

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



**Richtlinie
DKD-R 10-8**

**Statische Kalibrierung von
Kalibriereinrichtungen für
Drehmomentschlüssel**

Ausgabe 02/2020

<https://doi.org/10.7795/550.20200210>



	<p style="text-align: center;">Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20200210</p>	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	2 / 28

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

DKD-Geschäftsstelle

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Postfach 33 45 38023 Braunschweig

Telefon Sekretariat: 0531 592-8021

Internet: www.dkd.eu

	<p style="text-align: center;">Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20200210</p>	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	3 / 28

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:

Richtlinie DKD-R 10-8, Statische Kalibrierung von Kalibriereinrichtungen für Drehmomentschlüssel, Ausgabe 02/2020, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20200210

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). In diesem Zusammenhang bedeutet „nicht-kommerziell“ (NC), dass das Werk nicht zum Zwecke der Einnahmenerzielung verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden darf. Eine Nutzung seiner Inhalte für die gewerbliche Verwendung in Laboratorien ist ausdrücklich erlaubt.



Autoren:

Diedert Peschel, DrehmomentService Dr. Peschel GmbH & Co. KG, Peine;
Dirk Röske, PTB, Braunschweig; im Namen vieler weiterer, hier nicht genannter Kolleginnen und Kollegen

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit dem Fachausschuss *Drehmoment* des DKD.

	<p style="text-align: center;">Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20200210</p>	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	4 / 28

Vorwort

DKD-Richtlinien sind Anwendungsdokumente zu den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025. In den Richtlinien werden technische, verfahrensbedingte und organisatorische Abläufe beschrieben, die den akkreditierten Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen. DKD-Richtlinien können zum Bestandteil von Qualitätsmanagementhandbüchern der Kalibrierlaboratorien werden. Durch die Umsetzung der Richtlinien wird die Gleichbehandlung der zu kalibrierenden Geräte in den verschiedenen Kalibrierlaboratorien gefördert und die Kontinuität und Überprüfbarkeit der Arbeit der Kalibrierlaboratorien verbessert. Außerdem kann durch die Umsetzung der Richtlinien der Stand der Technik auf dem jeweiligen Gebiet in die Laborpraxis Eingang finden.

Die DKD-Richtlinien sollen nicht die Weiterentwicklung von Kalibrierverfahren und -abläufen behindern. Abweichungen von Richtlinien und neue Verfahren sind im Einvernehmen mit der Akkreditierungsstelle zulässig, wenn fachliche Gründe dafür sprechen.

Kalibrierungen der akkreditierten Laboratorien geben dem Anwender Sicherheit für die Verlässlichkeit von Messergebnissen, erhöhen das Vertrauen der Kunden und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem nationalen und internationalen Markt und dienen als messtechnische Grundlage für die Mess- und Prüfmittelüberwachung im Rahmen von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Die vorliegende Richtlinie wurde im Rahmen des Fachausschusses *Drehmoment* erstellt und vom Vorstand des DKD genehmigt.

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel https://doi.org/10.7795/550.20200210	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	5 / 28

Inhaltsverzeichnis

1	Anwendungsbereich	7
2	Formelzeichen	8
3	Forderungen an Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen	9
3.1	Beschreibung und Kennzeichnung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung	9
3.2	Drehmomenteinleitung	9
4	Kalibrierung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung	10
4.1	Allgemeines	10
4.2	Auflösung des Anzeigerätes	10
4.2.1	Skalenanzeige	10
4.2.2	Ziffernanzeige	10
4.2.3	Einheiten	11
4.3	Vorbereitung der Kalibrierung	11
4.3.1	Anzeigerät	11
4.3.2	Temperatur- und Feuchteausgleich	11
4.3.3	Aufnehmernullsignal	11
4.3.4	Aufnehmeranschluss	11
4.4	Durchführung der Kalibrierung	11
4.4.1	Kalibrierumfang und -verfahren	11
4.4.2	Vorbelastung	11
4.4.3	Lage der Messachse	12
4.4.4	Durchführung der Kalibrierung	12
4.4.5	Belastungsbedingungen	14
4.4.6	Nullpunktтарierung	14
4.5	Beurteilung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung	14
4.5.1	Kalibrierergebnis Y	14
4.5.2	Vergleichspräzision b	14
4.5.3	Wiederholpräzision b'	14
4.5.4	Hebellängeneinfluss b_L	14
4.5.5	Einfluss des Verbindungsprofils b_V	15
4.5.6	Regressionsabweichung f_a	15
4.5.7	Anzeigeabweichung f_q	15
4.5.8	Umkehrspanne h	15
5	Bestimmung der relativen erweiterten Messunsicherheit W bzw. der relativen Abweichungsspanne W'	15
5.1	Modell	16
5.2	Messunsicherheitsbudget	17

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel https://doi.org/10.7795/550.20200210	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	6 / 28

6	Kalibrierschein und Rekalibrierung	18
6.1	Kalibrierschein.....	18
6.2	Rekalibrierung	19
Anhang A	Anwendung von kalibrierten Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen....	20
Anhang B	Beispiele für Kalibrierabläufe	21
Anhang C	Beispiel für ein Kalibrierergebnis.....	22
Anhang D	Relative Abweichungsspanne	26
Anhang E	Klassifizierung des Messgerätes.....	27

	<p style="text-align: center;">Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20200210</p>	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	7 / 28

1 Anwendungsbereich

Im Folgenden werden Kalibriereinrichtungen für Drehmomentschlüssel auch als Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen bezeichnet.

Diese Richtlinie gilt für die Kalibrierung von Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen mit Drehmoment-Transferschlüsseln als Transfornormal und untersetzt die entsprechenden Forderungen der DIN EN ISO 6789 [1]. Es wird ein Verfahren zur Bestimmung der relativen Messunsicherheit dieser Geräte beschrieben.

Diese Richtlinie schließt die Verwendung von Kalibrierbalken und -scheiben mit fester Länge als Transfornormale aus, da die Bestimmung des Parameters Spannweite bei verschiedenen Hebelarmlängen mit diesen Geräten nicht möglich ist und somit keine hinreichende Kalibrierung und Bestimmung der Messunsicherheit erfolgen kann. Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen im Sinne dieser Richtlinie sind spezielle Drehmomentmessgeräte, die durch ihre Bauform die Einleitung des Drehmomentes über ein Drehmomentmessgerät mit Hebelarm ermöglichen. Diese Richtlinie berücksichtigt die abweichenden Kraftereinleitungsbedingungen auf den Kalibriergegenstand gegenüber denen von Drehmomentmessgeräten nach DIN 51309 [2].

Kalibriereinrichtungen, bei denen eine integrierte Nullpunktunterdrückung bzw. -spreizung während der Kalibrierung nicht abschaltbar ist, dürfen nach dem Anschalten während des kompletten Kalibriervorganges zwecks Tarierung nicht erneut aus- und eingeschaltet werden, es sei denn der Hersteller fordert in der technischen Dokumentation eine zusätzliche Tarierung in der Anwendung. Geräte, bei denen nur die Spitzenwerte erfassbar sind, gelten im Sinne dieser Richtlinie als nicht kalibrierfähig.

Als Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung wird das gesamte Gerät vom Drehmoment-aufnehmer bis einschließlich des Anzeigegerätes definiert.

Der Anwendungsbeginn dieser Richtlinie ist 2020-03-01. Daneben darf die Richtlinie DKD-R 3-8 (Ausgabe 09/2018) noch bis 2022-02-28 angewendet werden. Wenn diese Richtlinie allerdings zusammen mit der Richtlinie DKD-R 3-7 (Ausgabe 09/2018) verwendet werden soll, das heißt, dass eine nach DKD-R 10-8 (Ausgabe 02/2020) kalibrierte Messeinrichtung die Basis für Kalibrierungen nach DKD-R 3-7 (Ausgabe 09/2018) bilden soll, dann ist die Hysterese der Kalibriereinrichtung mit in das Messunsicherheitsbudget nach DKD-R 10-8 aufzunehmen.

2 Formelzeichen

Für die Anwendung dieser DKD-Richtlinie gelten die in Tabelle 1 angegebenen Formelzeichen.

Tabelle 1: Formelzeichen, Einheiten und Benennung

Formelzeichen	Benennung	Einheit
M	Drehmoment	N·m
M_N	Nenndrehmoment	N·m
M_A	Messbereichsanfangswert	N·m
M_E	Messbereichsendwert	N·m
M_K	Kalibrierdrehmoment	N·m
	AE = Anzeigeeinheit des Ausgangssignals (z.B. N·m, mV/V, V, Hz)	
I	unkorrigierter Anzeigewert des Anzeigerätes	AE
I_S	Anzeigewert vor Einbau in die Kalibriereinrichtung und in vertikaler Lage (Aufnehmernullwert)	AE
$I_{0,j}$	Anzeigewert vor der Belastung in Einbaustellung j (Nullwert)	AE
$I_{f,j}$	Anzeigewert nach der Entlastung in Einbaustellung j	AE
$I_j(M_K)$	Anzeigewert bei zunehmendem Kalibrierdrehmoment M_K in Einbaustellung j	AE
$I'_j(M_K)$	Anzeigewert bei abnehmendem Kalibrierdrehmoment M_K in Einbaustellung j	AE
X	um den Nullwert korrigierter Anzeigewert des Anzeigerätes	AE
$X_j(M_K)$	um den Nullwert korrigierter Anzeigewert bei zunehmendem Kalibrierdrehmoment M_K in Einbaustellung j	AE
$X'_j(M_K)$	um den Nullwert korrigierter Anzeigewert bei abnehmendem Kalibrierdrehmoment M_K in Einbaustellung j	AE
$X_{L,red}(M_K)$	um den Nullwert korrigierter Anzeigewert bei reduzierter Hebelarmlänge	AE
$X_{L,nom}(M_K)$	um den Nullwert korrigierter Anzeigewert bei nomineller Hebelarmlänge	AE
$X_V(M_K)$	um den Nullwert korrigierter Anzeigewert bei gedrehten Verbindungsprofil	AE
Y	Kalibrierergebnis	AE
$Y(M_K)$	Kalibrierergebnis beim Kalibrierdrehmoment M_K	AE
Y_E	Kalibrierergebnis beim Messbereichsendwert M_E	AE
$Y_a(M_K)$	interpoliertes Kalibrierergebnis beim Kalibrierdrehmoment M_K	AE
	Geometrische Größen	
l	Hebelarmlänge des Drehmoment-Transferschlüssels	mm
l_{red}	reduzierte Hebelarmlänge nach Tabelle 3	mm
l_{nom}	nominelle Hebelarmlänge oder Nennhebelarmlänge nach Tabelle 3	mm

Tabelle 1: Formelzeichen, Einheiten und Benennung (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennung	Einheit
	Größen für die Messunsicherheitsbetrachtung	
$b(M_K)$	Vergleichspräzision beim Kalibrierdrehmoment M_K	AE
$b'(M_K)$	Wiederholpräzision beim Kalibrierdrehmoment M_K	AE
$b_L(M_K)$	Spannweite bei verschiedenen Hebelarmlängen und dem Kalibrierdrehmoment M_K	AE
$f_a(M_K)$	Regressionsabweichung beim Kalibrierdrehmoment M_K	AE
$f_q(M_K)$	Anzeigeabweichung beim Kalibrierdrehmoment M_K	AE
f_0	Nullpunktabweichung	AE
$h(M_K)$	Umkehrspanne beim Kalibrierdrehmoment M_K	AE
r	Auflösung des Anzeigegegerätes der Kalibriereinrichtung	N·m
$w_{TN}(M_K)$	relative Standardmessunsicherheit des Drehmomentwertes M_K des Drehmoment-Transfornormales	%
$W_{TN}(M_K)$	relative erweiterte Messunsicherheit des Drehmomentwertes M_K des Drehmoment-Transfornormales	%
$w(M_K)$	relative Standardmessunsicherheit des Kalibrierergebnisses beim Kalibrierdrehmoment M_K	%
$W(M_K)$	relative erweiterte Messunsicherheit des Kalibrierergebnisses beim Kalibrierdrehmoment M_K bei Verwendung einer kubischen Ausgleichsfunktion	%
$W'(M_K)$	relative Abweichungsspanne des Kalibrierergebnisses beim Kalibrierdrehmoment M_K (siehe dazu auch Anhang D)	%

3 Forderungen an Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen

3.1 Beschreibung und Kennzeichnung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung

Funktionell besteht eine Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung aus einer Vorrichtung zur Aufnahme eines Drehmomentaufnehmers, einem Drehmomentaufnehmer und der Anzeigeeinrichtung.

Alle Teile der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung (einschließlich Kabel für den elektrischen Anschluss) sind einzeln und eindeutig (z. B. mit dem Namen des Herstellers, dem Typ, 4- oder 6-Leiter-Schaltung o. ä. und der Werksnummer) zu kennzeichnen. Es ist das Nenndrehmoment anzugeben.

3.2 Drehmomenteinleitung

Auf der Messseite kann das Drehmoment in Achsrichtung über austauschbare Adaptionsteile eingeleitet werden, die die durch die Krafeinleitung über den Hebelarm erzeugten Querkräfte und Biegemomente mit hinreichend geringer Verformung übertragen müssen und zu keiner die Messunsicherheit beeinflussenden Radialverschiebung des Drehmomentvektors führen dürfen. Es dürfen keine Mehrfachadapter zum Einsatz kommen, die zu radialen Abweichungen oder Winkelabweichungen der Messachse führen. Der Aufbau kann sowohl mit horizontaler als auch vertikaler Ausrichtung der Messachse erfolgen.

	<p style="text-align: center;">Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20200210</p>	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	10 / 28

Die Hebelarmlänge zur Erzeugung des Drehmomentes über das Transfornormal muss mindestens im Bereich der Hebelarmlängen von handelsüblichen Drehmomentschlüsseln entsprechend dem zu kalibrierenden Messbereich variiert werden können. Die Kräfteinleitung am Hebelarm des Transfornormales muss so erfolgen, dass zusätzliche parasitäre Kräfte und Momente vermieden werden.

4 Kalibrierung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung

4.1 Allgemeines

Die Kalibrierung besteht darin, dass in die Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung Drehmomente, Querkräfte und Biegemomente eingeleitet werden, die in ihrer Kombination den realen Anwendungsbedingungen bei der Kalibrierung von Drehmomentschlüsseln entsprechen. Die zugehörigen Anzeigen der Kalibriereinrichtung sowie des Drehmoment-Transfornormales werden aufgezeichnet.

Ein elektrisches Anzeigegerät ist gegen ein gleichartiges austauschbar, wenn seine Abweichungen auf das Ergebnis infolge seiner technischen Spezifikation und seiner Messunsicherheit nur unwesentlichen Einfluss haben (die zusätzliche Messunsicherheit durch den Austausch des Anzeigegerätes sollte höchstens 1/3 der relativen Messunsicherheit der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung w_{KE} betragen).

Durch das Eigengewicht des Transfornormales dürfen keine unzulässigen, die Messunsicherheit beeinträchtigenden zusätzlichen Störkräfte oder -momente erzeugt werden. Bei vorhandenem Stützlager an der Messeite des Drehmomentaufnehmers der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung muss die Möglichkeit eines unzulässigen Drehmomentnebschlusses durch das Eigengewicht des Transferschlüssels überprüft werden. Es soll dem Gewicht vergleichbarer Drehmomentschlüssel in dem zu kalibrierenden Messbereich der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung nahekommen.

Es ist sicherzustellen, dass die Drehmomenteinleitungsteile zur Adaption von Transfernormalen an die Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung mindestens das 1,2-fache des maximalen Kalibrierdrehmomentes unter Gewährleistung eines linearen Verformungsverhaltens übertragen können.

Vor der Kalibrierung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung ist sicherzustellen, dass diese kalibrierfähig ist.

4.2 Auflösung des Anzeigegerätes

4.2.1 Skalenanzeige

Die Teilstriche auf der Skale müssen gleich dick und die Breite des Zeigers muss ungefähr gleich der Breite eines Teilstriches sein.

Die Auflösung r des Anzeigegerätes ist definiert als kleinster noch schätzbarer Bruchteil eines Skalenteiles und ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Breite des Zeigers und dem Mittenabstand zweier benachbarter Skalenstriche (Teilstrichabstand). Die empfohlenen Verhältnisse sind 1/2, 1/5 oder 1/10. Ein Abstand von 1,25 mm oder größer ist für die Abschätzung eines Zehntels des Skalenteils auf der Skale erforderlich.

4.2.2 Ziffernanzeige

Die Auflösung r wird als ein Ziffersschritt der letzten sich bewegenden Ziffer auf dem Ziffernanzeigegerät plus der Hälfte des Schwankungsbereiches angesehen. Bei Anzeigeeinrichtungen mit aktiver Nullpunktunterdrückung bzw. -spreizung ist diese zur Bestimmung der Anzeigeschwankung durch geeignete Verfahren, z. B. eine Vorlast beim Tarieren, zu umgehen.

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel https://doi.org/10.7795/550.20200210	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	11 / 28

4.2.3 Einheiten

Die Auflösung r wird in Drehmomenteinheiten umgerechnet und angegeben.

4.3 Vorbereitung der Kalibrierung

4.3.1 Anzeigegerät

Das Anzeigegerät ist nach Herstellerangabe oder Kundenspezifikation einzustellen. Alle variablen Einstellungen (speziell Abtastrate und Filtereinstellungen) sind zu protokollieren. Das Anzeigegerät ist vor Beginn der Kalibrierung auf hinreichende Stabilität des Nullpunktes zu prüfen.

4.3.2 Temperatur- und Feuchteausgleich

Vor der Kalibrierung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung ist bei angelegter Speisespannung das Temperatur- und Feuchtegleichgewicht zwischen dem Aufnehmer und der Umgebung abzuwarten und über die Nullpunktstabilität zu bewerten.

4.3.3 Aufnehmernullsignal

Vor Beginn der Kalibrierung ist, wenn technisch möglich, das nicht tarierte Nullsignal der mechanisch unbelasteten Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung zu messen und unter Angabe der Lage der Messachse zu protokollieren. Die Kenntnis des zeitlichen Verhaltens des Nullsignals ermöglicht Rückschlüsse über die zeitliche Stabilität der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung und ihre Vorgeschichte.

4.3.4 Aufnehmeranschluss

Der Aufnehmer ist so anzuschließen, dass sich bei zunehmendem Rechtsdrehmoment eine steigende positive Anzeige ergibt.

4.4 Durchführung der Kalibrierung

4.4.1 Kalibrierumfang und -verfahren

Zur Kalibrierung von Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen werden rückführbar kalibrierte Drehmoment-Transferschlüssel [3] eingesetzt.

Die Kalibrierung erfolgt getrennt für Rechts- und Linksdrehmoment. Die Kalibrierung von Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen kann sowohl als rein statisches Verfahren durch Messung diskreter Drehmomentwerte durchgeführt werden als auch als kontinuierliches Verfahren im Durchlauf ohne Haltezeit bei diskreten Drehmomentwerten.

Bei kontinuierlicher Kalibrierung ist sicherzustellen, dass das Verfahren der Messwertübernahme vom Drehmoment-Transferschlüssel und vom Kalibriergegenstand zu keiner relevanten Messabweichung führt. Einfluss haben u. a. die Filtereinstellungen der Anzeigeeinrichtungen, eine mögliche Zeitdifferenz der Messwertabfrage der Messsignale von Drehmoment-Transferschlüssel und Kalibriergegenstand sowie die Anstiegsgeschwindigkeit des Drehmoments. Die Anwendung kontinuierlicher Kalibrierverfahren erfordert im Vorfeld experimentelle Untersuchungen zum Nachweis des Einflusses der Verfahrensbedingungen auf die Messunsicherheit der Kalibrierung.

4.4.2 Vorbelastung

Nach dem Einbau des Drehmoment-Transferrnormales in die Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung und bei Änderung der Belastungsrichtung ist einmal mit dem Endwert des zu kalibrierenden Messbereiches M_E vorzubelasten. Die Dauer der Vorbelastung sollte möglichst kurzgehalten werden, um Kriecheinflüsse zu minimieren. Nach der Vorbelastung ist bis zur Stabilisierung des Nullsignals innerhalb der Mindestauflösung am Messbereichsanfangswert zu warten. Ein vorhandenes Restsignal ist zu protokollieren.

4.4.3 Lage der Messachse

Die Kalibrierung soll vorzugsweise in der Lage der Messachse der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung erfolgen, in der diese angewendet werden soll.

4.4.4 Durchführung der Kalibrierung

Die Anzahl der Messreihen ergibt sich aus der Zielstellung für die Messunsicherheit der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung gemäß Tabelle 2. Dabei ist die nach Abschnitt 5 zu bestimmende erweiterte relative Messunsicherheit bzw. die relative Abweichungsspanne (siehe Anhang D) anzusetzen. Wenn im Ergebnis die Zielstellung für die Messunsicherheit unterschritten wurde, ist mindestens der vorher angesetzte Wert zu verwenden oder die Kalibrierung ist mit einem kleineren Zielwert zu wiederholen.

Tabelle 2: Anzahl der mindestens erforderlichen Messreihen

Mögliche Änderung der Einbaustellung	relative erweiterte Messunsicherheit ($k = 2$) bzw. relative Abweichungsspanne in %	Anzahl der Messreihen bei				
		nominaler Hebelarmlänge 0°-Position		reduzierter Hebelarmlänge 0°-Position	gedrehtem Drehmoment-sensor	gedrehtem Verbindungsprofil
		aufwärts	abwärts	aufwärts	aufwärts	aufwärts
Sensor und Verbindungsprofil drehbar	< 0,5	2	1	1	1	1
	≥ 0,5	2	1	1	-	1
Sensor drehbar, Verbindungsprofil fest	< 0,5	2	1	1	1	-
	≥ 0,5	2	1	1	-	-
Sensor fest, Verbindungsprofil drehbar	< 0,5	3	1	1	-	1
	≥ 0,5	2	1	1	-	1
Sensor und Verbindungsprofil fest	< 0,5	3	1	1	-	-
	≥ 0,5	2	1	1	-	-

Die Kalibrierung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung erfolgt in einer Einbaulage mit zwei Aufwärtsreihen und einer Abwärtsreihe bei nomineller Hebelarmlänge. Die beiden Aufwärtsreihen in gleicher Einbaustellung bestimmen die Wiederholpräzision.

Für angestrebte relative Messunsicherheiten kleiner als 0,5 % muss eine weitere Aufwärtsreihe gemessen werden. Sofern der Drehmomentaufnehmer in verschiedenen Einbaustellungen verwendet werden kann, ist diese Aufwärtsreihe in einer geeigneten Position dieses Aufnehmers durchzuführen. Die Drehung des Aufnehmers sollte vorzugsweise um 45° oder 180° erfolgen. Wenn der Drehmomentaufnehmer nicht in verschiedenen Einbaustellungen verwendet wird, dann ist eine weitere Aufwärtsreihe zu messen, nachdem der Drehmoment-Transferschlüssel aus der Messeinrichtung entnommen und neu eingesetzt wurde. Diese Messungen dienen der Berechnung der Vergleichspräzision.

Falls der Drehmoment-Transferschlüssel eine Kalibrierung in der benötigten Einbaustellung – zum Beispiel wegen eines nicht um 45° drehbaren Verbindungsprofils – nicht gestattet, ist die Vergleichspräzision auf der Basis anderer Informationen zu schätzen. Diese sollten aus einer vorherigen Kalibrierung mit einem entsprechenden Drehmoment-Transferschlüssel mit drehbarem Verbindungsprofil stammen.

Grundsätzlich muss die Lage des Kraftvektors zum Verformungskörper des Drehmomentaufnehmers definiert und entsprechend gekennzeichnet sein.

Zur Bestimmung des Einflusses des Krafterleitungspunktes am Hebelarm auf das Kalibrierergebnis muss eine zusätzliche Aufwärtsreihe in der 0°-Einbaustellung bei reduzierter Hebelarmlänge gemessen werden (siehe auch Anlage B). Der Bereich der Variation der Hebelarmlänge ist der Tabelle 3 zu entnehmen, die Festlegung dieser Werte erfolgte auf der Grundlage der typischen Hebelarmlängen handelsüblicher Drehmomentschlüssel. Diese Messreihe kann vor allen anderen Reihen gemessen werden.

Tabelle 3: Bereiche der Variation der Hebelarmlänge

M_N in N·m	l_{red} in mm	l_{nom} in mm
bis 20	100	200
über 20 bis 50	200	400
über 50 bis 150	300	500
über 150 bis 400	400	700
über 400 bis 1000	600	1000
über 1000 bis 2000	1000	1500
über 2000 bis 3000	1300	1800

Zur Bestimmung des Einflusses des Verbindungsprofils auf das Kalibrierergebnis muss bei Einrichtungen, in denen ein in der Position veränderliches Verbindungsprofil zum Einsatz kommt, eine zusätzliche Aufwärtsreihe in der 0°-Einbaustellung bei veränderter Position dieses Verbindungsprofils gemessen werden (siehe Anlage B). Diese Messreihe sollte vor der Drehung des Drehmomentaufnehmers – sofern zutreffend – gemessen werden.

Falls der Drehmoment-Transferschlüssel eine Kalibrierung in der benötigten Einbaustellung – zum Beispiel wegen eines nicht drehbaren Verbindungsprofils – nicht gestattet, ist der Einfluss des Verbindungsprofils auf der Basis anderer Informationen zu schätzen. Diese sollten aus einer vorherigen Kalibrierung mit einem entsprechenden Drehmoment-Transferschlüssel mit drehbarem Verbindungsprofil stammen.

Die Mindestanzahl der Drehmomentstufen (zusätzlich zur Null) für jeden Messbereich muss für eine angestrebte erweiterte relative Messunsicherheit bzw. eine angestrebte relative Abweichungsspanne von

< 0,5% 8

bzw. von

≥ 0,5% 5

betragen. Der Messbereichsanfangswert M_A muss Bestandteil der Kalibrierwerte sein. Die Drehmomentstufen müssen zweckmäßig über den Messbereich verteilt sein. Sinnvoll sind z. B. Schritte von 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 und 100 Prozent oder 2, 5, 10, 20, 40, 60, 80 und 100 Prozent, jeweils auf den aktuellen Endwert M_E des zu kalibrierenden Messbereiches bezogen.

Eine Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung kann für mehrere Messbereiche des Drehmoments getrennt kalibriert werden.

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel https://doi.org/10.7795/550.20200210	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	14 / 28

4.4.5 Belastungsbedingungen

Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Belastungsstufen muss möglichst gleich sein. Kriechbedingte Anzeigenänderungen erfordern eine möglichst exakte Einhaltung des Zeitablaufes.

Die Kalibrierung ist bei einer auf ± 1 K stabilen Umgebungstemperatur vorzunehmen, diese Temperatur muss im Bereich von 18 °C bis 28 °C (vorzugsweise bei 22 °C) liegen und ist zu protokollieren.

4.4.6 Nullpunktтарierung

Der Anzeigewert zu Beginn jeder Messreihe muss zu Null tariert werden, ausgenommen bei Geräten mit aktiver Nullpunktunterdrückung bzw. -spreizung (siehe hierzu Bemerkungen im Kapitel 1).

4.5 Beurteilung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung

Bei kontinuierlicher Kalibrierung sind für die Mindestanzahl von Drehmomentstufen für jede Messreihe die Messwerte rechnerisch zu ermitteln und daraus das Kalibrierergebnis, die Spannweiten b , b' und b_L sowie die Regressionsabweichung f_a (oder Anzeigeabweichung f_q) und die Umkehrspanne h zu bestimmen.

Hinweis: In den Formeln (1) bis (8) ist die Abhängigkeit vom Kalibrierdrehmoment M_K nicht explizit angegeben.

4.5.1 Kalibrierergebnis Y

Das Kalibrierergebnis Y berechnet sich nach Gleichung (1) als Mittelwert der Messergebnisse aus den n Aufwärtsreihen ($n \geq 1$) bei verschiedenen Einbaustellungen ohne Wiederholungsreihe bei gleicher Einbaustellung und bei nomineller Hebelarmlänge

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (I_j - I_{0,j}). \quad (1)$$

4.5.2 Vergleichspräzision b

Die Vergleichspräzision in verschiedenen Einbaustellungen b (diese Berechnung entfällt bei Anforderungen an die Messunsicherheit von $\geq 0,5\%$), wird als Standardabweichung für jede Drehmomentstufe nach Gleichung (2) berechnet

$$b = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - Y)^2}{n-1}}. \quad (2)$$

4.5.3 Wiederholpräzision b'

Die Wiederholpräzision in gleicher Einbaustellung b' wird als Betrag der Spannweite für jede Drehmomentstufe nach Gleichung (3) berechnet

$$b' = |X_1 - X_2|. \quad (3)$$

Hierin wurden X_1 und X_2 aus den Aufwärtsreihen in gleicher Einbaustellung bei nomineller Hebelarmlänge bestimmt.

4.5.4 Hebellängeneinfluss b_L

Der Hebellängeneinfluss b_L wird bei verschiedenen Hebelarmlängen als Spannweite für jede Drehmomentstufe nach Gleichung (4) berechnet

$$b_L = X_{L,\text{red}} - X_{L,\text{nom}}. \quad (4)$$

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel	DKD-R 10-8	
	https://doi.org/10.7795/550.20200210	Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	15 / 28

4.5.5 Einfluss des Verbindungsprofils b_V

Der Einfluss des Verbindungsprofils b_V wird bei verschiedenen Positionen dieses Profils als Spannweite für jede Drehmomentstufe nach Gleichung (5) berechnet

$$b_V = X_V - X_{0^\circ}. \quad (5)$$

4.5.6 Regressionsabweichung f_a

Die Regressionsabweichung f_a wird für jede Drehmomentstufe mit Hilfe einer kubischen oder linearen Ausgleichsfunktion (Funktion 3. oder 1. Grades) ohne Absolutglied ermittelt, wobei die Anzeige in Abhängigkeit vom Drehmoment anzugeben ist. Die mathematische Bestimmung der Ausgleichsfunktion muss so erfolgen, dass die Summe der Quadrate der absoluten oder relativen Abweichungen im kalibrierten Messbereich ein Minimum ergibt. Das verwendete Verfahren ist anzugeben.

Anstelle der Regressionsabweichung wird für Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen mit benannter Skale ohne Möglichkeit der elektronischen Anpassung der Anzeige an die Ausgleichsfunktion die Anzeigeabweichung nach 4.5.7 bestimmt.

Die Regressionsabweichung f_a wird berechnet aus

$$f_a = Y - Y_a. \quad (6)$$

4.5.7 Anzeigeabweichung f_q

Die Anzeigeabweichung f_q wird nur für solche Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen bestimmt, deren Anzeige direkt in der Einheit des Drehmomentes erfolgt und die keine elektronische Anpassung der Anzeige an die Ausgleichsfunktion des Kalibrierergebnisses erlauben. Sie wird nach Gleichung (7) aus dem Mittelwert aller Aufwärtsreihen bei nomineller Hebelarmlänge ermittelt

$$f_q = Y - M_K. \quad (7)$$

4.5.8 Umkehrspanne h

Die Umkehrspanne wird bestimmt, indem eine Messung bei zunehmendem und daran anschließend bei abnehmendem Drehmoment durchgeführt wird. Sie wird nach Gleichung (8) als Mittelwert der Differenzen zwischen den Anzeigen der Abwärts- und der Aufwärtsreihen für jede Drehmomentstufe bei nomineller Hebelarmlänge ermittelt

$$h = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (I'_j - I_j) \quad (8)$$

mit der Anzahl m der Abwärtsreihen ($m \geq 1$).

Hinweis: Die Umkehrspanne wird nicht zur Bestimmung der Messunsicherheit des Kalibrierergebnisses herangezogen. Sie muss aber als Kriterium für die Güte der Kalibriereinrichtung bestimmt und angegeben werden. Zeitliche Veränderungen der Umkehrspanne zwischen verschiedenen Kalibrierungen können auf unerkannte Einflüsse hinweisen.

5 Bestimmung der relativen erweiterten Messunsicherheit W bzw. der relativen Abweichungsspanne W'

Der Vorschlag zur Berechnung der relativen erweiterten Messunsicherheit W für die Ergebnisse der Kalibrierung von Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen entspricht den Vorgaben des GUM [4], der Schrift EA-4/02 M: 2013 [5] sowie der Berechnung der relativen Messunsicherheit zu den Kalibrierergebnissen von Drehmomentmessgeräten nach DIN 51309 [2] bzw. EURAMET cg-14 [6].

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel	DKD-R 10-8	
	https://doi.org/10.7795/550.20200210	Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	16 / 28

Die nachfolgenden Ausführungen dienen als Beispiel für die Berechnung der relativen Messunsicherheit einer Standardkalibrierung. Je nach Anwendungsfall der zu kalibrierenden Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung kann es sinnvoll sein, von diesem Beispiel abzuweichen bzw. dieses um weitere Messunsicherheitsanteile zu ergänzen. In solchen Fällen muss die Berechnungsgrundlage dokumentiert werden. Das Beispiel gibt eine Information über die Messunsicherheit zum Zeitpunkt der Kalibrierung. Es berücksichtigt u. a. keine Messunsicherheitsanteile durch Langzeitstabilität oder die realen Adaptions- und Umgebungsbedingungen bei der Anwendung des Messgerätes.

Parameter und Spannweiten können stets nur für definierte Kalibrierpunkte bestimmt werden. Bei kontinuierlicher Kalibrierung erfolgt die Messwertübernahme in der Regel bei jeder Messreihe an zufällig verteilten Werten des Kalibrierdrehmomentes. Die Parameter b , b' und b_L sowie die Umkehrspanne h werden an vorgegebenen Stützstellen aus interpolierten Werten ermittelt. Danach erfolgt die weitere Messunsicherheitsbetrachtung wie bei der schrittweisen Kalibrierung.

Werden bei Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen mit nicht benannter Skale lineare Ausgleichfunktionen angesetzt, ist die Regressionsabweichung wegen ihres systematischen Charakters betragsmäßig additiv bei der Berechnung der relativen Abweichungsspanne nach (12) zu berücksichtigen. Weitere Erläuterungen zur Größe relative Abweichungsspanne sind im Anhang D zu finden.

Für Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen mit fester benannter Skale ist es nicht sinnvoll, eine Ausgleichfunktion zu bestimmen. An deren Stelle tritt die Berechnung der Anzeigeabweichung. Die Anzeigeabweichung hat ebenfalls systematischen Charakter, kann jedoch nicht wie eine bekannte systematische Abweichung bei der Anwendung des kalibrierten Messgerätes korrigiert werden. Sie sollte deshalb betragsmäßig additiv in die Berechnung der relativen Abweichungsspanne nach (13) einbezogen werden. Entsteht die benannte Skale jedoch durch Anpassung der Anzeigeelektronik an die Ausgleichfunktion, so ist dieser Fall identisch mit dem einer nicht benannten Skale zu behandeln.

5.1 Modell

Zur Beschreibung der Einflüsse auf das Kalibrierergebnis einer Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung wird folgendes Produktmodell vorgeschlagen

$$M = C \cdot M_K \cdot \prod_{i=1}^n (1 - \delta M_i) , \quad (9)$$

wobei die einzelnen Größen die folgenden Bedeutungen haben:

- δM_1 Einfluss der Auflösung r des Anzeigegerätes der Kalibriereinrichtung auf das Nullsignal
- δM_2 Einfluss der Auflösung r des Anzeigegerätes der Kalibriereinrichtung auf den Messwert
- δM_3 Einfluss der Vergleichspräzision b
- δM_4 Einfluss der Wiederholpräzision b'
- δM_5 Einfluss der Hebelarmlänge b_L
- δM_6 Einfluss des Verbindungsprofils b_V
- δM_7 Einfluss der kubischen Regressionsabweichung f_a (zur linearen Regressionsabweichung siehe 5.2, Formel (12)).

Mit dem konstanten Faktor C können Fälle berücksichtigt werden, bei denen die von der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung angezeigte Maßeinheit von der des Drehmomentes abweicht.

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel	DKD-R 10-8	
	https://doi.org/10.7795/550.20200210	Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	17 / 28

Bei der Anwendung der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung sollten weiterhin berücksichtigt werden:

- δM_8 Einfluss der nicht idealen Ankopplung des Kalibriergegenstandes
- δM_9 Einfluss der Abweichung der Kalibrierbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte) von den Referenzwerten.

5.2 Messunsicherheitsbudget

Für unkorrelierte Eingangsgrößen ist die dem Drehmoment M zugeordnete relative Standardmessunsicherheit $w(M)$ gegeben durch

$$w(M) = \sqrt{w_{\text{TN}}^2(M_K) + \sum_{i=1}^n w^2(\delta M_i)}. \quad (10)$$

Hierin wird $w_{\text{TN}}(M_K)$ durch den Einfluss der Messunsicherheit des Drehmoment-Transferschlüssels auf das Kalibrierdrehmoment M_K einschließlich eines Anteiles für die Langzeitstabilität und Temperatur- bzw. Feuchteempfindlichkeit des Transferschlüssels, wenn diese nicht korrigiert werden, bestimmt. Für den Fall, dass für den Transferschlüssel eine relative Abweichungsspanne berechnet wurde, ist Anhang D zu beachten.

Die relative Standardmessunsicherheit $w(M)$ wird aus den Messunsicherheitsanteilen berechnet, die sich unter anderem aus den berechneten Kenngrößen nach 4.5.2 bis 4.5.7 ergeben. Für die dabei zu betrachtenden zufälligen Fehleranteile werden die statistischen Verteilungsfunktionen nach Tabelle 4 vorgeschlagen. Im Anhang C ist ein Beispiel für die Berechnung der Messunsicherheit angegeben.

Wird durch das verkürzte Kalibrierverfahren keine Vergleichspräzision b ermittelt, muss der Beitrag der Vergleichspräzision durch Verdopplung des Beitrages der Wiederholpräzision b' erfasst werden.

Der Einfluss der Umkehrspanne h kann in der Messunsicherheitsbetrachtung vernachlässigt werden. Die Bestimmung dieser Kenngröße ist aber weiterhin Bestandteil des Kalibrierverfahrens und bedarf der kritischen Bewertung bezüglich der Eignung der Kalibriereinrichtung.

Die erweiterte relative Messunsicherheit W berechnet sich aus der relativen Standardmessunsicherheit $w(M)$ durch Multiplikation mit dem geeignet bestimmten Erweiterungsfaktor k

$$W(M) = k \cdot w(M). \quad (11)$$

Die relative Abweichungsspanne W' einer Kalibrierung berechnet sich

- für nicht benannte Skale und Anwendung einer linearen Ausgleichsfunktion zu

$$W'(M) = \left| \frac{f_a(M)}{M_K} \right| + k \cdot w(M), \quad (12)$$

- für benannte Skale zu

$$W'(M) = \left| \frac{f_q(M)}{M_K} \right| + k \cdot w(M). \quad (13)$$

Die nicht korrigierten systematischen Abweichungen $f_a(M)/M_K$ und $f_q(M)/M_K$ sind vorzeichenrichtig im Kalibrierschein anzugeben. ¹

Tabelle 4: Verteilungsfunktionen für die Berechnung der Standardabweichungen der experimentell bestimmten Kenngrößen

Kenngröße	Verteilungsfunktion	Relative Standardabweichung <i>w</i> in %
Auflösung r	Typ B Rechteckverteilung	$w_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r}{2} \cdot \frac{100}{M_K}$
Vergleichspräzision b	Typ B Normalverteilung	$w_b = \frac{b(M_K)}{\sqrt{n}} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Wiederholpräzision b'	Typ B Normalverteilung	$w_{b'} = \frac{b'(M_K)}{\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Hebellängeneinfluss b_L	Typ B Rechteckverteilung	$w_L = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b_L(M_K)}{2} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Verbindungsprofil b_V	Typ B Rechteckverteilung	$w_V = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b_V(M_K)}{2} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Regressionsabweichung f_a	Typ B Dreieckverteilung	$w_f = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \frac{f_a(M_K)}{2} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$

6 Kalibrierschein und Rekalibrierung

6.1 Kalibrierschein

Wenn eine Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung die Anforderungen dieser Richtlinie zum Zeitpunkt der Kalibrierung erfüllt, stellt das Kalibrierlaboratorium einen Kalibrierschein auf Basis von DAkkS 71 SD 0 025 [7] aus, der u. a. folgende Angaben enthält:

- a) Auftraggeber der Kalibrierung (Kunde),
- b) Identität aller Elemente der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung und der Drehmomenteinleitungsteile sowie Benennung des Drehmoment-TransfERNormals,
- c) Angabe zu Links- und Rechtsdrehmoment sowie Hebelarmlängen,
- d) Kalibrierergebnis mit Angabe der erweiterten relativen Messunsicherheit, der relativen Abweichungsspanne und der nicht korrigierten relativen Abweichungen nach 5,
- e) die Ausgleichsfunktion – sofern erforderlich (nicht bei benannter Skale),
- f) Umgebungsbedingungen (Temperatur und relative Luftfeuchte), bei denen die Kalibrierung durchgeführt wurde,
- g) Datum und, wenn nötig, Ort der Kalibrierung,
- h) Angaben zur Identifikation des Kalibrierlaboratoriums,
- i) Hinweis auf diese Richtlinie,

¹ Die hier genannten relativen systematischen Abweichungen sind den relativen Messabweichungen der Messeinrichtung b_{ep} nach DIN EN ISO 6789-2:2017-07 [1] gleichzusetzen.

	<p style="text-align: center;">Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20200210</p>	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	19 / 28

- j) Lage der Messachse während der Kalibrierung (horizontal und/oder vertikal),
- k) Abstützabstand des Krafteinleitungspunktes von einem Bezugspunkt der Kalibriereinrichtung in Richtung der Drehmomentachse (Bild mit der Darstellung des angegebenen Abstandes) und
- l) Hinweis auf die 0°-Position des Sensors (zum Beispiel ein Bild mit der Darstellung des Kabelanschlusses).

Der Kalibrierschein sollte zusätzlich enthalten:

- m) Tabelle der Messwerte und der berechneten Kenngrößen nach Punkt 4.5.2 bis 4.5.8 sowie
- n) eine grafische Darstellung der Kennlinie.

6.2 Rekalibrierung

Im Sinne dieser Richtlinie muss die Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung nach spätestens 26 Monaten erneut kalibriert werden.

Die Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung ist ebenfalls neu zu kalibrieren, wenn sie einer Überlastung ausgesetzt wurde, die größer als die bei der Überlastungsprüfung ist (siehe 4.1), nachdem eine Instandsetzung stattgefunden hat oder nach einer unsachgemäßen Handhabung, die Einfluss auf die Messunsicherheit haben kann.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 6789-2 Schraubwerkzeuge - Handbetätigte Drehmoment-Werkzeuge – Teil 2: Anforderungen an die Kalibrierung und die Bestimmung der Messunsicherheit, Ausgabe 2017-07
- [2] DIN 51309 Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten für statische Drehmomente, Ausgabe 2005-12
- [3] DKD-R 3-7 Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln, Ausgabe 09/2018, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin, DOI 10.7795/550.20180823H
- [4] Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf
- [5] EA-4/02 M: 2013 Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Deutsche Übersetzung, 2019), <https://www.dakks.de/>
- [6] EURAMET cg-14 Guidelines on the Calibration of Static Torque Measuring Devices, Version 2.0 (03/2011), <https://www.euramet.org/publications-media-centre/calibration-guidelines/>
- [7] DAkkS 71 SD 0 025 Darstellung von Kalibrierergebnissen und die Verwendung der DAkkS-Kalibriermarke (2019), <https://www.dakks.de/>

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel https://doi.org/10.7795/550.20200210	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	20 / 28

Anhang A Anwendung von kalibrierten Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen

Die Kalibrierung gilt nur für Anwendungsfälle, bei denen die Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung entsprechend den Kalibrierbedingungen eingesetzt wird. Es sind Vorkehrungen zu treffen, dass das Gerät nicht Drehmomenten ausgesetzt wird, die größer als das Nenndrehmoment sind bzw. mit Störkräften und -momenten infolge ungeeigneter Einbauteile und Adaptionbedingungen bei der Anwendung belastet wird, die zu größeren Abweichungen als den bei der Kalibrierung ermittelten führen können.

Wird eine Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung bei einer von der Kalibrierung abweichenden Temperatur eingesetzt, ist die dadurch bedingte zusätzliche Messunsicherheit aus der Angabe des Herstellers zum Einfluss der Temperatur auf den Nullpunkt und den Kennwert zu berechnen und entsprechend zu berücksichtigen.

Abweichende Werte der relativen Luftfeuchte können ebenso Auswirkungen auf die Kalibrierergebnisse einer Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung haben und müssen entsprechend behandelt werden.

Anhang B Beispiele für Kalibrierabläufe

Die nachfolgenden Bilder zeigen Beispiele für Kalibrierabläufe einer Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung.

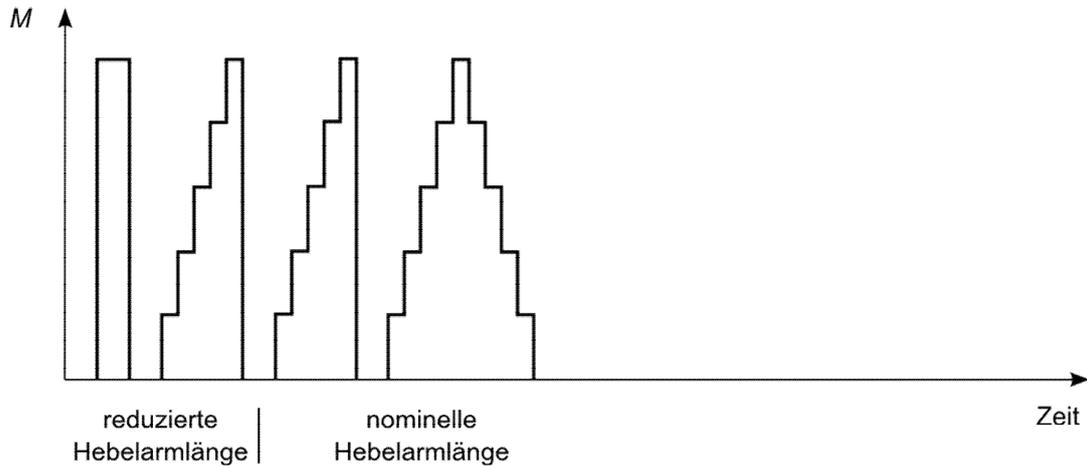


Bild B.1: Beispiel für den Ablauf der Kalibrierung einer Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung mit festem Drehmomentsensor und festem Verbindungsprofil bei einer angestrebten Messunsicherheit von $\geq 0,5\%$

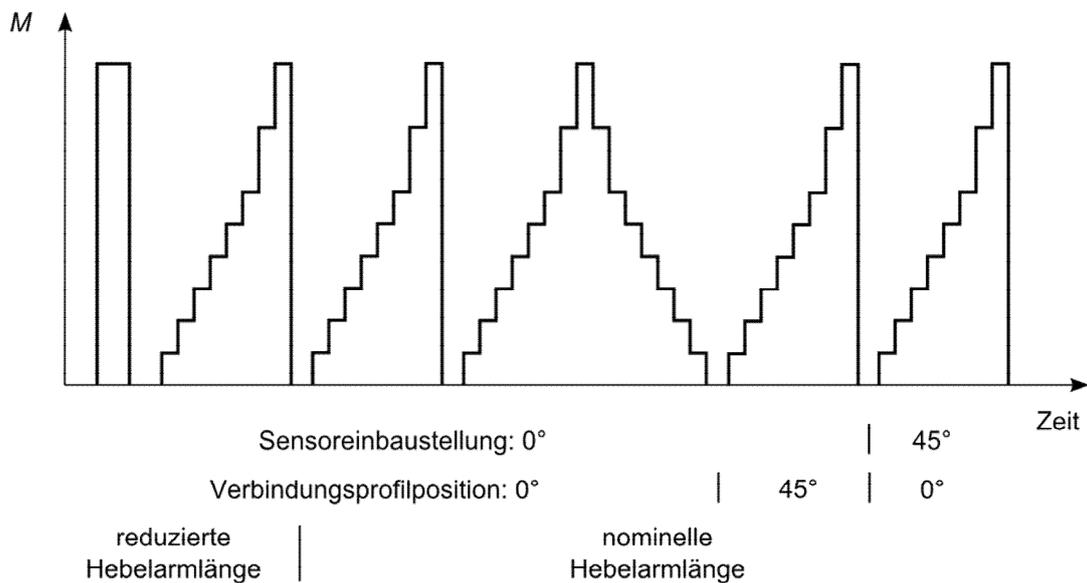


Bild B.2: Beispiel für den Ablauf der Kalibrierung einer Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung mit einer angestrebten Messunsicherheit von $< 0,5\%$

Anhang C Beispiel für ein Kalibrierergebnis

Kalibriergegenstand

Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung

- Bezeichnung: DmS-KE 100 Nm
- Nenndrehmoment: 100 N·m
- Anzeigeeinheit: N·m
- Drehmomentsensor: drehbar
- Nennhebelarmlänge: 500 mm
- reduzierte Hebelarmlänge: 300 mm
- Ziffernschritt: 0,001 N·m
- Anzeigeschwankung: 0,001 N·m
- Zielmessunsicherheit: 0,2 %

Kalibriernormal

Drehmoment-Transferschlüssel

- Bezeichnung: DmTS 100 Nm
- Nenndrehmoment: 100 N·m
- Anzeigeeinheit: N·m
- Verbindungsprofil: fest

Messdaten

Rechtsdrehmoment, Anzeigewerte des Kalibriergegenstandes in N·m

Kalibrier- drehmoment am Normal in N·m	Vorbe- lastung	0° reduz.	0° /1 auf	0° /2 auf	0° /2 ab	45° Sensor	45° Verbinder
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	-
2	-	2,002	2,002	2,001	2,002	2,001	-
4	-	4,004	4,004	4,002	4,003	4,002	-
10	-	10,010	10,008	10,006	10,010	10,006	-
20	-	20,020	20,012	20,012	20,020	20,012	-
40	-	40,040	40,018	40,024	40,038	40,025	-
60	-	60,060	60,026	60,036	60,050	60,038	-
80	-	80,080	80,038	80,048	80,058	80,050	-
100	100,111	100,100	100,052	100,060	100,060	100,065	-

Linksdrehmoment, Anzeigewerte des Kalibriergegenstandes in N·m

Kalibrier- drehmoment am Normal in N·m	Vorbe- lastung	0° reduz.	0° /1 auf	0° /2 auf	0° /2 ab	45° Sensor	45° Verbinder
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	-
2	-	-2,002	-2,002	-2,001	-2,002	-2,001	-
4	-	-4,004	-4,004	-4,002	-4,003	-4,002	-
10	-	-10,010	-10,008	-10,006	-10,010	-10,006	-
20	-	-20,020	-20,012	-20,012	-20,020	-20,012	-
40	-	-40,040	-40,018	-40,024	-40,038	-40,025	-
60	-	-60,060	-60,026	-60,036	-60,050	-60,038	-
80	-	-80,080	-80,038	-80,048	-80,058	-80,050	-
100	-100,111	-100,100	-100,052	-100,060	-100,060	-100,065	-

	Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel https://doi.org/10.7795/550.20200210	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	23 / 28

Auswertung

Kalibrierergebnis

Rechtsdrehmoment:

Kalibrier- drehmoment in N·m	Kalibrier- ergebnis Y in N·m	$W(k=2)$ in %	W' in % 1)	W' in % 2)	W' in % 3)	$W_{TN}(k=2)$ in %
0	0,000	-	-	-	-	-
2	2,002	0,154	0,229	0,173	0,173	0,050
4	4,003	0,145	0,220	0,163	0,163	0,050
10	10,007	0,118	0,188	0,132	0,132	0,050
20	20,012	0,114	0,174	0,118	0,118	0,050
40	40,022	0,119	0,173	0,122	0,122	0,050
60	60,032	0,121	0,174	0,124	0,124	0,050
80	80,044	0,118	0,173	0,120	0,120	0,050
100	100,059	0,116	0,175	0,119	0,119	0,050

Linksdrehmoment:

Kalibrier- drehmoment in N·m	Kalibrier- ergebnis Y in N·m	$W(k=2)$ in %	W' in % 1)	W' in % 2)	W' in % 3)	$W_{TN}(k=2)$ in %
-0	0,000	-	-	-	-	-
-2	-2,002	0,154	0,229	0,173	0,173	0,050
-4	-4,003	0,145	0,220	0,163	0,163	0,050
-10	-10,007	0,118	0,188	0,132	0,132	0,050
-20	-20,012	0,114	0,174	0,118	0,118	0,050
-40	-40,022	0,119	0,173	0,122	0,122	0,050
-60	-60,032	0,121	0,174	0,124	0,124	0,050
-80	-80,044	0,118	0,173	0,120	0,120	0,050
-100	-100,059	0,116	0,175	0,119	0,119	0,050

Erläuterungen:

Die angegebene erweiterte relative Messunsicherheit gilt für den Fall einer unbenannten, anpassbaren Skale und die Anwendung einer kubischen Ausgleichsfunktion. Daneben sind die relativen Abweichungsspannen, in denen $W(k=2)$ enthalten ist, angegeben

- 1) für den Fall, dass der Kalibriergegenstand ein Gerät mit benannter Skale ist,
- 2) für den Fall, dass eine lineare Ausgleichsfunktion jeweils für Rechts- und Linksdrehmoment getrennt angewendet wird und
- 3) für den Fall, dass eine gemeinsame lineare Ausgleichsfunktion für Rechts- und Linksdrehmoment angewendet wird.

Der letzte Fall ist nicht identisch mit einem Kalibrierergebnis für Wechseldrehmoment. Die gemeinsame Ausgleichsfunktion ermöglicht es aber, mit nur einem Kalibrierfaktor das Anzeigergerät optimal für Rechts- und Linksdrehmoment anzupassen.

Die verwendeten Ausgleichsfunktionen sind unten angegeben.

Relative Werte der Kenngrößen

Rechtsdrehmoment:

Kalibrier- drehmoment in N·m	b'/Y in %	b/Y in %	b_L/Y in %	b_V/Y in %	f_a/Y in %	f_q/Y in % 1)	f_a/Y in % 2)	f_a/Y in % 3)	h/Y in %
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,050	0,035	0,000	0,173	0,008	0,075	0,019	0,019	0,050
4	0,050	0,035	0,000	0,173	0,009	0,075	0,019	0,019	0,025
10	0,020	0,014	0,020	0,173	0,007	0,070	0,014	0,014	0,040
20	0,000	0,000	0,040	0,173	0,000	0,060	0,004	0,004	0,040
40	0,015	0,012	0,055	0,173	-0,001	0,054	-0,003	-0,003	0,035
60	0,017	0,014	0,057	0,173	0,000	0,053	-0,003	-0,003	0,023
80	0,012	0,011	0,052	0,173	0,000	0,055	-0,001	-0,001	0,012
100	0,008	0,009	0,048	0,173	0,000	0,058	0,002	0,002	-

Linksdrehmoment:

Kalibrier- drehmoment in N·m	b'/Y in %	b/Y in %	b_L/Y in %	b_V/Y in %	f_a/Y in %	f_q/Y in % 1)	f_a/Y in % 2)	f_a/Y in % 3)	h/Y in %
-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2	-0,050	-0,035	0,000	0,173	0,008	0,075	0,019	0,019	0,050
-4	-0,050	-0,035	0,000	0,173	0,009	0,075	0,019	0,019	0,025
-10	-0,020	-0,014	0,020	0,173	0,007	0,070	0,014	0,014	0,040
-20	0,000	0,000	0,040	0,173	0,000	0,060	0,004	0,004	0,040
-40	-0,015	-0,012	0,055	0,173	-0,001	0,054	-0,003	-0,003	0,035
-60	-0,017	-0,014	0,057	0,173	0,000	0,053	-0,003	-0,003	0,023
-80	-0,012	-0,011	0,052	0,173	0,000	0,055	-0,001	-0,001	0,012
-100	-0,008	-0,009	0,048	0,173	0,000	0,058	0,002	0,002	-

Erläuterungen:

Da der Drehmoment-Transferschlüssel über ein festes Verbindungsprofil verfügt, wurde der Beitrag des Verbindungsprofils aus einer früheren Messung mit einem anderen Transferschlüssel ohne feste Verbindung abgeleitet. In der früheren Messung ergab sich eine nach Tabelle 4 bestimmte maximale Standardabweichung w_V der Kenngröße Verbindungsprofil von 0,05 %. Damit kann b_V/Y berechnet werden.

Weitere Erläuterungen: siehe oben unter Kalibrierergebnis.

Ausgleichsfunktionen

Für die oben genannten Fälle werden die Ausgleichsfunktionen angegeben. Hierbei bedeuten:

X - die Anzeige des Kalibriergegenstandes

M - das zugehörige Drehmoment.

1. Kubische Ausgleichsfunktion

- Rechtsdrehmoment

$$X = 1,00068 \cdot M - 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot M^2 + 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot M^3$$

$$M = 0,99932 \cdot X + 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot X^2 - 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot X^3$$

- Linksdrehmoment

$$X = 1,00068 \cdot M + 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot M^2 + 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot M^3$$

$$M = 0,99932 \cdot X - 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot X^2 - 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot X^3$$

2. Lineare Ausgleichsfunktion getrennt für Rechts- bzw. Linksdrehmoment

- Rechtsdrehmoment

$$X = 1,00056 \cdot M$$

$$M = 0,99944 \cdot X$$

- Linksdrehmoment

$$X = 1,00056 \cdot M$$

$$M = 0,99944 \cdot X$$

3. Lineare Ausgleichsfunktion für Rechts- und Linksdrehmoment gemeinsam

$$X = 1,00056 \cdot M$$

$$M = 0,99944 \cdot X$$

Klassifizierung (siehe Anhang E)

Klasse	Kub. Ausgleichsfunktion 1		Lin. Ausgleichsfunktion 2		Lin. Ausgleichsfunktion 3	
	von	bis	bis	bis	von	bis
	in N·m		in N·m		in N·m	
	Rechtsdrehmoment					
0,1 0,2 0,5 1	2	100	2	100	2	100
	Linksdrehmoment					
0,1 0,2 0,5 1	-2	-100	-2	-100	-2	-100

	<p style="text-align: center;">Statische Kalibrierung von Kalibrier- einrichtungen für Drehmomentschlüssel</p> <p style="text-align: center;">https://doi.org/10.7795/550.20200210</p>	DKD-R 10-8	
		Ausgabe:	02/2020
		Revision:	0
		Seite:	26 / 28

Anhang D Relative Abweichungsspanne

Nach GUM [4] sind Messergebnisse um alle signifikanten bekannten systematischen Abweichungen zu korrigieren. Es ist möglich, dass diese Forderung nicht mit einem angemessenen Aufwand erfüllt werden kann. Beispiele dafür sind unter anderem:

- Messgeräten mit benannter Skale, die nicht angepasst werden kann, und bei denen eine signifikante Anzeigeabweichung festgestellt wurde
- Messgeräte, die eine Anpassung der Skale mit Hilfe einer linearen Ausgleichsfunktion zulassen, bei denen aber wegen der festgestellten signifikanten Nichtlinearität eine Funktion höherer Ordnung anzuwenden wäre.

In solchen Fällen wird die relative Abweichungsspanne nach (12) bzw. (13) berechnet. Sie stellt keine Messunsicherheit dar, sondern ist wie eine Spezifikationsgrenze zu verstehen und dazu gedacht, verschiedene Messgeräte – unter Einschluss derer, für die eine erweiterte relative Messunsicherheit nach GUM berechnet wurde – miteinander vergleichen zu können.

Wenn die hier betrachteten Messgeräte Teil einer Rückführungskette sind, dann darf die Standardmessunsicherheit ihrer Messwerte nicht dadurch gewonnen werden, dass die relativen Abweichungsspannen durch den Erweiterungsfaktor k dividiert werden. Stattdessen sind systematische Abweichungen und Messunsicherheiten getrennt zu betrachten. Abhängig von den Forderungen weiterer zu berücksichtigender Normen und Richtlinien kann es dann notwendig sein, Größen analog zur relativen Abweichungsspanne nach (12) bzw. (13) zu berechnen, was die Kenntnis der beiden Arten von Beiträgen erfordert. Dies trifft im Falle dieser Richtlinie sowohl auf die für die Kalibrierung verwendeten Normale (Transferschlüssel) als auch für den späteren Einsatz der nach dieser Richtlinie kalibrierten Kalibrier-einrichtungen zu.

Anhang E Klassifizierung des Messgerätes

Klassifizierungsprinzip

Der Messbereich, für den der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung eine bestimmte Klasse zugewiesen wird, umfasst alle Kalibrierdrehmomente, für die - ausgehend vom Messbereichsendwert bis zum kleinsten Kalibrierdrehmoment - die entsprechenden Klassifizierungskriterien erfüllt sind.

Klassifizierungskriterien

Der Messbereichsanfangswert M_A für die Klassifizierung muss $\leq 20\%$ von M_E sein.

Es sind die folgenden Kriterien zu berücksichtigen:

- relative Vergleichspräzision b/Y
- relative Wiederholpräzision b'/Y
- relativer Hebellängeneinfluss b_L/Y
- relativer Einfluss des Verbindungsprofils b_V/Y und
- relative Regressions- f_a/Y oder Anzeigeabweichung f_q/Y .

In Tabelle E.1 sind die zulässigen Werte dieser verschiedenen Parameter für die jeweilige Klasse der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung und die zugehörige geforderte relative erweiterte Messunsicherheit der Kalibrierdrehmomente angegeben.

In der letzten Spalte ist eine Angabe über die maximal zulässige erweiterte relative Messunsicherheit (bzw. der relativen Abweichungsspanne) des als TransfERNormal für die Kalibrierung verwendeten Drehmoment-Transferschlüssels enthalten.

Tabelle E.1: Klassifizierungsmerkmale der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung

Klasse	$ b/Y $ in %	$ b'/Y $ in %	$ b_L/Y $ in %	$ b_V/Y $ in %	$ f_a/Y $ bzw. $ f_q/Y $ in %	Messbe- reichsan- fangswert M_A	W_{TN} ($k = 2$) in %
0,1	0,10	0,05	0,10	0,10	0,05	$\geq 2000 r$	0,02
0,2	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	$\geq 1000 r$	0,04
0,5	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	$\geq 400 r$	0,10
1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	$\geq 200 r$	0,20



Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de