

DIN EN IEC 60773



ICS 29.160.10

Ersatz für
DIN IEC 60773:1985-11

**Drehende elektrische Maschinen –
Prüfverfahren und -einrichtungen für die Messung der
Betriebseigenschaften von Kohlebürsten
(IEC 60773:2021);
Deutsche Fassung EN IEC 60773:2021**

Rotating electrical machines –
Test methods and apparatus for the measurement of the
operational characteristics of brushes
(IEC 60773:2021);
German version EN IEC 60773:2021

Machines électriques tournantes –
Méthodes d'essai et appareils pour le mesurage des
caractéristiques opérationnelles des balais
(IEC 60773:2021);
Version allemande EN IEC 60773:2021

Gesamtumfang 86 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2021-05-12 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2024-07-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN IEC 60773:2021-04.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom IEC/TC 2 „Rotating machinery“ erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC .

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieses Dokuments bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<https://webstore.iec.ch>“ zu diesem Dokument angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees das Dokument

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation.

Diese Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheit Pond (p) (en: grams force, gf), die in Deutschland nicht zugelassen ist. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheit im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr auf Grund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung (EinhZeitG) nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheit dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheit anwenden.

Umrechnung:

Nicht zugelassene Einheit	Zugelassene Einheit	Umrechnung
1 Pond	Newton (N)	$1 \text{ p} = 9.806 \, 65 \times 10^{-3} \text{ N}$

Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60773:1985-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Abschnittsaufbau wurde aus der Sicht eines Laboratoriumprüfverfahrens abgeändert. Die neue Reihenfolge lautet wie folgt: Festlegung der Versuchsausrüstung (Abschnitt 4), allgemeine Prüfverfahren zur Durchführung der Messungen von Reibungskoeffizient, Spannungsfall und Verschleiß (Abschnitt 5) und spezifische Verfahren für die jeweilige Betriebseigenschaft (Abschnitt 6 bis 8);
- b) ein neuer Abschnitt 9 wurde zur Einführung der Aufnahme der Kommutierungsgrenzkurven (Black-Band-Versuch) zur Charakterisierung der Bürstenqualität für Gleichstrommaschinen ergänzt.

Frühere Ausgaben

DIN IEC 60773: 1985-11

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Drehende elektrische Maschinen – Prüfverfahren und -einrichtungen
für die Messung der Betriebseigenschaften von Kohlebürsten
(IEC 60773:2021)

Rotating electrical machines – Test methods
and apparatus for the measurement of
the operational characteristics of brushes
(IEC 60773:2021)

Machines électriques tournantes – Méthodes
d'essai et appareils pour le mesurage des
caractéristiques opérationnelles des balais
(IEC 60773:2021)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2021-05-12 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 2/2045/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60773, erarbeitet vom IEC/TC 2 „Rotating machinery“ wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 60773:2021 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2022-02-12
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2024-05-12

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60773:2021 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60027-4:2006	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60027-4:2007 (nicht modifiziert).
IEC 60034-1:2017	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60034-1:— ^{Z1} (modifiziert).
ISO 4287:1997	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 4287:1998 (nicht modifiziert).
ISO 4287:1997/A1:2009	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN ISO 4287:1998/A1:2009 (nicht modifiziert).

^{Z1} In Vorbereitung. Stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: FprEN 60034-1:2017/prAA.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abweichungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgelisteten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60034-19	2014	Rotating electrical machines - Part 19: Specific test methods for d.c. machines on conventional and rectifier-fed supplies	EN 60034-19	2014
IEC 60136	–	Dimensions of brushes and brush-holders for electrical machinery	–	–
IEC 60276	2018	Carbon brushes, brush holders, commutators and slip-rings - Definitions and nomenclature	EN IEC 60276	2019
IEC 60356	–	Dimensions for commutators and slip-rings	–	–
IEC 60584-1	2013	Thermocouples - Part 1: EMF specifications and tolerances	EN 60584-1	2013
IEC 60751	2008	Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors	EN 60751	2008
IEC/TR 61015	–	Brush-holders for electrical machines. Guide to the measurement of the static thrust applied to brushes	–	–
ISO 1190-1	1982	Copper and copper alloys; Code of designation; Part 1: Designation of materials	–	–
ISO 3274	1996	Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Nominal characteristics of contact (stylus) instruments	EN ISO 3274	1997
ISO 15510	2014	Stainless steels - Chemical composition	–	–

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	6
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	7
1 Anwendungsbereich.....	12
2 Normative Verweisungen.....	12
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	12
3.1 Begriffe.....	12
3.2 Symbole.....	19
3.2.1 Symbole und Einheiten.....	19
3.2.2 Indizes.....	21
3.3 Abkürzungen.....	21
4 Festlegung der Versuchsausrüstungen.....	22
4.1 Gemeinsame Bestimmungen.....	22
4.1.1 Allgemeines.....	22
4.1.2 Schleifringe.....	22
4.1.3 Kohlebürsten.....	23
4.1.4 Bürstenhalter.....	24
4.1.5 Stromversorgung.....	25
4.1.6 Prüfausrüstung.....	26
4.2 Festlegung der Versuchsausrüstungen für Kommutatoren.....	37
4.2.1 Allgemeines.....	37
4.2.2 Versuchsschleifringe.....	37
4.2.3 Anordnung der Kohlebürsten.....	41
4.2.4 Spezielle Kohlebürsten für die Messung des Spannungsfalls.....	42
4.3 Festlegung der Versuchsausrüstungen für Schleifringe.....	43
4.3.1 Allgemeines.....	43
4.3.2 Schleifringe.....	44
4.3.3 Kohlebürsten.....	45
4.3.4 Konfiguration für Gleichstrom- und Wechselstrombetrieb.....	45
5 Anwendungsweise und Betriebsbedingungen.....	47
5.1 Allgemeines.....	47
5.2 Umgebungsbedingungen.....	48
5.2.1 Laboratoriumsumgebung.....	48
5.2.2 Umgebungslufttemperatur und Oberflächentemperatur des Schleifrings.....	48
5.2.3 Umgebungsluftfeuchte.....	48
5.3 Betriebsbedingungen.....	49
5.4 Vorbereitung der Prüfung und Überwachung.....	49
5.4.1 Allgemeines.....	49
5.4.2 Versuchsausrüstungen.....	49

5.4.3	Bürstenhalter.....	49
5.4.4	Versuchskohlebürsten.....	49
5.4.5	Rauheit des Schleifringes.....	50
5.4.6	Einschleifen der Kohlebürsten.....	50
5.4.7	Messungen an den Kohlebürsten.....	50
5.5	Prüffolge.....	50
5.5.1	Beginn der Prüfung.....	50
5.5.2	Prüfdauer.....	51
5.6	Messungen und Beobachtungen.....	51
5.6.1	Allgemeines.....	51
5.6.2	Intervall zwischen den Messungen.....	51
5.6.3	Vor dem Beginn einer Prüffolge.....	51
5.6.4	Messungen während einer Prüffolge.....	52
5.6.5	Messungen nach einer Prüffolge.....	52
6	Bestimmung des Reibungskoeffizienten.....	53
6.1	Allgemeines.....	53
6.2	Prüfbedingungen.....	53
6.3	Messungen.....	54
6.3.1	Allgemeines.....	54
6.3.2	Prüfung mit Versuchsausrüstung für Verfahren a).....	54
6.3.3	Prüfung mit Versuchsausrüstung für Verfahren b).....	54
6.4	Berechnung des Reibungskoeffizienten.....	54
6.4.1	Prüfung mit Versuchsausrüstung für Verfahren a).....	54
6.4.2	Prüfung mit Versuchsausrüstung für Verfahren b).....	54
6.5	Bericht.....	55
7	Bestimmung des Spannungsfalls.....	56
7.1	Allgemeines.....	56
7.2	Prüfbedingungen.....	56
7.3	Messungen.....	56
7.3.1	Allgemeines.....	56
7.3.2	Bürsten-Gesamtspannungsfall U_B	57
7.3.3	Bürstenkontaktspannungsfall U_c	57
7.4	Berechnung.....	57
7.4.1	Bürsten-Gesamtspannungsfall U_B	57
7.4.2	Bürstenkontaktspannungsfall U_c	58
7.5	Bericht.....	59
8	Bestimmung des Kohlebürstenverschleißes.....	60
8.1	Allgemeines.....	60
8.2	Prüfbedingungen.....	60

8.3	Messungen.....	60
8.4	Berechnung des Kohlebürstenverschleißes.....	60
8.5	Bericht.....	62
9	Bestimmung des Kommutierungsvermögens von Kohlebürstenwerkstoffen durch eine spezielle Aufnahme der Kommutierungs-Grenzkurven an einer Gleichstrommaschine.....	62
9.1	Allgemeines.....	62
9.2	Versuchsanordnung.....	63
9.3	Prüfverfahren.....	66
9.3.1	Vorbereitung der Prüfung.....	66
9.3.2	Betriebsbedingungen und Prüffolge.....	67
9.4	Graphische Darstellung des Kommutierungs-Grenzkurvenbereiches.....	68
9.5	Auswertung.....	69
9.5.1	Allgemeines.....	69
9.5.2	Einfluss der Dicke der Kommutator-Patina auf den Kommutierungs-Grenzkurvenbereich.....	69
9.5.3	Einfluss des Bürstenübergangswiderstandes.....	70
9.5.4	Schätzung der Abweichung der mechanischen Kontaktstabilität durch Vergleich der Kommutierungs-Grenzkurvenbilder vor und nach kritischem Langzeitbetrieb.....	72
	Anhang A (informativ) Weitere Angaben zur Messung des Reibungskoeffizienten.....	75
A.1	Einzelheiten der Berechnung des Reibungskoeffizienten nach Verfahren a) in 4.1.6.1.2.....	75
A.2	Einstellung des Dehnungs-Messgrößenaufnehmers für die Berechnung des Reibungskoeffizienten nach Verfahren b) in 4.1.6.1.3.....	75
A.2.1	Allgemeines.....	75
A.2.2	Korrelation zwischen Ausgangsspannung und Last.....	76
A.2.3	Korrelation zwischen Reibungskoeffizient und Last.....	76
	Anhang B (informativ) Abweichungsfälle des Kommutierungs-Grenzkurvenbereichs.....	79
B.1	Kommutierungs-Grenzkurvenbereich bei begrenzter Laufläche.....	79
B.2	Einfluss der mechanischen Kontaktinstabilität des Bürstenratterns auf den Kommutierungs-Grenzkurvenbereich.....	80
B.3	Hysterese des Kommutierungs-Grenzkurvenbereichs zwischen erhöhtem I_a und verringertem I_a	81
	Anhang C (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht.....	83
	Literaturhinweise.....	86
	Bilder	
	Bild 1 – Profil und Bestimmung der Höhe der Profilelemente.....	13
	Bild 2 – Kräfte, die auf eine Kohlebürste wirken.....	16
	Bild 3 – Spannungsfälle in einer Kohlebürste im Betrieb.....	16
	Bild 4 – Bürstenhalteranordnung.....	25
	Bild 5 – Messung des mechanischen Drehmoments nach Verfahren a).....	27
	Bild 6 – Kohlebürsten-Prüfmaschine für Verfahren b).....	28
	Bild 7 – Anordnung einer Versuchsausrüstung mit Kraftmessdose.....	30
	Bild 8 – Anlegepunkt der Messspitze für die Kohlebürste für U_c	33

Bild 9 – Einsetzstellen der Thermoelemente.....	34
Bild 10 – Bewertung der Kontakttemperatur θ_c durch Interpolation.....	35
Bild 11 – Darstellung für die Vorbereitung der Lamellennuten.....	39
Bild 12 – Kohlebürstenüberdeckung.....	41
Bild 13 – Anordnung der Kohlebürsten.....	42
Bild 14 – Anordnung der Kontrollbürste.....	43
Bild 15 – Kennwerte von Nuten.....	44
Bild 16 – Anordnung der Versuchsausrüstung für den Gleichstrombetrieb mit 2 Kohlebürsten je Polarität...	46
Bild 17 – Anordnung der Versuchsausrüstung für den Wechselstrombetrieb mit 2 Kohlebürsten.....	47
Bild 18 – Beispiel für die Darstellung des Reibungskoeffizienten μ als eine Funktion der Umfangsgeschwindigkeit v_p	55
Bild 19 – Beispiel für die graphische Darstellung des Bürsten-Gesamtspannungsfalls U_B als eine Funktion der Stromdichte J_B	59
Bild 20 – Beispiel für die Kohlebürstenverschleißrate WR_l von Kohlebürsten während der Prüfung auf einer Versuchsausrüstung mit 4 Kohlebürsten.....	61
Bild 21 – Schaltungsanordnung für die Aufnahme der Kommutierungs-Grenzkurven mit einem Gleichstromgenerator und Widerstandslast.....	64
Bild 22 – Schaltungsanordnung für die Aufnahme der Kommutierungs-Grenzkurven mit Gegenbelastungsverfahren nach Brondell.....	65
Bild 23 – Bestimmung des Kommutierungs-Grenzkurvenbereichs bei einer festgelegten konstanten Drehzahl.....	68
Bild 24 – Einfluss der Dicke der Kommutator-Patina auf den Kommutierungs-Grenzkurvenbereich.....	70
Bild 25 – Vergleich der Kommutierungs-Grenzkurven für eine Kohlebürste mit hohem Übergangswiderstand und eine Kohlebürste mit niedrigem Übergangswiderstand im Falle eines Motors....	71
Bild 26 – Vergleich der Kommutierungs-Grenzkurven für eine Kohlebürste mit hohem Übergangswiderstand und eine Kohlebürste mit niedrigem Übergangswiderstand im Falle eines Generators.....	72
Bild 27 – Abweichungen der Kommutierungs-Grenzkurven vor und nach dem kritischen Betrieb mit Anwendung von wiederholten Höchstlasten von 225 % für einen „starken“ Werkstoff.....	73
Bild 28 – Abweichungen der Kommutierungs-Grenzkurven vor und nach dem kritischen Betrieb mit Anwendung von wiederholten Höchstlasten von 225 % für einen „schwachen“ Werkstoff.....	74
Bild A.1 – Korrelation der Ausgangsspannung einer Kraftmessdose U_{lc} mit der Masse m	76
Bild A.2 – Beispiel für die Korrelation zwischen Last und Reibungskoeffizient μ	77
Bild B.1 – Begrenzte Lauffläche und Verringerung des Maßes in tangentialer Richtung am Kontakt.....	79
Bild B.2 – Kommutierungs-Grenzkurvenbereich bei begrenzter Lauffläche.....	80
Bild B.3 – Einfluss der mechanischen Kontaktinstabilität des Bürstenratterns auf den Kommutierungs-Grenzkurvenbereich.....	81
Bild B.4 – Hysterese des Kommutierungs-Grenzkurvenbereichs zwischen ansteigendem I_{arm} und abfallendem I_{arm}	82
Tabellen	
Tabelle 1 – Maße der Versuchskohlebürsten.....	23
Tabelle 2 – Prüfbedingungen.....	49

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument ist anwendbar für Prüfverfahren zur Messung der Betriebseigenschaften von Kohlebürsten, die unter festgelegten Prüfbedingungen für den Betrieb auf Kommutator- und Schleifringmaschinen vorgesehen sind.

Darüber hinaus können einige Prüfungen auch für weitere Arten von elektrischen Schleifkontakten für elektrische Geräte relevant sein.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60034-19:2014, *Rotating electrical machines – Part 19: Specific test methods for d.c. machines on conventional and rectifier-fed supplies*

IEC 60136, *Dimensions of brushes and brush-holders for electrical machinery*

IEC 60276:2018, *Carbon brushes, brush holders, commutators and slip-rings – Definitions and nomenclature*

IEC 60356, *Dimensions for commutators and slip-rings*

IEC 60584-1:2013, *Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerances*

IEC 60751:2008, *Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors*

IEC TR 61015, *Brush-holders for electrical machines. Guide to the measurement of the static thrust applied to brushes*

ISO 1190-1:1982, *Copper and copper alloys – Code of designation – Part 1: Designation of materials*

ISO 3274:1996, *Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Nominal characteristics of contact (stylus) instruments*

ISO 15510:2014, *Stainless steels – Chemical composition*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1 Begriffe

3.1.1

Schlag

Ungenauigkeit des rotierenden Systems, die während des Drehens auf der Oberfläche des Rings gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies umfasst Unrundheit (d. h. mangelnde Rundheit), Außermittigkeit (d. h. mangelnde Mittigkeit) oder axiale Biegung (ungeachtet dessen, ob die Oberflächen perfekt rund und an jedem Querschnittspunkt konzentrisch sind).

3.1.2

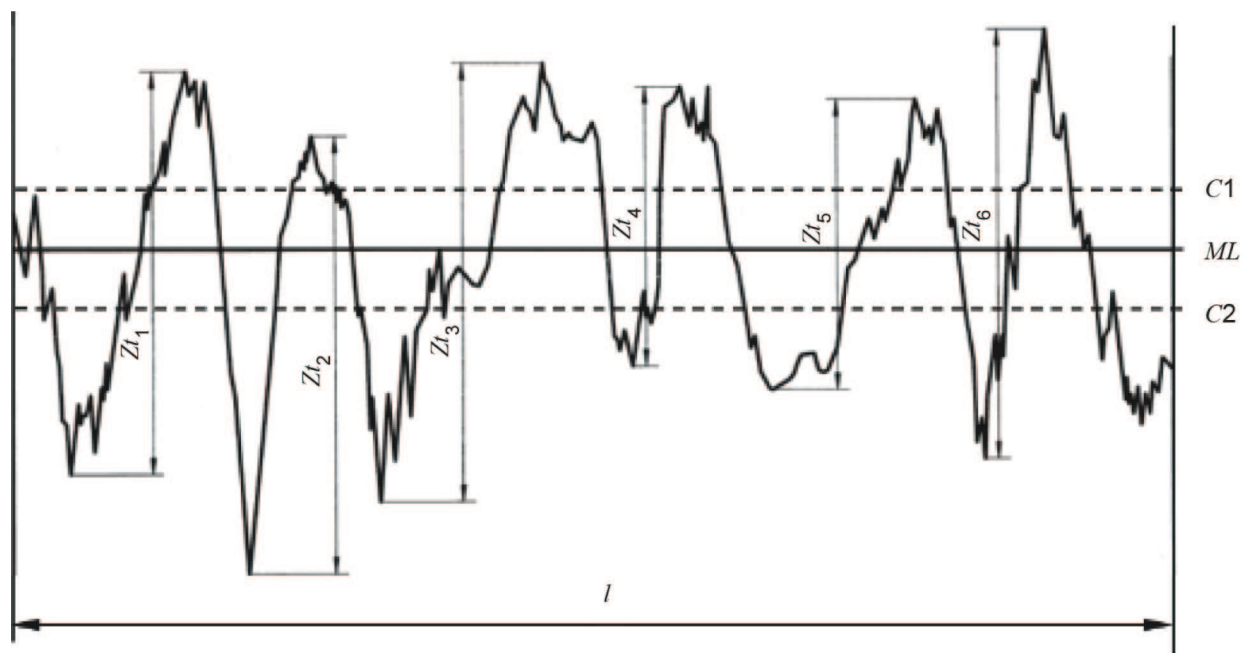
Rauheit

R_a

arithmetischer Mittelwert des absoluten Ordinatenwertes $Z(x)$ eines Profils innerhalb einer Prüflingslänge l

$$R_a = \frac{1}{l} \times \int_0^l |Z(x)| \cdot dx$$

BEISPIEL Bild 1 zeigt ein Beispiel für ein Profil.



Legende

Z_{t_i}	Höhe des Profilelements i
l	Prüflingslänge
ML	Mittellinie
$C1$ und $C2$	obere bzw. untere Schnittlinie

Bild 1 – Profil und Bestimmung der Höhe der Profilelemente

[QUELLE: ISO 4287:1997, Bild 9]

3.1.3

Spitzenzahl

RP_c

Anzahl der Profilelemente je Zentimeter der Prüflingslänge, die die obere Schnittlinie $C1$ überschreitet und die untere Schnittlinie $C2$ unterschreitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Beide Schnittlinien verlaufen parallel zur Mittellinie des Diagramms (siehe Bild 1).

[QUELLE: ISO 4287/A1:2009, 4.3.2]

3.1.4

Schleifstein

Werkstoff, der zum Schleifen einer Oberfläche verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Qualität des Werkstoffs und das Bearbeitungsverfahren hängen von seiner Anwendung ab. Deshalb werden für die Zwecke dieses Dokumentes die Begriffe 3.1.5, 3.1.7 und 3.1.8 verwendet.

3.1.5

Feinschleifstein

Schleifstein, der zum Schleifen des Versuchsschleifrings verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird üblicherweise aus hartem Schleifkorn hergestellt.

3.1.6

Kohlebürstenanpassung

Endbearbeitung, bei der die Lauffläche der Kohlebürste dem Ringprofil angepasst wird

3.1.7

Anpassungsschleifstein

Schleifstein, der zum Anpassen der Kohlebürste an den Kommutator/Schleifring verwendet wird

3.1.8

Rauheitsschleifstein

Schleifstein, der für die Herstellung des richtigen Rauheitsbereiches des Versuchsschleifrings verwendet und der im Allgemeinen aus weichem Schleifkorn hergestellt wird

3.1.9

Lauffläche der Kohlebürste

S

Fläche der Kohlebürste, die mit der Schleifringoberfläche in Kontakt steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Verwendung einer Radialbürste ist die Lauffläche der Kohlebürste S_r der Querschnitt der Kohlebürste:

$$S = t \times a \quad (1)$$

Dabei sind t bzw. a das tangentielle und das axiale Maß der Kohlebürste.

Bei Verwendung einer schrägstehenden Kohlebürste ist der Fußwinkel Teil der Gleichung, die die Lauffläche der Kohlebürste S_a ergibt:

$$S_a = \frac{t \times a}{\cos \alpha} \quad (2)$$

Dabei ist α der Kontaktwinkel (oder Fußwinkel).

3.1.10

spezifischer Bürstendruck

p

Kraft je Lauffläche der Kohlebürste nach Gleichung (3):

$$p = \frac{F_p}{S} \quad (3)$$

Dabei ist

F_p die vom Druckelement aufgebrachte Kraft und

S ist die Lauffläche der Kohlebürste

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn F_p in gram-force (gf) und die Lauffläche der Kohlebürste in cm^2 angegeben werden, dann wird der berechnete spezifische Druck in gf/cm^2 angegeben. Umrechnung in SI-Einheiten: das Ergebnis in gf/cm^2 multipliziert mit 98,07 ergibt p in N/m^2 (98,07 ist die Erdbeschleunigung in m/s^2 multipliziert mit 10).

3.1.11

Strom-Schwankungsfaktor

q_i

Verhältnis der Differenz zwischen dem Höchstwert $I_{\max}$ und dem Minimalwert $I_{\min}$ eines Mischstromes zum Zweifachen des Mittelwertes $\bar{I}$ (Mittelwert über eine Periode integriert):

$$q_i = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2 \times \bar{I}}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Für kleine Werte der Stromschwankung, darf der Schwankungsfaktor durch den folgenden Ausdruck angenähert werden:

$$q_i = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

Anmerkung 2 zum Begriff: Der vorstehende Ausdruck darf als Näherung benutzt werden, wenn der sich ergebende berechnete Wert für q_i gleich 0,4 oder kleiner ist.

[QUELLE: IEC 60034-1:2017, 3.29]

3.1.12

stabiler Zustand

Zustand eines physikalischen Systems, in dem die relevanten Eigenschaften zeitlich nahezu konstant bleiben

[QUELLE: IEC 60050-103:2009, 103-05-01]

3.1.13

nahezu konstant

ein Messergebnis wird als nahezu konstant angesehen, wenn die Abweichung vom Mittelwert von mindestens 3 aufeinanderfolgenden Messungen kleiner als 2,5 % ist (sofern nicht anders festgelegt)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Stabilitätszustand darf aus zeitbezogenen Anstiegsdiagrammen bestimmt werden, wenn die Geraden zwischen den Punkten zu Beginn und am Ende von zwei aufeinanderfolgenden Intervallen mit je einer halben Stunde eine kleinere Abweichung als das Kriterium von 2,5 % haben.

3.1.14

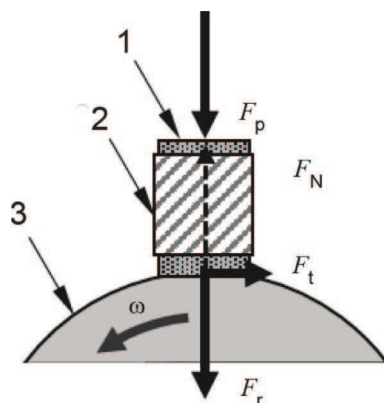
Reibungskoeffizient

μ

Verhältnis der tangentialen Kraft F_t , die auf die Grenzfläche wirkt, zur radialen Kraft F_r , die auf die Grenzfläche wirkt:

$$\mu = \frac{F_t}{F_r} \quad (4)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: In Bild 2 sind die an der Kohlebürste wirkenden Kräfte bei Verwendung eines radialen Bürstenhalters dargestellt. Der Zahlenwert der radialen Kraft F_r ist gleich dem Zahlenwert der Reaktionsnormalkraft F_N (der Lauffläche der Kohlebürste auf dem Ring) und dem Zahlenwert der Kraft des Druckelements F_p auf den Bürstenkopf.



Legende

- 1 Kohlebürste
- 2 Bürstenhalter
- 3 Versuchsschleifring
- ω Winkelgeschwindigkeit (gibt die Drehrichtung an)

Bild 2 – Kräfte, die auf eine Kohlebürste wirken

3.1.15

Bürsten-Spannungsfall

U_B

gesamter Spannungsfall zwischen Bürstenanschluss und dem Schleifring oder Kommutator

Anmerkung 1 zum Begriff: U_B ist ein komplexer Parameter, der sich aus der Summe der Spannungsfälle U_s , U_t , U_i und U_c zusammensetzt, wie es in Bild 3 dargestellt wird (für eine Kohlebürste mit einem Stampfkontakt mit Litze).

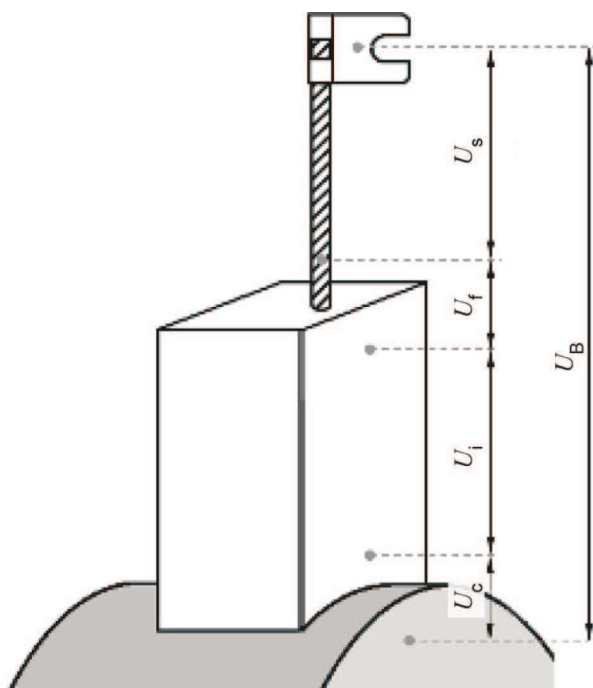


Bild 3 – Spannungsfälle in einer Kohlebürste im Betrieb

3.1.16

Spannungsfall im Kupferseil

U_s

Spannungsfall im Kupferseil (Litze) und in der Verbindungsstelle zum Bürstenanschluss

3.1.17

Spannungsfall in der Verbindungsstelle

U_f

Spannungsfall zwischen der Verbindungsstelle (Litze) und dem Bürstenwerkstoff

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messung des Spannungsfalls U_f ist in IEC 60136 beschrieben.

3.1.18

Spannungsfall in der Kohlebürste

U_i

Spannungsfall in der Kohlebürste selbst (aufgrund des Widerstandes des Bürstenwerkstoffs)

3.1.19

Bürstenkontaktspannungsfall

U_c

Kontaktspannungsfall zwischen dem Bürstenwerkstoff und dem Ring

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Bürstenkontaktspannungsfall U_c ist eine Betriebseigenschaft einer Kohlebürste. Siehe auch Abschnitt 7.

3.1.20

Nutteilung

τ_Q

Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nuten des Rings, definiert durch den Umfang des Rings $\pi \times D$ dividiert durch die Anzahl der Nuten Q :

$$\tau_Q = \frac{\pi \times D}{Q} \quad (5)$$

Dabei ist D der Durchmesser des Schleifrings

[QUELLE: IEC 60027-4:2006, 612]

3.1.21

Bedeckungsverhältnis

τ_B

Anzahl der Segmente, die von der Kohlebürste entlang des Maßes t überspannt werden, berechnet nach Gleichung (6)

$$\tau_B = \frac{t}{\tau_Q} \quad (6)$$

3.1.22

Umfangsgeschwindigkeit

v_p

Bewegungsgeschwindigkeit eines Punktes auf der Oberfläche eines um seine Achse rotierenden Körpers, angegeben als Weg je Zeiteinheit, berechnet nach Gleichung (7)

$$v_p = \frac{n \times \pi \times D}{60}$$

Dabei ist

D der Schleifringdurchmesser, in m, und n die Drehzahl in Anzahl der Umdrehungen je Minute (1/min)

[QUELLE: IEC 60050-811:2017, 811-13-29, modifiziert – Die Gleichung wurde hinzugefügt.]

3.1.23

Stromdichte

J_B
auf eine Kohlebürste bezogene Größe und gleich dem Strom I dividiert durch den Querschnitt $t \times a$ der Kohlebürste, berechnet nach Gleichung (8)

$$J_B = \frac{I}{t \times a} \quad (8)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: J_B wird üblicherweise in A/cm² angegeben, wenn I in A und t, a in cm angegeben sind.

3.1.24

Umgebungslufttemperatur

mittlere Temperatur der Luft, die die Kohlebürsten-Prüflinge umgibt

3.1.25

Oberflächentemperatur des Schleifrings

mittlere Temperatur an der Oberfläche des geprüften Schleifrings

3.1.26

Einschleifen der Kohlebürste

Endbearbeitung, bei der die Lauffläche der Kohlebürste vollständig eingeschleift ist und sich die Patina auf der Schleifringoberfläche gebildet hat

3.1.27

Patina

Film

Schicht auf dem Kommutator oder Schleifring, hauptsächlich bestehend aus Kohlebürstenmaterial, Kommutator-/Schleifringmetall (und deren Oxide) und Wasser

[QUELLE: IEC 60276:2018, 601]

3.1.28

Bürstenverschleiß

Δr_i
linearer Verschleiß einer Kohlebürste i während der Prüfung. Für jede Kohlebürste i wird der Bürstenverschleiß nach Gleichung (9) berechnet:

$$\Delta r_i = r_{0i} - r_i \quad (9)$$

Dabei ist

r_{0i} das Maß r jeder Kohlebürste i (Bürstenlänge) vor der Prüfung;

r_i das Maß r jeder Kohlebürste i (Bürstenlänge) nach der Prüfung

3.1.29

Bürstenverschleißrate

WR_i

linearer Verschleiß der Kohlebürste i während einer Zeitspanne, der nach Gleichung (10) berechnet wird:

$$WR_i = \frac{\Delta r_i}{t_{er}} \quad (10)$$

Dabei ist

t_{er} die effektive Betriebsdauer

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird im Allgemeinen in mm/1 000 h (mm des Bürstenverschleißes/1 000 effektive Betriebsstunden) ausgedrückt, wenn der Bürstenverschleiß in mm angegeben und das Ergebnis der obigen Gleichung mit 1 000 multipliziert wird. Siehe 8.4.

3.1.30

Kommutierungs-Grenzkurvenbereich

BB-Zone

Intervall, das festgelegt wird durch den unteren und den oberen Grenzwert der funkenfreien Kommutierung (zwischen denen die funkenfreie Kommutierung erreicht wird); die Grenzen der funkenfreien Kommutierung werden durch Anheben oder Absenken des Erregerstromes in den Wendepolen bei Lastströmen bis einschließlich Bemessungsstrom erreicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie entspricht einer funkenfreien Zone. Diese Prüfung wird mitunter als Back-Boost-Test bezeichnet.

[QUELLE: IEC 60034-19:2014, 3.1.4, modifiziert – Die Definition der Grenzwerte wurde hinzugefügt.]

3.2 Symbole

3.2.1 Symbole und Einheiten

a	Bürstenmaß in axialer Richtung (mm)
b	Nutbreite (mm)
$C1$	obere Schnittlinie (auf dem Rauheitsprofil)
$C2$	untere Schnittlinie (auf dem Rauheitsprofil)
D	Durchmesser des Versuchsschleifrings (m)
dr	Abstandsverhältnis
d_B	Abstand in Bürstenradialrichtung von der Lauffläche der Kohlebürste bis zum Bürstenkopf (mm)
f	Frequenz (Hz)
F	ausgeübte Kraft (N oder gf)
h	Teilung der Spiralnut (mm)
HA	absolute Luftfeuchte (g/m ³ Luft)
HR	relative Luftfeuchte
I	Strom (A)
J_B	Stromdichte in einer Kohlebürste (A/cm ² oder A/m ²)
k_R	Anzahl der Nuten unter der Kohlebürste in tangentialer Richtung
l	Länge oder Abstand (m)
la	Länge des Hebelarms (m)

l_{er}	zurückgelegter Laufweg auf der Laufbahn unter der Kohlebürste während der effektiven Betriebsdauer
q_i	Schwankungsfaktor
m	Masse (g)
n	Drehzahl (Umdrehungen je Minute, 1/min)
N_B	Anzahl der Kohlebürsten je Maschine
p	auf die Kohlebürste ausgeübter Druck (kN/m ²)
P	Leistung (W)
P_{in}	Leistungsaufnahme, wenn die Kohlebürsten in Kontakt mit dem Kommutator oder Schleifring stehen (W)
P_{el}	Leistungsverlust durch elektrische Verluste (W)
P_f	Leistungsverlust durch Reibung (W)
P_0	Leistungsaufnahme, wenn die Kohlebürsten nicht in Kontakt mit dem Kommutator oder Schleifring stehen (bzw. nicht darauf laufen) (W)
r	Bürstenmaß in radialer Richtung (mm)
r_i	Maß der Kohlebürste i nach der Prüfung (mm)
r_{0i}	Maß der Kohlebürste i vor der Prüfung (mm)
R	Widerstand (Ω)
R_a	Rauheit, arithmetischer Wert (μm)
RP_c	Spitzenzahl (Anzahl der Spitzen je cm)
r_B	Radius der Kohlebürste (mm)
S	Lauffläche der Kohlebürste (cm ²)
t	Bürstenmaß in tangentialer Richtung (mm)
t_{er}	effektive Betriebsdauer (h)
T	Drehmoment (N·m)
U	Spannung (V)
$\overline{WR}$	mittlere Bürstenverschleißrate (mm/1 000 h)
WR	Bürstenverschleißrate (mm/1 000 h)
Δr_i	Verschleiß der Kohlebürste i (mm)
$\overline{\Delta r}$	mittlerer Bürstenverschleiß (mm)
μ	Reibungskoeffizient
v_p	Geschwindigkeit oder Umfangsgeschwindigkeit (m/s)
ρ	spezifischer Widerstand des Bürstenwerkstoffs ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)
τ_Q	Nutteilung (mm)
τ_B	Bedeckungsverhältnis (Anzahl der Segmente, die unter der Kohlebürste überspannt werden)
α	Fußwinkel (rad)
θ	Temperatur (K)
ω	Winkelgeschwindigkeit (rad.s ⁻¹)

ANMERKUNG $\overline{\quad}$ bedeutet arithmetischer Mittelwert

3.2.2 Indizes

0	Anfangsbedingung
arm	Anker
B	Kohlebürste
c	Kontakt
cp	Kommutierungspol
er	effektive(r) Betrieb(sdauer)
f	Litzen-(Kupferseil-)Kontakt
H	Bürstenhalter
i	intern (Bürstenwerkstoff)
in	Aufnahme (Leistung)
lc	Kraftmessdose
lin	linear
min	Minimalwert
max	Höchstwert
N	normal (Richtung)
p	Druckelement
t	tangential
r	radial
R	Schleifring
s	Litze (Kupferseil)
T	Massestück
tol-	untere Grenzabweichung
tol+	obere Grenzabweichung
vol	volumetrisch
α	Fußwinkel
+	positive Polarität (wenn ein Gleichstrom verwendet wird)
-	negative Polarität (wenn ein Gleichstrom verwendet wird)
~	Wechselspannung (wenn ein Wechselstrom verwendet wird)

3.3 Abkürzungen

A	Strommessgerät
B	Booster für die Stromeinstellung
BB	Kommutierungs-Grenzkurvenbereich

BG	Bürstenwerkstoff mit Kunstharz-Bindung ¹
CG	Kohlegraphit-Bürstenwerkstoff ¹
G	Gleichstromgenerator
HC	(Hart-)Kohlebürstenwerkstoff ¹
M	Gleichstrommotor
MG	Metallgraphit-Bürstenwerkstoff ¹
MT	Anlauf-Hilfsmotor
NG	Naturgraphit-Bürstenwerkstoff ¹
TC	Thermoelement
V	Spannungsmessgerät

4 Festlegung der Versuchsausrüstungen

4.1 Gemeinsame Bestimmungen

4.1.1 Allgemeines

Es kann sein, dass eine einzelne Versuchsausrüstung nicht allen geforderten Anwendungsparametern entspricht; daraus folgt, dass mehr als ein Typ einer Versuchsausrüstung erforderlich sein würde. Diese Versuchsausrüstungen müssen so aufgebaut sein, dass relativ zu den zu messenden Größen (siehe Abschnitt 6 bis Abschnitt 8) die geforderten Betriebsparameter problemlos und präzise ermittelt werden können.

Es sollte erwähnt werden, dass sich die mit diesen Ausrüstungen erzielten absoluten Werte infolge von zahlreichen Variablen und der Tatsache, dass es sich hier um Versuchsausrüstungen „ohne Kommutierung“ handelt, von den Werten unterscheiden, die auf „realen“ Maschinen erhalten werden. Außerdem können aus den vorstehend genannten Gründen sowie wegen der verschiedenen Umweltbedingungen auch von Versuchsausrüstungen gleicher Konstruktion und gleichem Aufbau nicht immer identische Ergebnisse erzielt werden.

4.1 legt die allgemeinen Anforderungen an Versuchsausrüstungen fest. Weitere Anforderungen an Anwendungen mit Kommutatoren sind in 4.2 oder mit Schleifringen in 4.3 enthalten.

4.1.2 Schleifringe

4.1.2.1 Allgemeines

Aus den vorstehend angegebenen Gründen ist es nicht möglich, eine einzige „Standard“-Versuchsmaschine festzulegen, jedoch sollten Maschinen, die entsprechend dem nachfolgenden Rahmenkonzept aufgebaut sind, zufriedenstellende Ergebnisse liefern können.

4.1.2.2 Werkstoff für Schleifringe

Der Werkstoff für den Versuchsschleifring und dessen Eigenschaften, speziell seine Härte, sollten der Anwendung entsprechen. Zusammensetzung und Härte nach ISO müssen im Prüfbericht festgelegt werden.

4.1.2.3 Maße und Geometrie der Schleifringe

Der Durchmesser des Versuchsschleifrings darf nicht kleiner als 200 mm sein.

Das geometrische Profil des Schleifrings muss mit einem geeigneten Tiefentaster gemessen werden, wobei der auf seiner Achse montierte Schleifring langsam in seinen Lagern gedreht wird. Die Unrundheit darf keinen

¹ Definitionen in IEC 60276:2018.

Ausschlag des Tiefentasters von mehr als 0,010 mm bei einer Wellenumdrehung erzeugen. Außerdem darf es bei der Betriebsdrehzahl keine merklichen Vibrationen aufgrund von Unwucht geben. Die Prüfungen müssen bei einer geringeren Drehzahl als der kritischen Drehzahl durchgeführt werden. Die Unrundheit muss im Prüfbericht aufgezeichnet werden.

Diese Größenordnung der Genauigkeit muss erreicht werden, wenn der Schleifring, der in seinen eigenen Lagern gelagert ist, mit einem geeigneten Werkzeug angetrieben bei einer geeigneten Drehzahl rotiert, die möglichst der höchsten Prüfgeschwindigkeit entspricht. Vor dem Versuch müssen die Kanten der Nuten entgratet und Späne aus den Nuten entfernt werden. Während dieser Vorbereitung darf nur ein Minimum an Metall entfernt werden, um Abschrägungen an den Kanten zu vermeiden.

Die Zylinderform darf aus der Messung des Profils an zwei verschiedenen Laufbahnen des Schleifrings beurteilt werden. Empfohlen wird ein Höchstwert von 0,010 mm.

4.1.2.4 Rauheit

Die Rauheit ist ein Kennwert für Oberflächenunebenheiten des Kommutators oder Schleifrings.

Das Tastschnittgerät muss ISO 3274 entsprechen.

Die Messungen der Rauheit R_a und der Spitzenrate RP_c müssen sowohl in tangentialer als auch in axialer Richtung durchgeführt werden, es sei denn, der Tangentialtaster kann aufgrund der schmalen Kommutatorsegmentbreite nicht angewendet werden.

Der Rauheitsgrad R_a muss zwischen 0,8 μm und 1,2 μm betragen.

Für die Bewertung von RP_c wird empfohlen, die obere Schnittlinie und die untere Schnittlinie in einem Abstand von +1 μm und -1 μm von der Mittellinie des Schnittdiagramms festzulegen.

Die Spitzenrate RP_c muss mehr als 100 Spitzen je Zentimeter betragen.

Die geeignete Rauheit kann problemlos durch sanfte Anwendung eines geeigneten Schleifsteins mittlerer Qualität an der Ringoberfläche erhalten werden (siehe 5.4.5).

4.1.3 Kohlebürsten

Für jede Laufbahn müssen mindestens zwei Kohlebürsten verwendet werden. Wenn eine größere Anzahl Kohlebürsten je Laufbahn verwendet wird, dann müssen sie gleichmäßig um den Versuchsring verteilt werden.

In Tabelle 1 sind die Maße der Versuchskohlebürsten festgelegt, wobei die Vorzugsmaße in Fettschrift gekennzeichnet sind.

Tabelle 1 – Maße der Versuchskohlebürsten

Maße in Millimeter

Maß	Kohlebürstenqualität				
	EG	BG	CG-HC	NG	MG
t	12,5 – 16 – 20	10 – 12,5	10 – 12,5 – 16	25 – 32	12,5 – 20 – 32
a	25 – 32	25	25	20 – 25	20 – 25
r	40 – 50	40 – 50	40 – 50	50	50

Es ist zu beachten, dass Schleifringe von Asynchron- und Synchronmotoren ein größeres Maß t als das Maß a haben. Zur Aufrechterhaltung der Vereinheitlichung der Versuchsausrüstungen dürfen die gleichen Bürstenhalter verwendet werden, wie sie für „Kommutator“ empfohlen werden. Dabei sind die Bürstenhalter mit dem größten Maß t zu bevorzugen.

Die Herstellung der Kohlebürsten muss in Übereinstimmung mit IEC 60136 erfolgen.

Die Kohlebürsten dürfen vorzugsweise mit einem Neigungswinkel am Fuß zwischen $7,5^\circ$ und 8° (Treidelstellung – siehe Bild 4c)) gefertigt sein, um die in 4.1.4 erläuterte mechanische Stabilität sicherzustellen.

4.1.4 Bürstenhalter

Die Bürstenhalter müssen solide gebaut und fest an der Maschine befestigt sein, um auch unter den ungünstigsten Bedingungen frei von Vibrationen zu bleiben; ihre Konstruktion darf den dauernden Kontakt zwischen Versuchskohlebürste und Versuchsschleifring nicht beeinflussen. Der Abstand zwischen Bürstenhalter und Kommutator muss zwischen 2 mm und 3 mm liegen. Der Boden der Kohlebürstentasche muss parallel zum Versuchsschleifring sein.

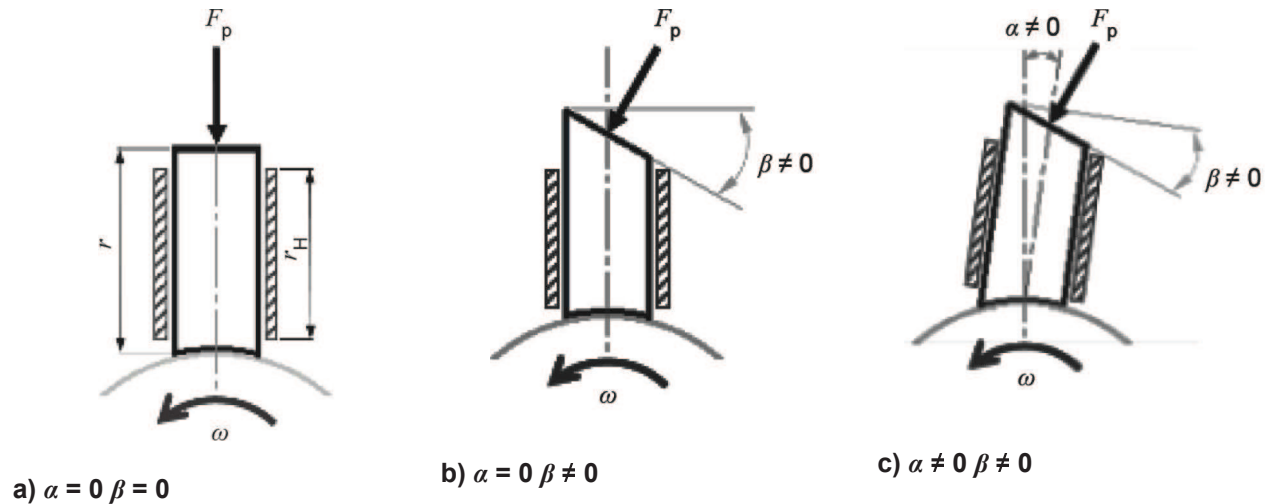
Die Maße a und t des Bürstenhalters müssen unter Beachtung der in IEC 60136 festgelegten Zwischenräume für die Kohlebürsten geeignet sein, deren Maße in Tabelle 1 angegeben sind.

Das radiale Maß r_H des Bürstenhalters darf nicht kleiner als $\frac{3}{4}$ des radialen Maßes r einer neuen Kohlebürste sein.

Der Bürstenhalter muss derart beschaffen sein, dass die Kraft in radialer Richtung r einer Kohlebürste ausgeübt wird, um eine gute Stabilität der Kohlebürste zu erhalten (wie in Bild 4 dargestellt):

- a) wenn der Neigungswinkel α am Fuß gleich null ist:
 - 1) innerhalb eines radialen Druckelements (wie eine direkt auf den Kopf wirkende Druckfeder): ohne Kopfschräge, wie in Bild 4a) dargestellt;
 - 2) innerhalb einer selbst-zurückschnellenden Feder: mit einer angemessenen Kopfschräge β (Beispiel $22,5^\circ$), wie in Bild 4b) dargestellt;
- b) mit einer angemessenen Kopfschräge β , wenn der Kontaktwinkel α $7,5^\circ$ bis 8° beträgt (Bild 4c)).

Die Neigungswinkel müssen im Prüfbericht angegeben werden.



Legende

α	Fußschräge
β	Kopfschräge
r_H	radiales Maß des Bürstenhalters
F_p	durch das Druckelement ausgeübte Kraft
ω	Winkelgeschwindigkeit (Drehrichtung)

Bild 4 – Bürstenhalteranordnung

Der erforderliche Druck auf die Kohlebürste p , wie in 5.2 festgelegt, muss mit einer Grenzabweichung von $\pm 5\%$ zwischen den Kohlebürsten ausgeübt werden.

Die Druckkraft F_p des Federsystems muss entsprechend der Querschnittsfläche S der Kohlebürste und dem erforderlichen Druck auf die Kohlebürste p mit Gleichung (3) nach 3.1.10 festgelegt werden.

Es wird empfohlen, die Druckkraft F_p nach IEC TR 61015 zu messen. Weitere Messgeräte dürfen eingesetzt werden, z. B. Dynamometer. Alle Messgeräte müssen eine gute Fehlergrenze aufweisen (höchste Abweichung 2,5 %).

ANMERKUNG Bei der Verwendung eines Versuchsschleifrings vom Kommutortyp werden die Nutenmaße bei der Berechnung des Kohlebürstendruckes nicht berücksichtigt.

4.1.5 Stromversorgung

4.1.5.1 Allgemeines

Unabhängig vom Typ der ausgewählten Stromquelle sollte sie den ausgewählten Laststrom mit einer Abweichung von $\pm 5\%$ des geforderten Wertes bei der laufenden Prüfung liefern können und ein schnelles Antwortverhalten auf Veränderungen der Kontaktspannung besitzen.

4.1.5.2 Gleichstromversorgung

4.1.5.2.1 Gleichstromgenerator

Dieser Generator muss den voraussichtlichen höchsten Strom liefern können, wenn in den Stromkreis der Versuchskohlebürste ein stabilisierender Belastungswiderstand geschaltet wird; alternativ darf auch eine Konstantstromquelle mit kurzer Zeitkonstante verwendet werden, z. B. ein Schweißgenerator.

4.1.5.2.2 Diodengleichrichter

Dieser wird von einer Wechselstromquelle gespeist und kann den voraussichtlichen höchsten Strom liefern.

Der Schwankungsfaktor q_i der Quelle darf nicht 0,05 (5 %) überschreiten. Dieser Wert sollte bei jeder Prüfung aufgezeichnet werden.

4.1.5.2.3 Gesteuerter Gleichrichter

Die Festlegung für gesteuerte Gleichrichter ist die gleiche wie für Diodengleichrichter (4.1.5.2.2).

4.1.5.3 Wechselstromversorgung

Die Wechselstromversorgung, z. B. ein Wechselrichter, muss so ausgewählt werden, dass über den geforderten Strombereich eine nahezu reine Sinuswelle abgegeben werden kann.

4.1.6 Prüfausrüstung

4.1.6.1 Reibungskoeffizient

4.1.6.1.1 Allgemeines

Es gibt zwei Hauptsysteme, nach denen der Reibungskoeffizient üblicherweise gemessen wird. Diese werden in 4.1.6.1.2 und 4.1.6.1.3 vorgestellt. Unabhängig vom verwendeten System müssen die Auswirkungen auf die mechanische Stabilität und das elektrische Betriebsverhalten der Kohlebürste vernachlässigbar sein.

Es gibt eine Reihe geeigneter mechanischer Systeme, die für die Durchführung dieser Messung eingesetzt werden können, und alle diese Systeme sollten anwendbar sein, sofern deren Genauigkeit den Anforderungen in 4.1.6.1.6 entspricht.

4.1.6.1.2 Verfahren a): Messung der tangentialen Kräfte, die auf die rotierende Oberfläche wirken

Das Verfahren besteht in der Messung des mechanischen Drehmoments mit und ohne Kohlebürsten bei den gleichen Betriebsbedingungen für den Antriebsmotor und den gleichen Parametern (J_B , Druck, HR , usw.) für die Kohlebürsten und das Erregersystem. Der Reibungskoeffizient kann dann aus der Beziehung zwischen Drehmoment und der auf die Kohlebürste ausgeübten kalibrierten Kraft (sollte eine Normalkraft und konstant sein) nach 6.4.1, Gleichung (14), bestimmt werden.

Bild 5 enthält eine vereinfachte Skizze, mit der das Verfahren zur Messung des Reibungskoeffizienten nach Verfahren a) dargelegt wird.