

	DIN EN 60034-2-2 (VDE 0530-2-2)	
	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.	
ICS 29.160.01	Einsprüche bis 2009-03-31 Entwurf Drehende elektrische Maschinen – Teil 2-2: Besondere Verfahren zur Bestimmung der Einzelverluste großer elektrischer Maschinen aus Prüfungen in Ergänzung zu Teil 2-1 (IEC 2/1522/CDV:2008); Deutsche Fassung FprEN 60034-2-2:2008 Rotating electrical machines – Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from tests, supplementing Part 2-1 (IEC 2/1522/CDV:2008); German version FprEN 60034-2-2:2008 Machines électriques tournantes – Partie 2-2: Méthodes spécifiques pour déterminer les pertes séparées des machines de grande taille – complément à la Partie 2-1 (CEI 2/1522/CDV:2008); Version allemande FprEN 60034-2-2:2008 Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-01-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren. Stellungnahmen werden erbeten – vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main. Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen. Gesamtumfang 47 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE	

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 60034-2-2:2008 „Drehende elektrische Maschinen – Teil 2-2: Besondere Verfahren zur Bestimmung der Einzelverluste großer elektrischer Maschinen aus Prüfungen in Ergänzung zu Teil 2-1“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 2/1522/CDV:2008 „Rotating electrical machines – Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from tests, supplementing Part 2-1“ unverändert in den Entwurf FprEN 60034-2-2:2008 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 2 „Rotating machinery“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

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

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 60034-1:2004	IEC 60034-1:2004	DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1):2005-04	VDE 0530-1
—	—	DIN EN 60034-1 Ber 1 (VDE 0530-1 Ber 1):2007-09	VDE 0530-1 Ber 1
EN 60034-2-1:2007	IEC 60034-2-1:2007	DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1):2008-08	VDE 0530-2-1

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

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

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

DIN EN 60034-2-1 (VDE 0530-2-1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 2-1: Standardverfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge)*

— **Entwurf** —

E DIN EN 60034-2-2 (VDE 0530-2-2):2009-01

– Leerseite –

Deutsche Fassung

**Drehende elektrische Maschinen –
Teil 2-2: Besondere Verfahren zur Bestimmung der Einzelverluste großer
elektrischer Maschinen aus Prüfungen in Ergänzung zu Teil 2-1**

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweisungen	2
3 Begriffe	2
4 Formelzeichen und Abkürzungen	3
4.1 Formelzeichen	3
4.2 Indizes	3
5 Grundlegende Anforderungen	4
5.1 Direkte und indirekte Wirkungsgradbestimmung	4
5.2 Messunsicherheit	4
5.3 Bevorzugte Verfahren	4
6 Allgemeine Festlegungen	5
6.1 Wirkungsgrad	5
6.2 Gesamtverluste	5
6.3 Lastabhängige Verluste	6
7 Verfahren	6
7.1 Prüfung mit kalibrierter Maschine	6
7.2 Auslaufprüfung	8
7.3 Kalorimetrisches Verfahren	14
 Bild 1 – Sehnungsverfahren	 11
Bild 2 – Referenzoberfläche	15
Bild 3 – Vier Kühler in Parallelschaltung, ein Kalorimeter, ein Kühlmittel	16
Bild 4 – Reihenschaltung von Kühlern, zwei Kühlmedien	17
Bild 5 – Bypass-Verrohrung	17
Bild 6 – Parallele Verrohrung	18
Bild 7 – Stoffeigenschaften von reinem Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur	20
 Tabelle 1 – Bevorzugte Verfahren für große Maschinen	 5

1 Anwendungsbereich

Diese Norm ist für große, rotierende elektrische Maschinen anwendbar und definiert zusätzliche Verfahren zur Bestimmung der Einzelverluste und zur Ermittlung des Wirkungsgrades in Ergänzung zu IEC 60034-2-1. Diese Verfahren sind als Werksprüfungen anwendbar, wenn eine Vollastprüfung praktisch nicht durchführbar ist und eine größere Messunsicherheit aufweist.

ANMERKUNG Die Vor-Ort-Prüfung nach dem kalorimetrischen Verfahren bei Vollast wird anerkannt.

Die im Folgenden beschriebenen spezifischen Prüfmethoden sind:

- Prüfung mit kalibrierter Maschine
- Auslaufprüfung
- Kalorimetrisches Verfahren

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 60034-2-1, Ed. 1, *Rotating electrical machines – Part 2-1: Methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60034-1 und IEC 60034-2-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

Kalibrierte Maschine

Ist eine Maschine, deren mechanische aufgenommene bzw. abgegebene Leistung mit geringer Unsicherheit bestimmt werden kann, indem die gemessene elektrische abgegebene bzw. aufgenommene Leistung gemäß eines definierten Prüfverfahrens ermittelt wird.

3.2

Prüfung mit kalibrierter Maschine

Ist ein Prüfverfahren, bei dem die mechanische aufgenommene bzw. abgegebene Leistung einer zu prüfenden elektrischen Maschine dadurch bestimmt wird, dass die elektrische aufgenommene bzw. abgegebene Leistung einer mechanisch an den Prüfling gekuppelten, kalibrierten Maschine gemessen wird.

3.3

Auslaufprüfung

Ist ein Prüfverfahren, bei dem die Einzelverluste einer zu prüfenden Maschine aus der Drehzahlabnahme der rotierenden Teile dieser Maschine bestimmt werden, wenn nur die jeweiligen Verluste vorhanden sind.

3.4

Kalorimetrisches Verfahren

Ist ein Prüfverfahren, bei dem die Verluste einer Maschine aus der Messung der von ihnen verursachten Erwärmung ermittelt werden.

3.5

Thermische Beharrung

Ist der Zustand, der erreicht wird, wenn der Temperaturanstieg der einzelnen Maschinenkomponenten nicht mehr als 2 K pro Stunde beträgt.

4 Formelzeichen und Abkürzungen

Zusätzlich zu den Symbolen und Abkürzungen nach IEC 60034-2-1 gelten die folgenden:

4.1 Formelzeichen

A	Fläche, m^2 ,
C	Auslaufkonstante, $\text{kg m}^2 \text{min}^{-2}$,
c_p	spezifische Wärmekapazität des Kühlmediums, $\text{J}/(\text{kg K})$,
h	Wärmeübergangskoeffizient, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$,
J	Massenträgheitsmoment, kg m^2 ,
n	Drehzahl, min^{-1} ,
P_{1E}	von einer separaten Quelle zugeführte Erregerleistung, W
P_c	konstante Verluste, W ,
P_e	Erregerleistung, W
P_{fe}	Eisenverluste, W ,
P_{fw}	Reibungs- und Lüftungsverluste, W ,
P_k	Kurzschlussverluste, W ,
P_T	Gesamtverluste, W ,
Q	Volumenstrom des Kühlmediums, m^3/s ,
t	Zeit, s ,
v	Austrittsgeschwindigkeit des Kühlmediums, m/s ,
Δp	Druckdifferenz zwischen dem statischen Druck in der Einlaufdüse und dem Umgebungsdruck, N/m^2 ,
$\Delta\theta$	Temperaturerhöhung des Kühlmediums oder Differenztemperatur zwischen der Referenzoberfläche der Maschine und der äußeren Umgebungstemperatur, K ,
α	Ablauf-Beiwert,
γ	Winkelverdrehung der Maschinenwelle,
δ	Abweichung der Maschinendrehzahl und der Bemessungsdrehzahl in per unit,
ρ	Dichte des Kühlmediums, kg/m^3 ,
θ	Temperatur, $^\circ\text{C}$.

4.2 Indizes

i	Innerhalb der Referenzoberfläche,
e	Außerhalb der Referenzoberfläche,
E	Erreger,
c	Kühlkreislauf,
N	Bemessungswert,
rs	Referenzoberfläche,
t	Prüfverfahren,
1	Eingangsgröße oder Anfangsbedingung,
2	Ausgangsgröße.

5 Grundlegende Anforderungen

5.1 Direkte und indirekte Wirkungsgradbestimmung

Die Prüfverfahren können in die folgenden Kategorien eingeteilt werden.

5.1.1 Direkt

Die Messung der Eingangs- und Ausgangsgrößen an einer einzelnen Maschine wird als direktes Prüfverfahren angesehen. Dieses umfasst die Messung der elektrischen oder mechanischen aufgenommenen Leistung und der mechanischen oder elektrischen abgegebenen Leistung der Maschine.

5.1.2 Indirekt

Die Messung der Einzelverluste einer Maschine unter bestimmten Betriebsbedingungen wird als indirektes Prüfverfahren angesehen. Üblicherweise werden nicht der Gesamtverlust, sondern bestimmte Verlustkomponenten ermittelt. Das Verfahren kann dennoch zur Berechnung der Gesamtverluste oder von Verlustkomponenten verwendet werden.

Die Bestimmung der Gesamtverluste muss mit einem der folgenden Verfahren erfolgen:

- Messung der gesamten Verluste;
- Bestimmung und Summierung der Einzelverluste.

ANMERKUNG Die Verfahren zur Bestimmung des Wirkungsgrades elektrischer Maschinen basieren auf verschiedenen Annahmen. Daher können Wirkungsgradangaben, die mit unterschiedlichen Verfahren ermittelt wurden, nicht miteinander verglichen werden.

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 von den geforderten Informationen, der geforderten Genauigkeit, der Art und Größe der beteiligten Maschine und der Verfügbarkeit der Prüfeinrichtungen (Einspeisung, Belastungs- oder Antriebsmaschine) ab.

Bevorzugte Verfahren für große Maschinen sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 – Bevorzugte Verfahren für große Maschinen

Zu bestimmende Größe	Verfahren	Abschnitt	Unsicherheit
Wirkungsgrad und gesamte Verluste	Kalibrierter Motor	7.1.4.1	Mittel
	Kalorimetrisch ¹⁾	7.3.3 #4	Niedrig/Mittel
Reibungs- und Lüftungsverluste	Kalibrierter Motor	7.1.4.2.1	Mittel
	Auslaufversuch	7.2.5.2	Mittel
	Kalorimetrisch	7.3.3 #1	Niedrig/Mittel
Eisenverluste und lastunabhängige Zusatzverluste	Kalibrierter Motor	7.1.4.2.2	Mittel
	Auslaufversuch	7.2.5.3	Mittel
	Kalorimetrisch	7.3.3 #2	Niedrig/Mittel
Wicklungsverluste und lastabhängige Zusatzverluste	Kalibrierter Motor	7.1.4.2.3	Mittel
	Auslaufversuch	7.2.5.5	Mittel
	Kalorimetrisch	7.3.3 #3	Niedrig/Mittel

6 Allgemeine Festlegungen

Diese Beziehungen sind für mehr als eine der oben angegebenen Methoden anwendbar.

6.1 Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ergibt sich zu:

$$\eta = \frac{P_1 + P_{1E} - P_T}{P_1 + P_{1E}} = \frac{P_2}{P_2 + P_T}$$

Dabei ist

P_1 aufgenommene Leistung, bis auf die von einer separaten Quelle zugeführte Erregerleistung;

P_2 abgegebene Leistung;

P_{1E} von einer separaten Quelle zugeführte Erregerleistung;

P_T Gesamtverluste entsprechend 6.26.2

ANMERKUNG 1 Üblicherweise wird der erste Ausdruck für Motoren, der zweite für Generatoren bevorzugt.

ANMERKUNG 2 P_T umfasst ggf. die Erregerleistung P_e der Maschine.

6.2 Gesamtverluste

Die Gesamtverluste müssen als die Summe der Einzelverluste aufgefasst werden.

Für Gleichstrommaschinen:

$$P_T = P_k + P_a + P_b + P_{LL} + P_e$$

$$P_e = P_f + P_E$$

$$P_K = P_{fw} + P_{fe}$$

¹⁾ Wenn der relative Fehler von P_1 (siehe 7.3.1) voraussichtlich mehr als 3 % beträgt, wird das kalorimetrische Verfahren nicht empfohlen.

Für Asynchronmaschinen:

$$P_T = P_k + P_s + P_r + P_{LL}$$

$$P_K = P_{fw} + P_{fe}$$

Für Synchronmaschinen:

$$P_T = P_k + P_s + P_{LL} + P_e$$

$$P_e = P_f + P_E$$

$$P_K = P_{fw} + P_{fe}$$

Dabei ist

P_a Verluste der Ankerwicklung

P_b Bürstenverluste

P_E Verluste der Erregermaschine

P_e Erregerleistung

P_f Erregerwicklungs-(Feldwicklungs-)verluste

P_{fe} Eisenverluste

P_{fw} Reibungs- und Lüftungsverluste

P_k Konstante (lastunabhängige) Verluste

P_{LL} lastabhängige Zusatzverluste

P_r Ständer-Wicklungsverluste

P_s Läuferwicklungsverluste

P_T Gesamtverluste

6.3 Lastabhängige Verluste

Lastabhängige Verluste werden am zuverlässigsten (mit der geringsten Unsicherheit) durch tatsächliche Messung bestimmt. Zum Beispiel: Messung von Strom, Widerstand usw. für Betrieb unter Volllast.

Falls dies nicht möglich ist, müssen diese Werte rechnerisch aus den Auslegungsparametern ermittelt werden.

Die Bestimmung hier nicht aufgelisteter Verlustanteile kann aus IEC 60034-2-1 ersehen werden.

7 Verfahren

Zur Bestimmung der Leistungsdaten bei einer die Prüfmöglichkeiten (beschrieben in IEC 60034-2-1) übersteigenden Maschinenleistung, können die folgenden Prüfverfahren angewendet werden.

ANMERKUNG Die genannten Methoden sind im Allgemeinen für Großmaschinen anzuwenden, bei denen der Aufwand für andere Verfahren unwirtschaftlich ist.

7.1 Prüfung mit kalibrierter Maschine

Die Prüfung mit kalibrierter Maschine kann zur Wirkungsgradbestimmung des Prüflings nach dem direkten Verfahren oder durch Summation der Einzelverluste angewendet werden.

7.1.1 Allgemeines

Das Verfahren wird im Allgemeinen als Werksprüfung angewandt.

Dieses Verfahren erfordert eine kalibrierte Maschine, die mechanisch mit der zu prüfenden Maschine gekuppelt wird, und wird angewendet, wenn weder eine Drehmomentmeseinrichtung noch ein

Dynamometer verfügbar sind. Die der zu prüfenden Maschine zugeführte mechanische Leistung wird aus der aufgenommenen elektrischen Leistung der kalibrierten Maschine berechnet.

7.1.2 Kalibrierung der Maschine

Sofern ein Getriebe direkt an die Maschine angekuppelt ist, muss dieses als Teil der kalibrierten Maschine aufgefasst werden.

Zur Kalibrierung einer elektrischen Maschine, vorzugsweise einer Gleichstrommaschine, ist nach einem der Verfahren nach IEC 60034-2-1 für eine ausreichende Anzahl von thermischen stabilen Lastpunkten (einschließlich Leerlauf) zu verfahren, um einen genauen Zusammenhang zwischen der abgegebenen Leistung und der aufgenommen Leistung zu erhalten, welcher entsprechend der Einlauftemperatur der Kühlluft/des Kühlmediums anzupassen ist. Diese Abhängigkeit wird üblicherweise in Form einer Kurve dargestellt.

ANMERKUNG Um genauere Messergebnisse zu erhalten ist es im Allgemeinen ratsam, die Messinstrumente in jedem Lastpunkt mehrfach, in kurzen Zeitabständen abzulesen und die Ergebnisse zu mitteln.

7.1.3 Prüfverfahren

Die zu prüfende Maschine muss mit Wicklungsthermometern (ETF) ausgestattet sein.

Die zu prüfende Maschine muss, wie für den bestimmungsgemäßen Betrieb, vollständig zusammengebaut sein.

Vor Beginn der Prüfung sind die Wicklungswiderstände und die Temperatur aufzuzeichnen.

Die Maschine, für die die Leistungsdaten bestimmt werden sollen, muss mechanisch mit der kalibrierten Maschine gekuppelt und mit einer der synchronen Drehzahl/Bemessungsdrehzahl entsprechenden Drehzahl betrieben werden.

Die kalibrierte Maschine und die zu prüfende Maschine sind entweder mit Bemessungslast, mit Teillast, im unerregten Leerlauf mit oder ohne Bürsten, im erregten Leerlauf mit Bemessungsspannung oder auch im Kurzschluss zu betreiben. Dadurch können unterschiedliche Verlustkategorien ermittelt werden.

Wenn die zu prüfende Maschine mit den spezifizierten Prüfbedingungen betrieben wird und thermische Beharrung erreicht hat, sind aufzuzeichnen:

ANMERKUNG Das folgende Beispiel gilt für die Prüfung mit einem kalibrierten Motor.

– für die kalibrierte Maschine

P_1 = Leistung

I_1 = Strom

θ_1 = Wicklungstemperatur

$n_1 = n_2$ = Drehzahl

– für die zu prüfende Maschine

P_2 = Leistung

U_2 = Spannung

I_2 = Strom

θ_2 = Wicklungstemperatur

Nach Durchführung einer jeden Prüfung sind die Maschinen zu stoppen und die folgenden Größen in der angegebenen Reihenfolge aufzuzeichnen:

- Wicklungswiderstände der zu prüfenden Maschine;
- Wicklungswiderstände der kalibrierten Maschine.

Abschließend ist die kalibrierte Maschine ohne elektrische Verbindung der zu prüfenden Maschine zu betreiben und die oben angegebenen Werte sind aufzuzeichnen.

7.1.4 Bestimmung der Betriebseigenschaften

Mittels der nach 7.1.2 bestimmten Kurve und unter Verwendung der Eingangsgrößen der kalibrierten Maschine ist die entsprechende abgegebene Leistung der zu prüfenden Maschine zu ermitteln.

Die abgegebene Leistung ist auf eine einheitliche Umgebungstemperatur zu beziehen.

Die Bestimmung der Erregerleistung muss in Übereinstimmung mit IEC 60034-2-1 erfolgen.

7.1.4.1 Wirkungsgrad

Bei Prüfung gemäß 7.1.3 ergibt sich der Wirkungsgrad der zu prüfenden Maschine zu:

$$\eta = \frac{P_2}{P_{12}} \quad \text{zu prüfende Maschine im Generatorbetrieb, kalibrierte Maschine im Motorbetrieb}$$

Dabei ist

P_2 abgegebene Leistung der als Generator betriebenen, zu prüfenden Maschine

P_{12} ist die gemäß 7.1.3 berechnete zugeführte Leistung der als Generator betriebenen und zu prüfenden Maschine

und

$$\eta = \frac{P_{21}}{P_1} \quad \text{zu prüfende Maschine im Motorbetrieb, kalibrierte Maschine im Generatorbetrieb}$$

Dabei ist

P_1 zugeführte Leistung der als Motor betriebenen, zu prüfenden Maschine

P_{21} ist die berechnete abgegebene Leistung der als Motor betriebenen, zu prüfenden Maschine

7.1.4.2 Einzelverluste

Unter Verwendung von Leistungswerten P , die mittels der Kalibrierungskurve ermittelt werden, ist es möglich, die von der zu prüfenden Maschine aufgenommene Leistung für andere, ausgewählte Betriebspunkte zu bestimmen:

- 7.1.4.2.1. Reibungs- und Lüftungsverluste (wenn die zu prüfende Maschine nicht mit einer elektrischen Einspeisung verbunden ist);
- 7.1.4.2.2. Eisenverluste und lastunabhängige Zusatzverluste von Gleichstrom- und Synchronmaschinen (bei Prüfung im Leerlauf, abzüglich der Reibungs- und Lüftungsverluste);
- 7.1.4.2.3. Wicklungsverluste und lastabhängige Zusatzverluste von Synchronmaschinen (bei Prüfung im Kurzschluss).

7.2 Auslaufprüfung

Die Auslaufprüfung kann zur Bestimmung der Einzelverluste rotierender elektrischer Maschinen verwendet werden, die ein nennenswertes Rotor-Trägheitsmoment aufweisen.

Die Auslaufprüfung wird verwendet zur Bestimmung von:

- der Summe der Reibungs- und Lüftungsverluste („Mechanische Verluste“) von Maschinen jeglicher Ausführung;
- der Summe der Eisenverluste und der lastunabhängigen Zusatzverluste von Gleichstrom- und Synchronmaschinen;
- Summe der Stromwärmeverluste (I^2R -Verluste) in einer stromdurchflossenen Wicklung und der lastabhängigen Zusatzverluste („Kurzschlussverluste“) von Synchronmaschinen.

7.2.1 Grundlagen

Die zu messenden Gesamtverluste P_t , welche die Maschine bremsen, sind proportional dem Produkt aus der Drehzahl, der diese Verluste zuzuordnen sind, und der Verzögerung bei dieser Drehzahl:

$$P_t = -C_n \frac{dn}{dt}$$

Dabei ist

- n Drehzahl, min^{-1} ;
 P_t zu messende Gesamtverluste, W;
 C Auslaufkonstante gemäß 7.2.4;
 dn/dt Verzögerung gemäß 7.2.3.

ANMERKUNG Die Genauigkeit der Auslaufprüfung ist unmittelbar abhängig von der genauen Kenntnis der Auslaufkonstanten C , welche einzig vom Trägheitsmoment J bestimmt wird (siehe 7.2.4).

7.2.2 Prüfverfahren

7.2.2.1 Zustand der zu prüfenden Maschine

Die zu prüfende Maschine muss, so wie für den bestimmungsgemäßen Betrieb, vollständig montiert und darf nicht mit anderen drehenden Teilen gekuppelt sein. Ein geeigneter Drehzahlgeber muss am rotierenden Teil angebracht werden.

ANMERKUNG Wenn die Maschine nicht abgekuppelt werden kann, müssen alle möglichen Vorkehrungen getroffen werden, um die mechanischen Verluste in den anderen drehenden Teilen zu reduzieren, z.B. durch Teil-Demontage oder bei einer Wasserturbine, indem Wasser aus der Laufradkammer abgelassen wird. Drehung des Laufrades in Luft erzeugt Lüftungsverluste, diese sind entweder experimentell oder aus Berechnungen zu ermitteln.

7.2.2.2 Vorbereitung der Maschine für die Prüfungen

Die zu prüfende Maschine ist als Motor im Leerlauf zu betreiben. Die Speisung erfolgt durch eine gesonderte Energiequelle, die über einen weiten Bereich variabel in der Frequenz einstellbar ist. Jegliche Erregung muss durch eine gesonderte Energiequelle mit einer schnellen und genauen Spannungsregelung erfolgen.

ANMERKUNG 1 Die zu prüfende Maschine kann von ihrer bestimmungsgemäßen Antriebsmaschine angetrieben werden, z. B. von einer Pelton-Turbine, wenn die Wasserzufuhr zum Laufrad augenblicklich abgestellt werden kann.

ANMERKUNG 2 Die Erregung durch die eigene, mechanisch gekuppelte Erregermaschine wird im Prinzip nicht empfohlen; sie darf jedoch in solchen Fällen zugelassen werden, in denen der Wert der Drehzahlabweichung δ den Wert 0,05 nicht überschreitet. In diesem Fall müssen die Verluste in der mit der Welle der zu prüfenden Maschine gekuppelten Erregermaschine berücksichtigt werden.

Die Lagertemperaturen müssen durch Anpassung des Kühlmittelflusses auf die bestimmungsgemäße Temperatur eingestellt werden, welche sich für die Lager im Bemessungsbetrieb ergibt.

Die Lufttemperatur muss nach Möglichkeit durch Drosseln des Kühlluftstroms auf die bestimmungsgemäße Temperatur eingestellt werden, bei der die Messung der Lüftungsverluste zu erfolgen hat.

7.2.2.3 Vorbereitung der Prüfung

Die Auslaufversuche müssen nach Möglichkeit ohne Unterbrechung nacheinander durchgeführt werden. Es wird empfohlen, die Reihe mit Auslaufversuchen an einer nicht erregten Maschine zu beginnen und zu beenden.

Alle Versuche müssen mehrere Male mit den vorgegebenen Sollwerten der Leerlaufspannung oder des Kurzschluss-Stroms wiederholt werden.

Es ist ein Wert δ (Abweichung der Drehzahl von der Bemessungsdrehzahl in per unit) zu wählen. Dieser darf nicht größer sein als 0,1 und muss in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Maschine gegebenenfalls kleiner gewählt werden.

7.2.2.4 Prüfungen

Die zu prüfende Maschine ist rasch auf eine Drehzahl oberhalb von $n_N (1 + \delta)$ zu beschleunigen. Die Maschine ist dann von der Energieversorgung zu trennen. Zwischen dem Abschalten der Energieversorgung und dem Beginn der Messungen muss eine ausreichende Zeitspanne zum Abklingen elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge vorgesehen werden.

Während des Auslaufs auf $n_N (1 - \delta)$ ist die zu prüfende Maschine in den erforderlichen Zuständen zu betreiben, die die im Folgenden aufgeführten und durchnummerierten Prüfungen bedingen:

1. unerregter Auslauf
2. Auslauf im Leerlauf bei Erregung auf Bemessungsspannung
3. Entregung der Maschine, Kurzschließen der Anker-Anschlussklemmen, Auslauf der Maschine mit einer Anker-Bemessungsstrom entsprechenden Erregung

ANMERKUNG Alternativ kann die Prüfung mit verschiedenen Werten, in Grenzen der Größenordnung 95 % bis 105 % des Bemessungskurzschluss-Stroms, durchgeführt werden.

Wenn das Massenträgheitsmoment nicht bekannt ist, müssen zusätzliche Auslaufversuche mit den gleichen Sollwerten wie nach 3) durchgeführt werden. Die Durchführung muss nach einem der Verfahren 4) bis 6) erfolgen:

4. Entregung der Maschine, Anschließen der zu prüfenden Maschine an einen Transformator im Leerlauf, Auslauf der Maschine mit einer den geforderten Werten für Strom oder Leerlaufspannung entsprechenden Erregung
5. Entregung der Maschine, Anschließen der zu prüfenden Maschine an einen Transformator im Kurzschluss
6. Entregung der Maschine, gleichzeitig wird die Erregermaschine mit einem zuvor definierten Lastwiderstand belastet

Jeder Auslaufversuch muss mindestens zweimal wiederholt werden.

7.2.2.5 Messungen

Die Messung von Strömen und Spannungen muss zu dem Zeitaugenblick erfolgen, in dem die zu prüfende Maschine die Bemessungsdrehzahl durchläuft; im Fall eines Auslaufversuchs ohne Erregung sind keine Ablesungen zu diesem Zeitpunkt erforderlich.

ANMERKUNG Die Leistung im Erregerkreis muss gemessen werden, wenn die Erregung nicht durch eine separate Quelle zur Verfügung gestellt wird.

Die Messwerte der Leerlaufspannung oder des Kurzschlussstroms dürfen von den Sollwerten nicht mehr als $\pm 2\%$ abweichen. Der berechnete Endwert der zeitlichen Drehzahableitung muss für jeden Versuch proportional zu dem Verhältnis der Quadrate von Sollwert und Messwert eingestellt werden.

Aufzeichnungsgeräte hoher Genauigkeit müssen zur kontinuierlichen oder diskreten Aufzeichnung der Messwerte von Drehzahl und Zeit verwendet werden.

Für jeden Prüfpunkt sind ausreichend viele Messwerte aufzunehmen, um die Drehzahlpunkte $n_N (1 + \delta)$ und $n_N (1 - \delta)$ als Funktion der Zeit genau bestimmen zu können.

7.2.2.5.1 Für alle Prüfungen:

Für alle Prüfungen sind aufzuzeichnen:

n als Funktion von t ; (Bei kurzgeschlossener Ankerwicklung).

Für die folgenden Prüfungen sind zusätzlich aufzuzeichnen:

Die jeweilige Prüfung wird dabei durch die Nummer des Index gekennzeichnet.

7.2.2.5.2 Prüfung 2:

P_2 während des anfänglichen Betriebs mit Bemessungsspannung (siehe 7.2.4.2.1)

U_2 Leerlauf-Bemessungsspannung

7.2.2.5.3 Prüfung 3 (für Synchronmaschinen):

I_a Ankerstrom

7.2.2.5.4 Prüfung 4:

P_4 Leerlaufverluste des Transformators

U_4 Leerlauf-Bemessungsspannung

7.2.2.5.5 Prüfung 5:

P_5 Kurzschlussverluste des Transformators

I_k Kurzschluss-Strom

7.2.2.5.6 Prüfung 6:

P_6 Belastung der Erregermaschine oder des Hilfsgenerators

7.2.3 Bestimmung der Verzögerung

Das Sehnungsverfahren erfordert die Messung der Zeitspanne $(t_2 - t_1)$, während der sich die Drehzahl der geprüften Maschine von $n_N (1 + \delta)$ auf $n_N (1 - \delta)$ vermindert, siehe Bild 1. Das Verhältnis der Drehzahlspanne $2 \delta n_N$ zur Zeitspanne $(t_2 - t_1)$ ist annähernd die Verzögerung bei Bemessungsdrehzahl:

$$\frac{2 \delta n_N}{t_2 - t_1} \approx - \left. \frac{dn}{dt} \right|_{n=n_N}$$

Dabei ist

δ Abweichung der Drehzahl von der Bemessungsdrehzahl in per unit.

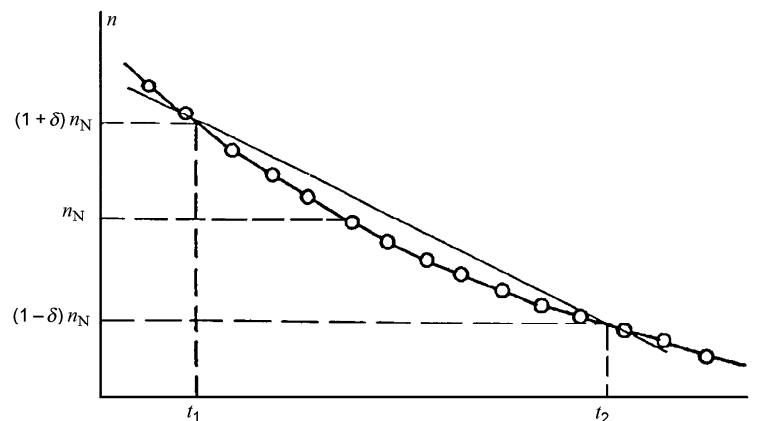


Bild 1 – Sehnungsverfahren

Die Verzögerung ist für die erforderlichen Prüfungen zu bestimmen und aufzuzeichnen in der Form:

$$\left. \frac{dn}{dt} \right|_t$$

Dabei ist

t die Nummer der Prüfung entsprechend 7.2.2.4.

ANMERKUNG Entsprechend der Definition gemäß 7.2.3 ist dn/dt ein negativer Wert.

7.2.4 Bestimmung der Auslaufkonstanten

7.2.4.1 Bei bekanntem Massenträgheitsmoment

Wenn das Massenträgheitsmoment des rotierenden Teils einer elektrischen Maschine vor der Prüfung entweder durch eine Messung (bevorzugtes Verfahren) oder rechnerisch bestimmt wurde, ergibt sich die Auslaufkonstante zu: