

	DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 29.160.01 Teilweiser Ersatz für DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Drehende elektrische Maschinen – Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge) (IEC 60034-2-1:2007); Deutsche Fassung EN 60034-2-1:2007 Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles) (IEC 60034-2-1:2007); German version EN 60034-2-1:2007 Machines électriques tournantes – Partie 2-1: Méthodes normalisées pour la détermination des pertes et du rendement à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction) (CEI 60034-2-1:2007); Version allemande EN 60034-2-1:2007 Gesamtumfang 75 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2007-11-01 angenommene EN 60034-2-1 gilt als DIN-Norm ab 2008-08-01.

Daneben darf **DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09** noch bis 2010-11-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):2006-06.

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

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 2 „Rotating machinery“ erarbeitet.

Aus der vorangegangenen **DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09** gelten der darin enthaltene Abschnitt 17 und die Bilder 17.1 bis 17.11 mit den Änderungen der IEC Publikation 60034-2A:1974 weiter, bis die zurzeit noch in Beratung befindliche IEC 60034-2-2 erscheint (siehe auch „Einleitung“ in der Europäischen Norm).

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

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Gliederung des Dokuments in allgemeine Teile für alle Maschinenarten (1 bis 6) und spezifische Teile (7 bis 9) für Gleichstrom-, Induktions- und Synchronmaschinen;
- b) Ergänzung und Zusammenfassung der Formelzeichen; Einführung zusätzlicher Indizes;
- c) Differenzierung von direkter und indirekter Wirkungsgradbestimmung;
- d) Zusammenstellung bevorzugter Verfahren zur Wirkungsgradbestimmung für Gleichstrommaschinen, Induktionsmaschinen und Synchronmaschinen;
- e) Aufnahme eines weiteren Verfahrens zu Ermittlung der Zusatzverluste bei Induktionsmaschinen (siehe Einleitung);
- f) Abtrennung bestimmter für Großmaschinen geeigneter Verfahren für eine spätere Überarbeitung (siehe Einleitung).

Frühere Ausgaben

DIN 57530-2 (VDE 0530-2): 1977-09, 1982-11

DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2): 1998-09

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 50347:2001	–	DIN EN 50347:2003-09	–
–	IEC 60027-1	–	–
EN 60034-1:2004	IEC 60034-1:2004	DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1):2005-04	VDE 0530-1
EN 60034-2:1996 + A1:1996 + A2:1996	IEC 60034-2:1972 + IEC 60034-2A:1974 + A1:1995 + A2:1996	DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09	VDE 0530-2
EN 60034-4:1995	IEC 60034-4:1985, modifiziert	DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4):1998-04	VDE 0530-4
–	IEC 60034-19	–	–
–	IEC 60034-29	–	–
Normen der Reihe EN 60044	Normen der Reihe IEC 60044	Normen der Reihe DIN EN 60044 (VDE 0414)	Normen der Reihe VDE 0414
EN 60044-1:1999 + A1:2000 + A2:2003	IEC 60044-1:1996 + A1:2000 + A2:2002	DIN EN 60044-1 (VDE 0414-44-1):2003-12	VDE 0414-44-1
–	–	DIN EN 60044-1 Ber 1 (VDE 0414-44-1 Ber 1):2004-04	VDE 0414-44-1 Ber 1
EN 60051-1:1998	IEC 60051-1:1997	DIN EN 60051-1:1999-10	–
EN 61986:2002	IEC 61986:2002	DIN EN 61986 (VDE 0530-2-20):2002-10	VDE 0530-2-20

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 50347, *Drehstromasynchronmotoren für den Allgemeingebrauch mit standardisierten Abmessungen und Leistungen – Baugrößen 56 bis 315 und Flanschgrößen 65 bis 740*

DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten*

DIN EN 60034-2 (VDE 0530-2):1998-09, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades von drehenden elektrischen Maschinen aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge) (IEC 60034-2:1972 + IEC 60034-2A:1974 + A1:1995 + A2:1996) Deutsche Fassung EN 60034-2:1996 + A1:1996 + A2:1996*

DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1):2008-08

DIN EN 60034-4 (VDE 0530-4), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 4: Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen durch Messungen*

Normen der Reihe DIN EN 60044 (VDE 0414), *Messwandler*

DIN EN 60044-1 (VDE 0414-44-1), *Messwandler – Teil 1: Stromwandler*

DIN EN 60044-1 Berichtigung 1 (VDE 0414-44-1 Berichtigung 1), *Berichtigungen zu DIN EN 60044-1 (VDE 0414-44-1):2003-12*

DIN EN 60051-1, *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte und ihr Zubehör – Messgeräte mit Skalenanzeige – Teil 1: Definitionen und allgemeine Anforderungen für alle Teile dieser Norm*

DIN EN 61986 (VDE 0530-2-20), *Drehende elektrische Maschinen – Verfahren der äquivalenten Belastung und Überlagerung – Indirekte Prüfung zur Ermittlung der Übertemperatur*

**Drehende elektrische Maschinen –
Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des
Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und
Straßenfahrzeuge)
(IEC 60034-2-1:2007)**

Rotating electrical machines –
Part 2-1: Standard methods for determining
losses and efficiency from tests (excluding
machines for traction vehicles)
(IEC 60034-2-1:2007)

Machines électriques tournantes –
Partie 2-1: Méthodes normalisées pour la
détermination des pertes et du rendement à
partir d'essais (à l'exclusion des machines pour
véhicules de traction)
(CEI 60034-2-1:2007)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2007-11-01 angenommen. Die 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat 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, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2007 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60034-2-1:2007 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 2/1443/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 60034-2-1, ausgearbeitet von dem IEC/TC 2 „Rotating machinery“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2007-11-01 als EN 60034-2-1 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60034-2-1:1996 + A1:1996 + A2:1996 teilweise.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2008-08-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2010-11-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60034-2-1:2007 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Formelzeichen und Abkürzungen.....	11
4.1 Formelzeichen	11
4.2 Zusätzliche Indizes	13
5 Grundlegende Anforderungen	13
5.1 Direkte und indirekte Wirkungsgradbestimmung.....	13
5.2 Messunsicherheit.....	14
5.3 Bevorzugte Verfahren.....	14
5.4 Leistungsversorgung	18
5.5 Messeinrichtungen	18
5.6 Einheiten.....	19
5.7 Widerstand.....	19
6 Prüfverfahren zur Wirkungsgradbestimmung.....	20
6.1 Zustand des Prüflings und Prüfkategorien	20
6.2 Messungen im Erregerkreis.....	21
6.3 Direkte Messungen.....	21
6.4 Indirekte Messungen	23
7 Wirkungsgradbestimmung (Gleichstrommaschinen).....	33
7.1 Ermittlung aus direkter Messung	33
7.2 Ermittlung aus indirekten Messungen	34
8 Wirkungsgradbestimmung (Induktionsmaschinen)	39
8.1 Ermittlung aus direkter Messung	39
8.2 Ermittlung aus indirekten Messungen	39
9 Wirkungsgradbestimmung (Synchronmaschinen).....	50
9.1 Ermittlung aus direkter Messung	50
9.2 Ermittlung aus indirekten Messungen	51
Anhang A (normativ) Korrektur der Ablesungen am Dynamometer	56
Anhang B (informativ) Berechnung der Werte für das eh-Stern-Verfahren.....	57
Anhang C (informativ) Arten von Erregersystemen.....	60
Anhang D (normativ) Andere Prüfverfahren	61
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	71

Bild 1 – Skizze zur Drehmomentmessung	21
Bild 2 – Skizze zum Rückarbeitsverfahren mit zwei Einspeisungen (für Synchronmaschinen: $I_M = I_G$, $f_M = f_G$)	22
Bild 3 – Skizze zum Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung	23
Bild 4 – Skizze zum Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung, Synchronmaschinen	24
Bild 5 – Induktionsmaschine, T-Modell mit Eisenverlust-Ersatzwiderstand	28
Bild 6 – Skizze zum Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung, Zusatzverluste, Gleichstrommaschinen	29
Bild 7 – Eh-Stern-Prüfschaltung	32
Bild 8 – Vektordiagramm zur Ermittlung des Stromvektors aus der Prüfung bei verminderter Spannung	42
Bild 9 – Induktionsmaschine, reduziertes Rechenmodell	45
Bild 10 – Glättung der Restverlustdaten	47
Bild 11 – Festgelegte Zuschläge für die Zusatzverluste P_{LL} , Induktionsmaschinen	49
Bild D.1 – Sehnungsverfahren	63
Bild D.2 – Verfahren der Grenz-Sekante	64
Tabelle 1 – Gleichstrommaschinen	15
Tabelle 2 – Induktionsmaschinen	16
Tabelle 3 – Synchronmaschinen	17
Tabelle 4 – Bezugstemperatur	20
Tabelle 5 – Korrekturfaktoren für verschiedene Drehzahlverhältnisse	38

Einleitung

Im Zuge der Überarbeitung von IEC 60034-2:1972 und ihrer Änderungen IEC 60034-2/A1:1995 (worin IEC 60034-2A:1974 als Hauptabschnitt 17 bezeichnet wird) sowie IEC 60034-2/A2:1996 entschied TC 2 auf Vorschlag von WG 28, die überarbeitete Norm in drei Teile aufzuteilen.

- Der erste Teil (IEC 60034-2-1) soll Maschinen innerhalb des Geltungsbereichs von IEC 60034-1 abdecken, die gewöhnlich unter Last geprüft werden;
- der zweite Teil (IEC 60034-2-2) soll Prüfungen abdecken, die hauptsächlich bei größeren Maschinen angewendet werden, wo die Kosten der Einrichtungen für andere Verfahren unwirtschaftlich sind (insbesondere die Prüfung mit kalibrierter Maschine, die Auslaufprüfung und das kalorimetrische Verfahren);
- der dritte Teil (IEC 60034-2-3) soll Prüfungen an Maschinen für Umrichterspeisung behandeln.

Um in IEC 60034-2-1 diejenigen Verfahren als normativ zu erhalten, die schließlich zu IEC 60034-2-2 werden sollen, wurde der vorübergehende Anhang D eingefügt. Dieser Anhang D enthält Teile von IEC 60034-2:1972 und ihrer Änderung 1:1995. Außerdem wird Bezug auf IEC 60034-2A:1974 genommen. Beide werden in die künftige IEC 60034-2-2 aufgenommen werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60034 dient der Zusammenstellung von Verfahren zur Ermittlung des Wirkungsgrades aus Prüfungen und gibt Verfahren zur Erfassung bestimmter Verluste an.

Diese Norm gilt für Gleichstrommaschinen sowie Synchron- und Induktions-Wechselstrommaschinen aller Größen innerhalb des Geltungsbereichs von IEC 60034-1.

ANMERKUNG Diese Verfahren können auch auf andere Maschinenarten wie drehende Umformer, Wechselstrom-Kommutatormaschinen und Einphasen-Induktionsmotoren angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 60027-1, *Letter symbols to be used in electrical technology – Part 1: General*

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-2A, *Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machines from tests (excluding machines for traction vehicles) – First supplement: Measurement of losses by the calorimetric method*

IEC 60034-4, *Rotating electrical machines – Part 4: Methods for determining synchronous machine quantities from tests*

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

IEC 60044 (alle Teile), *Instrument transformers*

IEC 60051-1, *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories – Part 1: Definitions and general requirements common to all parts*

IEC 61986, *Rotating electrical machines – Equivalent loading and super-position techniques – Indirect testing to determine temperature rise*

ANMERKUNG Eine neue Fassung von IEC 61986 ist in Bearbeitung; sie wird als IEC 60034-29 erscheinen.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60034-1 und IEC 60051-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

Wirkungsgrad

Verhältnis der abgegebenen Leistung zur aufgenommenen Leistung, ausgedrückt in denselben Einheiten und gewöhnlich angegeben in Prozent

3.2 Prüfungen zur direkten Wirkungsgradbestimmung

3.2.1

Prüfung zur direkten Wirkungsgradbestimmung

Prüfung, bei der die direkte Ermittlung des Wirkungsgrades durch Messung der aufgenommenen und der abgegebenen Leistung erfolgt

3.2.2

Prüfung mit Drehmomentmeseinrichtung

Prüfung, bei der die mechanisch abgegebene Leistung einer Maschine im Motorbetrieb durch Messung des Wellen-Drehmoments mittels einer Drehmomentmeseinrichtung zusammen mit der Drehzahl bestimmt wird. Bei einer alternativen Prüfung wird mittels einer Drehmomentmeseinrichtung die mechanisch aufgenommene Leistung einer Maschine im Generatorbetrieb bestimmt.

3.2.3

Prüfung mit Dynamometer

Prüfung wie nach 3.2.1, jedoch mit Messung des Wellen-Drehmoments mittels eines Dynamometers (Pendelmaschine)

3.2.4

Rückarbeitsverfahren mit zwei Einspeisungen

Prüfung, bei der zwei identische Maschinen mechanisch gekuppelt und die Gesamtverluste beider Maschinen aus der Differenz aus der elektrisch aufgenommenen Leistung der einen und der elektrisch abgegebenen Leistung der anderen Maschine berechnet werden ^{N1)}

3.3 Prüfungen zur indirekten Wirkungsgradbestimmung

3.3.1

Prüfung zur indirekten Wirkungsgradbestimmung

Prüfung, bei der die indirekte Wirkungsgradbestimmung durch Messung der aufgenommenen oder der abgegebenen Leistung und die Ermittlung der Gesamtverluste erfolgt. Diese Verluste werden zur abgegebenen Leistung addiert und ergeben die aufgenommene Leistung oder sie werden von der aufgenommenen Leistung subtrahiert und ergeben die abgegebene Leistung.

3.3.2

Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung

Prüfung, bei der zwei identische Maschinen mechanisch gekuppelt und elektrisch an ein Versorgungssystem angeschlossen werden ^{N2)}. Die Gesamtverluste beider Maschinen werden der aufgenommenen Leistung aus der Einspeisung gleichgesetzt.

3.3.3

Leerlaufprüfung

Prüfung, bei der eine Maschine als Motor ohne nutzbare mechanische Leistung an der Welle oder als Generator mit offenen Klemmen betrieben wird

3.3.4

Prüfung mit Leistungsfaktor Null (Synchronmaschinen)

Prüfung einer unbelasteten Synchronmaschine, die übererregt mit einem Leistungsfaktor von annähernd Null betrieben wird

3.3.5

Verfahren mittels Ersatzschaltbild (Induktionsmaschinen)

Prüfung, bei der die lastabhängigen Verluste mittels eines Ersatzschaltbildes ermittelt werden

3.3.6

Prüfung mit ausgebautem Läufer und Gegendrehtfeld (Induktionsmaschinen)

kombinierte Prüfung, bei der die lastabhängigen Zusatzverluste aus einer Prüfung mit ausgebautem Läufer und einer Prüfung im Lauf mit Gegendrehtfeld zum Drehfeld ermittelt werden

3.3.7

Kurzschlussprüfung (Synchronmaschinen)

Prüfung, bei der eine Maschine als Generator mit kurzgeschlossenen Klemmen betrieben wird

^{N1)} Bezeichnung in DIN EN 60034-2: Mechanisches Rückarbeitsverfahren.

^{N2)} Bezeichnung in DIN EN 60034-2: Rückarbeitsverfahren mit elektrischer Prüfung.

3.3.8

Prüfung mit festgebremstem Läufer

Prüfung, bei der der Läufer zur Verhinderung einer Drehung blockiert wird

3.3.9

Prüfung in Eh-Stern-Schaltung

Prüfung, bei der der Motor in Sternschaltung an unsymmetrischer Spannung läuft

3.4 Verluste

3.4.1

Gesamtverluste P_T

Differenz zwischen der aufgenommenen und der abgegebenen Leistung, gleichwertig mit der Summe der konstanten Verluste (siehe 3.4.2), der lastabhängigen Verluste (siehe 3.4.4), der lastabhängigen Zusatzverluste (siehe 3.4.5) und der Verluste im Erregerkreis (siehe 3.4.3)

3.4.2 Konstante Verluste

3.4.2.1

konstante Verluste P_k

Summe aus den Eisenverlusten und den Reibungs- und Lüftungsverlusten

3.4.2.2

Eisenverluste P_{fe}

Verluste im aktiven Eisen und Leerlauf-Zusatzverluste in anderen metallischen Teilen

3.4.2.3 Reibungs- und Lüftungsverluste P_{fw}

3.4.2.3.1

Reibungsverluste

Verluste durch Reibung (in Lagern und durch Bürsten, falls diese beim Bemessungsbetrieb nicht angehoben werden), nicht eingeschlossen Verluste in einem separaten Schmierungssystem. Verluste in gemeinsamen Lagern müssen getrennt ausgewiesen werden, je nachdem, ob solche Lager zusammen mit der Maschine geliefert werden. Lagerverluste hängen ab von Betriebstemperatur, Ölsorte und Öltemperatur.

ANMERKUNG 1 Verluste eines separaten Schmierungssystems werden, sofern verlangt, gesondert ausgewiesen.

Bei vertikalen Maschinen müssen die Verluste in Drucklagern ohne jeglichen äußeren Druck bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 Zusätzliche Verluste durch äußeren Druck können auf Vereinbarung getrennt ausgewiesen werden, wobei dann Lagerlast, Lagertemperatur, Ölsorte sowie die Öltemperatur angegeben werden sollen.

ANMERKUNG 3 Auf Vereinbarung können die Verluste durch Druckbelastung einbezogen werden.

Falls bei der zu prüfenden Maschine direkte Durchflussskühlung der Lager verwendet wird, werden deren Verluste zwischen der zu prüfenden Maschine und jeglicher anderen mechanisch gekuppelten Maschine, beispielsweise einer Turbine, im Verhältnis ihrer rotierenden Massen aufgeteilt. Falls keine direkte Durchflussskühlung vorhanden ist, muss die Aufteilung der Lagerverluste aufgrund empirischer Formeln nach Vereinbarung erfolgen.

3.4.2.3.2

Lüftungsverluste

gesamte Lüftungsverluste in der Maschine einschließlich der Leistungsaufnahme von Lüftern auf der Welle und in Hilfsmaschinen, die, soweit vorhanden, einen integralen Bestandteil der Maschine darstellen

ANMERKUNG Verluste eines getrennten Belüftungssystems sollen getrennt ausgewiesen werden.

Für Maschinen mit indirekter Wasserstoffkühlung siehe IEC 60034-1.

3.4.3 Verluste im Erregerkreis

3.4.3.1

Verluste im Erregerkreis P_e

Summe der Verluste in der Erregerwicklung (siehe 3.4.3.2), der Verluste in der Erregereinrichtung (siehe 3.4.3.3) sowie bei Synchronmaschinen die elektrischen Bürstenverluste (siehe 3.4.3.5), sofern zutreffend

3.4.3.2

Verluste der Erregerwicklung P_f

Verluste in der Erregerwicklung (Feldwicklung) sind gleich dem Produkt aus Erregerstrom I_e und Erregerspannung U_e

3.4.3.3

Verluste der Erregereinrichtung P_{Ed}

Die Verluste der Erregereinrichtung werden für die verschiedenen Erregersysteme (siehe Anhang C) wie folgt definiert.

a) Von der Welle angetriebene Erregermaschine

Die Verluste der Erregereinrichtung bestehen aus der von der Erregermaschine über die Welle aufgenommenen Leistung zuzüglich ihrer von einer getrennten Quelle bezogenen Erregerleistung P_{1E} , abzüglich der Nutzleistung, welche die Erregermaschine an ihren Klemmen abgibt. Die Nutzleistung an den Klemmen der Erregermaschine ist gleich den Verlusten der Erregerwicklung nach 3.4.3.2 zuzüglich (bei Synchronmaschinen) der elektrischen Bürstenverluste nach 3.4.3.5.

Falls die Erregermaschine entkuppelt und getrennt geprüft werden kann, können die Verluste nach 5.3 bestimmt werden.

Wenn die Erregermaschine separate Hilfsversorgungen nutzt, wird deren Verbrauch in den Verlusten der Erregereinrichtung einbezogen, sofern sie nicht zusammen mit dem Verbrauch von Hilfseinrichtungen der Hauptmaschine berücksichtigt werden.

b) Bürstenlose Erregereinrichtung

Die Verluste der Erregereinrichtung bestehen aus der von der Erregermaschine über die Welle aufgenommenen Leistung, vermindert um die Reibungs- und Lüftungsverluste (wenn die entsprechende Prüfung an dem Satz Hauptmaschine und Erreger vorgenommen wird), zuzüglich der Erregerleistung P_{1E} von einer separaten Quelle (falls vorhanden), die von ihrer Feldwicklung oder (im Falle einer asynchronen Erregermaschine) von ihrer Ständerwicklung aufgenommen wird, abzüglich der Nutzleistung, welche die Erregermaschine an ihren Klemmen abgibt.

Wenn die Erregermaschine separate Hilfsversorgungen nutzt, wird deren Verbrauch in den Verlusten der Erregereinrichtung einbezogen, sofern sie nicht zusammen mit dem Verbrauch von Hilfseinrichtungen der Hauptmaschine berücksichtigt werden.

Falls die Erregermaschine entkuppelt und getrennt geprüft werden kann, können die Verluste nach 5.3 bestimmt werden.

c) Separater drehender Erregerumformer

Die Verluste der Erregereinrichtung bestehen aus der Differenz der aufgenommenen Leistung des Antriebsmotors, zuzüglich der von separaten Hilfsquellen der antreibenden und der angetriebenen Maschine bezogenen Leistung, einschließlich der von einer separaten Quelle gelieferten Leistung an ihren Erregerklemmen, und der Erregerleistung nach 3.4.3.2 und 3.4.3.4. Die Verluste der Erregereinrichtung können nach 5.3 bestimmt werden.

d) Statisches Erregersystem (statische Erregereinrichtung)

Die Verluste der Erregereinrichtung bestehen aus der Differenz zwischen der von ihrer Versorgung bezogenen elektrischen Leistung zuzüglich der von separaten Hilfsquellen bezogenen Leistung und den Verlusten in der Erregerwicklung nach 3.4.3.2 und 3.4.3.4.

Bei Systemen, die von Transformatoren gespeist werden, müssen die Transformatorverluste in die Verluste der Erregereinrichtung einbezogen werden.

e) Erregung durch eine Hilfswicklung (Erregereinrichtung mit Hilfswicklung)

Die Verluste der Erregereinrichtung sind die Kupferverluste in der Hilfswicklung (Sekundärwicklung) und die Zusatz-Eisenverluste infolge erhöhter Werte der Flussharmonischen. Die Zusatz-Eisenverluste bestehen aus der Differenz zwischen den Verlusten bei belasteter und unbelasteter Hilfswicklung.

Wegen der Schwierigkeit, den Anteil der Erregerverluste zu trennen, wird empfohlen, diese Verluste bei der Bestimmung der Gesamtverluste als integralen Teil der Verluste der Hauptmaschine zu betrachten.

In den Fällen c) und d) wird kein Zuschlag gemacht für die Verluste der Erregerquelle (sofern vorhanden) oder in den Verbindungsleitungen zwischen der Quelle und den Bürsten (Synchronmaschine) oder zwischen der Quelle und den Klemmen der Erregerwicklung (Gleichstrommaschine).

In Fällen, bei denen das Erregersystem Komponenten enthält wie in b) bis e) beschrieben, müssen die Verluste der Erregereinrichtung die jeweiligen Verlustkomponenten enthalten, soweit die Kategorien nach [Anhang C](#) zutreffen.

3.4.3.4

getrennt eingespeiste Erregerleistung P_{1E}

von einer getrennten Versorgung eingespeiste Erregerleistung P_{1E} :

- für Erregersysteme a) und b) die Erregerleistung der Erregereinrichtung (Gleichstrom- oder Synchron-Erregermaschine) oder aufgenommene Ständerleistung (Induktions-Erregermaschine). Damit werden die Erregerverluste P_{Ed} (und weitere Verluste von Induktions-Erregermaschinen) gedeckt, während ein größerer Teil von P_e über die Welle geliefert wird;
- für Erregersysteme c) und d) die Verluste im Erregerkreis, $P_{1E} = P_e$;
- für Erregersysteme e) $P_{1E} = 0$, wobei die Erregerleistung vollständig von der Welle geliefert wird. Auch für Maschinen mit Permanentmagnet-Erregung $P_{1E} = 0$.

Die Erregersysteme müssen in Übereinstimmung mit [3.4.3.3](#) sein.

3.4.3.5

Bürstenverluste P_b (im Erregerkreis)

elektrische Bürstenverluste (einschließlich Kontaktverlusten) fremderregter Synchronmaschinen

3.4.4 Lastverluste

3.4.4.1

lastabhängige Verluste P_L

Summe der Wicklungsverluste (Stromwärmeverluste) ^{N3)} (siehe 3.4.4.2) und der elektrischen Bürstenverluste (siehe 3.4.4.3), sofern vorhanden

3.4.4.2

Wicklungsverluste

Wicklungsverluste sind die Stromwärmeverluste

- im Ankerkreis von Gleichstrommaschinen;
- in den Ständer- und Läuferwicklungen von Induktionsmaschinen;
- in der Ankerwicklung von Synchronmaschinen

3.4.4.3

Bürstenverluste in Lastkreisen P_b

elektrische Bürstenverluste (einschließlich Kontaktverlusten) im Ankerkreis von Gleichstrommaschinen und bei Induktionsmaschinen mit gewickeltem Läufer

^{N3)} Englische Bezeichnung: (I^2R) losses.

3.4.5

lastabhängige Zusatzverluste P_{LL}

bei Last auftretende Verluste im aktiven Eisen und anderen metallischen Teilen, ausgenommen stromführende Leiter; Wirbelstromverluste in Ankerleitern, die durch laststromabhängige Flussänderungen verursacht werden ^{N4)}

ANMERKUNG Diese Verluste schließen nicht Leerlaufverluste nach 3.4.2.2 ein.

3.4.6

Kurzschlussverluste P_{sc}

stromabhängige Verluste einer Synchronmaschine oder Gleichstrommaschine bei Kurzschluss der Ankerwicklung

3.5 Messgrößen (Mehrphasen-Wechselstrommaschinen)

3.5.1

Klemmenspannung

bei Mehrphasenmaschinen der arithmetische Mittelwert der Leiterspannungen

3.5.2

Leiterstrom

bei Mehrphasenmaschinen der arithmetische Mittelwert der Leiterströme

3.5.3

Widerstand zwischen Außenleitern

bei Mehrphasenmaschinen der arithmetische Mittelwert des Widerstands zwischen Außenleitern aus jeder Klemmenkombination.

ANMERKUNG 1 Der Strangwiderstand ist bei Maschinen in Sternschaltung 0,5-mal, bei Maschinen in Dreieckschaltung 1,5-mal der Widerstand zwischen Außenleitern.

ANMERKUNG 2 In den Abschnitten 7, 8 und 9 gelten die Erläuterungen und Gleichungen für Drehstrommaschinen, sofern nicht anders angegeben.

4 Formelzeichen und Abkürzungen

4.1 Formelzeichen

$\cos \varphi$	Leistungsfaktor ¹⁾
f	Frequenz der Einspeisung, Hz
I	mittlerer Leiterstrom, A
k_θ	Korrekturfaktor für Temperaturwerte
n	Drehzahl im Betrieb, s ⁻¹
p	Polpaarzahl
P	Leistung, W
P_0	aufgenommene Leistung bei Leerlauf, W
P_1	aufgenommene Leistung, ausgenommen im Erregerkreis ²⁾ , W
P_2	abgegebene Leistung ²⁾ , W

^{N4)} Äquivalente englische Bezeichnungen: „additional load losses“ und „stray-load losses“.

¹⁾ Bei dieser Definition wird sinusförmiger Verlauf von Spannung und Strom unterstellt.

²⁾ Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Prüfungen in diesem Dokument auf Motorbetrieb, wobei P_1 und P_2 die elektrisch aufgenommene bzw. die mechanisch abgegebene Leistung bezeichnen.

P_b	Bürstenverluste, W
P_e	Verluste im Erregerkreis, W
P_{1E}	von einer separaten Quelle zugeführte Erregerleistung, W
P_{Ed}	Erregerverluste, W
P_{el}	elektrische Leistung, ausgenommen im Erregerkreis, W
P_f	Verluste der Erregerwicklung (Feldwicklung), W
P_{fe}	Eisenverluste, W
P_{fw}	Reibungs- und Lüftungsverluste, W
P_k	konstante Verluste, W
P_L	lastabhängige Verluste, W
P_{Lr}	Restverluste, W
P_{LL}	lastabhängige Zusatzverluste, W
P_{mech}	mechanische Leistung, W
P_{sc}	Kurzschlussverluste, W
P_T	Gesamtverluste, W
P_w	Wicklungsverluste ^{N5)} , W; Index w wird allgemein ersetzt durch a, f, e, s oder r
R	Wicklungswiderstand, Ω
R_{eh}	Wert des Hilfswiderstands bei der eh-Stern-Prüfung (siehe 6.4.5.5), Ω
R'_{eh}	typischer Wert des Hilfswiderstands, Ω
R_f	Widerstand der Feldwicklung, Ω
R_{ll}	mittlerer Widerstand zwischen Außenleitern, Ω
R_{ph}	mittlerer Strangwiderstand ^{N6)} , Ω
s	Schlupf, bezogen auf die synchrone Drehzahl
T	Drehmoment der Maschine, Nm
T_d	Ablesewert der Drehmomentmesseinrichtung, Nm
T_c	Drehmoment-Korrekturwert, Nm
U	mittlere Klemmenspannung, V
U_0	Klemmenspannung bei Leerlauf, V
U_N	Bemessungswert der Klemmenspannung, V
X	Reaktanz, Ω
$Z = R + j \cdot X$	Darstellung einer komplexen Größe (Impedanz als Beispiel)
$Z = \underline{Z} $	Betrag einer komplexen Größe (Impedanz als Beispiel), Ω
Z	Impedanz, Ω
η	Wirkungsgrad
θ_0	Anfangswert der Wicklungstemperatur, °C
θ_a	Umgebungstemperatur, °C
θ_c	Eintrittstemperatur des primären Kühlmittels, °C
θ_w	Wicklungstemperatur, °C
τ	Zeitkonstante, s

^{N5)} Stromwärmeverluste

^{N6)} auch Phasenwiderstand

4.2 Zusätzliche Indizes

Die folgenden Indizes dürfen den Formelzeichen hinzugefügt werden, um Maschinenfunktionen klarzustellen und Wertangaben zu differenzieren.

Maschinenteile:

a	Anker
e	Erregung
f	Feldwicklung
r	Läufer
s	Ständer
w	Wicklung
U, V, W	Strangbezeichnung

Maschinenarten:

B	Zusatzmaschine (Booster)
D	Dynamometer (Pendelmaschine)
E	Erregereinrichtung, Erregermaschine
G	Generator
M	Motor

Betriebsbedingungen:

0	Leerlauf
1	Eingangsgröße (zugeführt)
2	Ausgangsgröße (abgegeben)
av	(arithmetischer) Mittelwert
d	als Wärme abgeführt (Verluste)
el	elektrisch
i	innerer Wert
L	Prüfbelastung
lr	festgebremster Läufer
mech	mechanisch
N	Bemessungswert
red	bei reduzierter Spannung
zpf	Prüfung bei Leistungsfaktor Null
θ	korrigiert auf eine Bezugs-Kühlmitteltemperatur

ANMERKUNG Weitere zusätzliche Indizes werden in den jeweiligen Unterabschnitten eingeführt.

5 Grundlegende Anforderungen

5.1 Direkte und indirekte Wirkungsgradbestimmung

Es wird zwischen direkter und indirekter Bestimmung des Wirkungsgrades unterschieden.

Die Prüfungen können in die drei folgenden Gruppen eingeteilt werden:

- a) Messung der aufgenommenen und der abgegebenen Leistung an einer einzigen Maschine. Dieses Verfahren erfordert daher die Messung der elektrischen und der mechanischen Leistung, wie sie von der Maschine entweder aufgenommen oder abgegeben wird.
- b) Messung der aufgenommenen und der abgegebenen Leistung zweier Maschinen, die mechanisch gekuppelt sind, z. B. zweier gleicher Maschinen miteinander oder einer zu prüfenden Maschine mit einer kalibrierten Maschine. Dadurch wird die Messung der mechanisch aufgenommenen oder abgegebenen Leistung der Maschine vermieden.
- c) Messung der Verluste einer Maschine unter bestimmten Bedingungen. Dies sind im Allgemeinen nicht die Gesamtverluste, aber es sind darin bestimmte Einzelverluste enthalten. Das Verfahren kann jedoch dazu verwendet werden, die Gesamtverluste oder einen Einzelverlust zu berechnen.

Die Bestimmung der Gesamtverluste muss durch eines der folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- durch Messung der Gesamtverluste;
- durch Bestimmung und Summierung der Einzelverluste.

ANMERKUNG Die Verfahren zur Bestimmung des Wirkungsgrades beruhen auf verschiedenen Annahmen; deshalb ist es nicht möglich, die mit unterschiedlichen Verfahren ermittelten Wirkungsgradwerte miteinander zu vergleichen.

5.2 Messunsicherheit

Messunsicherheit im Sinne dieser Norm ist die Unsicherheit bei der Bestimmung des tatsächlichen Wirkungsgrades. Sie ergibt sich aus Abweichungen in den Prüfverfahren und den Messeinrichtungen.

Zwar sollte die Unsicherheit als numerischer Wert ausgedrückt werden, aber dafür sind ausreichende Prüfungen erforderlich, um repräsentative und vergleichbare Werte zu ermitteln. Diese Norm verwendet folgende relative Unsicherheitsbegriffe:

- „niedrig“ wird verwendet für Wirkungsgrade, die vollständig auf Messergebnissen beruhen;
- „mittel“ wird verwendet für Wirkungsgrade, die auf begrenzten Näherungen beruhen;
- „hoch“ wird verwendet für Wirkungsgrade, die auf Annahmen beruhen.

5.3 Bevorzugte Verfahren

Es ist schwierig, spezifische Regeln für die Bestimmung des Wirkungsgrades aufzustellen. Die Wahl der durchzuführenden Prüfungen hängt ab von der erforderlichen Information, der geforderten Genauigkeit, der Art und Größe der beteiligten Maschine und der Verfügbarkeit der Prüfeinrichtungen (Einspeisung, Belastungs- oder Antriebsmaschine).

Bevorzugte Verfahren für jede Maschinenart sind in den [Tabellen 1 bis 3](#) angegeben. Das Prüfverfahren ist daraus nach der niedrigsten Messunsicherheit auszuwählen.

Tabelle 1 – Gleichstrommaschinen

Verfahren	Abschnitt	Bevorzugtes Verfahren	Erforderliche Einrichtungen	Unsicherheit
Direkt:				
Prüfung mit kalibrierter Maschine	Anhang D		Kalibrierte Maschine	Siehe Anmerkung 3
Drehmomentmessung	7.1.1	Maschinengröße: $H \leq 180$	Drehmomentmesseinrichtung/ Dynamometer für Vollast	Niedrig
Gesamtverluste:				
Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung	7.2.1.1		Zwei gleiche Maschinen Zusatzgenerator (Booster)	Niedrig
Einzelverlustverfahren, mit Belastungsprüfung:				
P_{LL} Gleichstromkomponente: Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung	7.2.2.6.1		Zwei gleiche Maschinen Zusatzgenerator (Booster)	Niedrig
P_{LL} Gleichstromkomponente als festgesetzter Wert	7.2.2.6.3			Mittel
P_{LL} Wechselstromkomponente mit vorgesehener Stromrichter- speisung	7.2.2.6.2	Maschinengröße: $H > 180$	Vorgesehener Stromrichter	Niedrig
Einzelverlustverfahren, ohne Belastungsprüfung:				
Erregerverluste aus festge- setztem Verhältnis von Last- zu Leerlauf-Erregersstrom P_{LL} als festgesetzter Wert	7.2.2.5		Falls Einrichtungen für andere Prüfungen nicht vorhanden (keine Belastungsmöglichkeit, keine zweite gleiche Maschine)	Hoch
ANMERKUNG 1 Durch Ungenauigkeiten der Messeinrichtung ist das direkte Prüfverfahren auf Wirkungsgrade bis zu 95 % bis 96 % beschränkt. Diese Norm empfiehlt für praktische Zwecke direkte Prüfungen für Maschinen bis zu einer Achshöhe von 180 mm, da bei diesen keine höheren Wirkungsgrade als 95 % zu erwarten sind. Größere Maschinen mit Wirkungsgraden unter 95 % bis 96 % können auch erfolgreich mit dem direkten Prüfverfahren geprüft werden. ANMERKUNG 2 In der Spalte „Unsicherheit“ bezeichnet „niedrig“ ein Verfahren, bei dem alle Verlustanteile aus Prüfungen stammen; „mittel“ bezeichnet ein Verfahren, das auf einem vereinfachten physikalischen Maschinenmodell beruht; „hoch“ bezeichnet ein Verfahren, bei dem nicht alle Verlustanteile aus Prüfungen ermittelt werden. ANMERKUNG 3 Unsicherheit noch festzulegen.				

Tabelle 2 – Induktionsmaschinen

Verfahren	Abschnitt	Bevorzugtes Verfahren	Erforderliche Einrichtungen	Unsicherheit
Direkt:				
Drehmomentmessung	8.1.1	Alle Einphasen- und Mehrphasenmaschinen ≤ 1 kW	Drehmomentmesseinrichtung/ Dynamometer für Vollast	Niedrig
Prüfung mit kalibrierter Maschine	Anhang D		Kalibrierte Maschine	Siehe Anmerkung 4
Rückarbeitsverfahren mit zwei Einspeisungen	8.1.2		Maschine für Vollast aufgebaut, zwei gleiche Maschinen	Niedrig
Gesamtverluste:				
Kalorimetrisches Verfahren	Anhang D		Spezielle thermische Umhüllung	Siehe Anmerkung 4
Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung	8.2.1		Zwei gleiche Maschinen (gewickelter Läufer)	Niedrig
Einzelverlustverfahren, mit und ohne Belastungsprüfung:				
P_{LL} aus den Restverlusten	8.2.2.5.1	Drehstrommaschinen > 1 kW bis 150 kW	Drehmomentmesseinrichtung/ Dynamometer für $\geq 1,25 \cdot$ Vollast	Niedrig
P_{LL} als festgesetzter Wert	8.2.2.5.3			Mittel bis hoch
P_{LL} aus Prüfung mit ausgebautem Läufer und Gegendrehfeld	8.2.2.5.2		Hilfsmotor mit Bemessungsleistung $\leq 5 \cdot$ Gesamtverluste P_T	Hoch
P_{LL} aus einer eh-Stern-Prüfung	8.2.2.5.4	(siehe Anmerkung 3)	Widerstand für 150 % Bemessungs-Strangstrom	Mittel
Einzelverlustverfahren, ohne Belastungsprüfung:				
Ströme, Leistungen und Schlupf aus Verfahren mit Ersatzschaltbild P_{LL} als festgesetzter Wert	8.2.2.4.3		Falls Prüfeinrichtung für andere Prüfungen nicht vorhanden (keine Möglichkeit für Bemessungslast, keine zweite gleiche Maschine)	Mittel/hoch
ANMERKUNG 1 Durch Messungenauigkeiten ist die Ermittlung von P_{LL} aus den Restverlusten begrenzt auf Korrelationskoeffizienten (siehe 8.2.2.5.1.2), die größer als 0,95 sind und Messunsicherheiten des ermittelten Wirkungsgrades aufweisen können, die $\pm 0,5$ % überschreiten. ANMERKUNG 2 In der Spalte „Unsicherheit“ bezeichnet „niedrig“ ein Verfahren, bei dem alle Verlustanteile aus Prüfungen stammen; „mittel“ bezeichnet ein Verfahren, das auf einem vereinfachten physikalischen Maschinenmodell beruht; „hoch“ bezeichnet ein Verfahren, bei dem nicht alle Verlustanteile aus Prüfungen ermittelt werden. ANMERKUNG 3 Das Verfahren mit P_{LL} aus der eh-Stern-Prüfung ist geeignet für Motoren zwischen 1 kW und 150 kW; höhere Leistungen werden in Betracht gezogen. Für das Verfahren ist es erforderlich, dass die Wicklung im Stern geschaltet werden kann. ANMERKUNG 4 Unsicherheit noch festzulegen.				

Tabelle 3 – Synchronmaschinen

Verfahren	Abschnitt	Bevorzugtes Verfahren	Erforderliche Einrichtungen	Unsicherheit
Direkt:				
Drehmomentmessung	9.1.1	Maschinengröße: $H \leq 180$	Drehmomentmesseinrichtung/ Dynamometer für Vollast	Niedrig
Prüfung mit kalibrierter Maschine	Anhang D		Kalibrierte Maschine	Siehe Anmerkung 3
Rückarbeitsverfahren mit zwei Einspeisungen	9.1.2		Zwei gleiche Maschinen	Mittel
Gesamtverluste:				
Leistungsfaktor Null mit Erregerstrom aus Potier-/ASA-/Schweden-Diagramm	9.2.1.2		Einspeisung für volle Spannung und Strom	Mittel
Kalorimetrisches Verfahren	Anhang D		Spezielle thermische Umhüllung	Siehe Anmerkung 3
Rückarbeitsverfahren mit einer Einspeisung	9.2.1.1		Zwei gleiche Maschinen	Niedrig
Einzelverlustverfahren, mit Belastungsprüfung:				
Summation mit Ausnahme von P_{LL}	9.2.1		Maschine für Vollast aufgebaut	Hoch
P_{LL} aus Kurzschlussversuch	9.2.2.6	Maschinengröße: $H > 180$		Niedrig
Einzelverlustverfahren, ohne Belastungsprüfung:				
Erregerstrom aus Potier-/ASA-/Schweden-Diagramm P_{LL} aus Kurzschlussprüfung	9.2.2.4 9.2.2.6		Falls Prüfeinrichtung für andere Prüfungen nicht vorhanden (keine Möglichkeit für Bemessungslast, keine zweite gleiche Maschine)	Mittel
ANMERKUNG 1 Durch Ungenauigkeiten der Messeinrichtung ist das direkte Prüfverfahren auf Wirkungsgrade bis zu 95 % bis 96 % beschränkt. Diese Norm empfiehlt für praktische Zwecke direkte Prüfungen für Maschinen bis zu einer Achshöhe von 180 mm, da bei diesen keine höheren Wirkungsgrade als 95 % zu erwarten sind. Größere Maschinen mit Wirkungsgraden unter 95 % bis 96 % können auch erfolgreich mit dem direkten Prüfverfahren geprüft werden. ANMERKUNG 2 In der Spalte „Unsicherheit“ bezeichnet „niedrig“ ein Verfahren, bei dem alle Verlustanteile aus Prüfungen stammen; „mittel“ bezeichnet ein Verfahren, das auf einem vereinfachten physikalischen Maschinenmodell beruht; „hoch“ bezeichnet ein Verfahren, bei dem nicht alle Verlustanteile aus Prüfungen ermittelt werden. ANMERKUNG 3 Unsicherheit noch festzulegen.				

ANMERKUNG H ist die Achshöhe (Abstand zwischen der Mittellinie der Welle zur Unterseite der Füße) in mm (siehe Baugrößen in IEC 60072-1).^{N7)}

^{N7)} Für Dreiphasenasynchronmotoren siehe DIN EN 50347.

5.4 Leistungsversorgung

5.4.1 Spannung

Die Spannung muss entsprechend 7.2 (und 8.3.1 bei thermischen Prüfungen) von IEC 60034-1 sein.

5.4.2 Frequenz

Die Frequenz muss während der Messungen innerhalb von $\pm 0,3 \%$ der vorgeschriebenen Frequenz sein.

ANMERKUNG Diese Anforderung gilt nicht für das Verfahren mit Ersatzschaltbild (6.4.4.4).

5.5 Messeinrichtungen

5.5.1 Allgemeines

Da die Genauigkeit von Messgeräten allgemein in Prozent des Messbereichs ausgedrückt wird, muss der Messbereich der ausgewählten Messgeräte so niedrig wie praktisch anwendbar sein.

ANMERKUNG Bei analogen Messgeräten sollten die erhaltenen Werte im oberen Drittel des Messbereichs liegen.

5.5.2 Messgeräte für elektrische Größen

Die Messgeräte müssen eine Genauigkeitsklasse 0,2 nach IEC 60051 aufweisen.

ANMERKUNG Für eine Stückprüfung, wie in IEC 60034-1, 9.1 beschrieben, genügt eine Genauigkeitsklasse 0,5.

Soweit in dieser Norm nicht anders angegeben, müssen die arithmetischen Mittelwerte der drei Leiterströme und Spannungen verwendet werden.

5.5.3 Messwandler

Messwandler müssen eine Genauigkeit nach IEC 60044-1 aufweisen derart, dass die Fehler der Messwandler für allgemeine Prüfungen nicht größer als $\pm 0,5 \%$ sind beziehungsweise nicht größer als $\pm 0,3 \%$ für das Einzelverlustverfahren bei Induktionsmaschinen mit Ermittlung der Lastzusatzverluste nach 8.2.2.5.1.

5.5.4 Drehmomentmessung

Die Einrichtungen zur Drehmomentmessung müssen eine Genauigkeit $\pm 0,2 \%$ vom Messbereich haben.

Ist die Belastungseinrichtung ein Dynamometer, so muss eine Drehmomentkorrektur durchgeführt werden. Dies trifft zu auch bei Einsatz eines Lagers oder einer Kupplung zwischen Drehmomentmesseinrichtung und Motorwelle. Das Maschinendrehmoment T wird berechnet mit der Gleichung:

$$T = T_d + T_c$$

Dabei ist

T_d abgelesenes Drehmoment bei der Belastungsprüfung;

T_c Drehmomentkorrektur nach Anhang A.

5.5.5 Drehzahl- und Frequenzmessung

Die zur Drehzahlmessung verwendeten Geräte müssen eine Genauigkeit $\pm 1 \text{ min}^{-1}$ aufweisen. Die Drehzahlmessung sollte innerhalb von $0,1 \%$ oder 1 Umdrehung je Minute genau sein, je nachdem, welcher Wert den geringsten Fehler aufweist.

ANMERKUNG 1 Die Drehzahl in min^{-1} ist n in $\text{s}^{-1} \cdot 60$.

ANMERKUNG 2 Die Drehzahl- und Frequenzmessung sollte durch eine Schlupfmessung mit einem geeigneten Verfahren ersetzt werden.

5.5.6 Temperaturmessung

Die zur Temperaturmessung verwendeten Geräte müssen eine Genauigkeit $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufweisen.

5.6 Einheiten

Wenn nicht anders festgelegt, sind die Einheiten der Größen SI-Einheiten, wie in IEC 60027-1 verzeichnet.

5.7 Widerstand

5.7.1 Zu messender Widerstand

Wicklungswiderstand R ist der mittels geeigneter Verfahren ermittelte Wert in Ω .

Bei Gleichstrommaschinen ist R der gesamte Widerstand aller Wicklungen, die Ankerstrom führen (Ankerwicklung, Wendepolwicklung, Kompensationswicklung, Compoundwicklung). Wo eine Messung des Widerstands wegen niedrigen Widerstandswertes praktisch nicht durchführbar ist, ist die Verwendung berechneter Werte zulässig.

Bei Gleichstrom- und Synchronmaschinen ist R_f der Feldwicklungswiderstand.

Bei Mehrphasen-Wechselstrommaschinen ist $R = R_{II}$ der Widerstand zwischen Außenleitern der Ständer- oder Ankerwicklung nach 3.5.3. Im Falle einer Induktionsmaschine mit gewickeltem Läufer ist $R_{r,II}$ der Läuferwiderstand zwischen Außenleitern. Der Widerstand am Ende der Erwärmungsprüfung ist nach dem Extrapolationsverfahren zu ermitteln, wie es in 8.6.2.3.3 von IEC 60034-1 beschrieben ist, jedoch ist die Ablesung so schnell wie möglich und nicht nach der in Tabelle 5 angegebenen Zeit durchzuführen und auf den Zeitpunkt Null zu extrapolieren.

Die Wicklungstemperatur bei der Prüfung ist nach 5.7.2 zu ermitteln.

Wenn der Wicklungswiderstand (unter Last) nicht direkt gemessen werden kann, ist der Widerstandswert um die Differenz zwischen dem gemessenen Widerstand und der aus einem der nach 5.7.2, Verfahren a) bis e) abgeleiteten Temperatur zu korrigieren.

5.7.2 Wicklungstemperatur

Der Wicklungs-Temperaturwert ist durch eines der folgenden Verfahren zu bestimmen (angegeben in der Reihenfolge der bevorzugten Anwendung):

- Temperaturermittlung aus dem Widerstandswert R_N bei der Prüfung mit Bemessungsbelastung mittels des in 5.7.1 beschriebenen Extrapolationsverfahrens;
- Temperaturmessung entweder mittels ETF ^{N8)} oder Thermopaar;
- Temperaturermittlung nach a) an einer gleich großen Maschine derselben Konstruktion und elektrischen Auslegung;
- Ermittlung der Betriebstemperatur nach IEC 61986, wenn keine Belastungsmöglichkeit verfügbar ist.
- Kann der Widerstand R_N bei Bemessungsbelastung nicht direkt gemessen werden, ist die Wicklungstemperatur gleich der Bezugstemperatur der Bemessungs-Wärmeklasse nach Tabelle 4 anzunehmen.

^{N8)} Eingebaute Temperaturfühler, siehe 8.5.2 von IEC 60034-1.