

# Festlegung der Kalibrier- oder Nutzungsintervalle von Messmitteln

**Bernd Pesch**, Pesch Consult, D-53909 Zülpich

## **Kurzfassung**

Zunächst wird dargestellt, warum ein Programm für die Festlegung und Überwachung von Kalibrierintervallen notwendig ist. Dann wird eine Methode zur Festlegung und kontinuierliche Anpassung der Intervalle auf der Basis gesicherter statistischer Informationen beschrieben. Diese Festlegung ist unabdingbar, um bei der Bestimmung der Messunsicherheit belastbare Aussagen zu den eingesetzten Messmitteln in die Messunsicherheitsbilanzen einbringen zu können.

## **Abstract**

First of all, it is shown, why a program for the definition and monitoring of calibration intervals is necessary. Then a method for the definition and continuous adjustment of these intervals on the basis of well-defined statistical information is described. This determination is indispensable to be able to make reliable statements on the instruments used in the measurement uncertainty calculations.

## **1 Forderungen**

Spätestens seit der Novellierung der Qualitätsmanagementnorm DIN EN ISO 9001 [1] ist der risikobasierte Denkansatz im Qualitätsmanagement angekommen. Bei Dienstleistungen ist demnach nun gefordert, Chancen und Risiken zu bewerten und berücksichtigen. Über die DIN EN ISO/IEC 17025 [2] wird dieser Ansatz auch für das metrologische Arbeiten relevant. Die kontinuierliche Bewertung der Verlässlichkeit der Normale und der Risiken des Betriebs – beispielsweise bei möglichen Überschreitungen der festgelegten Spezifikationen – ist nun notwendig. Sie ergibt sich neben der normativen Forderung auch aus der Notwendigkeit, die Rückführung der Messgrößen sicherzustellen. Die Verlässlichkeit der Normale wird wiederum durch die Festlegung angemessener Kalibrierintervalle maßgeblich beeinflusst.

Normativ lassen sich die Forderungen nach einem Programm zur Festlegung von Kalibrierintervallen indirekt aus DIN EN ISO/IEC 17025 [2] Pkt. 5.5.2 oder Pkt. 5.6.1 ableiten. Eine direkte Forderung ist in der DIN EN ISO 10012:2012 [3] zu finden:

### Intervalle der metrologischen Bestätigung

*Die für die Festlegung oder Änderung der Intervalle zwischen den metrologischen Bestätigungen verwendeten Methoden müssen in dokumentierten Verfahren beschrieben werden. Diese Intervalle müssen überprüft und gegebenenfalls angepasst werden, um die fortgesetzte Übereinstimmung mit den festgelegten metrologischen Anforderungen sicherzustellen.*

Zitat aus DIN EN ISO 10012:2012 [3], Pkt. 7.1.2

## **2 Bezüge, Quellen und Vorschläge für die Festlegungen**

Den Forderungen stehen im europäischen Raum aber kaum belastbare Grundlagen gegenüber:

- ILAC-G5 [4] (zurückgezogen) und ILAC-G24/OIML D-10 [5]

Die zwei Dokumente ILAC-G5 (zurückgezogen!) und ILAC-G24/OIML D-10 bleiben vage und geben lediglich organisatorische Hilfen. ILAC-G24/OIML D-10 schlägt folgende Verfahren vor:

- Methode 1 - Treppenstufen („Staircase method“): Für die Spezifikationen werden zunächst engere Prüfgrenzen als die anzuwendenden Spezifikationsgrenzen festgelegt. Mit jeder Kalibrierung bei der die Prüfgrenzen eingehalten werden, wird das Kalibrierintervall automatisch verlängert. Ansonsten ist es zu verkürzen<sup>1</sup>.
- Methode 2 – Kalibrierkontrollkarten: Diese waren (und sind) die wichtigsten Werkzeuge der statistischen Qualitätskontrolle. Ergebnisse der Kalibrierungen werden auf den Karten aufgezeichnet. Abhängig von den Aufzeichnungen erfolgt die Anpassung der Kalibrierintervalle. Es wird darauf hingewiesen, dass dieses Verfahren bei komplexen Messmitteln sehr aufwendig ist. Wie die Aufzeichnungen auszuwerten sind, bleibt offen.
- Methode 3 – Betriebszeiten („In use time“): An Stelle der verstrichenen Zeit seit der letzten Kalibrierung wird die tatsächliche Nutzungszeit erfasst. Hierzu sollten die Messmittel mit entsprechenden Aufzeichnungsgeräten versehen werden.
- Methode 4 – Black Box Testing: Hier werden neben den üblichen Kalibrierintervallen in kurzen Intervallen Stabilitätsmessungen ausgewählter Größen (beispielsweise gegen eine Black Box, die lediglich stabile Messeigenschaften haben muss) durchgeführt. Wenn die Abweichungen gegenüber den letzten Stabilitätsmessungen zu groß werden

---

<sup>1</sup> Sinnvoller wäre ein dreistufiges Modell (Beispiel: Prüfgrenze 75 %. Bei Erfüllung der Prüfgrenze gibt es eine Verlängerung; im Bereich 75 % bis 100 % der Spezifikation bleibt das Intervall und bei einer Überschreitung der Spezifikation erfolgt eine Verkürzung). ILAC geht in diesem Zusammenhang bei den notwendigen Konformitätsaussagen nicht auf die Berücksichtigung der erweiterten Messunsicherheit ein.

und somit auf eine Drift hindeuten, wird das Messmittel automatisch aus dem Einsatz genommen und eine „vollständige“ Kalibrierung durchgeführt<sup>2</sup>.

- DIN ISO 10012, Teil 1 – Messmanagementsysteme [6]

Diese Norm nennt Vorgaben, wie ein System zur Festlegung von Kalibrierintervallen vom Labor betrieben werden muss.

- DIN EN ISO/IEC 17025 [2]

Die „Basisnorm zum Betrieb von Prüf- und Kalibrierlaboren“ spricht die Festlegung von Intervallen nicht explizit an.

Hingegen wird dieser Thematik in den USA wesentlich mehr Aufmerksamkeit gewidmet:

- Wyatt, Castrup: Managing Calibration Intervals [7]

Die Ansätze der amerikanischen Autoren Donald W. Wyatt<sup>3</sup> und Howard T. Castrup<sup>4</sup> in [7] sind wesentlich konkreter. Aber auch in amerikanischen Gremienarbeiten, wie im Rahmen der NCSL-I<sup>5</sup>, bei der NASA<sup>6</sup> und der USAF<sup>7</sup> ([8], [9] und [10]) wurden numerisch belastbare Lösungen erarbeitet. Diese Programme werden in der Praxis mindestens seit 2008 umgesetzt und können als stabil und validiert angesehen werden.

Wyatt/Castrup stellen zunächst dar, dass Systeme zur Ermittlung und Anpassung von Kalibrierintervallen verschiedene Zielsetzungen haben sollten. Sinngemäß aus obigen Quellen zusammengefasst:

- Ziele für die Zuverlässigkeit von Messergebnissen korrespondieren mit der Messunsicherheit und Forderungen an die Entscheidungskriterien in Sinne des Risikomanagements möglicher falscher Entscheidungen. Je größer die Messunsicherheit ist, desto größer ist das Risiko für falsche Entscheidungen.

Anmerkung: Dieses Ziel nimmt die Forderungen des Risikomanagements aus den novellierten Normen DIN EN ISO 9001 und DIN EN ISO/IEC 17025 vorweg.

---

<sup>2</sup> Diese Methode kann nur Stabilitätsindizes liefern, denn es könnte ja auch die Black Box driften. Zudem bleiben Messabweichungen abseits der geprüften Messgrößen eventuell unentdeckt. Driften die Black Box und das eingesetzte Messmittel in die gleiche Richtung, liefern die Stabilitätsmessungen sogar eine trügerische Sicherheit.

<sup>3</sup> Diversified Data Systems Inc., Tucson, Arizona, USA

<sup>4</sup> Integrated Sciences Group, San Dimas, California, USA

<sup>5</sup> NCSL-I: National Conference of Standard Laboratories – International Section

<sup>6</sup> NASA: National Air & Space Administration

<sup>7</sup> United States Air Force

- Kalibrierintervalle sind mit dem Risikomanagement verknüpft. Je länger Kalibrierintervalle gewählt werden, desto größer ist das in Kauf zu nehmende Risiko für Fehlentscheidungen. Eine Risikoanalyse ist in diesem Falle sinnvoll (Anmerkung: nach ISO 9001 sogar notwendig).
- Kalibrierintervalle müssen im Hinblick auf die Kosten (der Kalibrierung) gewählt werden.
- Korrekte Kalibrierintervalle sollten schnellstmöglich etabliert werden. Dies bedeutet, dass gerade bei neu in Gebrauch kommende Messmittel eine schnelle Anpassung angestrebt werden sollte.
- Analytische Ergebnisse sollten schnell und transparent zu erzielen sein. Methoden zur Anpassung der Kalibrierintervalle sollten in automatisierte Entscheidungsprozesse eingebunden werden können.

Diese Ziele können nicht alle parallel verfolgt werden.

### 3 Das reale zeitliche Messmittelverhalten

Die Kenntnis über die Messabweichung von Messmitteln wird als Funktion der verstrichenen Zeit seit der letzten Kalibrierung immer unsicherer. Verschiedene Effekte überlagern sich und sind nicht eindeutig zu trennen. Der Erwartungswert einer Messung verschiebt sich in Abhängigkeit von Benutzungshäufigkeit, Belastung des Messmittels, Pflege, Sauberkeit, thermische Wechsel und vielen anderen Gründen. Er driftet. Zudem wird die Kenntnis um diese Lage kontinuierlich unsicherer. Auch bei einem bestmöglichen Messmittel würden obige Effekte irgendwann zu einer Überschreitung festgelegter Spezifikationsgrenzen führen.

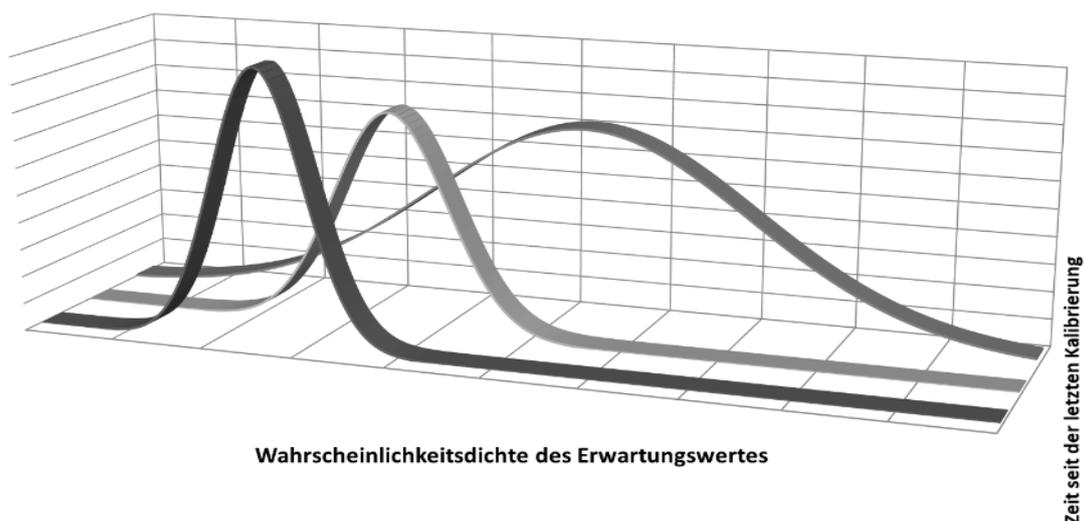


Abbildung 1: Drift von Messmitteleigenschaften

## 4 Vorgehensweise

Die Erkenntnissicherheit kann nur durch erneute Kalibrierungen wiederhergestellt werden. Angemessene Intervalle können nach folgendem Vorgehen definiert werden.

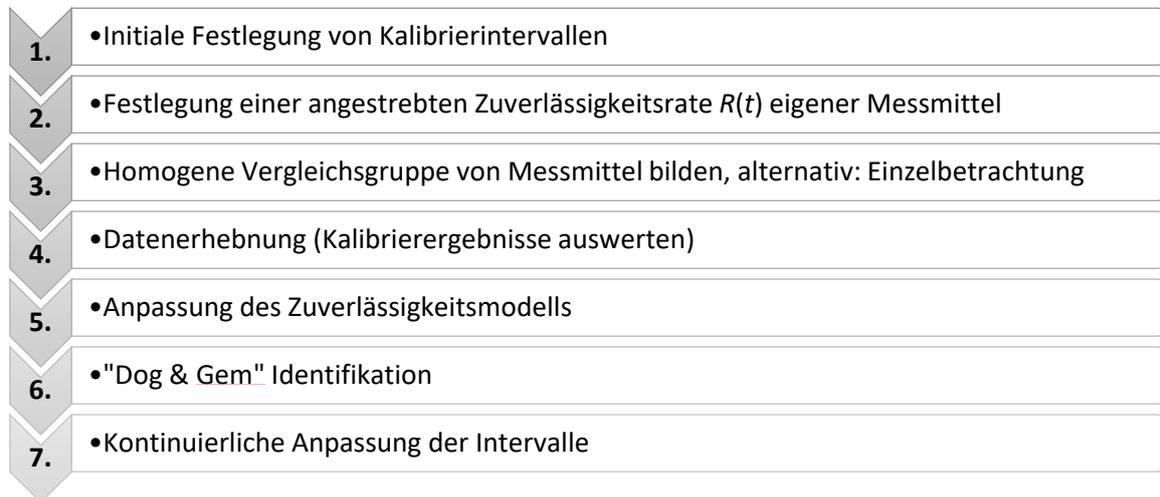


Abbildung 2: Prozess zur kontinuierlichen Anpassung von Kalibrierintervallen

### 4.1 Initiale Festlegung von Intervallen

So lange keine eigenen gesicherten Informationen und Historien vorliegen, helfen nur Vergleiche mit anderen Messmittel. Bereits jetzt können aber schon viele relevante Einflüsse berücksichtigt werden. ILAC-G24 [5] nennt hierzu unter anderem:

- Benötigte Messunsicherheit im Labor oder externe metrologische Forderungen
- Risiko, dass ein Messmittel die maximal zulässige Abweichung im Betrieb überschreitet.
- Verursachte Kosten, wenn (nachträglich) festgestellt wird, dass ein Messmittel länger Zeit außerhalb der Spezifikationen betrieben wurde
- Art des Messmittels
- Tendenz zur Drift
- Herstellerempfehlung
- Nutzungshäufigkeit und Intensität
- Umgebungsbedingungen
- Historie und (Reparatur-)lebenslauf
- Häufigkeit und Qualität von sonstigen Vergleichsmessungen
- Transport und hiermit verbundene Risiken
- Qualifikation des Nutzers

Anpassungen von Kalibrierintervallen sind Reaktionen auf die fortgeschriebene Informationslage. In der Praxis revidieren nur wenige Labore die Anfangsfestlegungen. Dabei gibt es viele Gründe, warum kontinuierliche Anpassungen notwendig sein können:

- Auf der Basis von Herstellerempfehlungen übernommene Intervalle berücksichtigen oft wirtschaftliche Interessen der Hersteller (Serviceverträge und der Verkauf der Dienstleistung „Kalibrierung“ einerseits oder die Präsentation eines Messmittels als besonders servicefreundlich andererseits).
- Messmittel altern mit der Zeit und ändern ihre Eigenschaften dann möglicherweise mit anderem Tempo. So gibt es Messmittel, die sich erst nach Jahren des Gebrauchs stabilisieren (typische Beispiele sind „elektrische Maßverkörperungen“, wie Widerstände, Induktivitäten und Kondensatoren, Widerstandsthermometer, oder auch Quarzoszillatoren). Man nennt diese Stabilisierungsphase auch „Einbrennen“. Andere Messmittel beginnen mit der Zeit stärker zu driften und verlieren an Präzision.
- Die Nutzung eines Messmittels ist deutlich geringer oder stärker als erwartet.
- Die Qualitätspolitik und die Qualitätsziele einer Firma ändert sich.

#### 4.2 Wahl der Zuverlässigkeitsrate

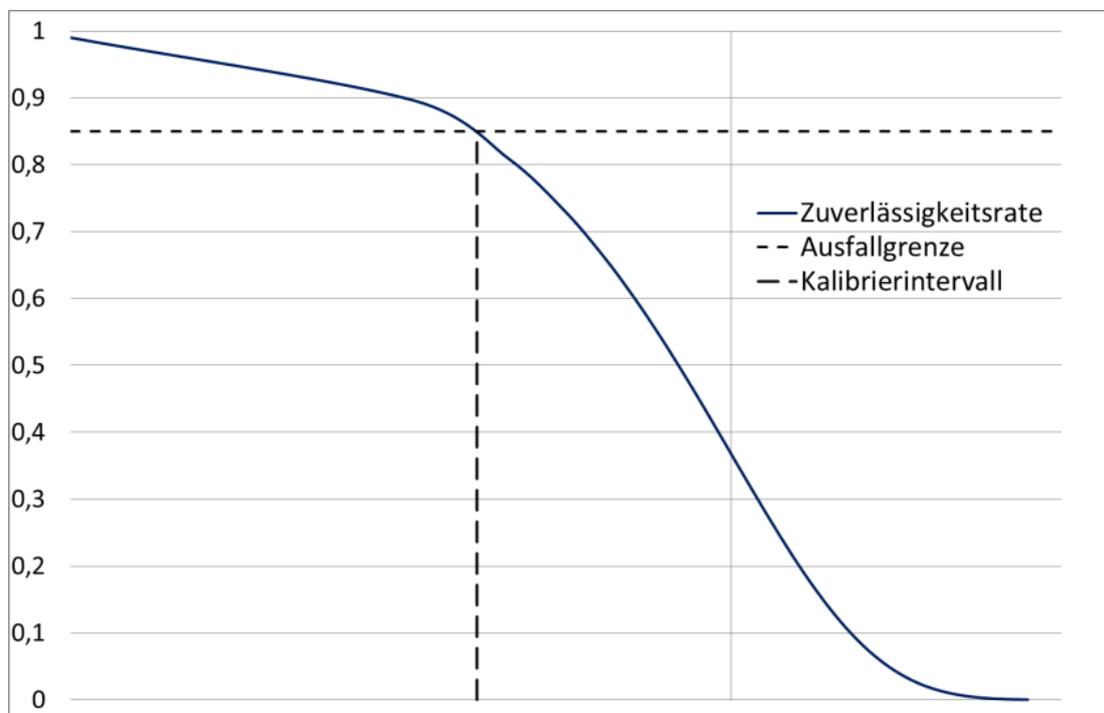


Abbildung 3: Zuverlässigkeit eines Messmittels im Gebrauch

Obige Grafik zeigt die seit dem Zeitpunkt der letzten Kalibrierung kontinuierlich abfallende Zuverlässigkeit (die Zeitachse  $x$  ist logarithmisch dargestellt). Entsprechend der eigenen Firmenphilosophie wird ein „End-of-term“ Zuverlässigkeitsniveau  $R(t)$ <sup>8</sup> definiert. Im obigen Falle beträgt dieses Niveau 0,85. Dies bedeutet, dass zum Ablauf des Kalibrierintervalls maximal 15 % der Messmittel ihre Spezifikationsgrenzen überschritten haben dürfen. Dieses Niveau wird beispielsweise von der US Air Force [10] genutzt. In manchen Firmen geht man sogar von Niveaus von 0,95 oder noch höher aus. Derart hohe Anforderungen sind in aller Regel unrealistisch und wirtschaftlich kaum erfüllbar. Immerhin ist hier zu beachten, dass lediglich der Messmittelzustand zum Intervallende beschrieben wird und die Zuverlässigkeit im Nutzungszeitraum wesentlich höher ist.

### 4.3 Bildung von Vergleichsgruppen

Die Messmittel werden nach gleichartigen Merkmalen klassiert:

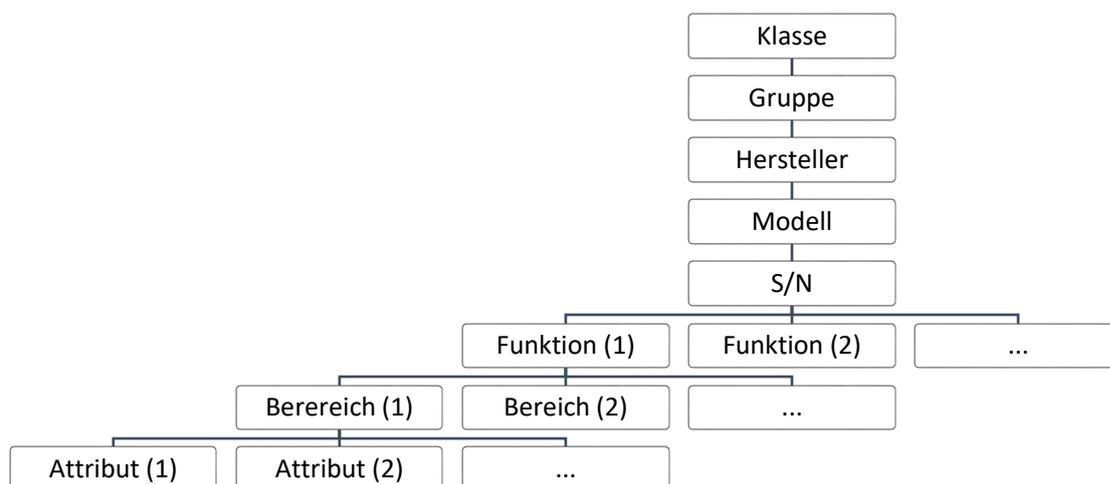


Abbildung 4: Beispiel der Klassierungsebenen der Messmittel

Beispiel:

Klasse und Gruppe	Labornormale, Digitalmultimeter
Hersteller, Modell, S/N	Fluke 8508A, ###
Funktion, Bereich, Attribut	Widerstandsmessung, 2 k $\Omega$ , Low Current

Prinzipiell können auf alle Ebenen Spezifikationen und Kalibrierintervalle festgelegt werden, die von einer Ebene zu unteren Ebenen vererbt werden können. Kalibrierintervalle werden üblicherweise auf der Modellebene festgelegt. Ausnahmen sind möglich.

<sup>8</sup>  $R(t)$ : Reliability

#### 4.4 Datenerhebung – Auswertung der Kalibrierergebnisse

Die bei Kalibrierungen festgestellten Ergebnisse werden hinsichtlich der Spezifikationsüberschreitungen ausgewertet. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze, um statistisches Material zu erhalten.

Horizontale Datenerhebung: Die Messmittel werden individuell über die Zeitschiene bewertet. Dieses Verfahren bietet sich für kleine Vergleichsgruppen oder einzelne Geräte an.

Vertikale Datenerhebung: Vertikale Datenerhebungen gehen nicht auf individuelle Gerätebewertungen ein, sondern betrachten eine größere Gesamtheit auf der Klassierungsebene nach Abbildung 4 in einem festgelegten Vergleichszeitraum, beispielsweise eines Jahres.

Zweidimensionale Datenerhebung: Ein kombiniertes zweidimensionales Vorgehen berücksichtigt einerseits individuelle Eigenschaften und andererseits die breitere Erfahrung mit allen gleichartigen Messmitteln. Eine Gewichtung der individuellen Merkmale gegenüber den Gruppenmerkmalen ist in diesem Falle notwendig.

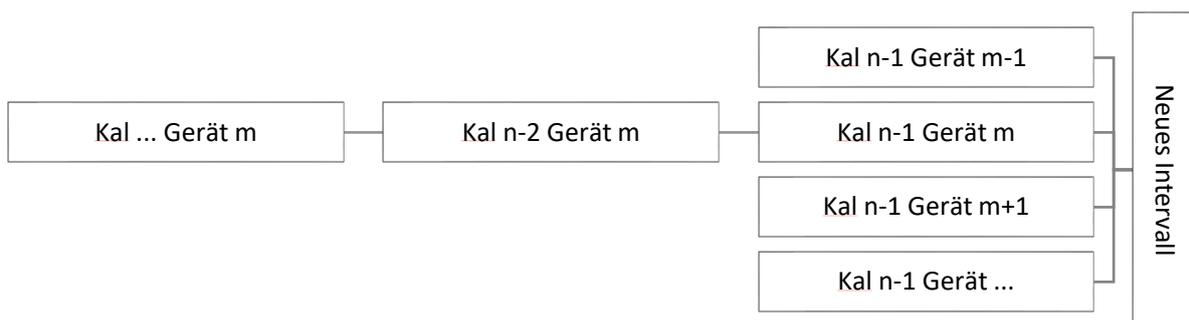


Abbildung 5: Kombiniertes Verfahren zur Datenerhebung

#### 4.5 Anpassung des Zuverlässigkeitsmodells

Zur Ermittlung eines angepassten Intervalls (engl. „revised intervall“) wird zunächst folgende Definition benötigt: „Die bei einer Kalibrierung festgestellte Spezifikationsüberschreitung ist als „Failure“, als Ausfall, zu betrachten, da das Messmittel in dem festgestellten Zustand nicht mehr einsatzklar ist.“

Weiterhin werden folgende Axiome angewendet:

- Axiom 1: Als Entscheidungskriterium wird ausschließlich das Überschreiten mindestens einer Spezifikationsgrenze gesehen. Es ist für die Bewertung irrelevant, ob einzelne oder mehrere Parameter eines Messmittels Spezifikationen überschreiten.

- Axiom 2: Die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Messmittels während der Kalibrierung wird analog zu [8] durch folgende Funktion entsprechend der in der Elektrotechnik (vgl. DIN EN IEC 61709, [11]) gebräuchlichen Bestimmung der sogenannten „Mean Time Between Failure“ (MTBF) ausreichend gut beschrieben:

$$F(\Delta t) = 1 - e^{-\frac{\Delta t}{MTBOOT}} \quad (1)$$

$\Delta t$             Aktuelles Kalibrierintervall

$F(\Delta t)$         Ausfallrate, abhängig vom Zeitintervall  $\Delta t$  mit:  $0 < F(\Delta t) < 1$ . Die Grenzwerte 0 und 1 werden nur in der Theorie erreicht.

$MTBOOT$         „Mean time between out of tolerance“ (Mittlere Zeit zwischen zwei Ausfällen)

An Stelle  $F(\Delta t)$  wird zur späteren Vereinfachung die Zuverlässigkeitsrate  $R(\Delta t)$  – betrachtet<sup>9</sup>:

$$R(\Delta t) = 1 - F(\Delta t) = e^{-\frac{\Delta t}{MTBOOT}} \quad (2)$$

Zielsetzung: Gesucht wird das zu einer (zukünftig) geltenden Zuverlässigkeitsrate gehörende Intervall  $\Delta t_{n+1}$ . Zu diesem Zeitpunkt wird ein vorgegebener Anteil an Messmitteln  $R_{n+1}$  die Spezifikationen mit hinreichender Sicherheit noch erfüllen. Für diesen Fall wäre zu lösen:

$$R(\Delta t_{n+1}) = e^{-\frac{\Delta t_{n+1}}{MTBOOT}} \quad (3)$$

Die Parameter  $\Delta t_{n+1}$  und  $MTBOOT$  sind noch unbekannt. Allerdings kann  $MTBOOT$  aus den aktuellen Verhältnissen mit bekanntem  $R_n$  und  $\Delta t_n$  ermittelt werden und gilt auch für  $R_{n+1}$  und  $\Delta t_{n+1}$ :

$$MTBOOT = -\frac{\Delta t_n}{\ln(R_n)}, \quad MTBOOT = -\frac{\Delta t_{n+1}}{\ln(R_{n+1})} \quad (4)$$

Weitere Notation:

$R_n$                 Zuverlässigkeitsrate zum aktuellen Intervalls  $\Delta t_n$

$R_{n+1}$             Angestrebte Zuverlässigkeitsrate für das kommende, novellierte Intervall  $\Delta t_{n+1}$

Es gilt bei Gleichsetzung über  $MTBOOT$ :

$$-\frac{\Delta t_n}{\ln(R_n)} = -\frac{\Delta t_{n+1}}{\ln(R_{n+1})}, \quad \Delta t_{n+1} = \Delta t_n \cdot \frac{\ln(R_{n+1})}{\ln(R_n)} \quad (5), (6)$$

Diese Gleichung für ein „Revised Interval“ entspricht etwa dem Ansatz A3 aus [8].

#### 4.6 Dog & Gem Management

Um einen homogenen Messmittelbestand zu erhalten, sind Ausreißertests sinnvoll. Nach amerikanischer Lesart wird die Ursprungsdatenmenge um „Dogs and Gems“ bereinigt. Als Dogs (Hunde) bezeichnet man Messmittel, die sich als deutlich weniger zuverlässig erwiesen haben als das Gros der Vergleichsdatenmenge. Gems (Edelsteine) sind Messmittel, die wesentlich zuverlässiger als die Allgemeinheit sind.

Für Dogs ist zu überlegen, inwiefern zusätzliche Wartungsmaßnahmen zu ergreifen sind oder ob eine individuelle, messmittelbezogene Verkürzung eines Kalibrierintervalls ausreichend ist. Bei Gems kommt hingegen die Intervallverlängerung in Frage; wie auch die Option, das betreffende Messmittel in Bereichen mit besonderen Anforderungen einzusetzen. Sollte sich das Dog- oder Gem-Intervall wieder dem der Gesamtheit nähern, kann dieses Messmittel wieder in die Gruppe integriert werden.

#### 4.7 Modifikation oder Bestätigung der Kalibrierintervalle

Größere Intervalländerungen können eine solide Planung der Messmittelausnutzung und der Finanzen ad absurdum führen. Auch aus diesem Grunde ist es sinnvoll, die Bandbreite der Änderung von Kalibrierintervallen zu begrenzen und Schrittweiten sukzessive anzupassen, anstatt ständig hin und her zu springen.

##### Statische Anpassung mit festen Korrekturfaktoren

Ein Ansatz zur Begrenzung der Änderungen ist eine Festlegung auf maximal eine Halbierung ( $a = 0,5$ ) oder Verdopplung ( $b = 2$ ) der Intervalle. Dann könnte die Festlegung neuer Intervalle nach folgendem Bildungsgesetz durchgeführt werden:

$$\Delta T_{n+1} = \begin{cases} \Delta T_n \cdot b & \text{wenn } R_n > R_{n+1}^{\frac{1}{b}} \\ \Delta T_n \cdot a & \text{wenn } R_n < R_{n+1}^{\frac{1}{a}} \\ \Delta T_n \cdot \frac{\ln(R_{n+1})}{\ln(R_n)} & \text{in anderen Fällen} \end{cases} \quad (7)$$

Wyatt/Castrup weisen auch in [8] auf die Möglichkeit einer alternativem flexiblen Anpassung hin, die aber nach unserer Meinung keine wesentlichen Vorteile birgt.

## 5 Beispiele zur Anwendung der Intervallanpassung

### Bewertung einer Gruppe gleicher Messmittel (vertikale Datenermittlung)

Eine Anzahl Messschieber aus einem Prüffeld, die als Gruppe betrachtet werden, werden augenblicklich alle 24 Monaten kalibriert. Hierbei wurden bei 140 durchgeführten Kalibrierung 19 Überschreitungen der Spezifikationen festgestellt.

$$R_n = 1 - F_n = 1 - \frac{19}{140} = 0,86 \quad (8)$$

Die eigenen Qualitätsrichtlinien legen fest, dass eine Ausfallrate von maximal 10 % akzeptiert wird:

$$R_{n+1} = 0,90 \quad (9)$$

Das Zielintervall wäre wie folgt zu wählen:

$$\Delta t_{n+1} = \Delta t_n \cdot \frac{\ln(R_{n+1})}{\ln(R_n)} = 24 \text{ Monate} \cdot \frac{\ln(1-0,1)}{\ln\left(1-\frac{19}{140}\right)} = 17,3 \text{ Monate} \quad (10)$$

Aus Gründen der Praktikabilität würde man entweder ein 15 Monate- oder ein 18 Monate-Intervall<sup>10</sup> wählen.

### Prüfung des Intervalls eines Labornormal mit Historie (horizontale Datenermittlung)

Für ein Digitalmultimeter als Labornormal (Einzelgerät) wird eine hohe Verlässlichkeit gefordert. Angestrebt wird eine maximale Ausfallrate von 5 %. Das Messmittel wird mit einem initial gewählten Kalibrierintervall gemäß Herstellerempfehlung von 12 Monaten übernommen. Im Rahmen der Kalibrierungen wurde bei einer von vier Kalibrierungen eine Spezifikationsüberschreitung festgestellt. Obwohl die Datenbasis noch sehr dünn ist, soll eine erste Anpassung des Kalibrierintervalls routinemäßig geprüft werden. In diesem Falle gilt:

$$\Delta t_n = 12 \text{ Monate} \quad (11)$$

Festgestellte Ausfallrate und hieraus ermittelte aktuelle Zuverlässigkeitsrate  $R_n$ .

$$R_n = 1 - \frac{1}{4} = 0,75 \quad (12)$$

Angestrebte Zuverlässigkeitsrate 95 %:

$$R_{n+1} = 0,95 \quad (13)$$

$$\Delta t_{n+1} = \Delta t_n \cdot \frac{\ln(R_{n+1})}{\ln(R_n)} = 12 \text{ Monate} \cdot \frac{\ln(0,95)}{\ln\left(1-\frac{1}{4}\right)} = 2,1 \text{ Monate} \quad (14)$$

---

<sup>10</sup> Für Kalibrierintervalle ist es empfehlenswert, feste Intervalllängen vorzugeben. Beispielsweise wäre ein Raster („Cal Before Use“ (CBU), 14 Tage, 30 Tage, und dann in Monaten: 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 60, sinnvoll. Längere Intervalle sollten nicht zur Anwendung kommen.

Eine deutliche Verkürzung des Kalibrierintervalls wäre angeraten. Jedoch ist für viele Messmittel ein Kalibrierintervall kleiner 90 Tage nicht praktikabel oder schlichtweg zu teuer<sup>11</sup>. Weiterhin sollte man Intervalländerungen sukzessive und in nicht zu großen Sprüngen durchführen, um das Arbeitsaufkommen stabil planen zu können.

Empfehlung: Die Zuverlässigkeitsrate sollte für „normale“ Laboranwendungen auf 80 % bis 85 % festgelegt werden.

Statt einer Verkürzung des Intervalls auf zwei Monate zu wählen, wird nun geprüft, inwieweit sich die Zuverlässigkeitsrate  $R_{n+1}$  ändern würde, falls das Kalibrierintervall auf sechs Monate festgelegt würde:

$$R_{n+1} = \left( e^{\frac{\Delta t_{n+1}}{\Delta t_n}} \right)^{\ln(R_n)} = \left( e^{\frac{6 \text{ Mo}}{12 \text{ Mo}}} \right)^{\ln(0,75)} = 0,87 \quad (15)$$

Bei Festlegung des neuen Kalibrierintervalls auf sechs Monate würde die Ausfallwahrscheinlichkeit des Normals bei etwa 13 % liegen. Dies wiederum würde einem gängigen Zuverlässigkeitsniveau von 85 % (vgl. [10]) nahekommen<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Das Beispiel zeigt, dass in der Praxis eine Zuverlässigkeitsrate von 95 % auf Messmittelebene kaum wirtschaftlich zu erreichen ist. Zudem wird die Spezifikationsüberschreitung erst am Ende eines Kalibrierintervalls festgestellt. Bis dato ist das Messmittel aber über das Intervall hinweg gedriftet. So kann davon ausgegangen werden, dass dieser *Fail*-Zustand erst spät im Intervall eingetreten sein könnte.

<sup>12</sup> Dieses Beispiel ist realistisch. Es zeigt, dass die Kombination aus langen Kalibrierintervallen und hoher angenommener Zuverlässigkeitsrate oft unrealistisch ist.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), „DIN EN ISO 9001:2015: Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen,“ Beuth Verlag, Berlin, 2015.
- [2] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), „DIN EN ISO/IEC 17025 - Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien [...],“ Beuth Verlag, Berlin, 2005.
- [3] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), DIN EN ISO 10012:2004 - Messmanagementsysteme - Anforderungen an Messprozesse und Messmittel (ISO 10012:2003), Berlin: Beuth Verlag, 2004.
- [4] International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), „ILAC-G5:1994 - Guidelines for Calibration and Maintenance of Test and Measuring Equipment,“ Silverwater (Australien), 1996.
- [5] International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC), „ILAC-G24:2007 / OIML D 10 - Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments,“ Silverwater (Australien), 2007.
- [6] Deutsches Institut für Normung e.V., „DIN EN ISO 10012:2004 - Messmanagementsysteme - Anforderungen an Messprozesse und Messmittel,“ Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2004.
- [7] D. W. Wyatt und H. T. Castrup, „Managing calibration intervals,“ Albuquerque, NM (USA), 1991.
- [8] National Conference Standard Laboratories - International, Recommended Practice 1 (RP-1) - Establishment and Adjustment of Calibration Intervals, Boulder, CO (USA): NCSL International, 2010.
- [9] National Air & Space Administration (NASA), „NASA Reference Publication 1342: Metrology - Calibration and Measurement Guidelines,“ Pasadena, USA, 1994.
- [10] S. u. G. T. (. S. A. F. A. Brockman, „Air Force Calibration Interval Analysis of Test, Measurement und Diagnostic Equipment (TMDE) based on Maintenance Data Collection (MDC),“ in *NCSL International Workshop and Symposium*, Heath, Ohio, 2008.
- [11] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), DIN EN ISO 61709 - Elektrische Bauelemente - Zuverlässigkeit - Referenzbedingungen und Beanspruchungsmodelle zur Umrechnung, Berlin: Beuth, 2015.