

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	1/21

**Richtlinie
DAkKS-
DKD-R 3-7**

**Statische Kalibrierung
von anzeigenden
Drehmomentschlüsseln**

1. Neuauflage 2010

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	2/21

Herausgegeben von der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkKS) als Ergebnis der Zusammenarbeit des ehemaligen Deutschen Kalibrierdienstes (DKD) mit seinem Fachausschuss „Mechanische Größen“.

Copyright © 2010 by DAkKS

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD waren Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen zusammengeschlossen. Sie 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.

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.

Veröffentlichungen: siehe Internet

Anschrift:

Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
 Bundesallee 100, 38116 Braunschweig
 Postfach 33 45, 38023 Braunschweig
 Telefon Sekretariat: (05 31) 5 92-19 01
 Fax: (05 31) 5 92-19 05
 Internet: www.dakks.de

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	3/21

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	4
1 Geltungsbereich	4
2 Symbole und Benennungen	5
3 Merkmale des Drehmomentschlüssels	6
3.1 Beschreibung und Kennzeichnung des Transfer-Drehmomentschlüssels	6
3.2 Drehmomenteinleitung	6
3.3 Messung des Drehmomentes über die Verformung	7
4 Kalibrierung des Drehmomentschlüssels	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Auflösung des Anzeigegerätes	7
4.3 Vorbereitung der Kalibrierung	8
4.4 Durchführung der Kalibrierung	9
5 Klassifizierung der Drehmomentschlüssel	13
5.1 Klassifizierungsprinzip	13
5.2 Klassifizierungskriterien	13
6 Kalibrierschein und Gültigkeitsdauer	14
Anhang A Anwendung von kalibrierten Transfer-Drehmomentschlüsseln	15
Anhang B Bestimmung der Messunsicherheit	15
Anhang C Kalibrierablauf	20
Literaturhinweise	21

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	4/21

Vorwort

DAkKS-DKD-Richtlinien sind Anwendungsdokumente zu den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025. In DAkKS-DKD-Richtlinien werden technische und organisatorische Abläufe beschrieben, die den Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen. DAkKS-DKD-Richtlinien können zu Bestandteilen der Qualitätsmanagementdokumentation 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.

Die DAkKS-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.

Die Richtlinie wurde vom Fachausschuss „Drehmoment“ in Zusammenarbeit mit der PTB erstellt und vom Beirat des DKD verabschiedet. Mit der Veröffentlichung wird sie für alle akkreditierten Kalibrierlaboratorien verbindlich, sofern keine eigene, von der Akkreditierungsstelle genehmigte Verfahrensanweisung vorliegt.

Die vorliegende geänderte Neuauflage enthält ein aktualisiertes Impressum und aktuelle Bezüge zu den heutigen internationalen Organisationen.

Ausgabe: 10/2003

1. Neuauflage: 2010

1 Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für Kalibrierungen von:

- Transfer-Drehmomentschlüsseln¹, die als TransfERNormale für die Kalibrierung von Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen [1] eingesetzt werden,
- Drehmomentschlüsseln höherer Genauigkeit, als sie nach DIN ISO 6789 [2] klassifiziert werden.

Es wird ein Verfahren für die Klassifizierung sowie zur Bestimmung der relativen erweiterten Messunsicherheit dieser Geräte beschrieben (Anhang B).

Als anzeigender Drehmomentschlüssel wird das gesamte Gerät von der Werkzeugaufnahme mit Einsteckwerkzeug über den Drehmomentaufnehmer bis einschließlich des Anzeigergerätes definiert. Diese Richtlinie gilt allgemein für anzeigende Drehmomentschlüssel, bei denen das Drehmoment durch Messung der elastischen Formänderung eines Verformungskörpers oder einer ihr proportionalen Messgröße definiert wird.

Transfer-Drehmomentschlüssel im Sinne dieser Richtlinie sind spezielle Drehmomentmessgeräte, die von ihrer Bauform die Einleitung des Drehmomentes über einen Hebelarm (vergleichbar der Bauform von Drehmomentschlüsseln) ermöglichen und entsprechend der geforderten Messunsicherheit unempfindlich gegen überlagerte Querkräfte und Biegemomente sind. Durch ihre spezielle Bauform ermöglichen Transfer-Drehmomentschlüssel die Kalibrierung von Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Kräfteinleitungsbedingungen bei gleichzeitiger Möglichkeit der Variation der Kräfteinleitungsparameter entsprechend der Variationsbreite der bei der Kalibrierung von Drehmomentschlüsseln auftretenden Querkräfte und Biegemomente.

¹ In der früheren Ausgabe dieser Richtlinie wurden Transfer-Drehmomentschlüssel als Referenz-Drehmomentschlüssel bezeichnet.

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	5/21

Diese Richtlinie berücksichtigt die abweichenden Kräfteinleitungsbedingungen auf den Kalibriergegenstand gegenüber denen von Drehmomentmessgeräten nach DIN 51309 [3] bzw. EA-10/14 [8].

2 Symbole und Benennungen

Für die Anwendung dieser DAKKS-DKD-Richtlinie gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole, Einheiten und Benennungen.

Tabelle 1: Symbole, Einheiten und Benennung

Symbol	Benennung	Einheit
M_{nom}	Nenndrehmoment	N·m
M_A	Messbereichsanfangswert	N·m
M_E	Messbereichsendwert	N·m
M_k	eingeleitetes Kalibrierdrehmoment	N·m
I_S	Anzeige des Nullsignals vor Einbau in vertikaler Lage der Messachse	AE ²
I_0	Anzeige des Nullsignals vor der Belastung in Einbaustellung	AE ²
I_f	Anzeige des Nullsignals nach der Entlastung in Einbaustellung	AE ²
$I(M_k)$	Anzeige bei zunehmendem Kalibrierdrehmoment M_k	AE ²
$I'(M_k)$	Anzeige bei abnehmendem Kalibrierdrehmoment M_k	AE ²
$X(M_k)$	Anzeigewert bei zunehmendem Kalibrierdrehmoment M_k	AE ²
$X'(M_k)$	Anzeigewert bei abnehmendem Kalibrierdrehmoment M_k	AE ²
X_F	Anzeigewert bei Messbereichsendwert	AE ²
X_{min}	kleinster Anzeigewert aus verschiedenen Messreihen	AE ²
X_{max}	größter Anzeigewert aus verschiedenen Messreihen	AE ²
X_{imin}	Anzeigewert bei minimaler Hebelarmlänge	AE ²
X_{imit}	Anzeigewert bei mittlerer Hebelarmlänge	AE ²
$\bar{X}(M_k)$	Schätzwert des Kalibrierergebnisses beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE ²
$X_a(M_k)$	berechneter Anzeigewert aus der Ausgleichsfunktion beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE ²
$b'(M_k)$	Spannweite in gleicher Einbaustellung (Wiederholpräzision) beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE ²
(fortgesetzt)		

² Das Ausgangssignal kann in verschiedenen Anzeigeeinheiten AE (z. B. N·m, mV/V, V o. a.) erfasst werden.

Tabelle 1: abgeschlossen

$b(M_k)$	Spannweite in verschiedenen Einbaustellungen (Vergleichspräzision) beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE^2
$b_l(M_k)$	Spannweite bei verschiedenen Hebelarmlängen beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE^2
$f_a(M_k)$	Interpolationsabweichung beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE^2
$f_q(M_k)$	Anzeigeabweichung beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE^2
f_0	Abweichung des Nullsignals	AE^2
$h(M_k)$	Umkehrspanne beim Kalibrierdrehmoment M_k	AE^2
r	Auflösung des Anzeigegerätes	N·m
l	Hebelarmlänge des Transfer-Drehmomentschlüssels	mm
l_{\min}	minimale Hebelarmlänge des Transfer-Drehmomentschlüssels	mm
l_{mit}	mittlere Hebelarmlänge des Transfer-Drehmomentschlüssels	mm
$w(M_k)$	relative Standardmessunsicherheit des Drehmomentwertes des Kalibriergegenstandes beim Kalibrierdrehmoment M_k	-
$W(M_k)$	relative erweiterte Messunsicherheit des Drehmomentwertes des Kalibriergegenstandes beim Kalibrierdrehmoment M_k	-
$W'(M_k)$	relatives Unsicherheitsintervall des Drehmomentwertes des Kalibriergegenstandes beim Kalibrierdrehmoment M_k	-
$W_{KE}(M_k)$	relative erweiterte Messunsicherheit des Drehmomentwertes M_k der Kalibriereinrichtung	-

3 Merkmale des Drehmomentschlüssels

3.1 Beschreibung und Kennzeichnung des Drehmomentschlüssels

Bestandteile eines Drehmomentschlüssels sind alle Komponenten vom Drehmomentaufnehmer mit adaptiertem Hebelarm bis zum Anzeigegerät.

Alle Teile des Drehmomentschlüssels (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. Auf dem Drehmomentschlüssel ist das Nenndrehmoment anzugeben.

3.2 Drehmomenteinleitung

Auf der Messeite wird das Drehmoment in Achsrichtung über austauschbare Adaptionsteile eingeleitet, die die durch die Krafteinleitung über den Hebelarm erzeugten Querkräfte und Biegemomente mit hinreichend geringer Verformung übertragen müssen und zu keiner die Messunsicherheit beeinflussenden Radialverschiebung des Drehmomentvektors führen dürfen. Die Aufnehmergegenseite überträgt das Drehmoment über einen radial angeordneten Hebelarm zu dem Gegenlager der Drehmomentkalibriereinrichtung. Die Hebelarmlänge von Transfer-Drehmomentschlüsseln muss mindestens im Bereich der Hebelarmlängen von handelsüblichen Drehmomentschlüsseln entspre-

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAKKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	8/21

chend dem zu kalibrierenden Messbereich (siehe DAKKS-DKD-R 3-8, Diagramm 4.4.4-1), bei sonstigen Drehmomentschlüsseln um die halbe Grifflänge variiert werden können. Die Verbindung zwischen dem Hebelarm des Drehmomentschlüssels und der Drehmoment-Kalibriereinrichtung muss so erfolgen, dass zusätzliche parasitäre Kräfte und Momente vermieden werden.

3.3 Messung der Verformung

Die Formänderung des Verformungskörpers der Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtung kann bei entsprechender Genauigkeit und zeitlicher Konstanz des Messsystems mit elektrischen, mechanischen oder optischen Mitteln erfolgen.

4 Kalibrierung des Drehmomentschlüssels

4.1 Allgemeines

4.1.1 Anforderungen

Die Kalibrierung besteht darin, dass in den Drehmomentschlüssel ein Drehmoment über eine Kraft eingeleitet wird, die in ihrer Größe und Richtung den realen Anwendungsbedingungen des Drehmomentschlüssels entspricht, und dass die Anzeigen aufgezeichnet werden.

Ein elektrisches Anzeigergerät ist gegen ein gleichartiges austauschbar, wenn seine Abweichungen auf das Ergebnis der Klassifizierung infolge seiner technischen Spezifikation und seiner Messunsicherheit nur unwesentlichen Einfluss haben (die zusätzliche Messunsicherheit durch den Austausch des Anzeigergerätes sollte höchstens $\frac{1}{3}$ der relativen erweiterten Messunsicherheiten der Drehmomentwerte des Drehmomentschlüssels W bzw. W' betragen).

Es ist sicherzustellen, dass

- a) Drehmomenteinleitungsteile zur Adaption von Drehmomentschlüsseln in Kalibriereinrichtungen mindestens das 1,5fache des maximalen Kalibrierdrehmomentes unter Gewährleistung eines linearen Verformungsverhaltens übertragen können;
- b) die Krafteinleitung kraftschlüssig in den Hebelarm unter Vermeidung zusätzlicher Biegemomente erfolgen kann.

4.1.2 Überlastungsprüfung

Es ist sicherzustellen, dass vor der ersten Kalibrierung eine Überlastung des Drehmomentschlüssels einschließlich seiner Adaptionsteile stattgefunden hat, bei der das Nennmoment mindestens viermal um 8 % bis 12 % überschritten und dieser Wert jeweils 1 min bis 1,5 min gehalten wurde.

ANMERKUNG: Hierdurch sollen Folgeschäden an der Kalibriereinrichtung durch ein unerwartetes Versagen des Drehmomentschlüssels bei den Kalibrierbelastungen ausgeschlossen werden.

4.2 Auflösung des Anzeigergerätes

4.2.1 Skalenanzeige

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

Die Auflösung r des Anzeigergerätes 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 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{10}$. Ein Abstand von 1,25 mm oder größer ist für die Abschätzung eines Zehntels des Skalenteils auf der Skala erforderlich.

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	9/21

4.2.2 Ziffernanzeige

Die Auflösung r wird als ein Zifferschnitt der letzten sich bewegenden Ziffer auf dem Ziffernanzeigergerät angesehen, vorausgesetzt, dass die Anzeige bei unbelastetem Gerät nicht um mehr als einen Zifferschnitt schwankt.

4.2.3 Anzeigeschwankung

Wenn die Anzeige (bei unbelastetem Messgerät) um mehr als den vorher für die Auflösung berechneten Wert schwankt, gilt, dass die Auflösung gleich der Hälfte des Schwankungsbereiches plus 1 Zifferschnitt ist. Bei Anzeigeeinrichtungen mit aktiver Nullpunktunterdrückung ist diese zur Bestimmung der Anzeigeschwankung auszuschalten.

4.2.4 Einheiten

Die Auflösung r wird in Drehmomenteinheiten umgerechnet und angegeben.

4.2.5 Messbereichsanfangswert

Unter Berücksichtigung der Auflösung r , mit der die Anzeige des Drehmomentschlüssels abgelesen werden kann, muss das eingeleitete Mindestdrehmoment (Messbereichsanfangswert) der folgenden Bedingung entsprechen:

Der Messbereichsanfangswert M_A muss den in Tabelle 4 angegebenen Werten entsprechen.

4.3 Vorbereitung der Kalibrierung

4.3.1 Anzeigergerät

Das Anzeigergerät ist nach Herstellerangabe oder Kundenspezifikation einzustellen. Alle variablen Einstellungen sind zu protokollieren. Das Anzeigergerät ist vor Beginn der Kalibrierung auf hinreichende Stabilität des Nullpunktes zu prüfen.

4.3.2 Temperaturnausgleich

Vor der Kalibrierung des Drehmomentschlüssels ist bei angelegter Speisespannung das Temperaturgleichgewicht zwischen dem Aufnehmer und der Umgebung abzuwarten.

4.3.3 Aufnehmernullsignal

Vor dem Einbau des Drehmomentschlüssels in die Kalibriereinrichtung ist das untarierte Nullsignal des mechanisch unbelasteten Drehmomentschlüssels in vertikaler Lage der Messachse zu messen und zu protokollieren. Die Messung ist nach Abschluss der Kalibrierung im ausgebauten Zustand zu wiederholen. Die Kenntnis des zeitlichen Verhaltens des Nullsignals ermöglicht Rückschlüsse über die zeitliche Stabilität des Drehmomentschlüssels und seine Vorgeschichte.

4.3.4 Aufnehmeranschluss

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

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	10/21

4.4 Durchführung der Kalibrierung

4.4.1 Kalibrierumfang und -verfahren

Die Kalibrierung erfolgt getrennt für Rechts- und Linksdrehmoment.

Die Kalibrierung von Drehmomentschlüsseln kann sowohl als rein statisches Verfahren durch Messung diskreter Drehmomentwerte durchgeführt werden (typisch für Kalibriereinrichtungen mit Hebel-Masse-System) als auch als kontinuierliches (quasistatisches) Verfahren im Durchlauf ohne Haltezeit bei diskreten Drehmomentwerten. Nach Möglichkeit sollte die Anwendung des kalibrierten Drehmomentschlüssels Grundlage der Auswahl des Kalibrierverfahrens sein. Zwischen beiden Verfahren können sich Differenzen im Ergebnis der Kalibrierung infolge des Kriechens der Aufnehmer ergeben.

Bei kontinuierlicher Kalibrierung ist sicherzustellen, dass das Verfahren der Messwertübernahme von Drehmomentreferenz und Kalibriergegenstand durch den Rechner zu keinen relevanten Messabweichungen führt, die das Kalibrierergebnis innerhalb der die Klasse bestimmenden Messunsicherheit unzulässig beeinflussen³.

4.4.2 Vorbelastung

Nach dem Einbau in die Kalibriereinrichtung ist der Drehmomentschlüssel in der zu kalibrierenden Richtung dreimal, nach jeder Änderung der Einbaulage einmal mit dem Endwert des zu kalibrierenden Messbereiches M_E vorzubelasten. Die Dauer der Vorbelastung sollte möglichst kurz gehalten werden, um Kriecheinflüsse zu minimieren. Nach der Vorbelastung ist bis zur Stabilisierung des Nullsignals innerhalb der der Klasse zugeordneten Mindestauflösung am Messbereichsanfangswert zu warten. Ein vorhandenes Restsignal ist zu protokollieren.

Nach der letzten Vorbelastung muss das Entlastungskriechen über 3 min bestimmt und protokolliert werden.

4.4.3 Einbaustellung

Der Drehmomentschlüssel ist vorzugsweise in drei verschiedenen Einbaustellungen durch Drehung der Adaptionsteile um jeweils 90° oder 120° um die Messachse zu kalibrieren.

³ Einfluss haben u. a. die Filtereinstellungen der Anzeigeeinrichtungen, eine mögliche Zeitdifferenz der Messwertabfrage der Messsignale von Referenz und Kalibriergegenstand und die Drehmomentanstiegsgeschwindigkeit. Die Anwendung kontinuierlicher Kalibrierverfahren erfordert im Vorfeld experimentelle Untersuchungen zum Nachweis des Einflusses der Verfahrensbedingungen auf die Messunsicherheit der Kalibrierung.

4.4.4 Durchführung der Kalibrierung

Die Anzahl der Messreihen ergibt sich nach Tabelle 2 aus der geforderten Klasse des Drehmomentschlüssels und bestimmt somit den erforderlichen Kalibrierumfang.

Die Kalibrierung des Drehmomentschlüssels erfolgt zuerst in gleicher Einbaustellung mit einer Aufwärts- und einer Abwärtsreihe und einer mittleren Hebelarmlänge l_{mit} bzw. in Griffmitte. Danach wird die Einbaustellung geändert und in jeder Einbaustellung eine Auf- und Abwärtsreihe gemessen. Zur Bestimmung des Einflusses des Kräfteeinleitungspunktes am Hebelarm auf das Kalibrierergebnis muss eine zusätzliche Aufwärtsreihe bei minimaler Hebelarmlänge l_{min} nach Tabelle 3 (gilt nur für Transfer-Drehmomentschlüssel) bzw. um halbe Grifflänge verkürzten Hebel aus der Griffmitte heraus gemessen werden (siehe Anlage C). Der Drehmomentschlüssel verbleibt dabei in der Einbaustellung der vorangegangenen Messreihe, weshalb keine weitere Vorbelastung erforderlich ist.

Tabelle 2: Anzahl der erforderlichen Messreihen

Klasse	Anzahl der Messreihen bei				minimaler Hebelarmlänge aufwärts
	gleicher Einbaustellung		weiteren Einbaustellungen		
	aufwärts	abwärts	aufwärts	abwärts	
0,05					
0,1	2	1	2	2	1
0,2					
0,5					
1					
2	1	1	1	1	1
5					

Tabelle 3: Bereiche der Variation der Hebelarmlänge von Transfer-Drehmomentschlüsseln

M_{nom} N·m	l_{min} mm	l_{mit} 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

Für Drehmomente über 2000 N·m sind die Hebelarmlängen entsprechend zweckmäßig zu wählen. Die Mindestanzahl der Drehmomentstufen (zusätzlich zur Null) soll für jede Richtung für die

- Klassen 0,05 bis 0,2 8 (über den Messbereich zweckmäßig verteilt⁴), für die
- Klasse 0,5 5 (20, 40, 60, 80 und 100 % M_E) und die
- Klassen 1 bis 5 3 (20, 60 und 100 % M_E) betragen.

Der Messbereichsanfangswert M_A muss Bestandteil der Kalibrierwerte sein. Ein Transfer-Drehmomentschlüssel kann für mehrere Drehmomentmessbereiche getrennt kalibriert werden.

Die Festlegung der Werte in Tabelle 3 erfolgten auf der Grundlage der typischen Hebelarmlängen handelsüblicher Drehmomentschlüssel.

⁴ z. B. in Schritten von 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 und 100 % M_E oder 2, 5, 10, 20, 40, 60, 80 und 100 % M_E

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	12/21

4.4.5 Belastungsbedingungen

Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Belastungsstufen muss möglichst gleich sein. Die Messwertübernahme bei Kalibrierung in diskreten Schritten darf erst nach Erreichen des Stillstandes der Anzeige erfolgen. 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

Die Anzeige zu Beginn jeder Messreihe kann zu Null tariert oder im Anschluss an die Messung während der Auswertung rechnerisch berücksichtigt werden⁵. Bei Drehmomentschlüsseln mit benannter Skale (Anzeige in N·m) muss die Anzeige zu Beginn jeder Messreihe auf Null tariert werden.

4.4.7 Beurteilung des Drehmomentschlüssels⁶

4.4.7.1 Spannweiten b , b' und b_l ⁷

Die Spannweiten in verschiedenen Einbaustellungen b , in gleicher Einbaustellung b' ⁸ und bei verschiedenen Hebelarm-längen b_l werden für jede Drehmomentstufe M_k nach den folgenden Gleichungen errechnet:

$$b = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} n - \text{Anzahl der Aufwärtsreihen bei verschiedenen Einbaustellungen und mittlerer Hebelarm-länge} \end{array} \quad (1)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (I_j - I_{j,0})$$

$$b' = |X_1 - X_2| \quad \begin{array}{l} X_1 \text{ und } X_2 \text{ aus den Aufwärtsreihen in gleicher Einbaustellung bei mittlerer Hebelarm-länge} \end{array} \quad (2)$$

$$b_l = X_{\text{mit}} - X_{\text{min}} \quad \begin{array}{l} \text{Differenz der Anzeigewerte bei mittlerer und minimaler Hebelarm-länge} \end{array} \quad (3)$$

4.4.7.2 Interpolationsabweichung f_a

Die Interpolationsabweichung wird für jede Drehmomentstufe M_k mit Hilfe einer Ausgleichsfunktion 1. oder 3. 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 Abweichungen im kalibrierten Messbereich ein Minimum ergibt. Anstelle der Interpolationsabweichung wird für Drehmomentschlüssel mit benannter Skale ohne Möglichkeit der elektronischen Anpassung der Anzeige an die Ausgleichsfunktion die Anzeigeabweichung nach Punkt 4.4.7.6 bestimmt.

⁵ Die Aufzeichnung untarierter Werte liefert zusätzliche Informationen über das Verhalten des Nullsignales und sollte deshalb bei der Kalibrierung elektrischer Systeme vorrangig angewandt werden.

⁶ Bei kontinuierlicher Kalibrierung sind rechnerisch die Messwerte für die Mindestanzahl von Drehmomentstufen für jede Messreihe zu ermitteln und daraus die Spannweiten b , b' und b_l sowie die Interpolationsabweichung f_a und die Umkehrspanne h zu bestimmen.

⁷ Die Abhängigkeit der einzelnen Größen vom Kalibrierdrehmoment wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht explizit angegeben.

⁸ Die Bestimmung von b' entfällt für die Klassen 1, 2 und 5.

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	13/21

Die Interpolationsabweichung errechnet sich aus:

$$f_a = (\bar{X} - X_a) \quad (4)$$

4.4.7.3 Nullpunktabweichung f_0

Die Nullpunktanzeige wird nach jeder Messreihe aufgezeichnet. Die Nullpunktablesung ist 30 s nach völliger Entlastung vorzunehmen. Die relative Nullpunktabweichung wird nach Gleichung (5) berechnet:

$$f_0 = \max |I_f - I_0|. \quad (5)$$

4.4.7.4 Umkehrspanne h

Die Umkehrspanne wird bestimmt, indem eine Messung bei zunehmendem und daran anschließend bei abnehmendem Drehmoment durchgeführt wird.

Die Umkehrspanne wird nach Gleichung (6) als Mittelwert der Differenzen zwischen den Anzeigen der Aufwärts- und der Abwärtsreihen für jede Drehmomentstufe M_k ermittelt:

$$h = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k |I_j - I'_j| \quad k = \text{Anzahl der Abwärtsreihen} \quad (6)$$

4.4.7.5 Schätzwert \bar{X}

Der Schätzwert \bar{X} berechnet sich nach Gleichung (7) für jede Drehmomentstufe M_k als Mittelwert der Messergebnisse aus den n Aufwärtsreihen bei mittlerer Hebelarmlänge:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (I_j - I_{j,0}) \quad n = \text{Anzahl der Aufwärtsreihen bei verschiedenen Einbaustellungen und mittlerer Hebelarmlänge} \quad (7)$$

4.4.7.6 Anzeigeabweichung f_a

Die Anzeigeabweichung wird nur für solche Drehmomentschlüssel bestimmt, deren Anzeige direkt in der Einheit des Drehmomentes erfolgt und bei denen keine Anpassung durch eine Ausgleichsfunktion möglich ist. Sie wird nach Gleichung (8) für jede Drehmomentstufe M_k aus dem Mittelwert der Aufwärtsreihen bei verschiedenen Einbaustellungen berechnet:

$$f_q = (\bar{X} - M_k) \quad (8)$$

5 Klassifizierung des Drehmomentschlüssels

5.1 Klassifizierungsprinzip

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

5.2 Klassifizierungskriterien

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

5.2.2 Es sind die folgenden Kriterien zu berücksichtigen:

- Spannweite bei gleicher Einbaustellung,
- Spannweite bei verschiedenen Einbaustellungen,
- Spannweite bei verschiedenen Hebelarmlängen,
- Interpolationsabweichung oder Anzeigeabweichung,
- Nullpunktabweichung und
- Umkehrspanne.

5.2.3 Tabelle 4 gibt die zulässigen Werte dieser verschiedenen Parameter für die Klasse des Drehmomentschlüssels und die zugehörige geforderte relative erweiterte Messunsicherheit der Kalibrierdrehmomente an.

Tabelle 4: Klassifizierungsmerkmale der Drehmomentschlüssel

Klassifizierungsmerkmale in %							Kalibrierdrehmoment
Klasse	Relative Spannweite $\frac{b}{\bar{X}}, \frac{b_i}{\bar{X}}$	Relative Spannweite $\frac{b'}{\bar{X}}$	Relative Nullpunktabweichung $\frac{f_0}{\bar{X}_E}$	Relative Umkehrspanne $\frac{h}{\bar{X}}$	Relative Anzeige- bzw. Interpolationsabweichung $\frac{f_a}{\bar{X}}$ bzw. $\frac{f_q}{\bar{X}}$	Messbereichsanfangswert M_A	rel. erw. Messunsicherheit ⁹ in % $W_{KE} = k \cdot w_{KE}$
0,05	0,050	0,025	0,0125	0,063	$\pm 0,025$	$\geq 4000 r$	0,010
0,1	0,10	0,05	0,025	0,125	$\pm 0,05$	$\geq 2000 r$	0,020
0,2	0,20	0,10	0,050	0,250	$\pm 0,10$	$\geq 1000 r$	0,040
0,5	0,50	0,25	0,125	0,63	$\pm 0,25$	$\geq 400 r$	0,10
1	1,00		0,25	1,25	$\pm 0,5$	$\geq 200 r$	0,20
2	2,00		0,50	2,50	$\pm 1,0$	$\geq 100 r$	0,40
5	5,00		1,25	5,0	$\pm 2,5$	$\geq 40 r$	1,0

⁹ Die rel. erweiterte Messunsicherheit des Kalibrierdrehmomentes entspricht nach DAkKS-DKD-3 [4] der zweifachen Standardabweichung ($k = 2$) und wird aus der Zusammensetzung der zufälligen und der unbekannt systematischen Messabweichungen der Drehmoment-Kalibriereinrichtung ermittelt.

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAKKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	15/21

6 Kalibrierschein und Gültigkeitsdauer

6.1 Wenn ein Drehmomentschlüssel die Anforderungen dieser Richtlinie zum Zeitpunkt der Kalibrierung erfüllt, stellt das Kalibrierlaboratorium einen Kalibrierschein nach DAKKS-DKD-5 [5] aus, der folgende Angaben enthält:

- a) Antragsteller,
- b) Identität aller Elemente des Drehmomentschlüssels und der Drehmomenteinleitungsteile sowie Benennung der Kalibriereinrichtung,
- c) Angabe zu Links- und Rechtsdrehmoment sowie Hebelarmlängen,
- d) Klassifizierungsergebnis mit Angabe des zugehörigen Messbereiches und der Messunsicherheit nach Anhang B,
- e) Schätzwert (Mittelwerte aus den Messwerten der Aufwärtsreihen) und die Ausgleichsfunktion,
- f) Umgebungstemperatur, bei der die Kalibrierung durchgeführt wurde,
- g) Datum der Kalibrierung,
- h) Angaben zur Identifikation des Kalibrierlaboratoriums,
- i) Hinweis auf diese Richtlinie.

Der Kalibrierschein sollte zusätzlich enthalten:

- j) Tabelle der Messwerte und der berechneten Kennwerte nach Punkt 4.4.7 und
- k) grafische Darstellung der Kennlinie.

Die Reduzierung der Angaben des Ergebnisses der Kalibrierung auf eine Konformitätsaussage über die Einhaltung der geforderten Parameter einer Klasse und die Messunsicherheit ist bei Drehmomentschlüsseln mit benannter Skale (z. B. in N·m) möglich, bei allen anderen jedoch nur mit zusätzlicher Angabe der Ausgleichsfunktion.

6.2 Im Sinne dieser Richtlinie muss der Drehmomentschlüssel nach spätestens 26 Monaten erneut kalibriert werden.

Der Drehmomentschlüssel ist ebenfalls neu zu kalibrieren, wenn er einer Überlastung ausgesetzt wurde, die größer als die bei der Überlastungsprüfung ist (siehe Punkt 4.1.2), nachdem eine Instandsetzung stattgefunden hat oder nach einer unsachgemäßen Handhabung, die Einfluss auf die Messunsicherheit haben kann.

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAKKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	16/21

Anhang A

Anwendung von kalibrierten Drehmomentschlüsseln

Die Kalibrierung gilt nur für Anwendungsfälle, bei denen der Drehmomentschlüssel entsprechend den Kalibrierbedingungen eingesetzt wird. Es sind Vorkehrungen zu treffen, dass der Drehmomentschlüssel 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 ein Drehmomentschlüssel bei einer von der Kalibriertemperatur abweichenden Temperatur für Messungen eingesetzt, ist die dadurch bedingte zusätzliche Messunsicherheit aus der Angabe des Herstellers zum Einfluss der Temperatur auf den Übertragungskennwert abzuschätzen und entsprechend zu berücksichtigen.

Anhang B

Bestimmung der relativen erweiterten Messunsicherheit W für die Kalibrierung von Drehmomentschlüsseln nach DAKKS-DKD-R 3-7 [4] [6]

Die nachfolgenden Ausführungen sollen als Beispiel für die Berechnung der relativen Messunsicherheit einer Standardkalibrierung dienen. Je nach Anwendungsfall des zu kalibrierenden Drehmomentschlüssels 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 Anteile durch Langzeitstabilität oder die realen Adaptionbedingungen bei der Anwendung des Messgerätes. Ebenso kann es unter bestimmten Einsatzbedingungen messtechnisch sinnvoll sein, bei der Anwendung des Messgerätes die ermittelte Umkehrspanne als bekannte systematische Abweichung über eine Korrektur der Messwerte und nicht als deren zufällige Abweichung zu berücksichtigen.

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 Spannweiten b' , b und b_1 sowie die Umkehrspanne werden an vorgegebenen Stützstellen aus interpolierten Werten ermittelt. Danach erfolgt die weitere Messunsicherheitsbetrachtung wie bei der schrittweisen Kalibrierung.

Bei der Anwendung linearer Ausgleichfunktionen für Drehmomentschlüssel mit unbenannter Skale ist die Interpolationsabweichung wie eine Anzeigeabweichung als systematischer Fehleranteil bei der Berechnung der Messunsicherheit zu berücksichtigen.

Für Drehmomentschlüssel mit fester benannter Skale ist es nicht sinnvoll, eine Ausgleichfunktion zu bestimmen. An deren Stelle tritt die Berechnung der Anzeigeabweichung. Die Anzeigeabweichung hat systematischen Charakter, wird jedoch nicht wie eine bekannte systematische Abweichung bei der Anwendung des kalibrierten Messgerätes korrigiert. Sie sollte deshalb additiv in die Berechnung des Messunsicherheitsintervalls nach (B.4) 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 nach (B.1) zu behandeln.

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAkKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	17/21

a) Modell

$$M = M_k \cdot \prod_{i=1}^n (1 - \delta M_i)$$

hierin bedeuten

- δM_1 Einfluss der Auflösung r des Anzeigergerätes am Kalibriergegenstand
- δM_2 Einfluss der Wiederholpräzision b'
- δM_3 Einfluss der Vergleichspräzision b
- δM_4 Einfluss der Umkehrspanne h
- δM_5 Einfluss der Rückkehr zur Null f_0
- δM_6 Einfluss der Krafteinleitungsbedingungen b_l
- δM_7 Einfluss der Anzeige- bzw. Interpolationsabweichung f_q bzw. f_a
- δM_8 Einfluss der Messunsicherheit U_{KE} der Drehmoment-Kalibriereinrichtung einschließlich eines Anteiles für Langzeitstabilität der Drehmoment-Kalibriereinrichtung.

Weiterhin sollten bei der Anwendung berücksichtigt werden:

- δM_9 Einfluss der nichtidealen Ankopplung an den Kalibriergegenstand
- δM_{10} Einfluss der Abweichung der Kalibriertemperatur vom Referenzwert

b) Messunsicherheitsbudget

Für unkorrelierte Eingangsgrößen ist die dem Drehmoment M zugeordnete relative Standardmessunsicherheit w bei einem eingeleiteten Kalibrierdrehmoment M_k gegeben durch das Fortpflanzungsgesetz.

$$w(M_k) = \sqrt{w_{KE}^2(M_k) + \sum_{i=1}^n w^2(\delta M_i)} \quad \text{mit } n = 7, \quad (\text{B.1})$$

hierin wird $w_{KE}^2(M_k)$ durch den Einfluss von δM_8 bestimmt.

Die relative erweiterte Messunsicherheit $W(M_k)$ des Drehmomentwertes des Kalibriergegenstandes berechnet sich gemäß

$$W(M_k) = k \cdot w(M_k). \quad (\text{B.2})$$

Für unbenannte Skale und Anwendung einer linearer Ausgleichsfunktion bzw. für benannte Skale wird in Folge des systematischen Charakters von f_a bzw. f_q an Stelle der relativen erweiterten Messunsicherheit W das relative Unsicherheitsintervall W' einer Kalibrierung berechnet. Dabei ist Formel (B.1) mit $n = 6$ anzuwenden und es gilt

$$W'(M_k) = |f_a(M_k)| + k \cdot w(M_k), \quad k = 2 \quad \text{für unbenannte Skale und Anwendung einer linearen Ausgleichsfunktion, bzw.} \quad (\text{B.3})$$

$$W'(M_k) = |f_q(M_k)| + k \cdot w(M_k), \quad k = 2 \quad \text{für benannte Skale;} \quad (\text{B.4})$$

w wird aus den Messunsicherheitsanteilen berechnet, die sich u. a. aus den Spannweiten der berechneten Kennwerte nach Punkt 4.4.7 dieser Richtlinie ergeben. Für die dabei zu betrachtenden zufälligen Unsicherheitsanteile werden die statistischen Verteilungsfunktionen nach Tabelle B.1 vorgeschlagen. Tabelle B.2 zeigt ein Beispiel für eine tabellarische Berechnung der Messunsicherheit. Wird durch das verkürzte Kalibrierverfahren für die Klassen 1, 2 und 5 keine Wiederholpräzision b' ermittelt, sollte der Beitrag der Wiederholpräzision durch Verdopplung des Beitrages der Vergleichspräzision b erfasst werden.

Tabelle B.1: Verteilungsfunktionen für die Berechnung der relativen Standardabweichungen für die aus den experimentell bestimmten Spannweiten berechneten Kennwerte

Kennwert	Verteilungsfunktion	Relative Standardabweichung w in %
Nullpunktabweichung f_0	Typ B Rechteckverteilung	$w_0 = \frac{\left(\frac{f_0}{2}\right)}{\sqrt{3}} \cdot \frac{100}{M_k}$
Spannweite in gleicher Einbau- stellung b'	Typ A Normalverteilung	$w_{b'} = \frac{b'}{\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{\bar{X}}$
Spannweite in verschiedenen Einbaustellungen b	Typ A Normalverteilung	$w_b = \frac{b}{\sqrt{n}} \cdot \frac{100}{\bar{X}}$
Spannweite bei verschiedenen Hebelarmlängen b_l	Typ B U-Verteilung	$w_l = \frac{\left(\frac{b_l}{2}\right)}{\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{\bar{X}}$
Interpolationsabweichung f_a	Typ B Dreieckverteilung	$w_{fa} = \frac{\left(\frac{f_a}{2}\right)}{\sqrt{6}} \cdot \frac{100}{M_k}$
Auflösung r	Typ B Rechteckverteilung	$w_r = \frac{\left(\frac{r}{2}\right)}{\sqrt{3}} \cdot \frac{100}{M_k}$
Umkehrspanne h	Typ B Rechteckverteilung	$w_h = \frac{\left(\frac{h}{2}\right)}{\sqrt{3}} \cdot \frac{100}{M_k}$

Tabelle B.2: Beispiel für die tabellarische Berechnung der relativen Standardmessunsicherheit w für Transfer-Drehmomentschlüssel

Größe	Schätzwert	Grenzwerte	Verteilung	relative Standardmessunsicherheit $w(x_i)$	Sensitivitätskoeffizient c_i^{*10}	relativer Messunsicherheitsbeitrag $w_i(y)$
X_i	x_i	$2a$				
M_k	M_k		normal		1	
δM_1	0	r	rechteckverteilt		1	
δM_2	0	b'	normal		1	
δM_3	0	b	normal		1	
δM_4	0	h	normal		1	
δM_5	0	f_0	rechteckverteilt		1	
δM_6	0	f_a	dreieckverteilt		1	
δM_7	0	b_l	U-verteilt		1	
relative Standardmessunsicherheit						
relative erweiterte Messunsicherheit mit Erweiterungsfaktor k (für eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 % ergibt sich $k = 2$)						

¹⁰ Der Sensitivitätskoeffizient c_i^* ist der Faktor, mit dem die relative Unsicherheit $w(x_i)$ in den relativen Unsicherheitsbeitrag $w_i(y)$ umgerechnet wird. Er hängt mit dem Sensitivitätskoeffizienten c_i (siehe Gl. (4.3) in DKD-3) folgendermaßen zusammen:
$$c_i^* = -\frac{x_i}{y} \cdot c_i$$

Anhang C

Kalibrierablauf

Die nachfolgende Skizze zeigt ein Beispiel der Kalibrierung eines Drehmomentschlüssels für Rechtsdrehmoment mit fünf äquidistanten Drehmomentstufen.

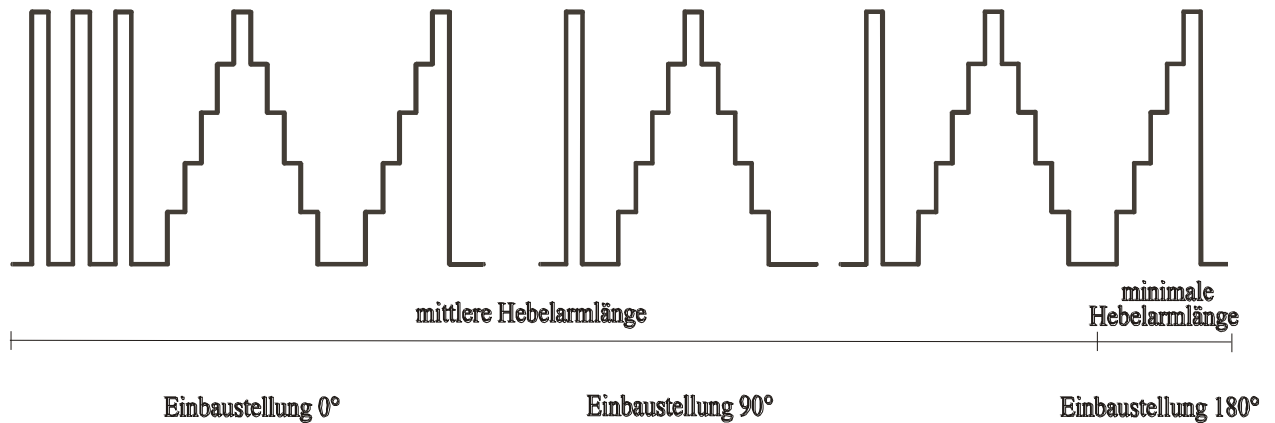


Bild C.1: Anzahl der erforderlichen Vorbelastungen und Meßreihen für die Klassen 0,05 bis 0,5

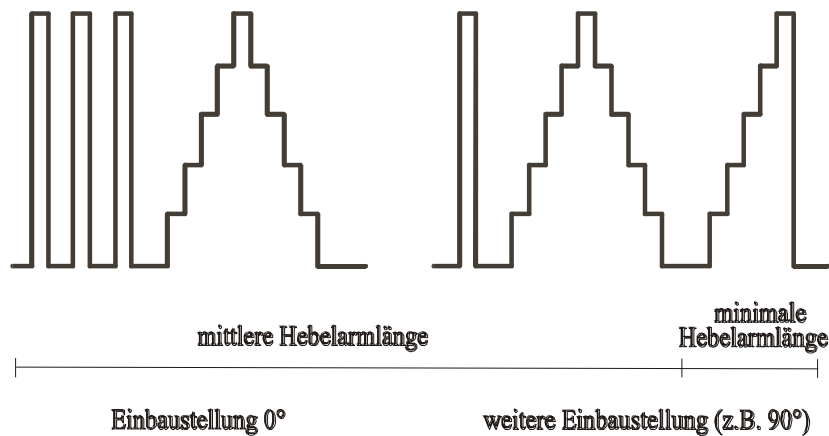


Bild C.2: Anzahl der erforderlichen Vorbelastungen und Meßreihen für die Klassen 1, 2 und 5

	Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln	DAKKS-DKD-R 3-7	
		Ausgabe:	1
		Revision:	0
		Seite:	21/21

Literaturhinweise

- [1] DAKKS-DKD-R 3-8 „Statische Kalibrierung von Drehmomentschlüssel-Kalibriereinrichtungen“: 1. Neuauflage 2010
- [2] DIN EN ISO 6789 „Handbetätigte Drehmomentwerkzeuge; Anforderungen und Prüfungen“ (ISO 6789:2002)
- [3] DIN 51309:02/98 „Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten für statische Drehmomente“
- [4] DAKKS-DKD-3 „Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen“, Neuauflage 2010, (EA-04/02 „Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration“, 04/97)
- [5] DAKKS-DKD-5 „Anleitung zum Erstellen eines Kalibrierscheines“, Neuauflage 2010
- [6] „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, ISBN 92-67-10188-9, International Organisation for Standardisation, Genève, 1995
- [7] *Peschel, D.* „Bestimmung der kleinsten angebbaren Messunsicherheit von Drehmomenten mit einer Drehmoment-Bezugsnormalmesseinrichtung“, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Arbeitspapier, FL 1.13
- [8] EURAMET/cg-14/v.01: „Guidelines on the Calibration of Static Torque Measuring Devices“, 07/2007