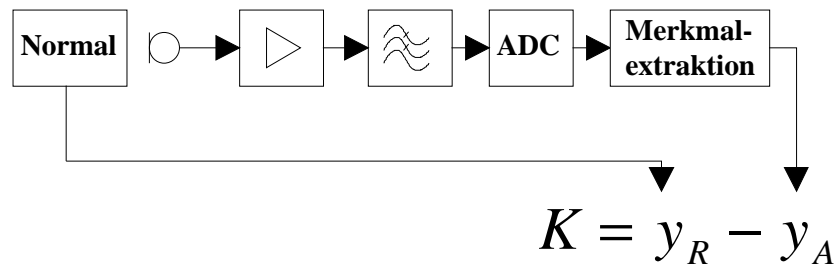


Bild 3: Kalibrierung einer Sensorkette mit einem Normal

Der Vergleich zwischen dem wahren Wert des Normals y_R mit dem Wert y_A , der am Ausgang der Meßkette angezeigt wird, ergibt die systematische Abweichung

$$K = y_R - y_A$$

Die periodische Kalibrierung ist ein wesentliches Element der Prüfmittelüberwachung. Die Kalibrierung erfolgt mit einem Bezugsnormal. Sie ermöglicht die Rückführung auf nationale oder internationale Normale. Durch die Rückführbarkeit wird eine ununterbrochene Kette von Vergleichsmessungen hergestellt, so daß die Prüfwerte in Beziehung gesetzt werden zu den wahren Werten der Bezugsnormale, die wiederum auf nationale Normale bezogen sind. Die Rückführbarkeit wird also durch eine hierarchische Folge von Kalibrierungen erreicht.

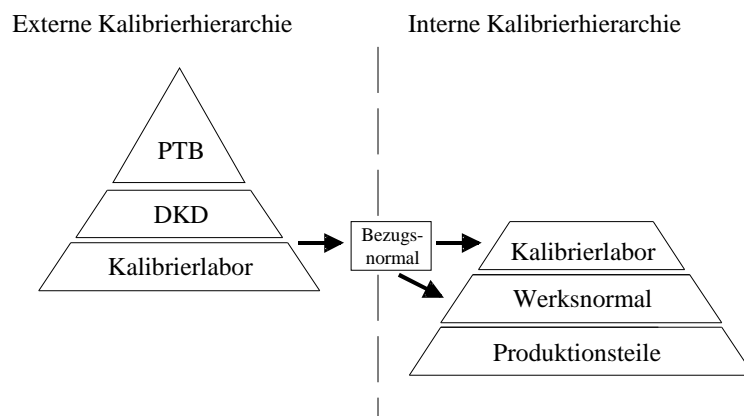


Bild 4: Hierarchie der externen und internen Kalibrierung

Kalibrieren heißt also, den wertmäßigen Zusammenhang zwischen Bezugsgröße und Meßgröße für ein Bezugsnormal herstellen, um diesen in den nachfolgenden Meßwerten als Korrekturgröße K berücksichtigen zu können. Der wahre Meßwert läßt sich also aus

$$y_R = y_A - K$$

berechnen. Die Kalibrierung stellt also nur die systematische Abweichung fest; in die Funktion und die Meßwertermittlung des zu kalibrierenden Meßgerätes wird nicht eingegriffen.

Die Norm fordert die regelmäßige Überwachung der Prüfmittel, um sicherzustellen, daß die Abweichung K unverändert ist und die Prüfergebnisse zuverlässig sind. Dabei ist sorgfältig zu prüfen, ob die Überwachung intern durch die Überwachungsstelle oder das firmeneigene Kalibrierlabor oder extern von einem Prüflabor oder akkreditierten DKD-Kalibrierlabor (DKD = Deutscher Kalibrierdienst) durchgeführt werden. Die Kette kann im Sinne der Kalibrierhierarchie auch über mehrere Stationen gehen (Bild 4). Maßgeblich dafür ist die Anzahl der vorhandenen Prüfmittel und ihre Gruppierung. Es ist in vielen Fällen sinnvoll, die Prüfmittel hinsichtlich der Kalibrierung hierarchisch zu gruppieren. Allein schon aus Kostengründen werden nur wenige Prüfmittel oder nur die Bezugsnormale von externen Kalibrierlabors kalibriert und zertifiziert. Die Kalibrierung der übrigen Prüfmittel erfolgt darauf aufbauend dann meist intern. Entscheidungskriterien sind dabei alleine der notwendige Aufwand bzw. die Kosten.

Alle Meßmittel, die nicht überwacht also nicht kalibriert werden, sind deutlich als Betriebsmittel zu kennzeichnen und entsprechend zu behandeln.

4.1 Vorgehensweise

Akustische Prüfmittel bestimmen heute in der Regel in einem Meßvorgang aus einem oder mehreren Sensorsignalen gleichzeitig mehrere Merkmale und unterziehen diese einer Klassifikation, um das Prüfergebnis zu ermitteln. Als Merkmale dienen heute vornehmlich Meßgrößen aus dem Zeitbereich und/oder Frequenzbereich des Signals.

Die Kalibrierung akustischer Meßmittel ist heute nicht in dem Umfang festgelegt, wie es für Überwachung notwendig oder wünschenswert wäre. Lediglich für wenige schalltechnische Größen gibt es Verfahrensweisen, die von akkreditierten DKD-Labors angewendet werden. Eine Liste der heute akkreditierten Labors ist im Anhang zu finden.

Die DIN ISO 9000 ff. legt nicht fest, in welcher Art und Weise zu kalibrieren ist. Insbesondere für Prüfmittel, die gleichzeitig mehrere Merkmale ermitteln, gibt es weder Vorschriften noch Empfehlungen. Streng genommen muß man jedes Merkmal bezüglich der systematischen und zufälligen Abweichungen untersuchen. Dies ist aber häufig technisch nicht möglich oder auch aus Aufwandsgründen wirtschaftlich nicht sinnvoll. Die Norm läßt dazu einen Freiraum, fordert aber vom Lieferanten der Produkte, daß er die Kalibriergrundlage festlegt und dokumentiert.

Für die Kalibrierung akustischer Prüfmittel, die mehrere Merkmale gleichzeitig messen, wird deswegen eine pragmatische Vorgehensweise empfohlen.

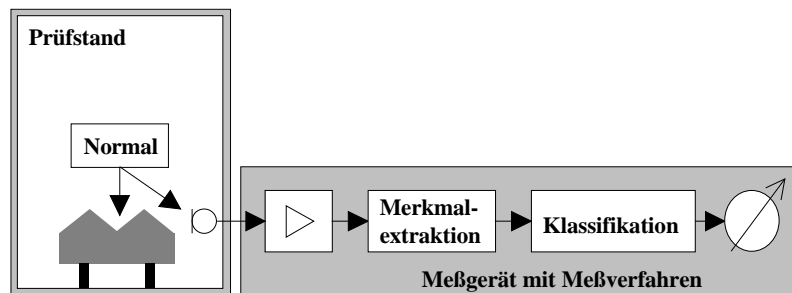


Bild 5: Kalibrierung eines Prüfmittels bestehend aus Meßgerät, Meßverfahren und Prüfstand

Akustische Prüfmittel (Bild 5) bestehen aus dem Meßgerät, dem Meßverfahren und der Prüfeinrichtung, z.B. einem Prüfstand. Gliedert man die Kalibrierung in diese Bestandteile, so lassen sich die Komponenten einzeln kalibrieren und die Ergebnisse anschließend zusammenführen. Sinnvoll ist eine Unterteilung in die Kalibrierschritte

1. der Meßeinrichtung bestehend aus Meßgerät und Meßverfahren
2. Prüfstand mit Meßeinrichtung.

Man erhält auf diesem Wege die systematischen Einflüsse K_M und zufälligen Abweichungen u_M einerseits des Meßgerätes und des Meßverfahrens sowie die der Prüfeinrichtung K_P und u_P :

$$y_A = y_R + K_M + K_P + u_M + u_P.$$

In manchen Fällen ist der zweite Schritt technisch nicht möglich. Dann muß man sich auf den ersten Schritt beschränken. Eine Unterscheidung der unterschiedlichen Einflüsse ist in diesen Fällen nicht möglich.

4.2 Kalibrierung der Meßeinrichtung

Die Kalibrierung der akustischen Meßeinrichtung (Bild 6) bestehend aus Sensor, Signalanpassung und Meßgerät inkl. des eingesetzten Meßverfahrens ermittelt das Übertragungsverhalten der Meßkette. Da die Kalibrierung häufig nur mit einem Signal x_R an einem Arbeitspunkt des Meßbereiches erfolgt, wird das Übertragungsverhalten durch einen Übertragungsfaktor m_M und eine Verschiebung K_M bestimmt:

$$y_A = f(x_R) + u_M$$

mit

$$f(x_R) = m_M \cdot x_R + K_M + u_M$$

In den Übertragungsfaktor m_M geht der Übertragungsfaktor des Sensors sowie die Verstärkung der Meßkette ein. Die systematische Verschiebung K_M kann als Offset betrachtet werden.

Die Beschränkung der Kalibrierung auf einen Arbeitspunkt im Meßbereich ist aber nur dann zulässig, wenn die Linearität gegeben und somit der Übertragungsfaktor m_M im gesamten Meßbereich konstant ist.

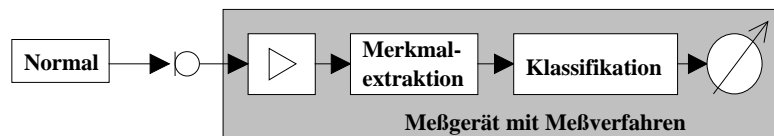


Bild 6: Kalibrierung der Meßeinrichtung

Als Ergebnis dieser Kalibrierung erhält man die systematische Abweichung K_M und die zufällige Abweichung u_M :

$$y_A = y_R + K_M + u_M.$$

Die Kalibrierung der Meßeinrichtung erfolgt unter Wiederholbedingungen:

- mit einem Meßverfahren
- durch denselben Bediener
- durch eine Meßeinrichtung
- an einem Ort
- mit einem Normal.

Die Anzahl der Wiederholungsmessungen sollte dabei groß sein. Empfohlen werden 50 Messungen. Aus Aufwandsgründen muß man sich manchmal auf eine geringere Anzahl beschränken. Sie sollte dann aber nicht kleiner als 20 sein.

Die systematische Abweichung K_M wird durch ein Kalibrierprotokoll dokumentiert. In diesem werden auch die übrigen Kalibrierbedingungen festgehalten. Als Normal sollte ein zertifiziertes Normal verwendet werden. Steht ein Normal nicht zur Verfügung, kann die Kalibrierung auch mit einem Prüfmeister erfolgen.

4.3 Kalibrierung des Prüfmittels

Die Prüfeinrichtung wie z.B. ein Prüfstand kann zusätzliche systematische und zufällige Abweichungen bewirken. Maßgeblich sind dafür im Sinne der Schall- und Schwingungsankopplung und -übertragung wirksame Feder-Masse-Systeme. Sie rufen in der Regel frequenzabhängige Übertragungsfaktoren hervor und haben einen Einfluß auf die Prüfmerkmale.

Die Vorgehensweise entspricht der für die Meßeinrichtung beschriebenen. Der Prüfstand wird mittels eines Normals kalibriert. Wird als Sensor ein Mikrofon eingesetzt, so erfolgt die Beschallung des Prüfstandes mit einem kalibrierten Signal. Bei der Messung von Körperschall mittels Beschleunigungsaufnehmern wird ein kalibrierter Schwingungskalibrator eingesetzt. Er regt die Aufnahmevorrichtung des Prüflings und darüber den Sensor an (Bild 5).

Hersteller	Gerätebezeichnung	Schallart	Bemerkungen
B&K	Multifunction Acoustic Calibrator 4226	Luftschall	31,5 Hz ... 20 kHz, Kal. v. Mikrofonen, vielseitig
B&K	Sound Level calibrator 4230	Luftschall	1000 Hz, 94 dB
B&K	Pistonphon 4220	Luftschall	250 Hz, 124 dB, Präzisions-schallquelle
B&K	Vibration Exciter 4290	Körperschall	200 Hz ... 50 kHz

B&K	Mini-Shaker 4810	Körperschall	< 18 kHz, 10 N
B&K	Vibration Exciter 4809	Körperschall	<20 kHz, 45 N
B&K	Calibration Exciter 4294	Körperschall	159,15 Hz, 10 ms ⁻²
Lucas CEL	Akust. Kalibrator CEL 284/2 Class 1	Luftschall	1 kHz, 114 dB
Lucas CEL	Akust. Kalibrator CEL 282 Class 2	Luftschall	1 kHz, 114 dB
PCB	Calibrator 394B06	Körperschall	79,6 Hz, 1 g
PCB	Calibrator 965A	Körperschall	0,5 Hz ... 100 kHz
Airflow	Akustischer Kalibrator	Luftschall	
Airflow	Vibrations Kalibrator	Körperschall	
SMS	Elektrodynamischer Schwingerreger, Typ EDS 9000	Körperschall	153,15 Hz, 10 ms ⁻²
Endevco	Kalibrator MOD.28959D	Körperschall	3 Hz ... 10 kHz, 10 g

Tabelle 1: Marktangebot an Prüfnormalen und Kalibratoren für Luft- und Körperschall

Als Ergebnis der Prüfmittelkalibrierung erhält man die systematischen und zufälligen Abweichungen des Prüfmittels. Es kann dabei aber nicht mehr nach den einzelnen Bestandteilen entsprechend Abschnitt 4.1 unterschieden werden:

$$y_A = y_R + K_{Ges} + u_{Ges}$$

Der Einfluß der Prüfeinrichtung K_P läßt sich nur ermitteln, wenn die systematischen und zufälligen Abweichungen der Meßeinrichtung und des Meßverfahrens entsprechend Abschnitt 4.2 bekannt sind.

$$K_P = K_{Ges} - K_M$$

Die Vorgehensweise entspricht also der im Bild 7 dargestellten Kette. Die Meßeinrichtung wird im Sinne der Rückführung mit einem Normal kalibriert. Mit der Meßeinrichtung wird ein Signal kalibriert, das zur kalibrierung des mechanischen Prüfstandes verwendet wird.

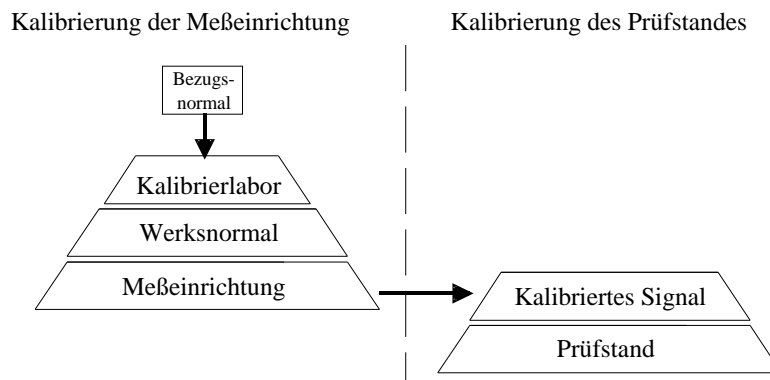


Bild 7: Kette der internen Kalibrierung eines akustischen Prüfstandes

4.4 Meßunsicherheit

Die Meßunsicherheit resultiert aus den zufälligen sowie den nicht bekannten systematischen Abweichungen der angezeigten Meßwerte. Sie gibt also ein Intervall an, in dem der wahre Wert mit einer statistischen Sicherheit von z.B. 95 % liegen wird. Die Grenzen dieses Intervalls liegen meistens symmetrisch zu dem Wert, der hinsichtlich der bekannten systematischen Abweichung bereits korrigiert ist. Basis für die Meßunsicherheit ist die Reststreuung s_r , die aus der Streuung der Einzelwerte ermittelt wird:

$$u = \pm 1.96 \cdot K_{(N)} \cdot s_r$$

Die Meßunsicherheit muß dann mit dem Faktor $K_{(N)}$ korrigiert werden, wenn die Anzahl von Messungen innerhalb der Stichprobe klein war. N ist dabei die Anzahl Messungen (Tabelle 2).

N	2	3	5	8	9	10	15	20	200
$K_{(N)}$	16,0	4,41	2,36	1,80	1,71	1,64	1,46	1,37	1,01

Tabelle 2: Korrekturfaktoren $K_{(N)}$ für kleine Stichproben

Ist die Reststreuung $s_r=0$, so liegt das daran, daß die Auflösung der Meßeinrichtung größer als der Streubereich ist. In diesem Fall wird von einer Reststreuung

$$s_r = \frac{\text{Auflösung}}{4}$$

ausgegangen und darüber die Unsicherheit berechnet.

Sind systematischen Abweichungen unbekannt, so gehen sie in die Reststreuung ein. An dieser Stelle wird deutlich, warum es sinnvoll ist die systematischen Abweichungen der Meßeinrichtung und der Prüfeinrichtung wie z.B. des Prüfstandes getrennt zu erfassen. Der Zufallsanteil wird dadurch verkleinert.

Ist die Meßunsicherheit bekannt, so ergibt sich daraus der wahre Wert durch:

$$y_R = y_A - K \pm u.$$

Auch die ermittelte Meßunsicherheit sollte in der Dokumentation der Kalibrierung angegeben werden.

5 Fähigkeits- und Eignungsnachweis

Das Ziel der Fähigkeitsuntersuchung ist der Nachweis, daß Prüfmittel inkl. der Prüfeinrichtungen bzw. des Meßverfahren am vorgesehenen Einsatzort die Einhaltung von vorgegebenen Toleranzgrenzen, die Genauigkeit der Meßergebnisse, die Wiederhol- und Vergleichspräzision der Meßergebnisse unter Einfluß von Produktionsteilen und Schichtbedingungen sowie die Stabilität der Meßergebnisse über einen längeren Zeitraum gewährleisten.

Die Fähigkeitsuntersuchung dient dazu

- merkmalsgebundene Prüfmittel abzunehmen,
- eine Prüfmittelüberwachung durchzuführen,
- Auswahlkriterien für die Prüfplanung zu schaffen,
- den Vergleich von Prüfmitteln zu ermöglichen,
- Hinweise auf Fehlerursachen zu erhalten.

Der Fähigkeitsnachweis soll mit

- einfachen, standardisierten Verfahren
- aussagekräftigen Fähigkeitskenngrößen
- und vertretbarem Aufwand

durchgeführt werden.

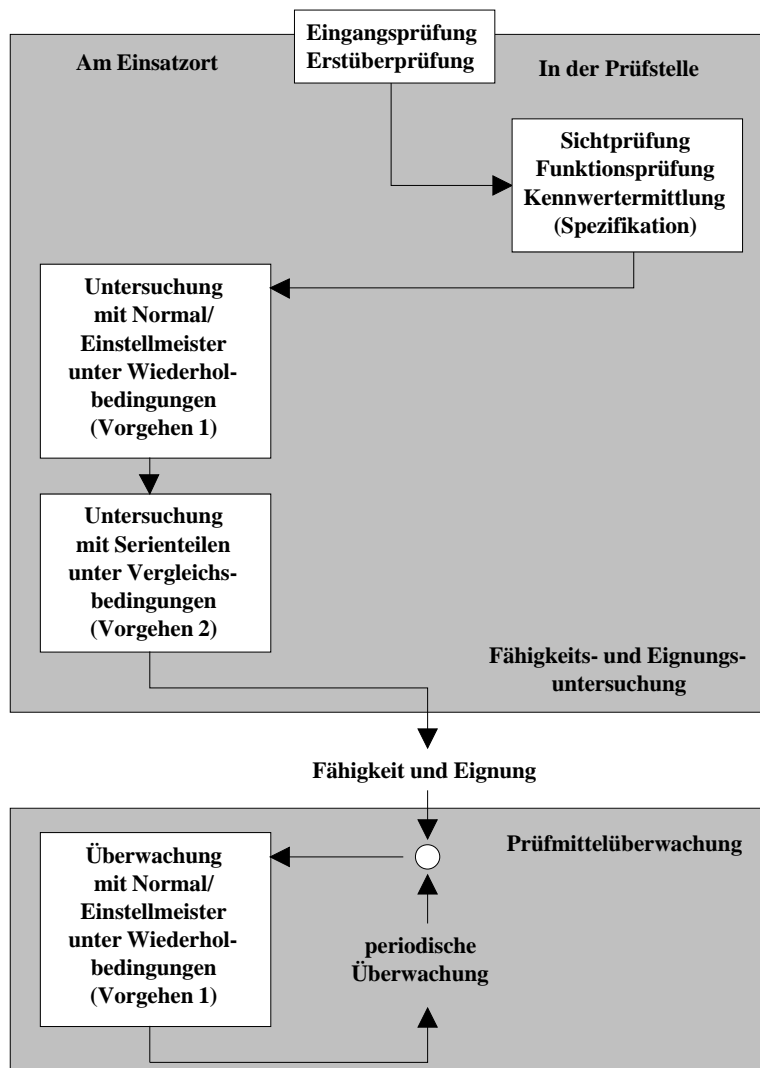


Bild 8: Ablaufplan der Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung und der Prüfmittelüberwachung

Der Fähigkeitsnachweis wird einmal und dann in der Regel vor der Inbetriebnahme eines Prüfmittels durchgeführt. Er muß immer dann wiederholt werden, wenn durch Reparatur oder Instandsetzung eine Veränderung am Prüfmittel eingetreten sein könnte.

Der Nachweis der Prüfmittelfähigkeit wird dabei zunächst unabhängig von der Umgebung und den Bedingungen des Prüfprozesses im Sinne der Abnahme von Fertigungs- und Prüfeinrichtungen durchgeführt (Bild 8). Daran schließt sich eine Eignungsuntersuchung an, die eingebunden in die Umgebung und Bedingungen des Prüfprozesses in der Regel mit Produktionsteilen erfolgt. Die Vorgehensweise für beide Nachweise ist nicht einheitlich geregelt. Es existieren heute eine Reihe von Methoden, die im wesentlichen auf firmenspezifische Forderungen basieren und sich in Details unterscheiden. Für Nutzer von Prüfmitteln, die heute noch an keine kundenspezifische Vorgabe hinsichtlich der Fähigkeitsnachweise gebunden sind, werden nachfolgend die Vorgehensweise sowie die zu verwendenden Methoden empfohlen.

5.1 Unterteilung der Prüfmittel

Alle Prüfmittel für Meßgrößen, die durch quantitative Beobachtung oder durch eine Messung gewonnen werden, lassen sich grundsätzlich dem Fähigkeitsnachweis unterziehen. Man teilt die Prüfmittel in zwei Gruppen ein die, die für die Messung einzelner Merkmale ausgelegt sind und die, die gleichzeitig mehrere Merkmale bestimmen.

Innerhalb der Gruppen unterscheidet man nach Universalmeßmittel wie z.B. die Multimeter, mit denen man unterschiedliche Merkmale in unterschiedlichen Meßbereichen messen kann, sowie meßgrößenspezifische Meßmittel, die in der Regel für einen bestimmten Anwendungszweck bzw. für spezielle Merkmale entwickelt und eingesetzt werden.

Die bekannten Methoden (z.B. [FORD 1989], [BOSCH 1990 b], [GM 1990]) des Fähigkeitsnachweises beziehen sich immer auf Meßmittel, die ein Merkmal in einem Meßbereich bestimmen. In Bild 9 ist der entsprechende Zweig mit einem * markiert. Der Nachweis wird in drei Schritten geführt: zunächst erfolgt die Prüfung der Linearität, daran schließt sich der merkmalspezifische, prozeßunabhängige Nachweis der Fähigkeit und daran der prozeßabhängige Fähigkeitsnachweis an. Während der prozeßunabhängige Nachweis am Ort des Herstellers oder Benutzers geführt werden kann, ist der prozeßabhängige Eignungsnachweis in der Regel nur am Ort des Benutzers möglich.

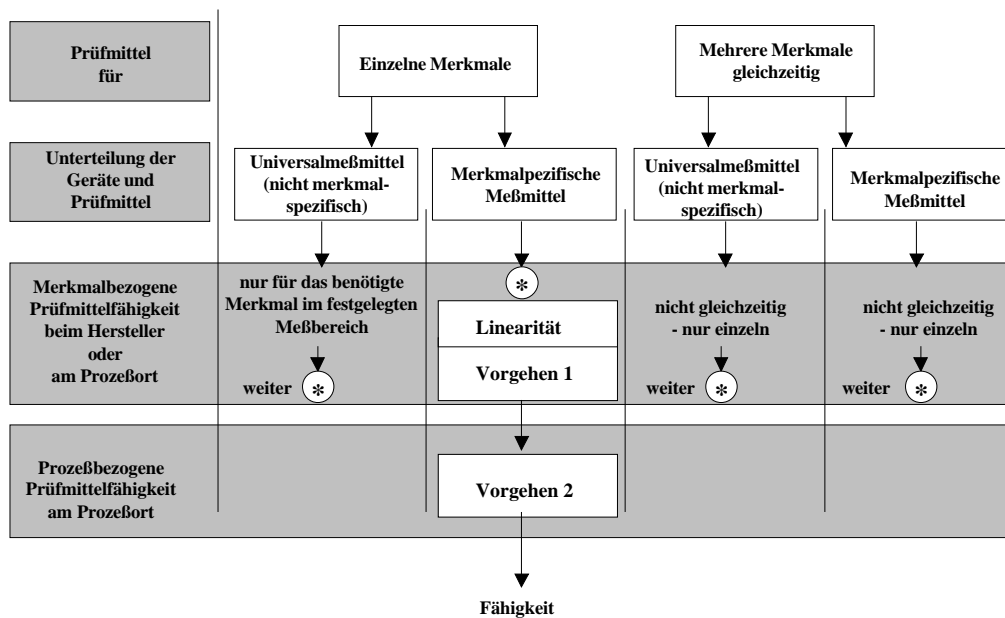


Bild 9: Gliederung der Prüfmittel und Art des Fähigkeitsnachweises

Beim Fähigkeitsnachweis für ein Universalmeßmittel muß aus Aufwandsgründen eine Beschränkung auf das Merkmal und denjenigen Meßbereich erfolgen, die für die Prüfung benötigt werden.

Entsprechendes gilt für alle Meßmittel, die gleichzeitig mehrere Merkmale messen und mit Vorgaben vergleichen. Da für einen kombinierten Fähigkeitsnachweis derzeit keine Verfahren existieren, müssen auch hier die in Betracht kommenden Merkmale einzeln und nacheinander dem Fähigkeitsnachweis unterzogen werden. Der Ablauf des Fähigkeitsnachweises erfolgt entsprechend der im Bild 9 mit * gekennzeichneten Vorgehensweise.

Diese Einschränkungen sind bereits bei der Beschaffung sowie bei der Vereinbarung der Abnahmebedingungen mit dem Prüfmittellieferanten abzustimmen.

5.2 Fähigkeitsindex c_g

Bei einer Prüfmittelfähigkeits- oder -eignungsuntersuchung wird das Streuverhalten des Prüfmittels untersucht. Über die Fähigkeit und Eignung entscheidet man anhand des Fähigkeitsindex c_g ($g \Rightarrow$ gage = Meßeinrichtung). Er drückt das Verhältnis von

$$\text{Fähigkeit} = \text{Capability} = \frac{\text{Sollen}}{\text{Können}} = \frac{\text{toleranzabhängige_Größe}}{\text{streuungsabhängige_Größe}}$$

aus. Für das Sollen wird dabei entweder die zulässige Toleranz, innerhalb derer die zu prüfenden Merkmale der Produkte liegen sollen, oder auch die Fertigungsstreuung der untersuchten Produkte eingesetzt. Für das Können kann die prüfmittelbedingte Reststreuung s verwendet werden.

Orientiert man sich dabei an der goldenen Regel der Meßtechnik [BERNDT 1952], die fordert, daß die Meßunsicherheit im allgemeinen 1/10, im äußersten Fall 1/5 der Toleranz nicht überschreiten soll, so folgt daraus ein Fähigkeitsindex

$$c_g = \frac{0,1 \cdot T}{2 \cdot s} \geq 1$$

mit

T Toleranz

s Streuung

Durch Umformung dieser Ungleichung gelangt man zu der von der DIN 2257 empfohlenen Bedingung für ein brauchbares Meßmittel

$$\frac{2 \cdot u}{T} \leq 0,1 \dots 0,2$$

Beide Ungleichungen besagen, daß ein Prüfmittel dann fähig ist, wenn die Meßunsicherheit oder der Streubereich kleiner als 1/10 bis 1/5 der Toleranz ist. Das bedeutet, daß die zufälligen Abweichungen des Prüfmittels deutlich kleiner als die zufälligen Streuungen der Prüfwerte sein sollen.

Man findet [BOSCH 1990 a] zur Berechnung des Fähigkeitsindex die Ungleichung

$$c_{gm} \geq \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s} \geq 1,33$$

Der Grenzwert von 1,33 bringt den Fähigkeitsindex in Einklang mit den Prozeß- und Maschinenfähigkeitsindizes.

Um kenntlich zu machen, durch welches Vorgehen der Fähigkeitsindex ermittelt wurde, ist zu empfehlen, bei der Verwendung eines Normals den Index N und bei Verwendung von Produktionsteilen den Index P zu verwenden:

c_{gN} : Fähigkeitsnachweis unter Verwendung eines Normals

c_{gP} : Fähigkeitsnachweis unter Verwendung von Produktionsteilen.

Als Entscheidungsschwellen für die Fähigkeit von Prüfmitteln werden folgende Grenzwerte angegeben:

$c_g < 1$	Prüfmittel ist untauglich
$1 \leq c_g \leq 1,33$	Prüfmittel ist bedingt tauglich
$1,33 \leq c_g$	Prüfmittel ist tauglich.

5.3 Untersuchung der Prüfmittelfähigkeit (Vorgehen 1)

Bei der Untersuchung der Prüfmittelfähigkeit wird das Streuverhalten, das dem Prüfmittel eigen ist, am Einsatzort mit einem Normal, deren wahrer Wert bekannt ist, ermittelt. Dadurch wird die Rückführbarkeit der Prüfergebnisse auf nationale Normale sichergestellt. Die Untersuchung wertet die Kenngrößen Genauigkeit und Wiederholpräzision aus. Nach DIN ISO 5725 ist die Wiederholpräzision das Maß der Übereinstimmungen zwischen Ergebnissen, die aus voneinander unabhängigen Messungen unter Wiederholbedingungen gewonnen wurden. Sie ist somit ein Maß für das Minimum der zu erwartenden Prüfwertstreuungen.

Falls keine anderweitigen Vereinbarungen und Festlegungen getroffen wurden, ist folgende Vorgehensweise zu empfehlen:

- Verwendung eines Normals (Kalibrator, siehe Tabelle 1)
- 20 - 50 Wiederholmessungen
- mit demselben Prüfverfahren
- am selben Anregungsort
- von demselben Bediener
- mit derselben Geräteausstattung und -einstellung
- in kurzen Zeitabständen.

Falls mehrere Merkmale der Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung unterzogen werden müssen, so ist dies in gleicher Weise durchzuführen.

Aus den Meßwerten werden der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung berechnet:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{und} \quad s_w = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

Die Beurteilung der Fähigkeit kann dann entsprechend der Vorschläge von Bosch [BOSCH 1990 b] oder Ford [FORD 1989] geführt werden.

Falls die Toleranz nicht bekannt ist - und das ist im Bereich der akustischen Qualitätssicherung eigentlich die Regel, so wird mit der Prozeßstreuung gearbeitet. Dabei muß man sich aber darüber im Klaren sein, daß die Fähigkeit auf diese Größe erheblich empfindlicher reagiert als auf die Toleranz.

Der Unterschied zwischen der Bosch- und Ford-Methode liegt lediglich in den unterschiedlichen Faktoren sowie den unterschiedlichen Grenzwerten. Die Ergebnisse beider Methoden stimmen aber weitgehend überein.

	nach Bosch	nach Ford
Wiederholpräzision	$= 6 s_w$	$= 6 s_w$
Fähigkeitskennwert	$c_{g,T} = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_w}$ <p>oder</p> $c_{g,S} = \frac{0,2 \cdot s_{\text{Prozeß}}}{6 \cdot s_w}$	$c_{g,T} = \frac{0,15 \cdot T}{6 \cdot s_w}$ <p>oder</p> $c_{g,S} = \frac{0,15 \cdot s_{\text{Prozeß}}}{6 \cdot s_w}$
Schwellenwerte	$c_g < 1$ Prüfmittel ist untauglich $1 \leq c_g \leq 1,33$ Prüfmittel ist bedingt tauglich	$c_g < 1$ Prüfmittel ist untauglich $c_g \geq 1$ Prüfmittel ist tauglich.

	$1,33 \leq c_g$ Prüfmittel ist tauglich.	
--	--	--

Tabelle 3: Beurteilung der Prüfmittelfähigkeit

5.4 Untersuchung der Prüfmittleignung (Vorgehen 2)

Die Untersuchung der Prüfmittleignung setzt auf die Fähigkeitsuntersuchung auf. Die Fähigkeit des Prüfmittels ist also Voraussetzung. Mit der Eignungsuntersuchung wird geklärt, ob das Prüfmittel für den vorliegenden Prozeß geeignet ist. Der Nachweis erfolgt also unter Prozeßbedingungen mit Produktionsteilen.

Dieses Verfahren ermittelt anhand der Wiederhol- und Vergleichspräzision die Gesamtstreuung einschließlich der Einflüsse. Laut DIN ISO 5725 ist die Vergleichspräzision das Maß der Übereinstimmung zwischen den Prüfergebnissen, die unter Vergleichsbedingungen gewonnen werden. Sie stellt somit das Maximum der zu erwartenden Meßstreuung dar.

Falls keine anderweitigen Vereinbarungen und Festlegungen getroffen wurden, ist folgende Vorgehensweise zu empfehlen:

- Verwendung von ca. 10 Produktionsteilen (repräsentative Stichprobe)
- 2 Wiederholmessungen je Produktionsteil
- mit demselben Prüfverfahren
- am selben Anregungsort
- von demselben Bediener
- mit derselben Geräteausstattung und -einstellung
- in kurzen Zeitabständen.

Die Meßwerte werden also neben den Streuungen des Prüfmittels die Streuungen der Produktionsteile enthalten. Aus der Auswertung der unterschiedlichen Streuungen ergibt sich die Eignung des Prüfmittels.

Vorgehensweise:

1. Man berechnet die Differenz der beiden an einem Teil ermittelten Meßwerte unter Berücksichtigung des Vorzeichens (Meßreihe 1 minus Meßreihe 2)
2. Man berechnet die Standardabweichung der Differenzen und hieraus die Standardabweichung s_p :

$$s_p = \frac{s_\Delta}{\sqrt{2}}$$

3. Unter Verwendung der Standardabweichung s_p berechnet man den Fähigkeitskennwert c_{gpk}

$$c_{gpk} = \frac{0,133 \cdot T}{K_N - 2 \cdot s_p}$$

4. Ist $c_{gpk} < 1,33$, so wird ein c_{gp} -Wert ohne die systematische Abweichung K_n ermittelt

$$c_{gp} = \frac{0,133 \cdot T}{2 \cdot s_p}$$

Fallunterscheidung:

Fall	Eignung
$c_{gpk} > 1,33$	Prüfmittel ist geeignet
$1,33 > c_{gpk} \geq 1$	Prüfmittel ist bedingt geeignet
$c_{gpk} < 1$	Prüfmittel ist nicht geeignet

5.5 Maßnahmen

Sollte sich herausstellen, daß die Fähigkeitskennwerte $< 1,33$ sind, so bestehen folgende Möglichkeiten

1. mehrmalige Messung und Berechnung der Mittelwerte über diese Meßwerte; Beurteilung anhand der Mittelwerte
2. häufigeres Kalibrieren und Justieren, um die Abweichungen der Mittelwerte vom wahren Wert zu reduzieren
3. falls beide Maßnahmen nicht greifen, da die physikalischen Grenzen der Meßtechnik eine Verbesserung verhindern, ist das Prüfverfahren oder die Umgebungsbedingungen zu optimieren, um die Fähigkeit und Eignung zu erzielen.

6 Überwachung des Prüfmittels

Da Prüfmittel u.a. durch Verschleiß oder durch Umgebungseinflüsse potentiell fehlerhaft sein können, ist es nach dem Stand der Technik erforderlich, die Prüfmittel zu überwachen. Die Prüfmittelüberwachung ist daher ein wesentlicher Bestandteil der Qualitätssicherung. Die akustischen Prüfmittel, die in den verschiedenen Bereichen eines Betriebes wie z.B. Entwicklung, Werkzeugbau, Instandhaltung, Produktion, Montage, Qualitätswesen und Kundendienst eingesetzt werden, unterliegen der Prüfmittelüberwachung. DIN ISO 9001 sagt dazu in Abschnitt 4.11 (Prüfmittel): "Der Lieferant eines Produktes muß im Hinblick auf den Nachweis, daß Produkte die festgelegte Qualitätsforderung erfüllen, die Prüfmittel überwachen, kalibrieren und instandhalten, gleichgültig, ob sie ihm gehören, ob sie ausgeliehen oder vom Auftraggeber beigestellt sind."

Voraussetzung für den Einsatz von Prüfmitteln ist also das befriedigende Ergebnis einer Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung. Durch die Prüfmittelüberwachung wird die regelmäßige Kalibrierung der Prüfmittel und damit die Rückführbarkeit der Meßergebnisse auf nationale Normale gewährleistet. Die Prüfmittelüberwachung entspricht damit den "Anerkannten Regeln der Technik", wie sie den einschlägigen nationalen und internationalen Regelwerken, Normen, behördlichen Vorschriften und vertraglichen Vereinbarungen zugrundeliegen.

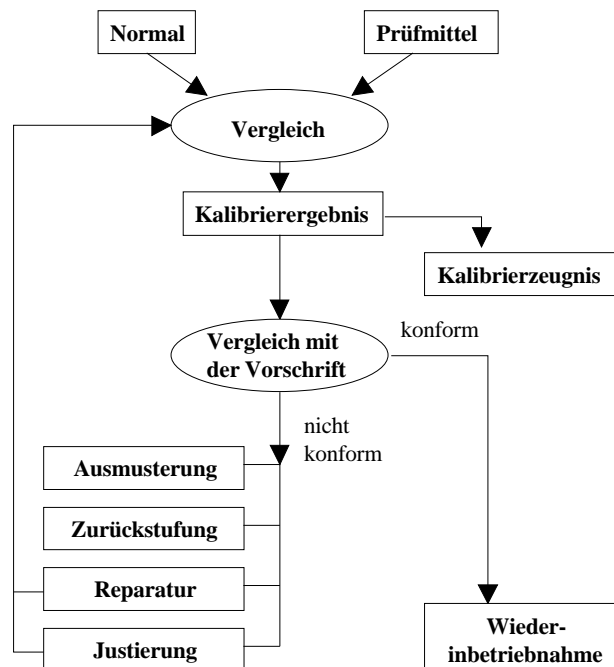


Bild 10: Ablauf der Prüfmittelüberwachung

Ziel der Prüfmittelüberwachung ist es, die Stabilität des Prüfmittels zu beobachten und Abweichungen rechtzeitig zu erkennen. Die Überwachung der akustischen Prüfmittel erfolgt entsprechend Vorgehen 1. Die Prüfung des Prüfmittels beruht auf dem Vergleich mit einem Normal. Ein Eingriff in das Prüfmittel kann lediglich vor der Überwachungsprüfung stattfinden.

Die Ergebnisse der Kalibrierung im Zuge der Überwachung werden in einem Kalibrierdokument festgehalten, mit dessen Hilfe die mit dem Gerät erzielte Meßunsicherheit (hier die systematische Abweichung) verringert und die Dauer des Prüfintervalls bestimmt werden kann.

Das Ergebnis der Überwachung dient dem Nachweis, ob das Prüfmittel den festgelegten Vorschriften genügt. Die Stabilität des Prüfmittels läßt sich am einfachsten mit einer Regelkarte überwachen. Die Ergebnisse der laufenden Überwachungen werden in die Regelkarte eingetragen. Die Historie sowie Veränderungen und Trends sind so am schnellsten zu erkennen.

Mit Hilfe der regelmäßigen Überwachung ist eine Rückverfolgung der Prüfergebnisse und damit eine Aussage über die Zuverlässigkeit der Prüfung möglich. Dazu sind folgende Schritte notwendig:

1. das Prüfmittel muß vor der Inbetriebnahme erfaßt werden;
2. es muß eine Identifikation und Kennzeichnung des Prüfstatus erhalten;
3. es ist eine Prüfanweisung zu erstellen, aus der die Periodizität der Überwachung sowie die damit verbundenen Überwachungs- und Meßaufgaben hervorgehen

Sofern es keine standardisierte Kalibriervorschrift für das Prüfmittel gibt, ist die Kalibrierbasis zu beschreiben und dokumentieren.

7 Zusammenfassung

Die Anwendung der Kalibrierung sowie der Fähigkeits- und Eignungsuntersuchungen auf die akustischen Meßmitteln ist im Sinne der DIN EN ISO 9001 ff. dann zwingend notwendig, wenn diese Meßmittel zur Einhaltung von festgelegten Qualitätsvorgaben eingesetzt werden. Sie unterliegen damit der systematischen Prüfung und Beobachtung. Der Nutzen dieser Maßnahmen ist die Rückführbarkeit der Prüfergebnisse auf nationale oder vereinbarte Normale, die Rückverfolgbarkeit der Prüfergebnisse sowie die Aufdeckung von systematischen und zufälligen Einflüssen.

Natürlich ist diese Kalibrierung sowie der Fähigkeits- und Eignungsnachweis mit Aufwand verbunden. Der Gewinn liegt in den Informationen, die man aus den Ergebnissen zieht. Eine zuverlässige Qualitätsprüfung ist nur mit fähigen Prüfmitteln möglich. Meßunsicherheiten, die durch den Fähigkeits- und Eignungsnachweis aufgedeckt werden, können den Ursachen zugeordnet werden. Nutzt man diese Information konsequent, so trägt es zur Verbesserung der Produkte, zur Absicherung der Qualität sowie zur Vertrauensbildung zwischen Kunden und Lieferant bei.

Daß die Prüfmittelüberwachung sowie Fähigkeits- und Eignungsuntersuchungen heute für akustische Prüfmittel noch nicht unbedingt selbstverständlich sind, liegt in technischen Schwierigkeiten sowie in dem damit verbundenen Aufwand begründet. Es ist deswegen notwendig, erste Schritte zu tun und mit einfachen, praktikablen Verfahren anzufangen. Dieses nicht zu tun, bedeutet, die akustische Qualitätssicherung nicht ernst zu nehmen und akustische Meßmittel lediglich als Betriebsmittel einzustufen. Sie ohne diese Maßnahmen für die Qualitätsprüfung von Produkten heranzuziehen, ist dann gemäß DIN ISO 9000 ff. nicht zulässig.

8 Literatur

- [BERNDT 1952] G. Berndt: Maß und Messen. Betriebshütte 4. Aufl. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1952
- [BOSCH 1990 a] Schriftenreihe: Qualitätssicherung in der Bosch-Gruppe. Technische Statistik - Maschinen und Prozeßfähigkeit. Heft 9 (1990)
- [BOSCH 1990 b] Schriftenreihe: Qualitätssicherung in der Bosch-Gruppe. Technische Statistik - Fähigkeit von Meßeinrichtungen. Heft 10 (1990)
- [DIN 1319] DIN 1319 Blatt 1: Grundbegriffe der Meßtechnik. Messen, Zählen, Prüfen. August 1983
- DIN 1319 Blatt 2: Grundbegriffe der Meßtechnik. Begriffe für die Anwendung von Meßgeräten. August 1983
- DIN 1319 Blatt 3: Grundbegriffe der Meßtechnik. Begriffe für die Meßunsicherheit und für die Beurteilung von Meßgeräten und Meßeinrichtungen. August 1983
- [DIN ISO 5725] DIN ISO 5725: Bestimmung der Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit durch Ringversuche. November 1981
- [DIN EN ISO 9001] DIN EN ISO 9001: Qualitätssicherungssysteme - Modell zur Darlegung der Qualitätssicherung in Design/Entwicklung, Produktion, Montage und Kundendienst. Beuth Verlag, Berlin 1990

[DIN ISO 8402]	DIN ISO 8402: Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung (Begriffe)
[DGQ 1987]	Begriffe im Bereich der Qualitätssicherung. DGQ-Schrift Nr. 11-04, Beuth Verlag, Berlin 1987
[FORD 1989]	Fähigkeit von Mess-Systemen und Messmitteln. EU 1808 B, Ford 1989
[GM1990]	Measurement Systems Analysis. Chrysler, Ford, General Motors, Michigan 1990

