

	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
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0530 Teil 2
Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Normen IEC 60034-2 IEC 60034-2A IEC 60034-2/A1 IEC 60034-2/A2 ICS 29.160.01 Deskriptoren: drehende elektrische Maschine, elektrische Maschine, Wirkungsgrad, Verlustleistung, Leistungsmessung Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles) (IEC 60034-2:1972 + IEC 60034-2A:1974 + A1:1995 + A2:1996); German version EN 60034-2:1996 + A1:1996 + A2:1996 Machines électriques tournantes – Partie 2: Méthodes pour détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction) (CEI 60034-2:1972 + CEI 60034-2A:1974 + A1:1995 + A2:1996); Version allemande EN 60034-2:1996 + A1:1996 + A2:1996 Die Europäische Norm EN 60034-2:1996 + A1:1996 + A2:1996 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 60034-2 wurde am 1996-07-02, die Änderung 1 am 1996-07-02 und die Änderung 2 am 1996-10-01 angenommen. Das Kurzverfahren für die Umwandlung von HD 53.2 S1:1974 in EN 60034-2:1996 war angekündigt in etz, Heft 12/1996. Norm-Inhalt von A1 war veröffentlicht als E DIN EN 60034-2/A1 (VDE 0530 Teil 2/A1):1996-08. Norm-Inhalt von A2 war veröffentlicht als E DIN IEC 2(Sec)876 (VDE 0530 Teil 2/A2):1995-03 und E DIN IEC 2G/73/FDIS (VDE 0530 Teil 2/A3):1996-10. Übergangsfrist Siehe Abschnitt „Vorwort“ der EN. Fortsetzung Seite 2 und 3 und 49 Seiten EN Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm enthält die Internationale Norm IEC 60034-2:1972 und deren Änderung IEC 60034-2A:1974 als EN 60034-2:1996, die Änderung 1 (IEC 60034-2/A1:1995) als EN 60034-2/A1:1996 und die Änderung 2 (IEC 60034-2/A2:1996) als EN 60034-2:1996.

In dieser Europäischen Norm ist die Änderung A zur Internationalen Norm als Ergänzung zu dem Verzeichnis der Kennbuchstaben in 3.1 und als Abschnitt 17 eingearbeitet worden. Dies entspricht der Vorgängernorm von 1982-11. Die Änderung 1 zur Europäischen Norm und zur Internationalen Norm ist durch eine senkrechte Linie am linken Seitenrand des Textes gekennzeichnet. Die Änderung 2 zur Europäischen Norm und zur Internationalen Norm ist durch zwei senkrechte Linien am linken Seitenrand des Textes gekennzeichnet.

Der Abschnitt 17 enthält die Übersetzung der IEC-Publikation 60034-2A:1974. Die Abschnitts-, Tabellen- und Bildnummern der IEC-Publikation wurden in dieser Norm mit der vorangestellten Abschnittsnummer 17 versehen. In den IEC-Publikationen 60034-2 und 60034-2A hat das Formelzeichen P_1 eine unterschiedliche Bedeutung. Es wurden daher in diesem Abschnitt die Formelzeichen P_1 durch P_{11} und P_2 durch P_{12} ersetzt.

Im Verlauf des Textes der IEC-Originale wurden für die Temperatur unterschiedliche Formelzeichen verwendet. In dem vorliegenden Text wurde einheitlich das Formelzeichen „ θ “ in Übereinstimmung mit der IEC 60034-1 [DIN EN 60034-1 (VDE 0530 Teil 1)] verwendet. Die Textstellen sind durch eine Fußnote gekennzeichnet.

Zuständig für diese Norm ist in Deutschland das Komitee 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE).

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.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60034-1:1995	IEC 60034-1:1994	DIN EN 60034-1 (VDE 0530 Teil 1):1995-11	VDE 0530 Teil 1
–	10. Ausgabe IEC 60034-1:1996	Vorgänger-Schriftstück: E DIN IEC 2/915/CDV (VDE 0530 Teil 1):1995-12	VDE 0530 Teil 1
–	IEC 60050-411:1996	–	–
Normen der Reihe EN 60051	Normen der Reihe IEC 60051	Normen der Reihe DIN EN 60051	–
EN ISO 5167-1:1995	ISO 5167-1:1991	DIN EN ISO 5167-1:1995-11	–

Änderungen

Gegenüber **DIN 57530-2 (VDE 0530 Teil 2):1982-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Übernahme EN 60034-2,
- Einarbeitung der Änderungen A1 und A2.

Frühere Ausgaben

VDE 0530-2:1966-08

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60034-1 (VDE 0530 Teil 1)	Drehende elektrische Maschinen – Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten (IEC 60034-1:1994, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60034-1:1995
DIN EN 60051	Direkt wirkende anzeigende elektrische Meßgeräte und ihr Zubehör – Meßgeräte mit Skalenanzeige
DIN EN ISO 5167-1	Durchflußmessung von Fluiden mit Drosselgeräten – Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt (ISO 5167-1:1991); Deutsche Fassung EN ISO 5167-1:1995
E DIN IEC 2/915/CDV (VDE 0530 Teil 1)	Drehende elektrische Maschinen – Teil 1: Bemessungsdaten und Betriebsweise (IEC 2/915/CDV:1995)

Deutsche Fassung

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)

Rotating electrical machines –
Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)
(IEC 60034-2:1972 + IEC 60034-2A:1974 + A1:1995 + A2:1996)

Machines électriques tournantes –
Partie 2: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)
(CEI 60034-2:1972 + CEI 60034-2A:1974 + A1:1995 + A2:1996)

Diese Europäische Norm und die Änderung A1 wurden von CENELEC am 1996-07-02 und die Änderung A2 am 1996-10-01 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text der Internationalen Norm IEC 60034-2:1972 + IEC 60034-2A:1974, ausgearbeitet von dem SC 2G „Test methods and procedures“ des IEC/TC 2 „Rotating machinery“, wurde von CENELEC am 1974-12-11 als HD 53.2 S1 angenommen.

Dieses Harmonisierungsdokument wurde zur Umwandlung in eine Europäische Norm der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1996-07-02 als EN 60034-2 angenommen.

Nachstehendes Datum wurde festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muß

(dop): 1997-06-01

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60034-2:1972 + IEC 60034-2A:1974 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Vorwort zur Änderung 1

Der Text der Änderung 1:1995 zur Internationalen Norm IEC 60034-2:1972, ausgearbeitet von dem SC 2G „Test methods and procedures“ des IEC/TC 2 „Rotating machinery“, wurde der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1996-07-02 ohne irgendeine Abänderung als Änderung A1 zu EN 60034-2 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die Änderung auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden müssen

(dop): 1997-06-01

- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen

(dow): 1997-06-01

Für Erzeugnisse, die vor 1997-06-01 dem HD 53.2 S1:1974 (in EN 60034-2 umgewandelt) entsprochen haben, wie durch den Hersteller oder durch eine Zertifizierungsstelle nachgewiesen, darf diese vorhergehende Norm für die Fertigung bis 2002-06-01 noch weiter angewendet werden.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Änderung 1:1995 zur Internationalen Norm IEC 60034-2:1972 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Änderung zur Europäischen Norm angenommen.

Vorwort zur Änderung 2

Der Text des Schriftstücks IEC 2/939/FDIS, ausgearbeitet von dem IEC/TC 2 „Rotating machinery“, wurde der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1996-07-02 als Änderung A2 zu EN 60034-2 angenommen.

Der Text des Schriftstücks IEC 2G/73/FDIS, ausgearbeitet von dem SC 2G „Test methods and procedures“ des IEC/TC 2, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1996-10-01 zur Einarbeitung in Änderung A2 zu EN 60034-2 angenommen.

ANMERKUNG: Änderung 2 zu IEC 60034-2, veröffentlicht im November 1996, enthält beide Schriftstücke IEC 2/939/FDIS und IEC 2G/73/FDIS.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die Änderung auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muß

(dop): 1997-06-01

- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen

(dow): 1997-06-01

Für Erzeugnisse, die vor 1997-06-01 dem HD 53.2 S1:1974 (in EN 60034-2 umgewandelt) entsprochen haben, wie durch den Hersteller oder durch eine Zertifizierungsstelle nachgewiesen, darf diese vorhergehende Norm für die Fertigung bis 2002-06-01 noch weiter angewendet werden.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Änderung 2:1996 zur Internationalen Norm IEC 60034-2:1972 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Änderung zur Europäischen Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Hauptabschnitt Eins – Allgemeines	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Zweck	4
3 Allgemeines	4
4 Begriffe	5
5 Bezugstemperatur	6
Hauptabschnitt Zwei – Gleichstrommaschinen	6
6 Zu berücksichtigende Verluste	6
7 Bestimmung des Wirkungsgrades	7
Hauptabschnitt Drei – Mehrphasen-Induktionsmaschinen	10
8 Zu berücksichtigende Verluste	10
9 Bestimmung des Wirkungsgrades	11
Hauptabschnitt Vier – Synchronmaschinen	13
10 Zu berücksichtigende Verluste	13
11 Bestimmung des Wirkungsgrades	14
Hauptabschnitt Fünf – Meßverfahren	17
12 Allgemeines	17
13 Prüfung mit kalibrierter Maschine	18
14 Prüfung mit Leistungsfaktor Null	18
15 Auslaufprüfung	18
16 Rückarbeitsverfahren mit elektrischer Prüfung	23
17 Kalorimetrische Verlustmessung	24
Einführung	24
Abschnitt Eins – Allgemeines	24
Abschnitt Zwei – Wasser als Kühlmittel	27
Abschnitt Drei – Luft als Kühlmittel	29
Abschnitt Vier – Praktische Überlegungen	32
18 Zusammenstellung der bevorzugten Meßverfahren	34
Bilder	35
Anhang A (informativ) Vorläufige Verfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades von umrichter gespeisten Käfigläufer-Induktionsmaschinen	43

Hauptabschnitt Eins – Allgemeines

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt gemeinsam mit **IEC 60034-1** unabhängig von Leistung oder Spannung für Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Mehrphasen-Induktionsmaschinen. Diese Norm kann – soweit zutreffend – auch für andere Maschinenarten, wie z. B. rotierende Umformer, Wechselstrom-Kommutatormaschinen und Einphasen-Induktionsmaschinen, angewendet werden, für die im allgemeinen andere Verfahren der Verlustermittlung gebräuchlich sind.

2 Zweck

In dieser Norm sind Verfahren zur Ermittlung des Wirkungsgrades aus Prüfungen zusammengestellt. Weiterhin werden Verfahren angegeben, wie die Einzelverluste ermittelt werden können, falls diese benötigt werden.

3 Allgemeines

Verluste und Wirkungsgrad werden an der Maschine im betriebsnahen, möglichst betriebsfertigen Zustand gemessen. Dabei werden Einrichtungen zur automatischen Spannungsregelung, die nicht Bestandteil der Maschine sind, außer Betrieb gesetzt, wenn es nicht anders vereinbart ist.

Falls nichts anderes vereinbart wurde, müssen die für die Prüfung verwendeten Meßgeräte und deren Zusatzeinrichtungen, wie Meßwandler, Nebenschlußwiderstände und Meßbrücken, eine Genauigkeitsklasse von 0,5 oder besser haben (IEC 60051), ausgenommen Dreiphasen-Leistungsmeßgeräte sowie Leistungsmeßgeräte für niedrige Leistungsfaktoren; für diese muß die Genauigkeitsklasse 1,0 oder besser sein.

Meßgeräte müssen so gewählt werden, daß die Anzeige über den benutzten Skalenbereich so groß ist, daß Bruchteile der Skalenteilung nur einen kleinen Anteil der Anzeige ausmachen und leicht geschätzt werden können.

Maschinen mit veränderlicher Bürstenstellung werden mit der für die jeweilige Belastung vorgesehenen Bürstenstellung untersucht. Für Prüfungen bei Leerlauf dürfen die Bürsten in die neutrale Zone gestellt werden.

Die Drehzahl kann durch eine stroboskopische Methode, einen Digitalzähler oder eine Tachometermaschine gemessen werden. Wenn der Schlupf gemessen wird, ist die synchrone Drehzahl aus der Frequenz der Speisenspannung während der Prüfung zu ermitteln.

Wird für einen Maschinensatz, bestehend aus zwei elektrischen Maschinen oder aus einer elektrischen Maschine und einem Transformator oder aus einem Generator und seiner zugehörigen Kraftmaschine oder aus einem Motor und seiner zugehörigen Arbeitsmaschine, der Gesamtwirkungsgrad oder die Wirkleistungsaufnahme gemessen, so brauchen die Einzelwirkungsgrade nicht genannt zu werden. Sie gelten als angenähert, wenn sie angegeben werden.

3.1 Formelzeichen

In der vorliegenden Norm werden folgende Formelzeichen benutzt:

C	= Auslaufkonstante
I	= Strom
I_1	= Laststrom bei Bemessungsspannung
I_{1r}	= Primär-Hauptstrom bei reduzierter Spannung
I_0	= Leerlaufstrom bei Bemessungsspannung
I_{0r}	= Leerlaufstrom bei reduzierter Spannung
J	= Massenträgheitsmoment
n	= Drehzahl in min^{-1}
n_N	= Bemessungsdrehzahl
N	= Anzahl der vollständigen Umdrehungen der Welle
P	= direkt meßbare Verluste
P_1	= bei Bemessungsspannung aufgenommene Leistung
P_{1r}	= von der Haupt-Primärwicklung bei reduzierter Spannung aufgenommene Leistung
P_{Fe}	= Eisenverluste, definiert nach 6.2 a), 8.1 a) und 10.1 a)
P_f	= Reibungs- und Lüftungsverluste („mechanische Verluste“) [definiert nach 6.2 b), 6.2 c), 8.1 b), 8.1 c), 10.1 b) und 10.1 c)]

P_k	= Kurzschlußverluste, darstellend die Summe der Stromwärmeverluste in Betrieb befindlicher Wicklungen unter Last nach 10.3 ^{N1)} sowie der lastabhängigen Zusatzverluste nach 10.4
P_t	= Gesamtverluste während der Auslaufprüfung
S	= Winkelverschiebung der Maschinenwelle
s	= Schlupf
U	= Erregerspannung an den Anschlußklemmen des Haupt-Stellwiderstands
U_e	= Gesamt-Erregerspannung
U_N	= Bemessungsspannung ^{N2)}
U_r	= reduzierte Spannung für die Belastungsprüfung
δ	= relative Abweichung der Drehzahl von der Bemessungsdrehzahl
ϕ	= Phasenwinkel bei Belastung und Bemessungsspannung
ϕ_r	= Phasenwinkel bei Belastung und reduzierter Spannung
ϕ_o	= Phasenwinkel bei Leerlauf und Bemessungsspannung
ϕ_{or}	= Phasenwinkel bei Leerlauf und reduzierter Spannung

4 Begriffe

Für die Definition allgemeiner Benennungen, die in dieser Norm verwendet werden, siehe Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch (IEC 60050).^{N3)}

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Begriffe:

4.1 Wirkungsgrad

Das Verhältnis der abgegebenen Leistung zur aufgenommenen Leistung, gewöhnlich angegeben in Prozent.

4.2 Gesamtverlust

Die Differenz zwischen der aufgenommenen und der abgegebenen Leistung.

4.3 Bremsprüfung

Eine Prüfung, bei der die mechanische Leistungsabgabe einer Maschine, die als Motor arbeitet, aus der Messung des Drehmomentes an der Welle mit Hilfe einer Bremse oder einer Drehmomentmeßeinrichtung und durch gleichzeitige Messung der Drehzahl ermittelt wird. Wenn die untersuchte Maschine als Generator arbeitet, wird die zugeführte Leistung mit Hilfe einer Drehmomentmeßeinrichtung festgestellt.

4.4 Prüfung mit kalibrierter Maschine

Eine Prüfung, bei der die mechanische Leistungsaufnahme oder -abgabe einer elektrischen Maschine aus der elektrischen Leistungsabgabe oder -aufnahme einer kalibrierten Maschine errechnet wird, die mechanisch an die zu untersuchende Maschine gekuppelt ist.

4.5 Mechanisches Rückarbeitsverfahren

Eine Prüfung, bei der zwei gleiche Maschinen mechanisch gekuppelt sind und die Gesamtverluste beider Maschinen aus der Differenz zwischen der elektrischen Leistungsaufnahme der einen Maschine und der elektrischen Leistungsabgabe der anderen Maschine ermittelt werden (siehe Bild 1).

4.6 Rückarbeitsverfahren mit elektrischer Prüfung

Eine Prüfung, bei der zwei gleiche Maschinen mechanisch gekuppelt und beide elektrisch an dasselbe Netz angeschlossen sind. Die Gesamtverluste beider Maschinen sind gleich der aus dem Netz aufgenommenen Leistung (siehe Bild 2).

N1) Nationale Fußnote: In der englischen Fassung steht an dieser Stelle fälschlicherweise 10.2.

N2) Nationale Fußnote: In der englischen Fassung steht an dieser Stelle fälschlicherweise U_n .

N3) Nationale Fußnote: Siehe IEC 60050-411:1996.

4.7 Auslaufprüfung

Eine Prüfung, bei der die jeweiligen Verluste in der Maschine aus der Drehzahlabnahme der Maschine ermittelt werden, wenn nur diese Verluste vorhanden sind.

4.8 Kalorimetrische Verlustmessung

Eine Prüfung, bei der die Verluste in der Maschine aus der Wärmemenge je Zeiteinheit, die durch die Verluste entsteht, ermittelt werden. Die Verluste werden aus dem Produkt der Kühlmittelmenge und ihrer Temperaturerhöhung zuzüglich der Wärmemenge, die an die Umgebung abgeführt wird, berechnet.

4.9 Leerlaufprüfung (als Motor)

Eine Prüfung, bei der eine Maschine als Motor betrieben wird, wobei sie an der Welle keine mechanische Nutzleistung abgibt.

4.10 Leerlaufprüfung (als Generator)

Eine Prüfung, bei der eine Maschine als Generator mit offenen Klemmen betrieben wird.

4.11 Dauerkurzschlußprüfung

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

4.12 Prüfung mit Leistungsfaktor Null

Eine Leerlaufprüfung (als Motor) an einer Synchronmaschine, die übererregt wird und mit einem Leistungsfaktor nahe Null arbeitet.

5 Bezugstemperatur

Sofern nichts anderes festgelegt ist, müssen alle Stromwärmeverluste auf die nachstehend angegebenen Bezugstemperaturen umgerechnet werden.

Wärmeklasse des Isoliersystems	Bezugstemperatur ° C
A, E	75
B	95
F	115
H	130

Falls die Übertemperatur oder die Temperatur bei Bemessungsbetrieb als diejenige einer niedrigeren Wärmeklasse festgelegt wird als ausgeführt, gilt die Bezugstemperatur der niedrigeren Wärmeklasse.

Hauptabschnitt Zwei – Gleichstrommaschinen

6 Zu berücksichtigende Verluste

Die Gesamtverluste können als Summe folgender Einzelverluste behandelt werden:

6.1 Verluste im Erregerkreis

- Stromwärmeverluste in Nebenschluß- und fremderregten Erregerwicklungen sowie in den zugehörigen Feldstellern;
- Verluste in der Erregermaschine.

Alle Verluste der Erregermaschine, wenn diese mechanisch von der Hauptwelle angetrieben wird, die einen Teil eines zusammenhängenden Maschinensatzes bildet und ausschließlich zum Erregen der zugehörigen Maschine dient, einschließlich der Verluste des Feldstellers dieser Erregermaschine. Die Reibungs- und Lüftungsverluste der Erregermaschine bleiben dabei unberücksichtigt.

Bei Fremderregung, z. B. durch Batterie, Gleichrichter oder Motor-Generator-Satz, werden die Verluste in der Erregerstromquelle und den Zuleitungen zwischen der Quelle und den Bürsten nicht berücksichtigt.

ANMERKUNG: Verluste einer getrennten Erregerstromquelle werden, sofern verlangt, gesondert ausgewiesen. Sie können als Differenz zwischen der durch den Wirkungsgrad der Erregerstromquelle dividierten Erregerleistung und der Erregerleistung angesetzt werden.

6.2 Konstante Verluste

- a) Verluste im aktiven Eisen und Leerlauf-Zusatzverluste in anderen metallischen Teilen.
- b) Reibungsverluste (Lager und Bürsten), wobei Verluste in einem getrennten Schmierungs-system unberücksichtigt bleiben. Verluste in Lagern, die für die betrachtete und für eine weitere Maschine gemeinsam sind, müssen getrennt angegeben werden, unabhängig davon, ob die Lager mit der Maschine geliefert werden oder nicht.

ANMERKUNG: Verluste eines getrennten Schmierungs-systems werden, sofern verlangt, gesondert aus-gewiesen.

- c) Gesamter Lüftungsverlust in der Maschine einschließlich der Leistungsaufnahme der Lüfter und der Hilfs-maschinen, falls vorhanden, soweit sie von der Maschinenwelle angetrieben werden. Verluste von Hilfsmaschi-nen wie Fremdlüfter, Wasser- und Ölpumpen, die nicht von der Maschinenwelle angetrieben werden, aber ausschließlich für die betreffende Maschine vorgesehen sind, werden nur nach Vereinbarung miteinbezogen.

ANMERKUNG: Verluste eines getrennten Belüftungssystem-s werden, sofern verlangt, gesondert ausge-wiesen, wenn sie nicht Teil der Maschinenverluste sind.

6.3 Lastabhängige Verluste

- a) Stromwärmeverluste in der Ankerwicklung und in vom Ankerstrom durchflossenen Wicklungen (z. B. Wendepol-, Kompensations-, Erregerwicklungen und andere Wicklungen, die vom Ankerstrom durchflossen werden).
- b) Elektrische Verluste in und an den Bürsten.

6.4 Lastabhängige Zusatzverluste

- a) Bei Last auftretende Zusatzverluste im aktiven Eisen und anderen metallischen Teilen, ausgenommen stromführende Leiter.
- b) Wirbelstromverluste in den Ankerleitern, verursacht durch Änderungen des Streufeldes, abhängig vom Strom und der Kommutierung.
- c) Bürstenverluste, die von der Kommutierung herrühren.

ANMERKUNG: Diese Verluste werden mitunter als Zusatzverluste bezeichnet; sie enthalten jedoch nicht die Leerlauf-Zusatzverluste nach 6.2 a).

7 Bestimmung des Wirkungsgrades

7.1 Einzelverlustverfahren

Der Wirkungsgrad kann aus den Gesamtverlusten berechnet werden, die als Summe der im folgenden genannten Einzelverluste anzusehen sind:

7.1.1 Verluste im Erregerkreis

Das sind:

7.1.1.1 Stromwärmeverluste in der Erregerwicklung

Diese Verluste werden nach der Formel I^2R berechnet, wobei R der auf die Bezugstemperatur umgerechnete Widerstand der Nebenschlußerregungswicklung (oder fremderregten Wicklung) und I der Erregerstrom ist. Mit Ausnahme des nachstehenden Falles c) gilt als Erregerstrom der Strom bei Bemessungsdrehzahl und Bemessungslast. Für den Fall c) gilt als Erregerstrom der Strom bei Leerlauf und Bemessungsdrehzahl.

Falls der Erregerstrom bei der Bestimmung unter Last nicht gemessen werden kann, wird er wie folgt angenom-men:

- a) bei Nebenschluß- oder fremderregten Generatoren mit oder ohne Wendepole: 110 % des Erregerstroms für Leerlauf bei einer Spannung gleich Bemessungsspannung plus dem ohmschen Spannungsabfall bei Bemessungslaststrom im Ankerstromkreis (Anker, Bürsten und Wendepole, sofern vorhanden, siehe auch [7.1.3.2](#));
- b) bei kompensierten Generatoren mit Nebenschluß- oder Fremderregung: Erregerstrom für Leerlauf bei ei-ner Spannung gleich Bemessungsspannung plus dem ohmschen Spannungsabfall bei Bemessungslaststrom im Ankerstromkreis (Anker, Bürsten, Wendepole und Kompensationswicklungen, siehe auch [7.1.3.2](#));
- c) bei Generatoren mit ausgeglichener Verbunderregung: Erregerstrom bei Leerlauf und Bemessungsspan-nung;
- d) bei Generatoren mit Über- oder Unter-Verbunderregung oder von den vorhergehenden Aufzählungen a) bis c) nicht erfaßten Spezialgeneratoren: ein Wert, der zwischen Hersteller und Käufer zu vereinbaren ist;
- e) bei Nebenschlußmotoren: Erregerstrom für Leerlauf bei Bemessungsspannung.

7.1.1.2 Verluste im Haupt-Stellwiderstand

Diese Verluste werden nach der Formel $I^2 R$ berechnet, wobei R der für den betrachteten Betriebszustand eingeschaltete Widerstand und I der Wert des Erregerstroms, wie er in 7.1.1.1 bestimmt wird, ist. Sie sind auch gleich dem Produkt IU aus dem Erregerstrom multipliziert mit der Erregerspannung U an den Klemmen des Stellwiderstandes.

Die Summe der Verluste (siehe 7.1.1.1 und 7.1.1.2) ist auch gleich dem Produkt $I \cdot U_e$ aus dem Erregerstrom I und der Gesamt-Erregerspannung U_e .

ANMERKUNG: Falls ein in Reihe geschalteter Widerstand im Erregerkreis dauernd eingeschaltet ist, wird er in derselben Weise wie der Haupt-Stellwiderstand berücksichtigt.

7.1.1.3 Verluste in der Erregermaschine

ANMERKUNG: Die Verluste in der Erregermaschine werden nur berücksichtigt, wenn die Erregermaschine von der Hauptwelle angetrieben und ausschließlich zum Erregen der Hauptmaschine verwendet wird.

Diese Verluste setzen sich zusammen aus der Differenz zwischen der an der Antriebswelle der Erregermaschine aufgenommenen Leistung und der an ihren Klemmen abgegebenen Leistung*) und den Erregerverlusten in der Erregermaschine, wenn diese von einer getrennten Stromquelle erregt wird.

Wenn die Erregermaschine abgekuppelt und getrennt von der Hauptmaschine geprüft werden kann, läßt sich die von der Erregermaschine aufgenommene Leistung nach dem Verfahren mit kalibrierter Maschine messen.

Wenn die Erregermaschine nicht von der Hauptmaschine abgekuppelt werden kann, läßt sich die von der Erregermaschine aufgenommene Leistung entweder durch Betreiben der Hauptmaschine als leerlaufender Motor messen oder durch die Prüfung mit kalibrierter Maschine (siehe Abschnitt 13) oder durch die Auslaufprüfung (siehe Abschnitt 15), wobei diese Verfahren auf den gesamten Maschinensatz anzuwenden sind. Bei diesen drei Verfahren ergibt sich die von der Erregermaschine aufgenommene Leistung aus der Differenz der Gesamtverluste des Maschinensatzes bei zwei Messungen unter gleichen Bedingungen, jedoch einmal mit belasteter Erregermaschine und das andere Mal mit unerregter Erregermaschine. Die Erregung der Hauptmaschine wird in beiden Fällen einer unabhängigen Stromquelle entnommen.

Wenn keines dieser Verfahren anwendbar ist, wird die Leistungsaufnahme der Erregermaschine als Summe der an den Klemmen gemessenen Leistung und der Einzelverluste der Erregermaschine wie in Abschnitt 6 ermittelt; jedoch werden Reibungs- und Lüftungsverluste, die zusammen mit den Verlusten der Hauptmaschine gemessen werden, nicht berücksichtigt.

7.1.2 Konstante Verluste

7.1.2.1 Leerlaufprüfung (als Motor) bei Bemessungsspannung

Die konstanten Verluste müssen bei Betrieb der Maschine als Motor im Leerlauf bei Bemessungsspannung und Bemessungsdrehzahl ermittelt werden. Die Bemessungsdrehzahl wird dabei durch entsprechende Erregung, möglichst aus einer getrennten Stromquelle, eingestellt.

Die gesamte aufgenommene elektrische Leistung abzüglich der Stromwärmeverluste im Ankerstromkreis und in der Erregerwicklung und, falls zutreffend, abzüglich der von einer Erregermaschine aufgenommenen Leistung ergibt die Summe der konstanten Verluste.

7.1.2.2 Leerlaufprüfung (als Generator)

Die konstanten Verluste können einzeln dadurch ermittelt werden, daß die Maschine mit Bemessungsdrehzahl durch eine kalibrierte Maschine angetrieben wird. Die zu prüfende Maschine wird (vorzugsweise durch eine unabhängige Stromquelle) so erregt, daß sie als leerlaufender Generator mit Bemessungsspannung arbeitet. Die Leistung, die die Maschine an der Welle aufnimmt und die aus der Leistungsaufnahme der kalibrierten Maschine ermittelt werden kann, entspricht der Summe der konstanten Verluste. Bei Wegfall der Erregung kann die Summe der Reibungs- und Lüftungsverluste in gleicher Weise ermittelt werden. Die Eisenverluste können getrennt aus der Differenz der Verluste aus dieser Prüfung und den Verlusten, die bei der vorhergehenden Leerlaufprüfung gemessen wurden, ermittelt werden. Durch Abheben der Bürsten kann der Bürstenreibungsverlust getrennt aus der Differenz der bei dieser Prüfung gemessenen Verluste und den Verlusten bestimmt werden, die bei der vorhergehenden Prüfung ohne Erregung gemessen wurden.

7.1.2.3 Auslaufprüfung

Bei Maschinen mit großem Trägheitsmoment können die gesamten konstanten Verluste sowie die konstanten Einzelverluste durch die Auslaufprüfung ermittelt werden.

*) Die an den Klemmen der Erregermaschine abgegebene Leistung ist gleich der Summe der Verluste der Hauptmaschine nach 7.1.1.1 und 7.1.1.2.

7.1.3 Lastabhängige Verluste

Das sind:

7.1.3.1 Stromwärmeverluste im Ankerstromkreis

Diese Verluste werden aus dem Strom und dem gemessenen, auf die Bezugstemperatur umgerechneten Widerstand errechnet, ausgenommen sehr niedrige Widerstände, deren Messung sehr schwierig ist. Für diese ist die Verwendung des berechneten Wertes zulässig.

ANMERKUNG: Diese Verluste umfassen auch diejenigen in Kompensations- und Wendepolwicklungen wie auch in Parallelwiderständen. Im Falle von Reihenschlußwicklungen mit Parallelwiderständen werden die Stromwärmeverluste aus dem Gesamtstrom und dem resultierenden Widerstand der Parallelschaltung ermittelt.

7.1.3.2 Stromübergangsverluste an den Bürsten

Als Summe dieser Verluste gilt das Produkt aus dem Ankerstrom und einem festgelegten Spannungsabfall.

Dieser Spannungsabfall ist für alle Bürsten einer Polarität mit 1,0 V für Kohle- oder Graphitbürsten und mit 0,3 V für metallhaltige Kohlebürsten anzunehmen. Das entspricht einem gesamten Spannungsabfall von 2 V für Kohle- oder Graphitbürsten und von 0,6 V für metallhaltige Kohlebürsten.

7.1.4 Lastabhängige Zusatzverluste

Wenn es nicht anders festgelegt ist, wird angenommen, daß sich diese Verluste quadratisch mit dem Strom ändern und daß sie bei maximalem Bemessungsstrom folgenden Gesamtwert annehmen:

bei unkompensierten Maschinen:

- 1 % der aufgenommenen Bemessungsleistung bei Motoren,
- 1 % der abgegebenen Bemessungsleistung bei Generatoren;

bei kompensierten Maschinen:

- 0,5 % der aufgenommenen Bemessungsleistung bei Motoren,
- 0,5 % der abgegebenen Bemessungsleistung bei Generatoren.

Bei Maschinen mit gleichbleibender Drehzahl wird als aufgenommene oder abgegebene Bemessungsleistung die Leistung angenommen, die sich bei maximalem Bemessungsstrom und maximaler Bemessungsspannung ergibt.

Bei Motoren mit veränderlicher Drehzahl, bei denen die Drehzahl durch Änderung der angelegten Spannung eingestellt wird, gilt als aufgenommene Bemessungsleistung für jede Drehzahl die Leistung, die bei maximalem Bemessungsstrom bei der dieser Drehzahl zugeordneten Spannung aufgenommen wird.

Für kompensierte oder unkompensierte Motoren mit veränderlicher Drehzahl, bei denen die Drehzahlzunahme durch Feldschwächung eingestellt wird, gilt als aufgenommene Bemessungsleistung die Leistung, die bei Bemessungsspannung und bei maximalem Bemessungsstrom aufgenommen wird. Bei Generatoren mit veränderlicher Drehzahl, bei denen die Spannung durch Feldänderung konstant gehalten wird, gilt als abgegebene Bemessungsleistung die abgegebenen Leistung, die bei Bemessungsspannung und maximalem Bemessungsstrom an den Klemmen verfügbar ist. Die nach den obigen Angaben vorgegebenen Zusatzverluste gelten für die dem vollen Feld entsprechende Drehzahl. Die Zusatzverluste für andere Drehzahlen sind durch Einsetzen der Korrekturfaktoren nach Tabelle 1 zu berechnen.

Tabelle 1: Korrekturfaktoren für verschiedene Drehzahlverhältnisse

Drehzahlverhältnis	Korrekturfaktor
1,5 : 1	1,4
2 : 1	1,7
3 : 1	2,5
4 : 1	3,2

Das Drehzahlverhältnis in der ersten Spalte von Tabelle 1 ist das Verhältnis der tatsächlich betrachteten Drehzahl zur kleinsten Bemessungsdrehzahl bei Dauerbetrieb.

Für andere als in Tabelle 1 angegebene Drehzahlverhältnisse kann der zutreffende Korrekturfaktor durch Interpolation ermittelt werden.

ANMERKUNG: Der lastabhängige Zusatzverlust kann mit einer Messung der aufgenommenen und abgegebenen Leistung oder mit dem Rückarbeitsverfahren durch Abziehen aller bekannten Verluste von den gemessenen Gesamtverlusten ermittelt werden.

7.1.4.1 Änderungen der Eisenverluste abhängig von der Belastung

Diese Änderung kann im allgemeinen vernachlässigt werden. Nach besonderer Vereinbarung kann für Maschinen mit sehr niedriger Spannung die Summe der Verluste nach 6.2 a) und 6.4 a), wie für die Eisenverluste (siehe 6.2 a)) beschrieben, durch eines der beiden angegebenen Verfahren – Leerlaufprüfung als Motor oder Generator – gemessen werden. Anstelle der Durchführung bei Bemessungsspannung wird die Prüfung bei Bemessungsspannung zuzüglich bzw. abzüglich des Spannungsabfalles im Ankerstromkreis für den betreffenden Strom durchgeführt, abhängig davon, ob die Maschine als Generator oder als Motor arbeitet.

7.1.4.2 Lastabhängige Zusatzverluste in Gleichstrommotoren, die von Stromrichtern gespeist werden

Wenn der Strom-Schwankungsfaktor (siehe 2.29 der IEC 60034-1:1994) des Ankerstroms den Wert 0,1 überschreitet, müssen die von der Wechselstromkomponente des Ankerstroms verursachten Zusatzverluste zusätzlich zu den in 7.1.4 festgelegten Verlusten berücksichtigt werden.

Sie müssen als die von der Grundkomponente der vorgenannten Wechselstromkomponente verursachten Wirbelstromverluste berechnet werden.

Das anzuwendende Berechnungsverfahren muß Gegenstand einer Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer sein.

7.2 Messung der Gesamtverluste

7.2.1 Rückarbeitsverfahren mit elektrischer Prüfung (siehe Abschnitt 16)

Wenn gleiche Maschinen bei im wesentlichen gleichen Bemessungsbedingungen betrieben werden, sind die vom elektrischen System gespeisten Verluste als gleichmäßig verteilt anzunehmen, und der Wirkungsgrad ist nach 7.3.3 zu berechnen.

Die Prüfung muß möglichst nahe der Temperatur durchgeführt werden, die bei Betrieb am Ende der in den Bemessungsdaten festgelegten Zeit erreicht wird. Es darf keine Wicklungstemperaturkorrektur vorgenommen werden.

7.3 Direkte Wirkungsgradmessung

7.3.1 Bremsprüfung

Wird die Maschine mit den Bemessungswerten von Drehzahl, Spannung und Strom betrieben, dann ist der Wirkungsgrad das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung. Die Prüfung muß möglichst nahe der Temperatur durchgeführt werden, die bei Betrieb am Ende der in den Bemessungsdaten festgelegten Zeit erreicht wird. Es darf keine Wicklungstemperaturkorrektur vorgenommen werden.

7.3.2 Prüfung mit kalibrierter Maschine (siehe Abschnitt 13)

Wird die Maschine mit den Bemessungswerten von Drehzahl, Spannung und Strom betrieben, dann ist der Wirkungsgrad das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung.

Die Prüfung muß möglichst nahe der Temperatur durchgeführt werden, die bei Betrieb am Ende der in den Bemessungsdaten festgelegten Zeit erreicht wird. Es darf keine Wicklungstemperaturkorrektur vorgenommen werden.

7.3.3 Mechanisches Rückarbeitsverfahren

Wenn gleiche Maschinen bei im wesentlichen gleichen Bemessungsbedingungen betrieben werden, sind die Verluste als gleichmäßig verteilt anzunehmen, und der Wirkungsgrad wird aus der Hälfte der Gesamtverluste und der elektrischen Leistungsaufnahme (bei einem Motor) oder der elektrischen Leistungsabgabe (bei einem Generator) berechnet.

Die Prüfung muß möglichst nahe der Temperatur durchgeführt werden, die bei Betrieb am Ende der in den Bemessungsdaten festgelegten Zeit erreicht wird. Es darf keine Wicklungstemperaturkorrektur vorgenommen werden.

Hauptabschnitt Drei – Mehrphasen-Induktionsmaschinen

8 Zu berücksichtigende Verluste

Die Gesamtverluste können als Summe folgender Einzelverluste behandelt werden:

8.1 Konstante Verluste

- Verluste im aktiven Eisen und Leerlauf-Zusatzverluste in anderen metallischen Teilen.
- Reibungsverluste (Lager und Bürsten, wenn die Bürsten während des Betriebes nicht abgehoben werden), wobei Verluste in einem getrennten Schmierungs-system unberücksichtigt bleiben. Verluste in Lagern, die für die betrachtete und für eine weitere Maschine gemeinsam sind, müssen getrennt angegeben werden, unabhängig davon, ob die Lager mit der Maschine geliefert werden oder nicht.

ANMERKUNG: Verluste eines getrennten Schmierungs-systems werden, sofern verlangt, gesondert ausgewiesen.

c) Gesamter Lüftungsverlust in der Maschine einschließlich der Leistungsaufnahme der Lüfter und der Hilfsmaschinen, falls vorhanden, soweit sie von der Maschinenwelle angetrieben werden. Verluste von Hilfsmaschinen wie Fremdlüfter, Wasser- und Ölpumpen, die nicht von der Maschinenwelle angetrieben werden, aber ausschließlich für die betreffende Maschine vorgesehen sind, werden nur nach Vereinbarung miteinbezogen.

ANMERKUNG: Verluste eines getrennten Belüftungssystems werden, sofern verlangt, gesondert ausgewiesen.

8.2 Lastabhängige Verluste

- a) Stromwärmeverluste der Primärwicklung.
- b) Stromwärmeverluste der Sekundärwicklung.
- c) Elektrische Verluste in und an den Bürsten (falls vorhanden).

8.3 Lastabhängige Zusatzverluste

- a) Bei Last auftretende Zusatzverluste im aktiven Eisen und in anderen metallischen Teilen, ausgenommen stromführende Leiter.
- b) Wirbelstromverluste in Leitern der Primär- und Sekundärwicklungen, verursacht durch stromabhängige Änderungen des Streufeldes.

ANMERKUNG 1: Verluste nach 8.3 a) und 8.3 b) werden mitunter allgemein als Zusatzverluste bezeichnet, sie enthalten jedoch nicht die Leerlauf-Zusatzverluste nach 8.1 a).

ANMERKUNG 2: Im Falle von Hilfsmaschinen, wie z. B. Kommutator-Phasenschiebern, die mechanisch von der Hauptwelle angetrieben werden, sollten die Verluste genauso wie die Verluste in der Erregermaschine bei Synchronmaschinen aufgenommen werden. Verluste in getrennt angetriebenen Kommutator-Phasenschiebern oder Stell- bzw. Regeleinrichtungen sollten bei Bemessungsbetriebsbedingungen der Hauptmaschine getrennt angegeben werden. Diese Verluste sollten mit den für die verwendeten Gerätetypen üblichen Verfahren ermittelt werden.

9 Bestimmung des Wirkungsgrades

9.1 Einzelverlustverfahren

Der Wirkungsgrad kann aus den Gesamtverlusten berechnet werden, die als Summe der im folgenden genannten Einzelverluste anzusehen sind:

9.1.1 Konstante Verluste

9.1.1.1 Leerlaufprüfung (als Motor) bei Bemessungsspannung

Die Summe der konstanten Verluste nach 8.1 a), 8.1 b) und 8.1 c) wird durch Motorbetrieb der Maschine im Leerlauf ermittelt. Die Maschine wird bei Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz betrieben. Die aufgenommene Wirkleistung abzüglich der Stromwärmeverluste in der Primärwicklung ergibt die Summe der konstanten Verluste. Die Stromwärmeverluste der Sekundärwicklung können vernachlässigt werden.

9.1.1.2 Prüfung mit kalibrierter Maschine (siehe Abschnitt 13)

Die konstanten Verluste können getrennt ermittelt werden, indem die Maschine vom Netz abgetrennt und mit Bemessungsdrehzahl durch einen kalibrierten Motor angetrieben wird (siehe 9.2.2). Mit aufgelegten Bürsten, falls vorhanden, ergibt die an der Welle der Maschine aufgenommene Leistung, die aus der elektrischen Wirkleistungsaufnahme des kalibrierten Motors ermittelt werden kann, die Summe der Verluste unter 8.1 b) und 8.1 c). Mit abgehobenen Bürsten, falls vorhanden, kann die Summe der Lagerreibungs- und der gesamten Lüftungsverluste auf die gleiche Weise ermittelt werden. Die unter 8.1 a) beschriebenen Verluste können mit der unter 9.1.1.1 erläuterten Prüfung durch Subtraktion ermittelt werden.

9.1.1.3 Leerlaufprüfung (als Motor) bei veränderlicher Spannung

Die Verluste nach 8.1 a) und die Summe der Verluste nach 8.1 b) und c) können durch Betrieb der Maschine als Motor mit Bemessungsfrequenz, jedoch bei verschiedenen Spannungen, voneinander getrennt werden. Die aufgenommene Wirkleistung abzüglich der Stromwärmeverluste der Primärwicklung kann als Funktion des Quadrates der Spannung in einer Kurve dargestellt werden. Diese ist bei niedriger Sättigung eine gerade Linie, die bis zum Spannungswert Null extrapoliert werden kann, um die Summe der Verluste nach 8.1 b) und c) zu erhalten.

Dabei ist zu beachten, daß bei sehr niedriger Spannung die Verlustkurve aufgrund der steigenden Verluste der Sekundärwicklung mit größer werdendem Schlupf wieder ansteigen kann. Bei der Aufnahme der geraden Linie sollten solche Werte nicht berücksichtigt werden.

Wird der Motor mit kurzgeschlossener Sekundärwicklung bei abgehobenen Bürsten angelassen (was möglich ist, wenn der Speisegenerator gleichzeitig mit dem Motor angelassen wird), erhält man durch Extrapolation bis zum Spannungswert Null wie oben die Lagerreibung und die gesamten Lüftungsverluste.

ANMERKUNG: Bei Schleifringläufermotoren kann wie bei Synchronmaschinen mit Gleichstromerregung in zwei Läufersträngen (oder drei, wenn gewünscht) eine synchrone Leerlaufprüfung durchgeführt werden.

9.1.2 Lastabhängige Verluste

9.1.2.1 Belastungsprüfung

Die Verluste nach 8.2 a) werden aus den mit Gleichstrom gemessenen, auf die Bezugstemperatur umgerechneten Widerständen der Primärwicklung und dem der Belastung entsprechenden Strom, bei dem die Verluste berechnet werden, berechnet.

Wenn eine Belastungsprüfung ausgeführt wird, werden zur Bestimmung der Verluste nach 8.2 b) die Sekundärwicklungsverluste als Produkt aus dem Schlupf und der gesamten auf die Sekundärwicklung übertragenen Leistung angenommen, d. h. der aufgenommenen Leistung abzüglich der Eisenverluste nach 8.1 a) und der Stromwärmeverluste der Primärwicklung nach 8.2 a). Dieses Verfahren ergibt unmittelbar die Summe der Verluste nach 8.2 b) und 8.2 c) für Schleifringläufermaschinen und die Verluste nach 8.2 b) für Käfigläufermaschinen. Für letztere Maschinenart ist dieses das einzig anwendbare Verfahren, da es nicht möglich ist, den Widerstand und den Strom der Sekundärwicklung direkt zu messen. Bei Anwendung dieses Verfahrens kann der Schlupf mit einem Stroboskop oder durch Zählen der Ausschläge eines hochempfindlichen Drehspul-Spannungsmeßgerätes ermittelt werden. Dabei wird das Spannungsmeßgerät an zwei Schleifringe (bei Schleifringläufermotoren), an die Klemmen einer Meßspule (bei Motoren mit kurzgeschlossenen Sekundärwicklungen) oder an die Wellenenden angeschlossen.

9.1.2.2 Berechnete Werte

Bei Schleifringläufermotoren können die Verluste nach 8.2 b) aus dem mit Gleichstrom gemessenen, auf die Bezugstemperatur umgerechneten Widerstand und dem aus einem Kreisdiagramm oder einem Ersatzschaltplan ermittelten Sekundärstrom errechnet werden, wobei das tatsächliche Übersetzungsverhältnis der Maschine berücksichtigt wird. Die Art des zu verwendenden Kreisdiagramms ist zwischen dem Hersteller und dem Käufer zu vereinbaren.

Bei einer Belastungsprüfung können die Bürstenverluste nach 8.2 c) nicht direkt gemessen werden, sie werden als Produkt aus dem durch die Bürsten fließenden Strom und einem festgelegten Spannungsabfall ermittelt. Dieser Spannungsabfall ist für alle Bürsten eines Schleifringes mit 1,0 V für Kohle- und Graphitbürsten und mit 0,3 V für metallhaltige Kohlebürsten anzunehmen.

9.1.2.3 Belastungsprüfung bei reduzierter Spannung

Dieses Verfahren ist auch bei Käfigläufermaschinen anwendbar.

Bei verminderter Spannung und konstant gehaltener Drehzahl verringern sich die Ströme näherungsweise proportional und die Leistung näherungsweise quadratisch mit der Spannung. Wird die Spannung auf die Hälfte des Bemessungswertes reduziert, verringern sich die Ströme auf ungefähr die Hälfte, und die Leistung verringert sich auf ungefähr ein Viertel der Werte bei Bemessungsspannung.

Wird ein Induktionsmotor bei verminderter Spannung U_r belastet, werden die aufgenommene Leistung P_{1r} , der Primärstrom I_{1r} , der Schlupf s sowie der Leerlaufstrom I_{or} bei derselben reduzierten Spannung U_r und der Leerlaufstrom I_o bei Bemessungsspannung U_N gemessen.

Den Stromzeiger I_1 des Laststromes bei Bemessungsspannung erhält man über das in Bild 3 dargestellte Zeigerdiagramm.

Zum Stromzeiger I_{1r} multipliziert mit dem Verhältnis:

$$\frac{\text{Bemessungsspannung}}{\text{reduzierte Spannung}} = \frac{U_N}{U_{red}}$$

ist der Zeiger:

$$\Delta I_o = I_o \cdot \sin \varphi_o - I_{or} \left(\frac{U_N}{U_r} \right) \sin \varphi_{or}$$

zu addieren.

Der resultierende Zeiger stellt den Strom dar, der bei Bemessungsspannung U_N bei der folgenden aufgenommenen Leistung fließen würde:

$$P_1 = P_{1r} \left(\frac{U_N}{U_r} \right)^2$$

Mit Hilfe der so definierten Werte für I_1 und P_1 und mit Schlupf s , bei reduzierter Spannung gemessen, ist es nun möglich, die unter 9.1.2.1 beschriebenen lastabhängigen Verluste zu berechnen.