

Managementsysteme und die Kalibrierung von Drehmomentsensoren

von Dr. Wilfried Krimmel

X^!dã àÚ&@ ^ãK
VÜÖ ß ÛT ÒVÜÖZ@ç^&Á{ àPÁ
Ü } àã & •dæ •^ÁG
ì GFG^ ^ @ë •^} ÁÄÜ@È
V^|Éí GÁ G Á î Áí
Ò{ æ/á { O dæ •{ ^dæ&Á
@ç K , , Èæ •{ ^dæ&@

Dr. W. Krimmel,
Lorenz Messtechnik GmbH
Obere Schlosstr. 131
73553 Alfdorf

Herr Dr. Krimmel ist Leiter des DKD-Kalibrierlaboratoriums der Lorenz Messtechnik GmbH und seit 1981 auf dem Gebiet der Drehmomentmesstechnik tätig.

1 Einführung

Wie die Menge an Zertifizierungen des Managementsystems zeigt, steht heute für sehr viele Unternehmen die Qualität ihrer Produkte an oberster Stelle. Um mit dem richtigen Maß messen zu können, ist das Prüfmittelmanagement ein sehr wichtiger Bestandteil aller QM-Systeme. Wird es korrekt angewendet, so sind die Mess- und Prüfmittel in regelmäßigen Abständen zu kalibrieren. In den einschlägigen Normen sind die Forderungen recht gut beschrieben, aber sobald man ein Messgerät kalibrieren lassen möchte, steht man vor dem Problem, welche Kalibrierart die richtige ist. Durch die vielen Verfahren am Markt, die in Form von Werkskalibrierung nach Herstellerrichtlinie, in Anlehnung an eine Norm XYZ oder sogar als Kalibrierung nach DIN EN ISO 9001 angeboten werden, kann man als Anwender eines Messgerätes schnell den Überblick verlieren. Weiter sind da noch die „teuren“ DKD-Kalibrierungen, die von akkreditierten Kalibrierlaboratorien angeboten werden, deren Sinn von vielen Anwendern erst im Produkthaftungsfall erkannt wird.

Dieser Artikel soll die gängigsten QM-Systeme und vorhandene Kalibriernormen am Beispiel von Drehmomentsensoren näher erläutern. Denn erst wenn wir verstanden haben, was nach dem Stand von Technik und Wissenschaft für ein korrektes Messmittelmanagement benötigt wird, können wir entscheiden wie Drehmomentsensoren richtig in die Prüfmittelüberwachung einzufügen sind und welches Kalibrierlabor für diese Dienstleistung in Frage kommt.

2 QM-System und Kalibrierung

Wir können in vielen Schriften nachlesen, dass die Normenreihe DIN EN ISO 9000 sich international durchgesetzt hat und deshalb die häufigsten Zertifizierungen des Managementsystems nach dieser Norm erfolgen. Danach folgt für alle Automobilzulieferanten zwingend die ISO TS 16949, welche als Zusatz zur Normenreihe DIN EN ISO 9000 verstanden wird. Als erstes wollen wir nun einen Blick auf diese beiden QM-Normen in Bezug auf das Prüfmittelmanagement werfen, weiter sehen wir uns an, was bei Kalibrierungen zu beachten ist. Danach wenden wir uns den Normen und Richtlinien für eine korrekte Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten nach dem Stand der Technik zu.

2.1 Messmittelmanagement nach DIN EN ISO 9001

Die Mess- und Prüfmittel sind unter dem Hauptkapitel 7 „Produktrealisierung“ zu finden und nehmen nicht besonders viel Platz in dieser Norm ein. Im Unterkapitel 7.6 finden wir, wie ein Messmittelmanagement nach dieser Norm zu gestalten ist. Wir müssen danach unsere Messmittel regelmäßig kalibrieren. Falls das Messmittel außerhalb der Toleranz ist, muss es justiert werden und es muss der Kalibrierstatus am Messmittel gekennzeichnet sein. Genauere Angaben, was z.B. Kalibrieren bedeutet, sind aus dieser Norm nicht zu entnehmen. Nur am Ende des zitierten Kapitels findet der aufmerksame Leser einen Hinweis auf die DIN EN ISO 10012 mit dem Titel „Messmanagementsysteme Anforderungen an Messprozesse und Messmittel“.

Auch in dem „Leitfaden zur Leistungsverbesserung“ DIN EN ISO 9004 finden wir keine wesentlichen Hinweise.

2.2 Messmittelmanagement nach ISO TS 16949

Wie bereits weiter oben beschrieben, ist die DIN EN ISO 9001 die Grundlage für diese Norm, so dass auch die Anmerkung über die DIN EN ISO 10012 hier ihre Gültigkeit behält. Zusätzlich treten noch weitere Forderung an das Messmittelmanagement heran, wie z.B. Aufzeichnungen über die

- Rückführbarkeit auf das nationale Normal.
- Erfüllung der messtechnischen Forderungen nach der Kalibrierung.

Die Kalibrierung durch externe Laboratorien muss zusätzliche Forderungen erfüllen wie:

- Das Labor muss ein definiertes Arbeitsgebiet (in unserem Fall Drehmoment) aufweisen.
- Es muss nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sein.

3 DIN EN ISO 10012 Messmanagementsysteme Anforderungen an Messprozesse und Messmittel

Diese Norm kam im Jahr 2003 in überarbeiteter Form auf den Markt. Hier ist nun genau beschrieben was unter einer korrekten Kalibrierung zu verstehen ist, bzw. welche Elemente dafür notwendig sind.

Wir entnehmen dem etwas trockenen Text der Norm die Information, dass unbedingt die **Messunsicherheit** und der Nachweis der **messtechnischen Rückführung** auf die SI-Einheiten durch eine Kalibrierung zu erbringen sind. Auch die Anteile, die zur Messunsicherheit beitragen, müssen bekannt sein – bei Drehmoment sind dies z.B. die Wiederhol- bzw. Vergleichspräzision, die Umkehrspanne, die Nullpunktabweichung usw.. Weiter wird beschrieben, dass jeder Messprozess nach dokumentier-

Managementsysteme und die Kalibrierung von Drehmomentsensoren

ten Verfahren erfolgen muss. D.h. für jeden Messprozess muss es eine Beschreibung z.B. in Form einer Anweisung geben. Auch eine Kalibrierung ist ein Messprozess und muss deshalb nach dokumentierten und anerkannten Verfahren durchgeführt werden. Dies geschieht dadurch, dass Kalibrierprozesse nach Richtlinien bzw. Normen von anerkannten Gremien, oder nach in wissenschaftlichen Texten beschriebenen Verfahren durchgeführt werden.

Die schwierigste Aufgabe ist die Forderung, dass für jeden überwachten Messprozess die Messunsicherheit abgeschätzt werden muss. Es empfiehlt sich hier ein Messunsicherheitsbudget nach den weltweit anerkannten Regeln des GUM (Guide to the expression of uncertainty in Measurement) aufzustellen.

In das Budget fließen alle relevanten Einflussgrößen der Messeinrichtung wie die Messunsicherheit aus der Kalibrierung, Temperatureinfluss, Drift, Störgrößen usw. ein. Ein solches Messunsicherheitsbudget kann mit einem üblichen Tabellenkalkulationsprogramm erstellt werden.

Die nationalen Normale für Drehmoment stehen bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. Mit diesen Normalen werden beim Drehmoment die Bereiche von 1 mN·m (ein milli N·m) bis 200 000 N·m lückenlos abgedeckt.

In der Richtlinie DKD-4 des Deutschen Kalibrierdienstes sind die Elemente der Rückführung genauer beschrieben und bestehen aus den im Mindmap (Bild 1) dargestellten Teilen.

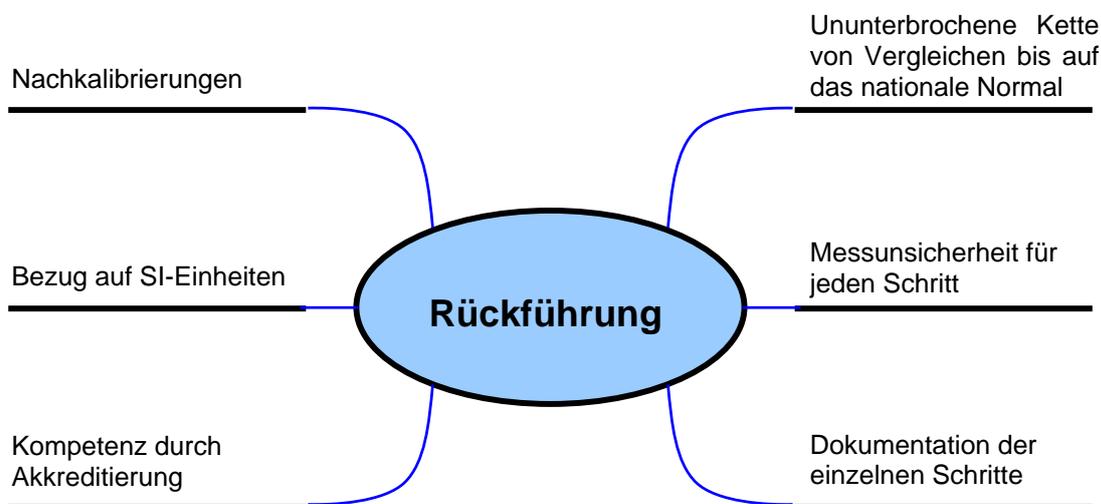


Bild 1: Elemente der Rückführung

Die **Kompetenz** eines akkreditierten Kalibrierlaboratoriums wird üblicherweise außerhalb des akkreditierten Bereiches vom DKD anerkannt, sofern es sich um die **gleiche Messgröße** (z.B. Drehmoment) handelt (Fachkompetenz).

Das Kalibrierlaboratorium der Lorenz Messtechnik GmbH mit der Registriernummer DKD-K-37801 hat eigene hochgenaue Normale, deren Messunsicherheit durch Kalibrierung von der PTB bestimmt wurde (Bild 2). Diese Normale werden regelmäßig von der PTB nachkalibriert und dienen zur Überprüfung und zur Rückführung der eigenen Kalibriereinrichtung, deren Messunsicherheit mittels dieser Normale auf $1 \cdot 10^{-4}$ bestimmt wurde. Über die Kalibrierscheine sind die Forderungen nach Rückführung der Einrichtung und der Normale gewährleistet.



Bild 2: Ununterbrochene Messkette von Vergleichen von der PTB bis zum ausgelieferten Sensor

4 Justieren und Prüfen

4.1 Justieren

Definition: Tätigkeit, die ein Messgerät in einen gebrauchsfähigen Betriebszustand versetzt. Das Verfahren bei Drehmomentsensoren ist in Bild 3 dargestellt. Zuerst wird durch mehrere Vorlasten das „Gedächtnis“ des Drehmomentsensors gelöscht. Danach beginnt der eigentliche Justierprozess mit der Einstellung des Nullpunkts und danach die Justierung auf das Nenndrehmoment. Nach erfolgreicher Justierung kann der eigentliche Prüfprozess beginnen.

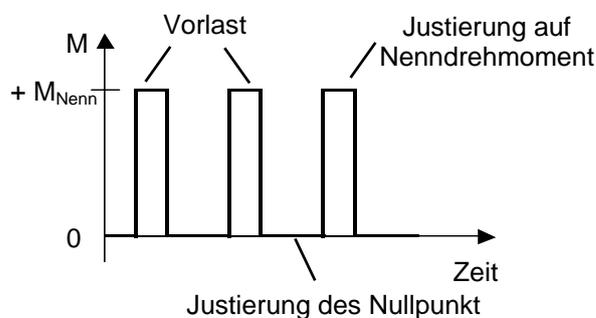


Bild 3: Justierung von Drehmomentsensoren

4.2 Prüfen

Definition Lorenz Messtechnik GmbH in Anlehnung an DKD: Ermittlung und Dokumentation von mehreren Merkmalen eines Produktes.

Bei einem Drehmomentsensor werden entsprechend Bild 4 folgende Größen bestimmt und in einem Protokoll, das jedem neuen Sensor bei der Neuauslieferung beiliegt, ausgewiesen:

Die Messwerte von Nullpunkt, 50% und 100% von M_{Nenn} werden aufgenommen und dokumentiert. Aus diesen Werten werden Nullsignal, Linearität, Hysterese und der Kennwert des Sensors berechnet und im Protokoll dokumentiert.

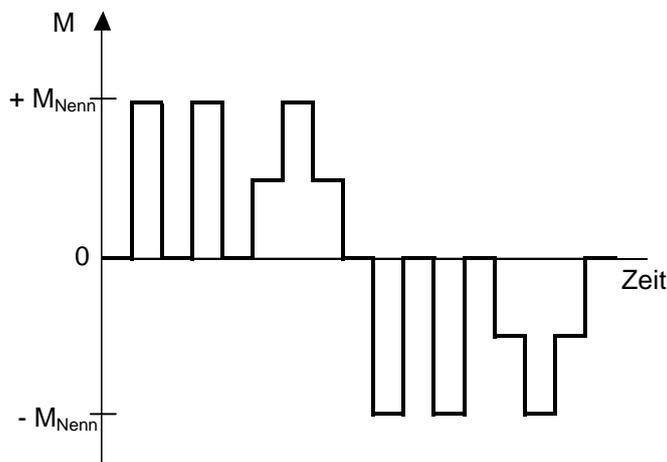


Bild 4: Der Prüfprozess bei einem Drehmomentaufnehmer

Die Vorgehensweise für das Justieren, als auch für das Prüfen von Drehmomentsensoren ist in keiner Norm beschrieben bzw. näher erklärt. Hier können sich die Sensorhersteller also stark unterscheiden.

5 Kalibrieren von Drehmomentsensoren

Die Kalibrierung von Drehmomentsensoren erfolgt nach anerkannten Richtlinien bzw. Normen, die als validierte Verfahren gelten. Wir wollen uns auf Rechtsdrehmomentkalibrierungen beschränken.

5.1 Kalibrieren nach DIN 51309

Die Kalibrierung nach DIN 51309 soll am Beispiel einer Rechtsdrehmomentkalibrierung mit 8 Stufen näher erklärt werden. Die Belastungsstufen werden üblicherweise auf 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80%, 100% vom Nenndrehmoment M_{Nenn} gelegt.

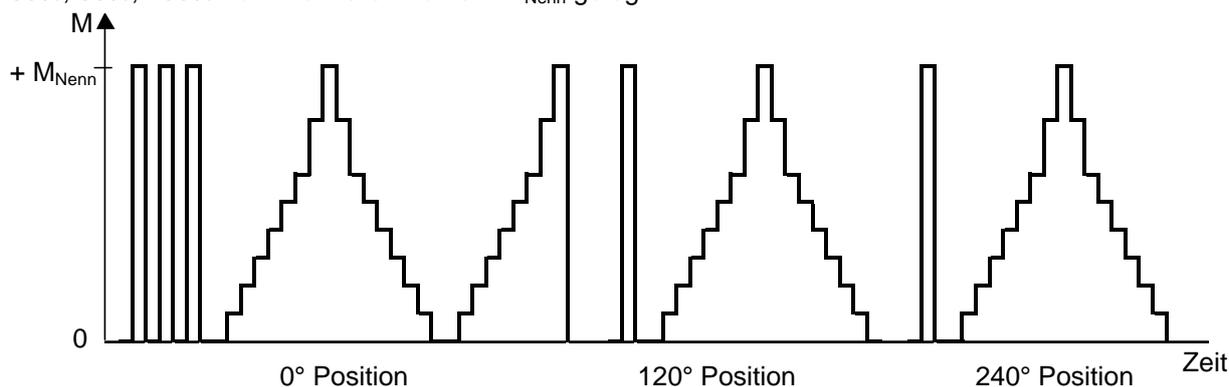


Bild 5: Ablauf einer Kalibrierung nach DIN 51309 mit 8 Schritten

Nach 3 Vorbelastungen (Bild 5) mit Nenndrehmoment wird eine Aufwärtsreihe mit 8 Messpunkten und anschließend 8 Messpunkte für die Abwärtsreihe gefahren. Darauf folgt eine weitere Aufwärtsreihe, welche für die Bestimmung der Wiederholpräzision dient.

Danach wird der Sensor in der Einrichtung um 120° um seine Messachse gedreht. Es folgt wieder eine Vorbelastung auf Nenndrehmoment und anschließend eine Aufwärts- mit folgender Abwärtsreihe. Eine erneute Drehung in der Kalibriereinrichtung auf 240° mit anschließender Messreihe wie in der Grafik dargestellt beendet die Aufnahme der Messpunkte für eine Rechtsdrehmomentkalibrierung.

Managementsysteme und die Kalibrierung von Drehmomentsensoren

In Bild 6 ist der Ablauf für eine einfache Kalibrierung für die Klassen 1 - 5 dargestellt.

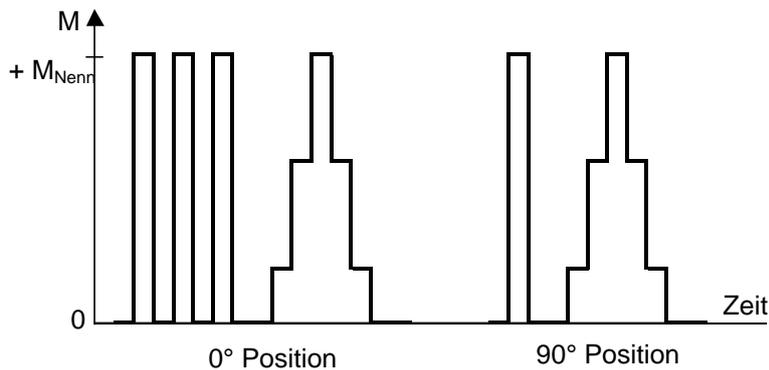


Bild 6: Kalibrierung mit 3 Messstufen

Wie wir dem Diagramm entnehmen können sind hier wesentlich weniger Messpunkte aufzunehmen. Zusätzlich kann noch die zweite Aufwärtsreihe in der 0° Einbaustellung entfallen, da die Wiederholpräzision mit der immer größeren Vergleichspräzision gleich gesetzt wird. Weiter muss der Sensor nur einmal in der Einrichtung gedreht werden. Bei dieser Kalibrierung wird der Sensor zwangsweise in die Klassen 1 bis 5 eingestuft, obwohl die ausgewiesenen Messunsicherheiten klein sein können. Dies ist der Grund, weshalb diese Kalibrierart bei besseren Messeinrichtungen nicht zur Anwendung kommt, denn die Klassen suggerieren die „Genauigkeit“ des Sensors, was aber nicht unbedingt gegeben ist. Gehen wir deshalb zu einer anderen Richtlinie die diese Klasseneinstufung nicht fordert über.

5.2 Kalibrierungen für Drehmomentsensoren nach VDI/VDE 2646

Bei dieser Art der Kalibrierung erfolgt keine Klasseneinteilung der Drehmomentmesseinrichtung wie bei der DIN 51309. Für jeden Messwert wird die Messunsicherheit berechnet und ausgewiesen.

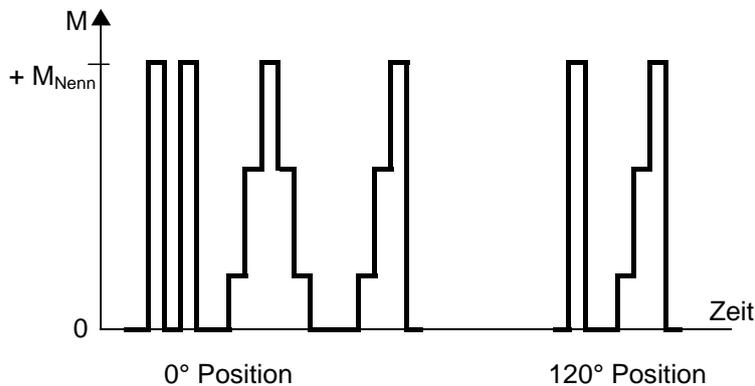
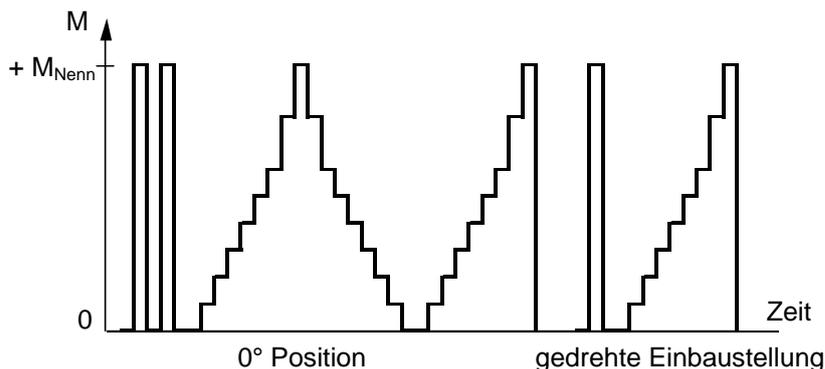


Bild 7: Kalibrierung mit 3 Messstufen nach VDI/VDE 2646

Die Kalibrierung beginnt wie in Bild 7 dargestellt mit mindestens 2 Vorbelastungen mit Nenndrehmoment und daran anschließend einer Aufwärts- und Abwärtsreihe. Ihr folgt für die Wiederholpräzision eine weitere Aufwärtsreihe. Danach wird der Sensor um seine Messachse gedreht und nach einer Vorbelastung folgt eine Aufwärtsreihe. Diese Kalibrierung kann natürlich auch mit mehr Schritten z.B. 8 Schritte, wie unter der DIN 51309, ausgeführt werden, siehe hierzu Bild 8.



Managementsysteme und die Kalibrierung von Drehmomentsensoren

Bild 8: Ablauf für eine Kalibrierung mit 8 Messstufen

Ist die Vergleichspräzision aus einer früheren Kalibrierung bekannt, oder kann sie vom Kalibrierlabor aus Typprüfungen mittels dokumentierten statistischen Verfahren ermittelt werden, so kann die zweite Einbaustellung entfallen. Kalibrierungen in nur einer Einbaustellung ohne Werte für die Vergleichspräzision sind keine validierten Kalibrierungen und entsprechen somit auch nicht dem Stand der Technik.

5.3 Auftrennung der Einflüsse zur Messunsicherheit in sinnvolle Anteile

Das Ergebnis einer Kalibrierung sowohl nach DIN 51309 als auch nach VDI/VDE 2646 liefert Messwerte der Aufwärts- und Abwärtsreihen, deren Abweichung in % vom Endwert von einer linearen Ausgleichsfunktion wie in Bild 9 dargestellt werden kann. Mit aufgenommen sind die zur Messunsicherheit beitragenden Anteile. Dabei wird ein Messverstärker mit hoher Auflösung und Stabilität vorausgesetzt.

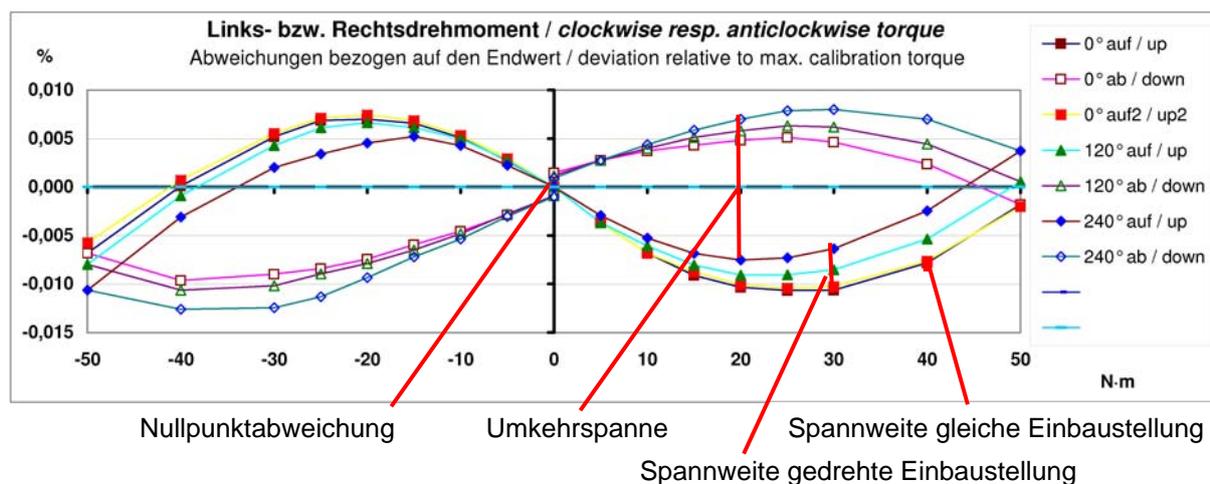


Bild 9: Typische Abweichung in Abhängigkeit vom Drehmoment bei einer DIN 51309-Kalibrierung

Aus der ersten Einbaustellung in 0°-Position wird die Wiederholpräzision als Spannweite der Messwerte bestimmt. Die Messwerte der gedrehten Einbaustellungen tragen über deren Spannweite zur Vergleichspräzision bei. Die Umkehrspanne (Hysterese) wird aus den Aufwärts- und Abwärtsreihen ermittelt. Die am Ende der Belastungsreihen verbleibende Nullpunktabweichung wird ebenfalls berechnet.

Damit die Messunsicherheit nicht nur für die festen Messpunkte angegeben werden kann, ist noch die Interpolationsabweichung, wie in Bild 10 dargestellt, zu bestimmen.

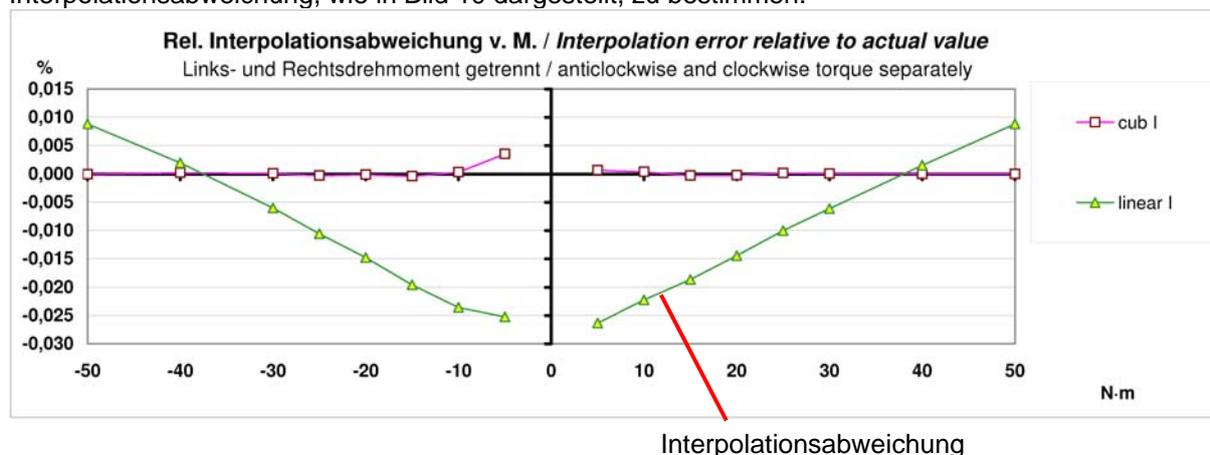


Bild 10: Interpolationsabweichung für lineares und kubisches Ausgleichspolynom bei einer Kalibrierung

Weiter sind noch die verwendete Anzeige mit ihrer Auflösung und die Messunsicherheit der Kalibrierung zu berücksichtigen. Die Messunsicherheit darf nicht mit der Genauigkeit verwechselt wer-

Managementsysteme und die Kalibrierung von Drehmomentsensoren

den. Nach DIN 55350 handelt es sich bei der Genauigkeit um einen qualitativen Begriff für das Ausmaß der Annäherung des Messergebnisses an den wahren Wert.

5.4 Klasseneinstufung nach DIN 51309

Nachdem wir so häufig über die Klasseneinteilung der Drehmomentsensoren gelesen haben, hier nun eine kurze Betrachtung dieser Größe.

Die Klassen sollen die Drehmomentmesseinrichtungen von unterschiedlichen Herstellern auf einfache Art vergleichbar machen. Die Parameter für die Klasseneinteilung werden aus den Messunsicherheitsbeiträgen einer Kalibrierung bestimmt. Die Klasseneinstufung erfolgt nach dem Prinzip, dass Grenzwerte für jede Klasse und für jeden Parameter vorhanden sind. Wird dieser Parameter überschritten so erfolgt die Einstufung des Messgerätes in eine höhere Klasse. Je höher die Klasse ist, um so größer sind auch die zur Messunsicherheit beitragenden Parameter. Dies gilt aber nicht bei der zwangsweisen Klasseneinstufung bei 3 Kalibrierstufen

5.5 Normen und Richtlinien für Drehmomentsensoren

Kalibriernormen und Richtlinien lassen sich in validierte Verfahren, Herstellerrichtlinien und Kalibrierungen nach Kundenforderung aufteilen. Die validierten Verfahren werden von anerkannten Gremien (Fachgruppen) in Normen bzw. Richtlinien (z.B. DKD) festgelegt. Um günstige Kalibrierungen anbieten zu können, gibt es Hausverfahren von Herstellern. Diese sind aber in der Regel nicht validiert und bestimmen auch keine Messunsicherheit nach dem Stand der Technik. Um die Messunsicherheit bestimmen zu können müssen wie bereits gezeigt die Größen wie Wiederholpräzision, Vergleichspräzision, Umkehrspanne, Nullpunktabweichung und Interpolationsabweichung des Sensor bestimmt werden. Sonst kann das Kalibrierverfahren nicht als validiert betrachtet werden.

Die nachfolgende Grafik (Bild 11) zeigt die wichtigsten beschriebenen Kalibriernormen und Richtlinien die für Drehmoment in Frage kommen. Die mit K gekennzeichneten Verfahren können nach dem Stand der Technik als Kalibrierungen bezeichnet werden. Die mit P beschriebenen Verfahren prüfen die messtechnischen Angaben des Sensors wie Hysterese, Linearität, Kennwert, Nullpunkt usw. und werden in Form eines Prüfzertifikats dokumentiert.

Die mit K gekennzeichneten Kalibrierungen teilen sich weiter in DKD-Kalibrierungen und Werkskalibrierungen auf.

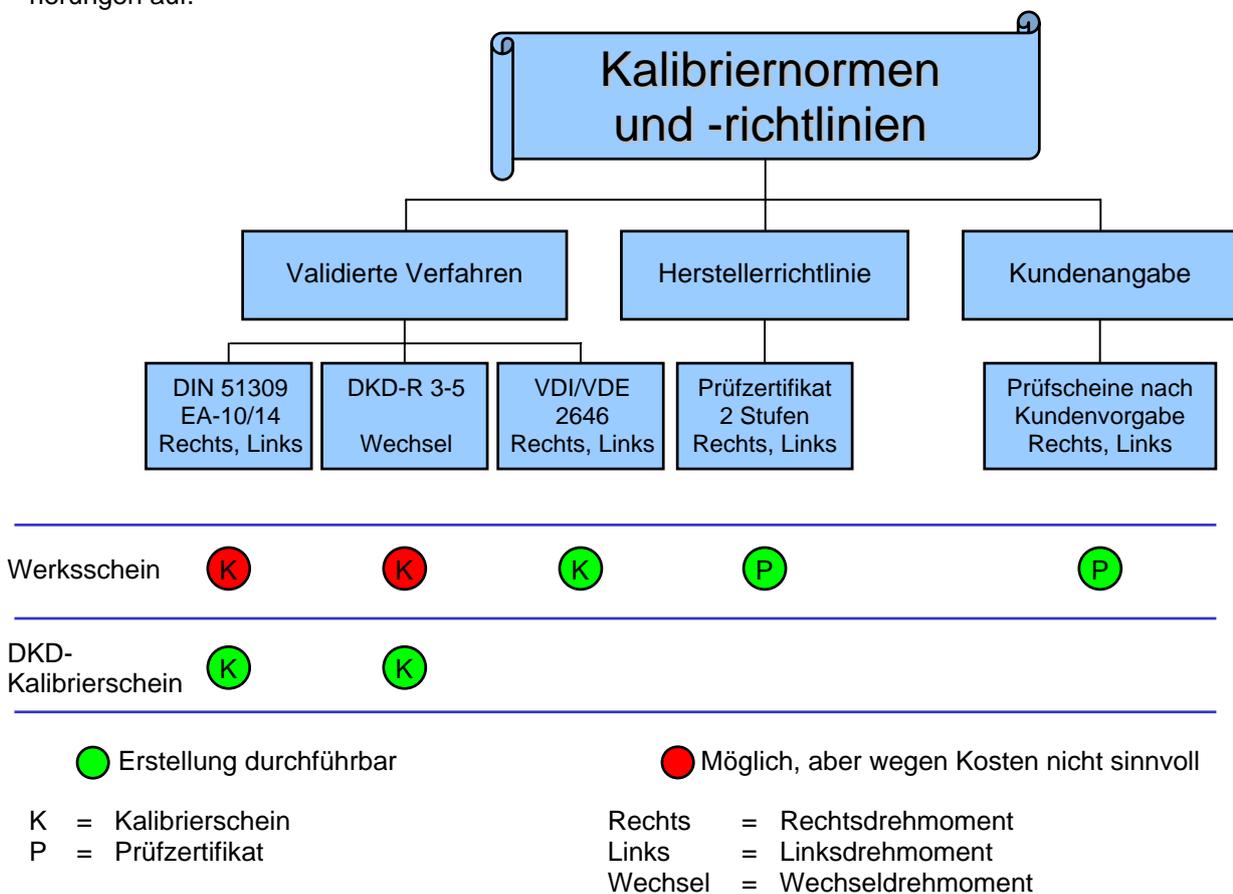


Bild 11: Kalibriernormen und Richtlinien für Drehmomentsensoren

5.6 DKD-Kalibrierungen versus Werkskalibrierungen

Wie gezeigt wurde, können heute mit den vorhandenen anerkannten Normen und Richtlinien für Drehmoment von seriösen Kalibrierlaboratorien korrekte Werkskalibrierungen entsprechend der DIN EN ISO 9000 die auch der DIN EN ISO 10012 gerecht werden, durchgeführt werden. Denn um überhaupt kalibrieren zu können werden heute keine Kalibrierungen mehr in Anlehnung an ... benötigt.

Ist das Kalibrierlaboratorium zusätzlich auch noch für Drehmoment akkreditiert, so werden von diesem Labor für QM-Systeme, welche nach der ISO TS 16949 zertifiziert sind, korrekte DKD-Kalibrierungen oder Werkskalibrierungen durchgeführt, welche für jede Kalibrierstufe die Messunsicherheit ausweisen. DKD-Kalibrierlaboratorien verfügen für die akkreditierten Bereiche über eine sehr hohe messtechnische Kompetenz und besitzen sehr gut ausgebildetes Personal, das sich auf dem aktuellen Stand der Messtechnik befindet. Zusätzlich stehen diese Laboratorien in der Hierarchie direkt unter der PTB.

Der Unterschied zwischen DKD-Kalibrierungen und Werkskalibrierungen besteht darin, dass für Werkskalibrierungen die VDI/VDE 2646 in ihrer einfachsten Form angewendet werden kann und damit einfache und kostengünstige, aber nach dem Stand der Technik korrekte Kalibrierungen durchführbar sind. Die Erstellung der Werkskalibrierscheine liegt aber in der Verantwortung des Kalibrierlaboratoriums. Bei DKD-Kalibrierungen wird sowohl der gesamte Ablauf einer Kalibrierung, als auch die Kalibrierscheine vom DKD vorgeschrieben und geprüft, was zu einem wesentlich höheren Dokumentationsaufwand bei diesen Kalibrierungen führt.

Der Anwender der Drehmomentmesstechnik sollte also bei Kalibrierungen darauf achten, dass im Kalibrierschein die Messunsicherheit, als auch die Anteile die zur Messunsicherheit führen, ausgewiesen sind. Denn nach VDI/VDE 2646 sind Kalibrierungen ohne Angabe der Messunsicherheit wertlos.

Weiter sollte das verwendete Kalibrierverfahren angegeben werden. Steht als Kalibrierverfahren in „Anlehnung an“ oder „Kalibrierung nach Herstellerrichtlinie“ so sollte sehr genau geprüft werden, ob diese Kalibrierung überhaupt dem Stand der Technik entspricht.

Bei hoher Beweiskraft bzgl. der Produkthaftung, was eigentlich immer bei der Verwendung als Referenzsensor der Fall ist, sollte unbedingt eine DKD-Kalibrierung durchgeführt werden. Diese Kalibrierscheine sind international anerkannt und haben deshalb eine sehr hohe Beweiskraft im Haftungsfall.

6 Literatur

DIN EN ISO 9001, 2000-12

Norm DIN EN ISO 9001, Qualitätsmanagementsysteme Anforderungen (ISO 9001:2000)

DIN EN ISO 9004 Norm, 2000-12

Qualitätsmanagementsysteme - Leitfaden zur Leistungsverbesserung (9004:2000)

DIN EN ISO 10012, 2004-03

Norm DIN EN ISO 10012 Messmanagementsysteme - Anforderungen an Messprozesse und Messmittel (ISO 10012:2003)

ISO/TS 16949, 2002

Qualitätsmanagementsysteme - Besondere Anforderungen bei Anwendung von ISO 9001:2000 für die Serien- und Ersatzteil-Produktion in der Automobilindustrie

DIN EN ISO/IEC 17025, 2005-08

Norm DIN EN ISO/IEC 17025, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005); Deutsche und Englische Fassung

DIN 51309, 2005-12

Norm DIN 51309, Werkstoffprüfmaschinen - Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten für statische Drehmomente

DIN 55350-13, 1987-07

Norm DIN 55350-13 Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Begriffe zur Genauigkeit von Ermittlungsverfahren und Ermittlungsergebnissen

VDI/VDE 2646, 2006-02

Technische Regel VDI/VDE 2646, Drehmomentmessgeräte - Mindestanforderungen an Kalibrierungen

Internationales Wörterbuch der Metrologie 1994-02,

Internationales Wörterbuch der Metrologie, ISBN 3-410-11735-0, 1. Auflage, Beuth Verlag Berlin, Wien, Zürich

DKD-4

Richtlinie DKD-4 Rückführung von Mess- und Prüfmitteln auf nationale Normale, Jan. 1998, 15 S., (Deutsche Übersetzung von EA-4/07)

ISO/BIPM-Leitfaden „Guide to the Expression of Uncertainty in Masurement“, 1993