

Deutscher Kalibrierdienst  
- Fachausschuss 10: Drehmoment -

INFORMATIONSBLETT 10-02 v.4

Messunsicherheitsberechnungen für im Rahmen von Kalibrierungen nach DIN EN ISO 6789 gewonnene Messergebnisse

Verfasser und Ansprechperson:

Dr. Dirk Röske  
Phys.-Techn. Bundesanstalt  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
Tel.: 0531-5921131  
Fax: 0531-592691131  
Email: dirk.roeske@ptb.de

Zusammenfassung:

- Die DIN EN ISO 6789 schreibt bislang (einschließlich Ausgaben 2003) eine Berechnung von Messunsicherheiten nicht vor, was im Widerspruch zu aktuellen Anforderungen an Kalibrierergebnisse steht. Für den Nachweis der Rückführung, insbesondere bei Akkreditierungen, sind Messunsicherheiten unerlässlich.
- Im FA 10 wurde schon frühzeitig die Übereinkunft erzielt, für Kalibrierergebnisse nach der genannten Norm Messunsicherheiten zu berechnen und anzugeben. Eine Neufassung der Norm ist schon längere Zeit in der Diskussion, wurde aber bisher nicht verabschiedet.
- Dieses Informationsblatt fasst den aktuellen Stand unter Berücksichtigung der für die Neufassung diskutierten Messunsicherheitsbetrachtung sowie einige neue Ideen und Fehlerkorrekturen zusammen und dient als Basis für ein gleichartiges Vorgehen aller akkreditierten Laboratorien.

Allgemeines:

Im Rahmen der Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten nach DIN EN ISO 6789 (Schraubwerkzeuge: Handbetätigte Drehmoment-Werkzeuge) werden diese, sofern sie nicht fest eingestellt sind, in jeder Funktionsrichtung an drei Stellen des Messbereichs kalibriert. Fest eingestellte Werkzeuge können natürlich nur an dieser einen Stelle kalibriert werden. Die Kalibrierung erfolgt dadurch, dass in einer dafür geeigneten Kalibriereinrichtung das Werkzeug, abhängig von dessen Ausführung, 5- bzw. 10-mal hintereinander mit dem notwendigen Kalibrierdrehmoment belastet wird. Die Norm schreibt im Punkt 6.3 vor, dass das Drehmoment an Hand der Anzeige des Werkzeugs aufzubringen ist (hier als Fall B bezeichnet). Es sprechen nun mindestens zwei gute Gründe dafür, dass das aktuell wirkende Drehmoment über die Anzeige der Kalibriereinrichtung gemessen und die Kalibrierung anhand dieser Werte durchgeführt wird (im Weiteren Fall A genannt): erstens kann die Steuerung oder Regelung der Kalibriereinrichtung immer über den eingebauten Drehmomentaufnehmer, aber so gut wie nie über den Kalibriergegenstand realisiert werden und, zweitens, kann der Kalibriergegenstand defekt sein und falsche Werte anzeigen, so dass die Kalibrierung hinfällig wäre. Selbst im Fall von Werkzeugen des Typs II, wo der Zielwert des Drehmoments vom Werkzeug über dessen Auslösemechanismus vorgegeben wird, ist eine Schwelle von 80% des jeweiligen Zielwertes zu erreichen, die über die Kalibriereinrichtung zu messen ist.

Nachfolgend verwendete Symbole:

<b>Allgemeine Größen</b>	
$i$	Laufindex zur Unterscheidung der gemessenen Drehmomentstufen (z. B. $i = 1$ : 20 N·m, $i = 2$ : 60 N·m, $i = 3$ : 100 N·m, $i = 4$ : -20 N·m usw.)
$j$	Laufindex zur Unterscheidung der gemessenen Einzelwerte für jede Drehmomentstufe ( $j = 1, 2, \dots, 5$ bzw. $j = 1, 2, \dots, 10$ )
$J_{0,i,j}$	Nullsignal der Anzeige der Kalibriereinrichtung vor der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
$J_{M,i,j}$	Messsignal der Anzeige der Kalibriereinrichtung bei der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
$M_{K,i,j}$	Tariertes Kalibrierdrehmoment bei der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
$I_{0,i,j}$	Nullsignal der Anzeige des Kalibriergegenstands vor der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
$I_{M,i,j}$	Messsignal der Anzeige des Kalibriergegenstands bei der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
$Y_{M,i,j}$	Tariertes Messwert bei der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
<b>Fall A: Kalibrierung nach der Anzeige der Kalibriereinrichtung</b>	
$M_{N,i}$	Nennkalibrierdrehmoment für die Drehmomentstufe $i$ (für alle $j$ )
$Y_{A,i,j}$	Tariertes und ausgeglichener Messwert des Kalibriergegenstands bei der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
$Y_i$	Kalibrierergebnis für die Drehmomentstufe $i$ am Kalibriergegenstand
<b>Fall B: Kalibrierung nach der Anzeige des Kalibriergegenstands</b>	
$Y_{N,i}$	Nennwert für die Drehmomentstufe $i$ am Kalibriergegenstand (für alle $j$ )
$M_{A,i,j}$	Tariertes und ausgeglichener Wert des Kalibrierdrehmomentes bei der Messung des $j$ -ten Einzelwertes in der Drehmomentstufe $i$
$M_i$	Kalibrierergebnis für die Drehmomentstufe $i$ an der Kalibriereinrichtung
<b>Größen der Auswertung</b>	
$f_q$	Anzeigeabweichung
$b'_i$	Wiederholpräzision
$b_V$	Einfluss des Verbindungsprofils
$b_L$	Einfluss des Kräfteinleitungspunktes
$r$	Auflösung des Kalibriergegenstands
<b>Größen der Messunsicherheitsbetrachtung</b>	
$w_{EW,i}$	Relative Messunsicherheit der Einzelwerte in der Drehmomentstufe $i$
$w_{M,i}$	Relative Messunsicherheit der Kalibrierdrehmomente in der Drehmomentstufe $i$
$W^*_i$	Relatives Messunsicherheitsintervall zum Kalibrierergebnis in der Drehmomentstufe $i$

Vorgehensweise:

Details zum Ablauf der Kalibrierung sind in der Norm bzw. im Normentwurf beschrieben. Einige Ergänzungen bzw. Erläuterungen seien hier genannt.

Im Punkt 6.1 „Kalibriereinrichtung“ wird verlangt, dass die Kalibriereinrichtung vor Beginn der Kalibrierung auf null zu stellen ist. Dafür besteht keine technische Notwendigkeit. Es müsste möglich sein, auch zwischen den einzelnen Drehmomentstufen eine Tariierung durchzuführen. Ebenso wäre es für anzeigende Drehmomentschlüssel zulässig, jeweils zwei Messwerte -  $J_{0,i,j}$  im unbelasteten und  $J_{M,i,j}$  im belasteten Zustand - aufzunehmen, und die tarierten Werte  $M_{K,i,j}$  als Differenz dieser beiden Werte zu berechnen:

$$M_{K,i,j} = J_{M,i,j} - J_{0,i,j} \quad (1)$$

Im Falle einer Tariierung vor jeder Einzelmessung entfällt diese Berechnung.

Dieses Verfahren ist auch auf die Kalibriergegenstände anwendbar. Für Geräte ohne Nullpunktunterdrückung können, wenn nötig, die tarierten Werte  $Y_{M,i,j}$  aus zwei Messwerten -  $J_{0,i,j}$  im unbelasteten und  $J_{M,i,j}$  im belasteten Zustand - gemäß

$$Y_{M,i,j} = I_{M,i,j} - I_{0,i,j} \quad (2)$$

bestimmt werden.

Im Falle einer Tariierung vor jeder Einzelmessung entfällt diese Berechnung.

Hinweis: Bei Werkzeugen mit Nullpunktunterdrückung ist die elektronische Anzeige nicht auf null zu setzen und die Nullpunktschwankung ist voll in die Kalibrierung einzuschließen. Auf diesen Sachverhalt ist im Kalibrierschein hinzuweisen.

### Besonderheiten bei anzeigenden Drehmomentschlüsseln

Da die Mehrzahl der verwendeten Kalibriereinrichtungen im Gegensatz zu Einrichtungen nach dem Direktbelastungsverfahren nicht mit fest vorgegebenen Drehmomentstufen arbeitet, kann es bei anzeigenden Drehmomentschlüsseln für einen besseren Kalibrierablauf sinnvoll sein, das gewünschte Drehmoment nicht bis auf die letzte Stelle der Anzeige genau anzufahren. Es würde genügen, innerhalb eines gewissen, vorher festgelegten Intervalls um den Zielwert anzuhalten und dort die Messung durchzuführen. Mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung unter Anwendung einer (im einfachsten Fall linearen) Funktion müsste dann entweder - Fall A - der zum Zielwert des Kalibrierdrehmomentes  $M_{N,i}$  (für alle  $j$ ) gehörende Messwert, der ausgeglichene Messwert  $Y_{A,i,j}$  nach

$$Y_{A,i,j} = \frac{M_{N,i}}{M_{K,i,j}} Y_{M,i,j} \quad (3)$$

oder - Fall B - der zum Nenndrehmoment  $Y_{N,i}$  (für alle  $j$ ) gehörende ausgeglichene Wert des Kalibrierdrehmomentes  $M_{A,i,j}$  nach

$$M_{A,i,j} = \frac{M_{K,i,j}}{Y_{M,i,j}} Y_{N,i} \quad (4)$$

gefunden werden. Vorausgesetzt wird dabei eine hinreichend gute Linearität des Kalibriergegenstands bzw. der Kalibriereinrichtung. Diese kann bei mindestens drei gemessenen Drehmomentstufen in der Regel hinreichend gut abgeschätzt werden. Wenn die funktionale Abhängigkeit des Signals vom Drehmoment bekannt ist, kann auch eine Funktion höherer Ordnung (zum Beispiel dritten Grades) verwendet werden.

Die Bilder 1 und 2 zeigen eine grafische Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten des Ablaufes.

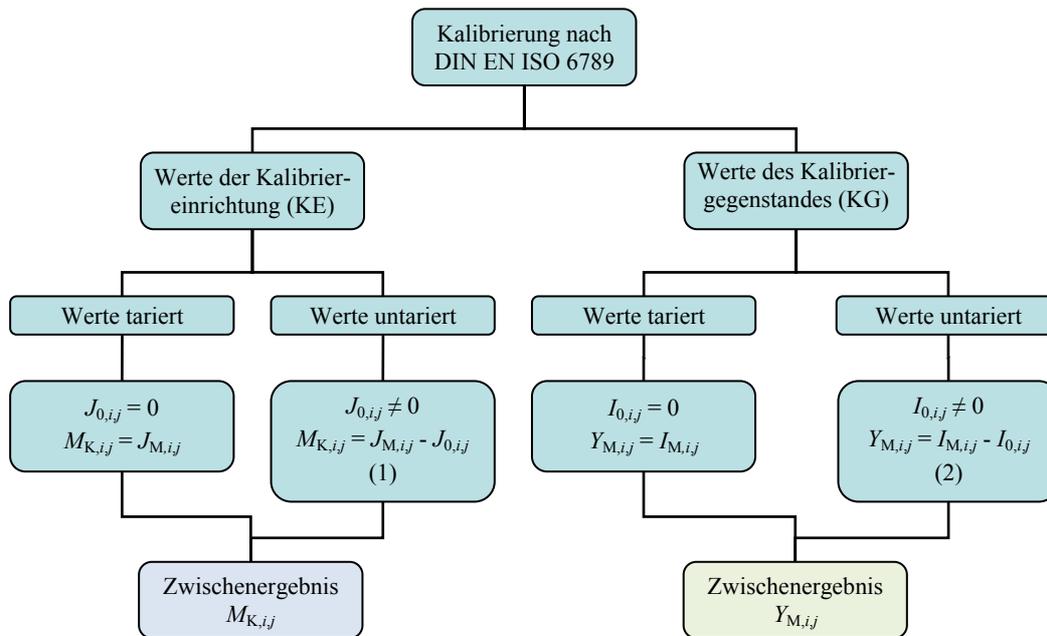


Bild 1: Ablauf der Datenverarbeitung bei der Kalibrierung anzeigender Drehmomentschlüssel nach DIN EN ISO 6789 - Gewinnung der (tarierten) Zwischenergebnisse

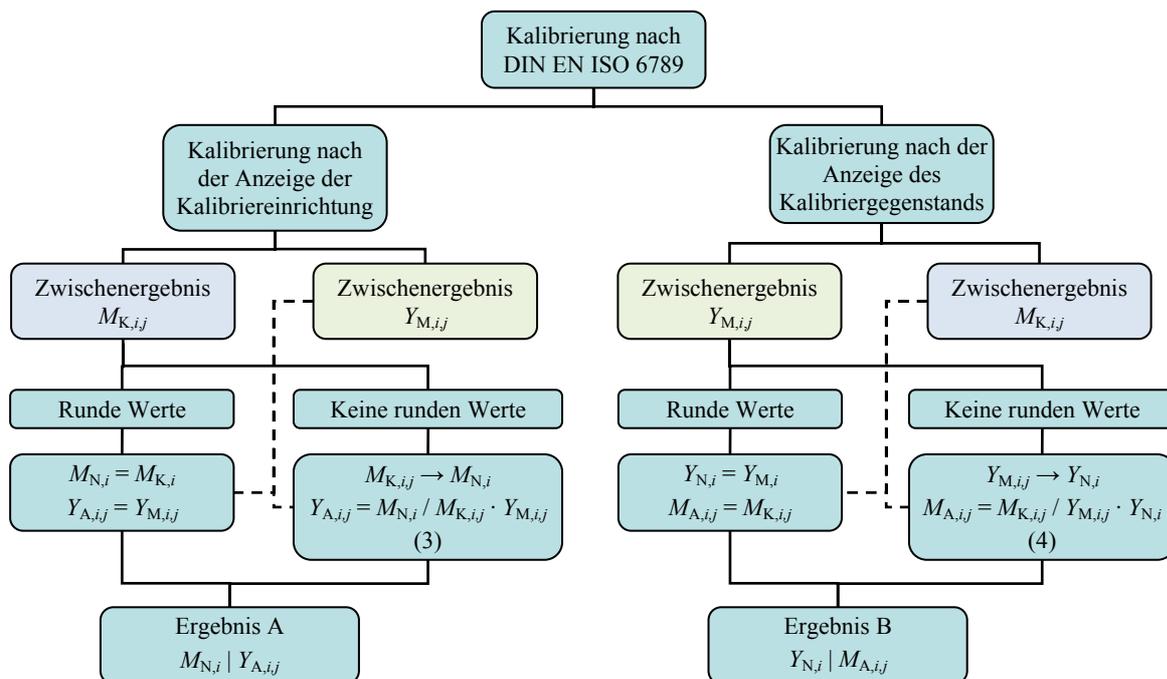


Bild 2: Ablauf der Datenverarbeitung bei der Kalibrierung anzeigender Drehmomentschlüssel nach DIN EN ISO 6789 - Bestimmung der Ergebnisse mit linearer Interpolation auf runde Bezugswerte

### Besonderheiten bei auslösenden Drehmomentschlüsseln

Bei auslösenden Drehmomentschlüsseln ist es wichtig, das zum Auslösezeitpunkt wirkende maximale Drehmoment zu erfassen. Hierbei sind passende Verstärker mit geeigneten Filtereinstellungen zu verwenden.

Da bei dieser Art von Messgerät bislang keine zu tariierende Anzeige verwendet wird, entfällt dieser Zweig im Diagramm. Außerdem wird hier gemäß der Einstellung des Schlüssels gemessen, so dass hier der gesamte Vorgang der Interpolation auf runde Werte entfällt. Das zugehörige Bild 3 zeigt den Ablauf in diesem Fall.

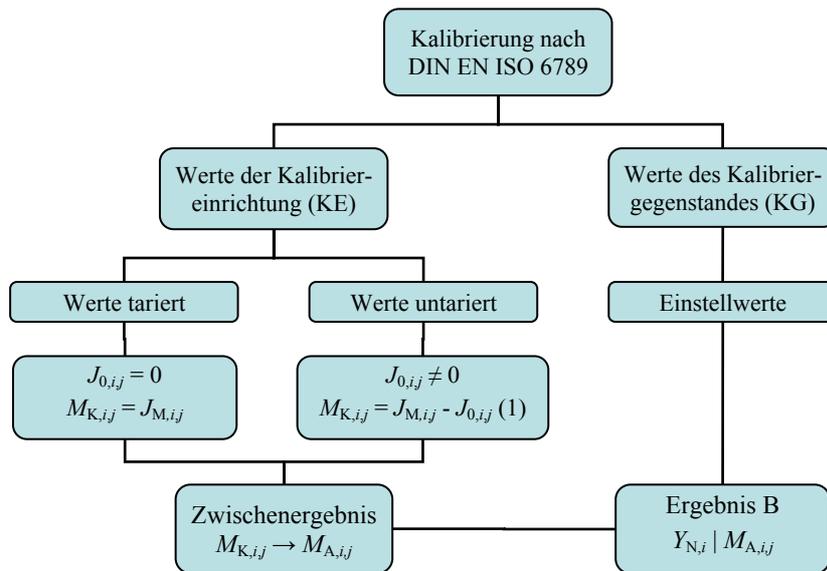


Bild 3: Ablauf der Datenverarbeitung bei der Kalibrierung nach DIN EN ISO 6789 für auslösende Drehmomentschlüssel

Die korrigierten (tarierten und ausgeglichenen) Messwerte der Kalibriereinrichtung ( $M_{N,ij}$  bzw.  $M_{A,ij}$ ) sowie des Kalibriergegenstandes ( $Y_{A,ij}$  bzw.  $Y_{N,ij}$ ) sind in einer Tabelle zusammenzufassen. Zwei Beispiele dazu sind in Tabelle 1 gezeigt. Im Ergebnis der Kalibrierung erhält man für jedes Nennkalibrierdrehmoment 5 bzw. 10 Einzelwerte des Kalibriergegenstandes (Fall A) oder für jedes Nennmoment des Kalibriergegenstandes 5 bzw. 10 Einzelwerte der Kalibriereinrichtung (Fall B).

	Fall A	$j$	$Y_{A,ij}$ in N·m			
$i$	$M_{N,i}$	1	2	3	4	5
1	20 N·m	20,2	20,1	20,3	20,3	20,1
2	60 N·m	60,4	60,5	60,6	60,4	60,6
3	100 N·m	101,0	101,5	102,0	102,5	103,0
	Fall B	$j$	$M_{A,ij}$ in N·m			
$i$	$Y_{N,i}$	1	2	3	4	5
1	20 N·m	19,8	19,9	19,7	19,7	19,9
2	60 N·m	59,6	59,5	59,4	59,6	59,4
3	100 N·m	99	98,5	98	97,5	97

Tabelle 1: Beispiele für Messwerte aus einer Kalibrierung nach DIN EN ISO 6789 (Fälle A und B)

Zu jeder Drehmomentstufe  $i$  wird jetzt ein Kalibrierergebnis berechnet, wobei wieder die Fälle A und B zu unterscheiden sind. Die Berechnung erfolgt

- für A nach

$$Y_i = Y(M_{N,i}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{A,i,j} \quad (5)$$

- für B nach

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n M_{A,i,j} \quad (6)$$

mit  $n = 5$  oder  $n = 10$ .

Weiterhin wird bei Drehmomentschlüsseln, deren Anzeige in Drehmomenteinheiten erfolgt, die Anzeigeabweichung bestimmt. Diese wird

- im Fall A nach

$$f_q(M_{N,i}) = Y_i - M_{N,i} \quad (7)$$

- im Fall B nach

$$f_q(Y_{N,i}) = Y_{N,i} - M_i \quad (8)$$

berechnet. Die relative Anzeigeabweichung berechnet sich dann

- im Fall A nach

$$\frac{f_q(M_{N,i})}{M_{N,i}} = \frac{Y_i - M_{N,i}}{M_{N,i}} \quad (9)$$

- im Fall B nach

$$\frac{f_q(Y_{N,i})}{M_i} = \frac{Y_{N,i} - M_i}{M_i} \quad (10)$$

Für jede Drehmomentstufe  $i$  ist aus den Messergebnissen der Parameter Wiederholpräzision als Spannweite der Einzelwerte zu berechnen und ebenfalls in einer Tabelle darzustellen. Die Gleichungen dazu lauten

- im Fall A

$$b'_i = b'(Y_i) = \max_j(Y_{A,i,j}) - \min_j(Y_{A,i,j}) \quad (11)$$

- im Fall B

$$b'_i = b'(M_i) = \max_j(M_{A,i,j}) - \min_j(M_{A,i,j}) \quad (12)$$

Nach dem Normentwurf sind Zusatzuntersuchungen bezüglich des Einflusses des Verbindungsprofils und der Lage des Krafteinleitungspunktes (Hebellänge) notwendig. Diese können typbezogen sein.

Der erste Parameter, mit  $b_v$  bezeichnet, berücksichtigt nicht nur den Einfluss der Stellung einer Ratsche, sondern auch die unterschiedliche Zuordnung der Flächen zum Beispiel bei Vierkantaufnahmen. Falls ein festes Verbindungsprofil am Werkzeug vorliegen sollte, ist zu prüfen, ob das Gegenstück an der Kalibriereinrichtung in seiner Stellung verändert werden kann.

Zur Bestimmung des Einflusses des Verbindungsprofils  $b_v$  sind in insgesamt  $k = 1, 2, \dots, m$  (z. B.  $m = 4$ ) verschiedenen, auf  $360^\circ$  gleichmäßig verteilten Einbaustellungen jeweils  $l = 1, 2, \dots, o$  (z. B.  $o = 10$ ) Einzelmessungen beim Messbereichsanfangswert und mittlerer Hebellänge durchzuführen.

Der Parameter  $b_v$  ergibt sich

- im Fall A aus

$$b_v = \max_k \left( \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o Y_{A,k,l} \right) - \min_k \left( \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o Y_{A,k,l} \right) \quad (13)$$

- im Fall B aus

$$b_v = \max_k \left( \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o M_{A,k,l} \right) - \min_k \left( \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o M_{A,k,l} \right) \quad (14)$$

Zur Bestimmung des Einflusses des Krafteinleitungspunktes  $b_L$  sind für Drehmomentschlüssel bei 60% des Nenndrehmomentes jeweils  $l = 1, 2, \dots, o$  Einzelmessungen (z. B.  $o = 10$ ) bei mittlerer Hebellänge (mittel) sowie bei um 10 mm vergrößerter (lang) sowie um 10 mm verkleinerter (kurz) Hebellänge durchzuführen.

Der Parameter  $b_L$  ergibt sich

- im Fall A aus

$$b_L = \max \left( \left| \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o Y_{A,\text{mittel},l} - \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o Y_{A,\text{lang},l} \right|, \left| \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o Y_{A,\text{mittel},l} - \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o Y_{A,\text{kurz},l} \right| \right) \quad (15)$$

- im Fall B aus

$$b_L = \max \left( \left| \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o M_{A,\text{mittel},l} - \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o M_{A,\text{lang},l} \right|, \left| \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o M_{A,\text{mittel},l} - \frac{1}{o} \sum_{l=1}^o M_{A,\text{kurz},l} \right| \right). \quad (16)$$

Die zu den in Tabelle 1 angeführten Messergebnissen gehörenden Ergebnisse der Auswertung sowie beispielhafte Werte für die übrigen Parameter sind in der Tabelle 2 wiedergegeben.

Fall A		Alle Werte in N·m					
$i$	$M_{N,i}$	$Y_i$	$f_{q,i}$	$b'_i$	$b_V$	$b_L$	$r$
1	20 N·m	20,2	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10
2	60 N·m	60,5	0,50	0,20	0,20	0,10	0,10
3	100 N·m	102,0	2,00	2,00	0,20	0,10	0,10
Fall B		Alle Werte in N·m					
$i$	$Y_{N,i}$	$Y_i$	$f_{q,i}$	$b'_i$	$b_V$	$b_L$	$r$
1	20 N·m	19,8	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10
2	60 N·m	59,5	0,50	0,20	0,20	0,10	0,10
3	100 N·m	98,0	2,00	2,00	0,20	0,10	0,10

Tabelle 2: Beispiele für die Ergebnisse einer Messung nach DIN EN ISO 6789 (Fälle A und B)

Abschließend sind die den Einzel- sowie den Mittelwerten zugeordneten Messunsicherheiten sowie das Messunsicherheitsintervall zu berechnen. Allgemein fließt in die Messunsicherheit der Einzelwerte neben den oben bestimmten Parametern  $b_V$  und  $b_L$  die Auflösung der am Werkzeug gemessenen oder eingestellten Drehmomentwerte und die Unsicherheit der Kalibrierdrehmomente ein. In der Messunsicherheit der Mittelwerte ist zusätzlich der Parameter  $b'_i$  enthalten. Das Messunsicherheitsintervall berücksichtigt darüber hinaus die Anzeigeabweichung des Mittelwertes.

Die Auflösung des Kalibriergegenstands ist entsprechend der Norm zu bestimmen und in Drehmomenteinheiten anzugeben.

Den Parametern werden gemäß der weiter unten angeführten Tabelle 3 Verteilungsfunktionen zugeordnet und es werden die entsprechenden relativen Standardunsicherheiten berechnet.

Als Modellfunktion wird

- im Fall A

$$Y_i = Y(M_{N,i}) = C \cdot M_{N,i} \cdot \prod_{m=1}^p (1 - \delta X_{i,m}) \quad (17)$$

- im Fall B

$$M_i = C \cdot Y_{N,i} \cdot \prod_{m=1}^p (1 - \delta X_{i,m}) \quad (18)$$

gewählt.

Dabei sind für jede Drehmomentstufe  $i$  eine Anzahl von  $p$  Einflussgrößen zu berücksichtigen, die mit den oben genannten Parametern korrespondieren.

Insbesondere beschreibt

- $\delta X_{i,1}$  den Einfluss der Messunsicherheit der Kalibrierdrehmomente der Kalibriereinrichtung einschließlich eines Anteiles für deren Langzeitstabilität
- $\delta X_{i,2}$  den Einfluss der Auflösung der Anzeige (einschließlich deren Stabilität) bzw. des Einstellwertes am Werkzeug auf das Nullsignal
- $\delta X_{i,3}$  den Einfluss der Auflösung der Anzeige (einschließlich deren Stabilität) bzw. des Einstellwertes am Werkzeug auf den Messwert
- $\delta X_{i,4}$  den Einfluss der Wiederholpräzision  $b'_i$
- $\delta X_{i,5}$  den Einfluss des Verbindungsprofils  $b_V$
- $\delta X_{i,6}$  den Einfluss der Lage des Kräfteinleitungspunktes  $b_L$  (Drehmomentschlüssel)
- $\delta X_{i,7}$  den Einfluss der Interpolation  $f_a$  falls diese nach (3) bzw. (4) oder ähnlichen Verfahren durchgeführt wurde.

Die Standardunsicherheit der Einzelwerte  $w_{EW,i}$  sowie die der Mittelwerte  $w_{MW,i}$  berechnet sich damit zum Beispiel unter Nutzung der (geeignet bestimmten) Interpolation der Ergebnisse zu

$$w_{EW,i} = \sqrt{w_{M,i}^2 + 2 \cdot w_r^2 + w_V^2 + w_L^2 + w_{f,a}^2}, \quad (19)$$

$$w_{MW,i} = \sqrt{w_{M,i}^2 + 2 \cdot w_r^2 + w_{b',i}^2 + w_V^2 + w_L^2 + w_{f,a}^2}, \quad (20)$$

die erweiterte ( $k = 2$ ) Messunsicherheit der Einzelwerte und Mittelwerte folgt aus

$$W_{EW,i} = k \cdot w_{EW,i} \text{ mit } k = 2, \quad (21)$$

$$W_{MW,i} = k \cdot w_{MW,i} \text{ mit } k = 2. \quad (22)$$

In den meisten Fällen kann der Einfluss der Interpolation  $f_a$  vernachlässigt werden. Das zugehörige erweiterte ( $k = 2$ ) relative Messunsicherheitsintervall  $W'_i$  des Kalibrierergebnisses in der Drehmomentstufe  $i$  ergibt sich dann

- für den Fall A zu

$$W'_i = \left| \frac{f_q(M_{N,i})}{M_{N,i}} \right| \cdot 100\% + k \cdot w_{MW,i} \quad (23)$$

- für den Fall B zu

$$W'_i = \left| \frac{f_q(Y_{N,i})}{M_i} \right| \cdot 100\% + k \cdot w_{MW,i}. \quad (24)$$

Parameter	Verteilungsfunktion	Relative Standardmessunsicherheit $w$ in % Fall A   Fall B
Messunsicherheit der Kalibrierdrehmomente	Typ B Normalverteilung	$w_{M,i}$
Auflösung $r$	Typ B Rechteckverteilung	$w_r = \frac{\left(\frac{r}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{M_{N,i}} \quad   \quad w_r = \frac{\left(\frac{r}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{Y_{N,i}}$
Wiederholpräzision $b'_i$	Typ B Rechteckverteilung	$w_{b',i} = \frac{\left(\frac{b_i}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{M_{N,i}} \quad   \quad w_{b',i} = \frac{\left(\frac{b_i}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{Y_{N,i}}$
Einfluss des Verbindungsprofils $b_V$	Typ B Rechteckverteilung	$w_V = \frac{\left(\frac{b_V}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{M_{N,i}} \quad   \quad w_V = \frac{\left(\frac{b_V}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{Y_{N,i}}$
Einfluss der Lage des Krafteinleitungspunktes $b_L$	Typ B Rechteckverteilung	$w_L = \frac{\left(\frac{b_L}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{M_{N,i}} \quad   \quad w_L = \frac{\left(\frac{b_L}{2}\right)}{\sqrt{3}} \frac{100}{Y_{N,i}}$
Interpolation $f_a$	Typ B Dreieckverteilung	$w_{f,a} = \frac{\left(\frac{f_a}{2}\right)}{\sqrt{6}} \frac{100}{M_{N,i}} \quad   \quad w_{f,a} = \frac{\left(\frac{f_a}{2}\right)}{\sqrt{6}} \frac{100}{Y_{N,i}}$

Tabelle 3: Verteilungsfunktionen zu den Parametern und zugeordnete relative Standardmessunsicherheiten

Die zu den Ergebnissen in der Tabelle 2 gehörenden Messunsicherheitsbeiträge sowie die Unsicherheitsintervalle sind in Tabelle 4 wiedergegeben. Tabelle 5 enthält die berechneten Kalibrierergebnisse.

	Fall A	Alle Werte in %							
$i$	$M_{N,i}$	$w_{M,i}$	$w_{b,i}$	$w_V$	$w_L$	$w_r$	$w_{EW,i}$	$w_{MW,i}$	$W'_i$
1	20 N·m	0,05	0,289	0,289	0,144	0,144	0,385	0,481	1,963
2	60 N·m	0,05	0,096	0,096	0,048	0,048	0,137	0,167	1,168
3	100 N·m	0,05	0,577	0,058	0,029	0,029	0,091	0,585	3,169
	Fall B	Alle Werte in %							
$i$	$Y_{N,i}$	$w_{M,i}$	$w_{b,i}$	$w_V$	$w_L$	$w_r$	$w_{EW,i}$	$w_{MW,i}$	$W'_i$
1	20 N·m	0,05	0,289	0,289	0,144	0,144	0,385	0,481	1,963
2	60 N·m	0,05	0,096	0,096	0,048	0,048	0,137	0,167	1,168
3	100 N·m	0,05	0,577	0,058	0,029	0,029	0,091	0,585	3,169

Tabelle 4: Beispiele für berechnete Messunsicherheiten nach DIN EN ISO 6789 (Fälle A und B)

	Fall A		Fall B	
$i$	$M_{N,i}$	$Y_i \pm W'_i$	$Y_{N,i}$	$M_i \pm W'_i$
1	20 N·m	20,2 N·m $\pm$ 2,0%	20 N·m	19,8 N·m $\pm$ 2,0%
2	60 N·m	60,5 N·m $\pm$ 1,2%	60 N·m	59,5 N·m $\pm$ 1,2%
3	100 N·m	102,0 N·m $\pm$ 3,2%	100 N·m	98,0 N·m $\pm$ 3,2%

Tabelle 5: Beispiele für Kalibrierergebnisse nach DIN EN ISO 6789 (Fälle A und B)

Eine Konformitätsaussage bezüglich der hier besprochenen Norm muss unter Berücksichtigung der erweiterten ( $k = 2$ ) Messunsicherheit  $W_{EW,i} = 2 \cdot w_{EW,i}$  der Einzelwerte getroffen werden.

Konformität gilt als gegeben, wenn das durch  $W_{EW,i}$  definierte Intervall mit dem Messwert als Mittelwert komplett innerhalb des durch die Norm definierten Bandes von  $\pm 4\%$  bzw.  $\pm 6\%$  um den Sollwert liegt.

D. Röske  
08.06.2012