

DIN EN 50629

ICS 29.180

Einsprüche bis 2015-04-20

Entwurf**Energiekennwerte von Großleistungstransformatoren
(Um > 36 kV oder Sr ≥ 40 MVA);
Deutsche Fassung FprEN 50629:2014**

Energy performance of large power transformers
(Um > 36 kV or Sr ≥ 40 MVA);
German version FprEN 50629:2014

Performance énergétique des transformateurs de grande puissance
(Um > 36 kV ou Sr ≥ 40 MVA);
Version allemande FprEN 50629:2014

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-02-20 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 online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 80 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 50629:2014 „Energiekennwerte von Großleistungstransformatoren ($U_m > 36$ kV oder $S_r \geq 40$ MVA)“ (Schluss-Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und der Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung der FprEN 50629:2014 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Das europäische Dokument FprEN 50629:2014 „Energy performance of large power transformers ($U_m > 36$ kV oder $S_r \geq 40$ MVA)“ wurde vom TC 14 „Power transformers“ des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC) erarbeitet und von CENELEC den Nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 321.2 „Transformatoren, Leistungen und Abmessungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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 ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

**Energiekennwerte von Großleistungstransformatoren
($U_m > 36$ kV oder $S_r \geq 40$ MVA)**

Energy performance of large power
transformers ($U_m > 36$ kV or $S_r \geq 40$ MVA)

Performance énergétique des transformateurs de
grande puissance ($U_m > 36$ kV ou $S_r \geq 40$ MVA)

Dieser Entwurf für eine Europäische Norm wird den CENELEC-Mitgliedern zur CENELEC-Umfrage vorgelegt.
CENELEC Termin: 2014-12-09

Er wurde von CLC/TC 14 erstellt.

Wenn aus diesem Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CENELEC-Mitglieder 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.

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

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

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Warnvermerk: Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.

CENELEC

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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2014 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Projekt: 25005

Ref. Nr. FprEN 50629:2014 D

AVA Documents
Document Sharing Hub

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	7
4 Berechnung des Wirkungsgrads und des Effizienzindex	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Allgemeine Gleichung für den Efficiency Index (Wirkungsgrad)	8
4.3 Peak Efficiency Index	9
5 Minimalwerte des Peak Efficiency Index (maximalen Wirkungsgrades).....	9
5.1 Standardisierte Werte für den minimalen Wert des PEI.....	9
5.2 Optimierung von Transformatorverlusten in Abhängigkeit von ihrer Anwendung.....	11
5.3 Daten auf dem Leistungsschild	11
5.4 Transformator-Datenbestände	12
5.5 Toleranzen.....	12
6 Ausschlüsse und Ausnahmen von der minimalen PEI Anforderung.....	13
7 Kapitalisierung der Verluste	13
Anhang A (informativ) Gleichung für Maximalen Wirkungsgrad (PEI)	14
Anhang B (informativ) Formblatt zur Erhebung der Wirkungsgraddaten	17
Anhang C (informativ) Benchmark für den PEI	21
Anhang D (informativ) Berücksichtigung von kapitalisierten Kosten.....	30
Anhang E (informativ) Minimaler PEI für Trockentransformatoren mit großer Leistung	38
Anhang ZZ (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den Anforderungen der Verordnung der Kommission (EC) Nr. 548/2014 vom 21. Mai 2014 zur Umsetzung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf Kleinleistungs-, Mittelleistungs- und Großleistungstransformatoren.....	39
Literaturhinweise.....	40
Bilder	
Bild 1 – Bild des minimalen Peak Efficiency Index (Maximalen Wirkungsgrades).....	11
Bild A.1 – Das Bild zeigt den Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad und Lastfaktor	15
Bild C.2 – PEI Verteilung	23
Bild C.3 – PEI Verteilung nach Spannungsklasse.....	24
Bild C.4 – PEI Verteilung nach Einsatz	24
Bild C.5 – Vergleich der statistischen Verteilung des PEI für T1 und T2	25
Bild C.6 – Vergleich der Benchmark-Daten für das effektive Perzentil mit T1 und T2.....	25
Bild D.1 – Beispiel für den Einfluss der Kapitalisierungskosten auf die Transformatorverluste	31
Bild D.2 – Veranschaulichung des Lastprofils	33

Tabellen

Tabelle 1 – Werte für minimalen Maximalen Wirkungsgrad (PEI)	10
Tabelle C.1 – Vergleichszahlen nach der Anzahl von installierten Einheiten (PEI)	22
Tabelle C.2 – Vergleichszahlen nach Designs (PEI)	22
Tabelle I.8 Mindestwerte für den PEI (maximalen Wirkungsgrad) von Leistung- Trockentransformatoren	38
Tabelle ZZ.1 — Übereinstimmung zwischen dieser Europäischen Norm und der Verordnung der Kommission (EC) Nr. 548/2014	39

Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 50629:2014) wurde vom Technischen Komitee CLC/TC 14 „Power transformers“ erarbeitet.

Dieses Dokument wird zurzeit dem zweiten Einstufigen Annahmeverfahren unterzogen

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene angekündigt werden muss (doa): dor + 6 Monate
- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): dor + 12 Monate
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): dor + 36 Monate
(bei der Abstimmung zu bestätigen oder zu ändern)

Dieses Dokument wurde unter einem an CENELEC gerichteten Mandat der Europäischen Kommission (EC) und der Europäischen Freihandelszone (EFTA) erarbeitet.

Einleitung

Diese europäische Norm wurde im Auftrag der Europäischen Kommission unter dem Mandat EC 24/2011 im Rahmen der Richtlinie 2009/125/EC des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 erstellt, die Rahmenbedingungen für die Vorgabe von Ecodesign-Anforderungen in Bezug auf Produkte für den Energiesektor festlegten.

Die Leistungstransformatoren mit einer $U_m > 36 \text{ kV}$, die in diesem Dokument berücksichtigt sind, haben eine Bemessungsleistung hauptsächlich im Bereich zwischen 4 MVA und 1 000 MVA.

Es wird berücksichtigt, dass der in diesem Dokument beschriebene Ansatz der Energiekenngröße auch auf Transformatoren anwendbar ist, die nicht im Umfang dieses Standards enthalten sind.

Für Großleistungstransformatoren ist die strenge Definition des Wirkungsgrades basierend auf der übertragenen und verbrauchter Wirkleistung alleine nicht zur Evaluierung der Energiekenngröße geeignet, da die Verluste entweder konstant (Leerlaufverluste) oder vom Strom (Lastverluste) abhängig sind, und daher null ergeben würden, wenn nur Blindleistung übertragen wird. (Die Übertragung von Blindleistung ist sehr wichtig für den Betrieb von Netzen). Daher ist die konventionelle Wirkungsgradberechnung für einen Vergleich von Transformatorenauslegungen, die innerhalb eines Spektrums von Betriebsbedingungen eingesetzt werden können, nicht zweckmäßig.

Im allgemeinen ist es bei LPT (Großleistungstransformatoren) nicht möglich, optimale Werte für Last und Leerlaufverluste bei einer bestimmten Leistung anzugeben, da eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungen die Energiekenngröße beeinflusst.

Für die Definition eines Index für einen spezifischen Transformator, der jedoch innerhalb eines großen Bereichs anwendbar ist und nicht von einer Sekunde zur anderen in Abhängigkeit von den Systembedingungen variiert, muss die Energiekenngröße von Leistungstransformatoren charakterisiert werden. Zu diesem Zweck wurde ein Parameter – der Peak Efficiency Index – (PEI) – entwickelt. Er basiert auf den Verlusten verursacht durch die Wirkleistung und die gesamte übertragene Leistung und ist unabhängig vom Phasenwinkel der Last, vom Lastfaktor und der Bemessungsleistung.

Dieses Dokument stellt eine Standardmethode zur Verfügung um die Energiekenngröße von Leistungstransformatoren mit Hilfe des Peak Efficiency Index zu bewerten, beinhaltet Vergleichswerte für den PEI und erklärt, warum bestimmte Transformatoren Wirkungsgrade aufweisen, die höher oder niedriger sind als die Vergleichswerte.

Die Festlegung eines angemessenen Wertes für den minimalen Peak Efficiency Index wird den Wirkungsgrad der gesamten installierten Transformatoren beeinflussen, da jene Einheiten mit niedrigem Wirkungsgrad eliminiert werden, mit Ausnahme von einigen Transformatoren, die speziellen Einschränkungen unterliegen.

Mit der Verwendung eines Minimalwertes für den Peak Efficiency Index wird eine Untergrenze für den Wirkungsgrad eines Transformators festgelegt, jedoch ist die Anwendung einer geeigneten Verlustkapitalisierung beim Kauf von Transformatoren Voraussetzung, um den Transformator mit dem wirtschaftlich besten Wirkungsgrad auszuwählen. Benutzer, die sich nicht der Verlustkapitalisierung bedienen, sollten dringend die Vorteile dieser Vorgehensweise prüfen.

Bei großen Einheiten über 100 MVA kann der wirtschaftlich erreichbare Wirkungsgrad eines Transformators durch die technischen Parameter des Netzes (z. B. Impedanz) sowie spezifische Rahmenbedingungen für Transport und Aufstellung begrenzt sein. Da die betreffenden Einheiten normalerweise von den Betreibern großer Energieübertragungssysteme erworben werden, die in der Regel hohe Verlustkapitalisierungswerte verwenden, entsprechen diese Einheiten von über 100 MVA in puncto Wirkungsgrad üblicherweise bereits dem Stand der Technik.

Bei Transformatoren unüblicher Konfiguration oder mit erheblichen Größen- oder Gewichtsbeschränkungen kann es aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen unzweckmäßig sein, die Mindestanforderung in Bezug auf den Wirkungsgrad zu erfüllen. In diesen Fällen wird der Nachweis annehmbar sein, dass der höchste zumutbare Wirkungsgrad erreicht wurde (siehe Abs. 6).

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für Dreiphasen- und Einphasen-Leistungstransformatoren mit einer größten Spannung für Betriebsmittel größer 36kV und einer Bemessungsleistung größer oder gleich 5kVA, oder einer Bemessungsleistung größer oder gleich 40 MVA, unabhängig von der größten Spannung für Betriebsmittel.

Der Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm ist Folgender:

- Definition des entsprechenden Energie-Wirkungsgrad-Kriteriums.
- Festlegen von minimalen Referenz-Wirkungsgraden basierend auf einem Vergleich der Energieeffizienz der neuen in Europa in den letzten 10 Jahren installierten Transformatoren.
- Vorschlagen von höheren Mindestwirkungsgraden, um die Energieeffizienz von neuen Transformatoren zu erhöhen.
- Erstellen eines Leitfadens, wie die TCO (Gesamtheit der Kosten über den gesamten Lebenszyklus) zu berücksichtigen sind.

Diese Europäische Norm beinhaltet auch ein Formblatt zur Erfassung der Effizienzdaten, um die Daten für zukünftige Vergleiche des Wirkungsgrades zur Verfügung zu haben.

Transformatoren außerhalb des Geltungsbereichs dieses Dokuments sind:

- Messwandler;
- Erdungstransformatoren;
- Traktionstransformatoren, die auf einem Schienenfahrzeug installiert sind;
- Anlasstransformatoren,
- Prüftransformatoren;
- Schweißtransformatoren
- Transformatoren, die eigens für explosionsgeschützte Anwendungen bzw. Untertagebau ausgelegt sind;
- Transformatoren für Tiefseeanwendungen.

Zu beachten ist auch Abschnitt 6. In diesem Abschnitt sind Transformatoren aufgelistet, für die der Inhalt dieses Dokuments gültig ist, aber noch keine Daten gesammelt wurden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

EN 60076 (alle Teile), *Power transformers (IEC 60076, alle Teile)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 60076-1, 3.1, und die folgenden Begriffe.

3.1

Großleistungstransformatoren (LPT)

Leistungstransformatoren mit einer größte Spannung für Betriebsmittel von mehr als 36kV und einer Bemessungsleistung von mindestens 5kVA oder mit einer Bemessungsleistung von mindestens 40 MVA, unabhängig von der höchsten Spannung für Betriebsmittel.

3.2

Lastfaktor

k

Verhältnis von Laststrom zu Nennstrom des Transformators.

Anmerkung 1 zum Begriff: Normalerweise $0 \leq k \leq 1$.

3.3

Übertragene Scheinleistung

kSr

Produkt aus Lastfaktor und Bemessungsleistung des Transformators

3.4

Efficiency Index

(EI)

Verhältnis zwischen der abgegebenen Scheinleistung eines Transformators abzüglich der elektrischen Verluste und der abgegebenen Scheinleistung des Transformators.

3.5

Peak Efficiency Index (Maximaler Wirkungsgrad) (PEI)

Dies ist der höchste Wert des Wirkungsgrads, der bei optimalem Leistungsfaktor erreicht werden kann.

3.6

Lastfaktor des Peak Efficiency Index (k_{PEI})

Lastfaktor, bei dem der maximale Wirkungsgrad auftritt.

3.7

Ausgewiesener Wert

Wert, welcher durch den Hersteller im Angebot angegeben wird.

4 Berechnung des Wirkungsgrads und des Effizienzindex

4.1 Allgemeines

Die Energieeffizienz von Transformatoren kann auf verschiedene Weise angegeben werden, grundsätzlich aber unter Angabe von:

- a) Leerlauf- und Lastverlusten bei Nennlast oder einer bestimmten Referenzleistung;
- b) Wirkungsgrad bei einem definierten Leistungsfaktor und einem bestimmten Lastfaktor, zum Beispiel 50% oder 100% der Nennlast.
- c) Peak Efficiency Index (maximaler Wirkungsgrad) und die Last, bei der dieser auftritt.

Die allgemeine Definition des Wirkungsgrades ergibt einige Schwierigkeiten, zum Beispiel, ob der Verbrauch der elektrischen Energie des Kühlsystems bei Leerlauf oder bei einer bestimmten Last in die Berechnung mit einbezogen werden soll.

Für den Anwendungsbereich dieser Norm wurde der Peak Efficiency Index (maximaler Wirkungsgrad) als Vergleichswert für Wirkungsgrade festgelegt, da er keinen bestimmten Lastfaktor beinhaltet (der je nach Anwendung stark variieren kann) und nicht direkt von der Bemessungsleistung des Transformators abhängig ist. Der maximale Wirkungsgrad ist ein systemimmanenter Wert des Transformators, der unabhängig davon ist, ob der Transformator unterschiedliche Leistungen in Abhängigkeit von der Kühlauslegung hat.

Der Peak Efficiency Index beinhaltet die Verluste des Kühlsystems, welches im Leerlauf arbeitet. Dabei wird angenommen, dass bei der Belastung bei maximalem Wirkungsgrad nur dieses Kühlsystem in Betrieb ist und die zusätzliche Kühlung, die zur Erreichung der Bemessungsleistung notwendig ist, ausgeschaltet ist.

BEMERKUNG: Wenn das Verlustkapitalisierungsverfahren während des Beschaffungsprozesses des Transformators verwendet wird, kann erwartet werden, dass der Peak Efficiency Index (maximaler Wirkungsgrad) ungefähr bei der Belastung auftritt, bei der das Verhältnis zwischen Last- und Leerlaufverlusten gleich ist dem Verhältnis zwischen den Kapitalisierungswerten für Last- und Leerlaufverluste, außer sofern dies um die relativen Kosten zur Verminderung der Last- und Leerlaufverluste verändert wurde (siehe Anhang D).

4.2 Allgemeine Gleichung für den Efficiency Index (Wirkungsgrad)

Der Wirkungsgrad wird nach Gleichung 1 berechnet:

$$EI = \frac{kS_r \cdot (P_0 + P_{c0}) - (k^2 P_k + P_{ck}(k))}{kS_r} \quad (\text{pu}) \quad (1)$$

Dabei ist

P_0	den Leerlaufverlust gemessen bei Nennspannung und Nennfrequenz in der Nennstellung darstellt
P_{c0}	die elektrische Leistung darstellt, die das Kühlsystem für den Leerlaufbetrieb benötigt. Diese wird durch die Leistungsmessungen bei der Typenprüfung der Ventilatoren bzw. der Ölpumpen bestimmt.
P_k	die gemessenen Lastverluste bei Nennstrom und Nennfrequenz in Nennstellung, korrigiert auf Referenztemperatur nach EN 60076-1, darstellt.
$P_{ck}(k)$	stellt die zusätzliche elektrische Leistung dar, die das Kühlsystem (zusätzlich zu P_{c0}) benötigt, um bei k-facher Nennlast übertragen zu können. Diese wird durch die Leistungsmessungen bei der Typenprüfung der Ventilatoren bzw. der Ölpumpen bestimmt.
S_r	stellt die Bemessungsleistung eines Transformators oder Spartransformators dar, auf der P_k basiert.
k	ist der Lastfaktor.

ANMERKUNG Diese Betrachtungsweise liegt auf einer Linie mit EN 60076 (alle Teile), die die Bemessungsleistung auf die Nennspannung und den Nennstrom einer Transformatorwicklung bezieht.

Die Bestimmung von P_{c0} aus den Messungen der Typprüfung für den gesamten Leistungsverbrauch des Kühlsystems für Lüfter und Pumpen, welche entweder ein- oder ausgeschaltet sind, wird dahingehend durchgeführt, dass der für den Leerlaufbetrieb zu erwartende Anteil der Lüfter bzw. Pumpen mit dem Gesamtleistungsverbrauch der Lüfter bzw. Pumpen multipliziert wird. Falls die Lüfter und Pumpen Regelantriebe aufweisen, ist eventuell eine zusätzliche Messung im Rahmen der Typprüfung erforderlich, um die P_{c0} zu bestimmen. Zur Bestimmung der $P_{ck}(k)$ wird die gleiche Vorgangsweise empfohlen. Es sind keine routinemäßigen Messungen der Leistungsaufnahme des Kühlsystems notwendig.

Zur Berechnung des PEI muss Folgendes beachtet werden.

- a) Die Bezugstemperatur für Öltransformatoren mit einer mittleren Wicklungs-Nenntemperatur kleiner oder gleich 65 K bei OF bzw. ON oder 70 K bei OD beträgt 75°C,
- b) Bei Transformatoren mit einer anderen mittleren Wicklungs-Nenntemperatur ist die Bezugstemperatur gleich der mittleren Nenn-Wicklungserwärmung +20°C oder gleich der mittleren Nenn-Wicklungserwärmung + der mittleren jährlichen Temperatur des externen Kühlmediums, je nachdem, welcher Wert höher ist.

Wenn ein Käufer Transformatoren mit unterschiedlichem Isolationssystemen und unterschiedlicher mittleren Wicklungserwärmung vergleichen muss, sollte die Bezugstemperatur dem vorstehenden Punkt b) entsprechen.

Für den Geltungsbereich dieses Dokuments und zur Vereinfachung wird üblicherweise angenommen, dass:

- die Spannungs- und der Laststrom symmetrisch und sinsusförmig sind;
- die Versorgungsspannung gleich der Nennspannung ist.

4.3 Peak Efficiency Index

Den Peak Efficiency Index (maximalen Wirkungsgrad) erhält man, wenn die Leerlaufverluste gleich den Lastverlusten sind (siehe Anhang A); er wird bestimmt, indem man $k=k_{PEI}$ in Gleichung 1 mit Gleichung 2 ersetzt.

$$k_{PEI} = \sqrt{\frac{P_O + P_{cO}}{P_k}} \text{ (pu)} \quad (2)$$

Zur Erklärung der Symbole siehe Abschnitt 4.2, Gleichung 1

Die Gleichung zur Berechnung des Peak Efficiency Index (maximalen Wirkungsgrads) ist somit durch Gleichung 3 definiert:

$$PEI = 1 - \frac{2(P_O + P_{cO})}{S_r \sqrt{\frac{P_O + P_{cO}}{P_k}}} \text{ (pu)} \quad (3)$$

Zur Erklärung der Symbole siehe Abschnitt 4.2, Gleichung 1

Der Peak Efficiency Index (maximale Wirkungsgrad) beinhaltet die Verluste des Kühlsystems, das ständig in Betrieb ist. Dies setzt voraus, dass bei der Belastung zum Peak Efficiency Index nur diese Kühlung in Betrieb ist; die Kühler, die erforderlich sind, um die Bemessungsleistung zu erreichen, sind nicht im Betrieb.

ANMERKUNG Der Wert aus Gleichung 3 ist abhängig von Verhältnis $S_r/\sqrt{P_k}$. Dieser Wert variiert nicht nennenswert, wenn sich S_r verändert (z. B. wenn sich die Kühlungsart ändert), vorausgesetzt dass P_k bei S_r gemessen wurde. Die Verluste müssen konform zu den in der Normenreihe EN 60076 aufgeführten Methoden gemessen werden, um eine akzeptable Messunsicherheit zu erreichen.

Im Prüfbericht des Transformators muss der PEI und der dazugehörige k_{PEI} angeführt werden.

5 Minimalwerte des Peak Efficiency Index (maximalen Wirkungsgrades)

5.1 Standardisierte Werte für den minimalen Wert des PEI

Die minimalen Werte für den PEI für ölgefüllte Transformatoren sind in Tabelle 1 angeführt.

Die T1-Werte basieren auf den Ergebnissen der in Anhang C beschriebenen Studie, die ungefähr auf das Niveau des unteren Quartils (25%) gesetzt wurden. Dieser minimale Wert von PEI wurde als erreichbar und als wirtschaftlich vertretbar angesehen.

Die T2-Werte wurden ungefähr auf das mittlere Niveau (50%) der in der Studie angeführten Transformatorenwirkungsgrade gesetzt und gelten als ein sehr ehrgeiziges Ziel, das unter sorgfältiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit angewandt werden muss. Diese Werte sollen ein anspruchsvolles Niveau darstellen, das der Validierung bedarf.

Bei der Festlegung der Zahlen wurde die Notwendigkeit berücksichtigt, Verzerrungen zu glätten, die durch Sammeln der Daten mit Hilfe spezifischer Konzepte, die ungleiche Verteilung der Anzahl an Daten über den Größenbereich und die Notwendigkeit der Abstimmung mit dem Effizienzstandard für Transformatoren mit einer Nennspannung unter 36kV und einer Bemessungsleistung unter 40 MVA verursacht wurden.

Tabelle 1 – Werte für minimalen Maximalen Wirkungsgrad (PEI)

S_r (MVA)	PEI – T1 (%)	PEI – T2 (%)
≤ 4	99,465	99,532
5	99,483	99,548
6,3	99,510	99,571
8	99,535	99,593
10	99,560	99,615
12,5	99,588	99,640
16	99,615	99,663
20	99,639	99,684
25	99,657	99,700
31,5	99,671	99,712
40	99,684	99,724
50	99,696	99,734
63	99,709	99,745
80	99,723	99,758
≥ 100	99,737	99,770
ANMERKUNG Zur besseren Anschaulichkeit wurden die Werte in der Tabelle in Prozent angegeben.		

Für Bemessungsleistungen in Abweichung von den in der Tabelle angeführten kann der korrespondierende PEI-Wert durch lineare Interpolation von zwei benachbarten Werten bestimmt werden.

Drei- und Einphasentransformatoren müssen im Vergleich zur Bemessungsleistung des jeweiligen Transformators bewertet werden.

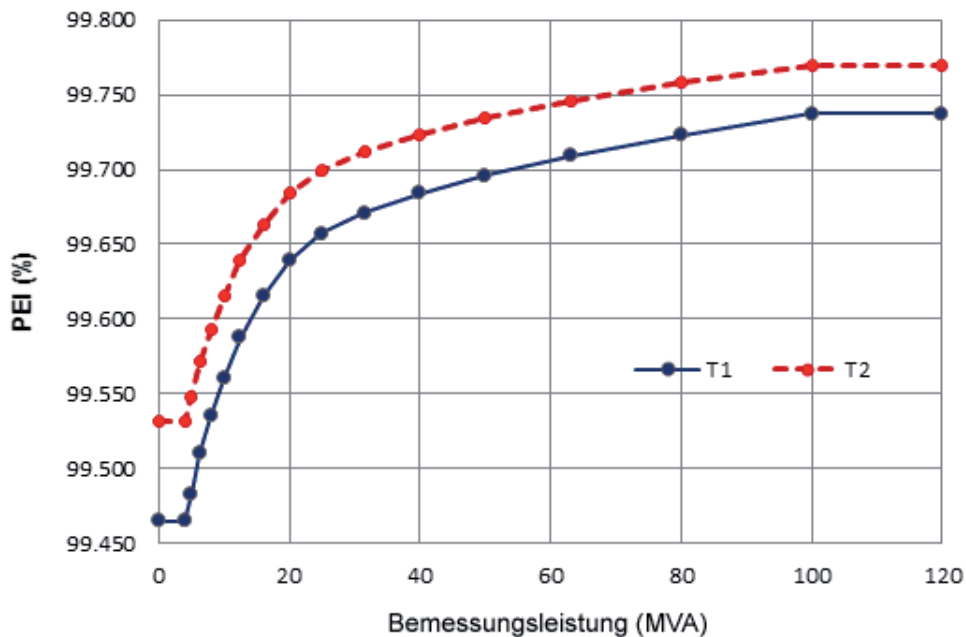


Bild 1 – Bild des minimalen Peak Efficiency Index (Maximalen Wirkungsgrades)

5.2 Optimierung von Transformatorverlusten in Abhängigkeit von ihrer Anwendung

Der minimale PEI, der in allen Fällen eingehalten werden muss, kann durch unterschiedliche Kombinationen von Leerlauf- und Lastverlusten erreicht werden. Das ist gleichzusetzen mit unterschiedlichen Lastfaktoren, bei denen der PEI auftritt. Das Verhältnis von Last- und Leerlaufverlusten muss auf die jeweilige Anwendung zugeschnitten werden, um den höchsten Ist-Wirkungsgrad im Betrieb zu erreichen. Um dies zu erreichen, sind folgende Methoden verfügbar:

- Bereitstellung von Kapitalisierungswerten für Leerlauf- und Lastverluste. Diese Methode spiegelt die erwartete Last am Transformator wider. (Dies ist die empfohlene Methode).
- Festsetzen von maximalen Werten für Leerlauf- und Lastverluste.
- Spezifizieren des minimalen Wirkungsgrads für einen bestimmten Lastfaktor.

ANMERKUNG Typische Werte für das Verhältnis zwischen Last- und Leerlaufverlusten können im Bereich von 3 für hoch ausgelastete Transformatoren (wie GSU) und über 10 für weniger belastete Einheiten (z. B. Transformatoren im Übertragungs- und Verteilnetz) liegen.

Der Hersteller muss genaue Angaben zu den Werten für Leerlauf- und Lastverluste im Angebot anführen.

5.3 Daten auf dem Leistungsschild

Zusätzlich zu den Anforderungen aus EN60076-1 müssen folgende Werte auf dem Leistungsschild angeführt werden:

- PEI basierend auf den Messwerten;
- die Leistung, bei der der PEI auftritt (z. B. $k_{PEI} \times$ Bemessungsleistung);
- P_o , die Leerlaufverluste gemessen bei Nennspannung und Nennfrequenz in der Nennstellung;

- P_{c0} , die für das Kühlsystem bei Leerlaufbetrieb benötigte elektrische Leistung, abgeleitet aus den Messungen bei Typprüfungen von Ventilator und ölpumpenmotoren;
- P_k , die gemessenen Verluste bei Nennstrom und Nennfrequenz in der Nennstellung, korrigiert auf die Bezugstemperatur nach EN 60076-1;
- Art des Leiters (z. B. Kupfer, Aluminium, Kupfer/Aluminium);
- Art des Kernmaterials (z. B. Siliziumstahl, amorpher Stahl);
- Gewicht des Aktivteils, wenn dieser vom aushebbaren Gewicht differiert.

5.4 Transformator-Datenbestände

Anhang B enthält ein Proforma-Formular für die weitere Datenerfassung. Das Ziel dieses Formulars ist die Erfassung von weiteren Daten, um den aktuellen Standard zu verbessern und um Probleme festzustellen, die ggf. bei der Anwendung der T2-Werte auftreten. Der Käufer des Transformators erhält ein ausgefülltes Exemplar des Proforma-Formulars, vorzugsweise in elektronischer Form.

ANMERKUNG Diese Datenerfassung ist notwendig, um eine effiziente Bewertung der Wirkungsgrade der installierten großen Leistungstransformatoren durch die Europäische Kommission zu ermöglichen. Die praktische Methode zur Erfassung von Daten laut Anhang B ist derzeit noch in Bearbeitung.

5.5 Toleranzen

Auf den minimalen PEI aus Tabelle 1 sind keine Toleranzen anzuwenden, da es bereits ein Minimum-Wert ist.

Der aus den angeführten oder gemessenen Werten aus Last- und Leerlaufverlusten berechnete PEI muss gleich oder größer sein als der PEI in Tabelle 1.

Unter Berücksichtigung des minimalen PEI-Wertes aus Tabelle 1 unterliegen die Toleranzen für die Messwerte für Last- und Leerlaufverluste einer Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer innerhalb der in EN60076-1 beschriebenen Grenzen.

Die Ergebnisse der Verlustmessungen sind als numerische Größen ausgedrückt, die mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Wie groß der Ungenauigkeitsbereich tatsächlich ist, ist abhängig von der Qualität des Prüfaufbaus, speziell des Messsystems, der Erfahrung der Mitarbeiter und der Schwierigkeiten bei der Messung, die verursacht werden durch das Prüfobjekt selbst. Das übermittelte Prüfergebnis muss das genauest-mögliche Messergebnis beinhalten, welches aufgrund der durchgeführten Messungen erreicht werden kann. Dieses Ergebnis muss akzeptiert werden, wie es ist. Die Ungenauigkeit der Messung in Bezug auf die Garantiewerte darf weder mit einer positiven Toleranz noch mit einem Toleranzband bewertet werden. Dennoch müssen die einzelnen Messungen Qualitätskriterien erfüllen. Grenzwerte für die Genauigkeiten der einzelnen Messungen müssen verfügbar und durch ein Dokument rückverfolgbar sein (siehe EN ISO 9001).

Wenn ein spezielles Produkt für eine Marktüberwachungsstudie ausgewählt wird, muss die Messunsicherheit wie folgt sein:

- Die erweiterte Messunsicherheit, wie sie in IEC/TS 60076-19 definiert und auf eine Abdeckung $k=2$ bezogen ist (d. h. auf eine statistische Sicherheit von ungefähr 95 % bei einer Normalverteilung)
- Die auf diese Weise definierte Messunsicherheit, ausgedrückt als ein relativer Wert, soll nicht größer sein als 5 %.

Die Verlustmessung muss gemeinsam mit dem berechneten Wert aus der erweiterten Unsicherheit, ausgedrückt als relativer Wert in %, dargestellt werden.

6 Ausschlüsse und Ausnahmen von der minimalen PEI Anforderung

Die minimale PEI Anforderung, dargestellt in Tabelle 1, gilt nicht für:

- folgende Transformatortypen (siehe C.4)
 - Umrichtertransformatoren;
 - Ofentransformatoren;
 - Transformatoren für Offshore-Anwendungen und schwimmende Offshore-Anwendungen
 - Transformatoren für Mobile Notfallstationen;
 - Transformatoren für 16,7-Hz-Bahneinspeisungen;
 - Trockentransformatoren
 - Gasisolierte Transformatoren.

ANMERKUNG Für die oben angeführten Transformatortypen ist grundsätzlich der Standard anzuwenden, allerdings konnten keine Wirkungsgraddaten während der Studie erfasst werden; daher ist der minimale PEI eventuell nicht anwendbar.

Für große Trockentransformatoren wurden minimale PEI-Werte in der Europäischen Verordnung publiziert. Diese basieren jedoch nicht auf den von CENELEC erfassten Daten und sind in Anhang E aufgeführt.

- Spezielle Leistungstransformatoren, die Einschränkungen hinsichtlich Größe oder Gewicht oder in Bezug auf Transport unterliegen, bzw. ungewöhnliche Kombinationen von Wicklungen und Spannungen (siehe auch C.4).

Soweit diese Transformatoren nicht die minimalen PEI-Werte aus Tabelle 1 erfüllen, muss mit geeigneten Methoden, z. B. mit Hilfe der Kapitalisierungsmethode nach Abschnitt 7, nachgewiesen werden, dass der Transformator den höchsten wirtschaftlich gerechtfertigten Wirkungsgrad innerhalb der Einschränkungen der geplanten Anwendung aufweist.

7 Kapitalisierung der Verluste

Die Kapitalisierung der Verluste wird als die wirtschaftlich korrekteste Methode zur Optimierung von Transformatorauslegungen angesehen, um die Kundenforderungen zu erfüllen. Die Methode ist in Anhang D beschrieben.

Es gilt als anerkannt, dass - um die Vorteile einer Standardisierung der Transformatorenauslegung zu nutzen - die Kapitalisierung der Verluste normalerweise für die gesamte Transformatorflotte berücksichtigt wird, und nicht individuell für die einzelne Einheit.

Wenn der Wirkungsgrad eines unter Verwendung einer VerlustkapitalisierungsGleichung gekauften Transformators den für diesen Transformator vorgegebenen Referenz-PEI überschreitet, soll dieser verwendet werden, da die Benchmark einfach ein niedrigeres Niveau für den Transformatorwirkungsgrad festlegt – sie beansprucht nicht, einen optimalen Wert vorzugeben.

Anhang A (informativ)

Gleichung für Maximalen Wirkungsgrad (PEI)

A.1 Berechnung des k_{PEI}

Dieser Teil des Anhangs beschreibt die mathematische Herleitung des Lastfaktors zur Bestimmung des maximalen Wirkungsgrads.

Allgemeine Gleichung für den Wirkungsgrad:

$$EI = \frac{kS_r - (P_O + P_{cO}) - (k^2 P_k + P_{ck}(k))}{kS_r}$$

Die Funktion $EI(k)$ hat ihr Maximum erreicht, wenn die Ableitung null ist.

Bei der Definition von PEI wurde P_{ck} vernachlässigt. Dies wurde durch die Auswertung der Studie bestätigt, die gezeigt hat, dass der PEI bei mehr als 95% der gesamten Population bei weniger als 60% der Bemessungsleistung auftritt.

Damit gilt

$$EI(k) = \left[\frac{kS_r - (P_O + P_{cO}) - (k^2 P_k)}{kS_r} \right]$$

$$EI'(k) = \frac{\left[kS_r - (P_O + P_{cO}) - (k^2 P_k) \right] \left[kS_r - (P_O + P_{cO}) - k^2 P_k \right] \cdot [k \cdot S_r]}{[k \cdot S_r]^2}$$

$$EI'(k) = \frac{[S_r - 2k \cdot P_k] \cdot k \cdot S_r - [k \cdot S_r - (P_O + P_{cO}) - k^2 P_k] \cdot [S_r]}{k^2 \cdot S_r^2}$$

$$EI'(k) = \frac{k \cdot S_r^2 - 2k^2 \cdot P_k \cdot S_r - k \cdot S_r^2 + (P_O + P_{cO}) \cdot S_r + k^2 \cdot P_k \cdot S_r}{K^2 \cdot S_r^2}$$

$$EI'(k) = \frac{k^2 \cdot P_k \cdot S_r + (P_O + P_{cO}) \cdot S_r}{k^2 \cdot S_r^2}$$

$$EI(k) = \frac{-k^2 \cdot P_k + P_{cO}}{k^2 \cdot S_r}$$

$$EI'(k) = \frac{(P_O + P_{cO})}{k^2 \cdot S_r} - \frac{P_k}{S_r}$$

Es wird $\eta'(k) = 0$ wenn:

$$\frac{P_k}{S_r} = \frac{(P_O + P_{cO})}{k^2 \cdot S_r}$$

$$k^2 = \frac{(P_O + P_{cO})}{S_r} \frac{S_r}{P_k}$$

Somit erreicht der Wirkungsgrad ein Maximum, wenn

$$k = k_{PEI} = \sqrt{\frac{(P_O + P_{cO})}{P_k}}$$

und damit

$$PEI = \eta(k_{PEI}) = 1 - \frac{2(P_O + P_{cO})}{S_r \sqrt{\frac{P_O + P_{cO}}{P_k}}}$$

Das folgende Bild zeigt den Zusammenhang zwischen dem Wirkungsgrad und dem Lastfaktor mit den Werten für PEI und k_{PEI}

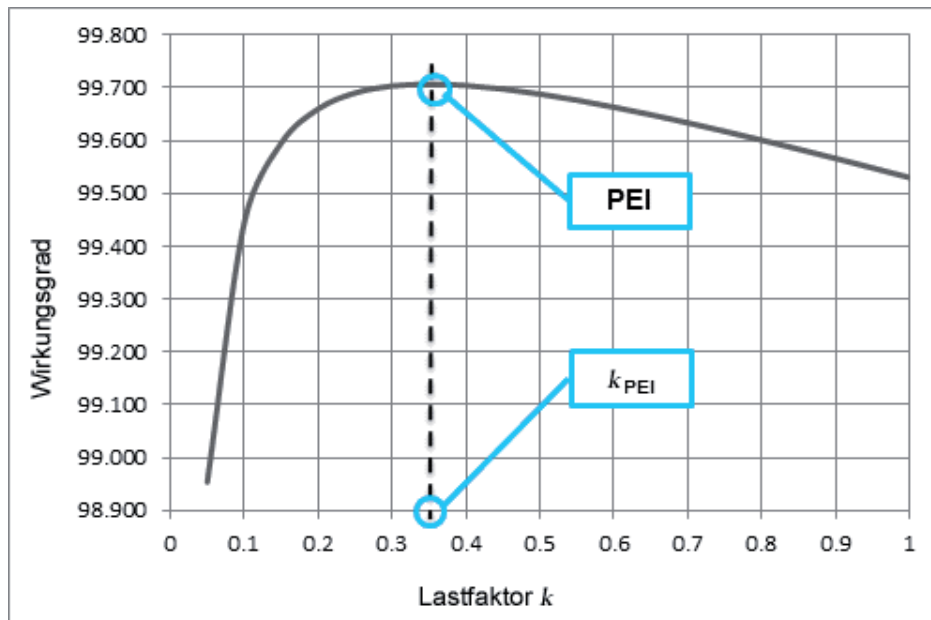


Bild A.1 – Das Bild zeigt den Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad und Lastfaktor

A.2 Unabhängigkeit des PEI von der Bemessungsleistung

Dieser Teil des Anhangs zeigt, dass der PEI unabhängig von der Bemessungsleistung des Transformators ist.

$$PEI = 1 - \frac{2(P_O + P_{cO})}{S_r \sqrt{\frac{P_O + P_{cO}}{P_k}}} = 1 - \frac{2}{S_r} \sqrt{(P_O + P_{cO})P_k}$$

Bei einem gegebenen Transformator sind die Lastverluste bei Nennlast proportional zum Quadrat der Bemessungsleistung:

Setzt man diesen Zusammenhang in die Gleichung zur Berechnung des PEI ein, zeigt sich, dass der PEI unabhängig von der Bemessungsleistung ist.

Aus

$$PEI_2 = 1 - \frac{2}{S_{r2}} \sqrt{(P_O + P_{cO}) P_{k2}} \quad . \text{ d.h.}$$

folgt

$$PEI_2 = 1 - \frac{2}{S_{r2}} \sqrt{(P_O + P_{cO}) P_{k1} \left(\frac{S_{r2}}{S_{r1}} \right)^2}$$

d.h.

$$PEI_2 = 1 - \frac{2}{S_{R2}} \left(\frac{S_{r2}}{S_{r1}} \right) \sqrt{(P_O + P_{cO}) P_{k1}} \quad \text{d.h.}$$

$$PEI_2 = 1 - \frac{2}{S_{r1}} \sqrt{(P_O + P_{cO}) P_{k1}}$$

Somit ist der PEI unabhängig von der Bemessungsleistung.

$$PEI_2 = PEI_1$$

Anhang B (informativ)

Formblatt zur Erhebung der Wirkungsgraddaten

B.1 Beispiel

Im nachfolgenden Formular ist ein Beispiel für die benötigten Daten angeführt. Der Zweck ist die Erfassung von statistischen Daten für alle Typen von Transformatoren.

Tabelle B.1 (1 von 3)

Beschreibung	Maßeinheit	Angaben	Auszufüllende Spalte
Kategorie	--	Maschinentransformator, Übertragung, Netz, primärseitig, Verteilung, Ofen, Gleichrichter, Industrieanwendungen, Bahntransformatoren, HVDC Weitere nach Angabe	
Transformortyp		Auto-Transformer Spartransformator	
Anzahl Einheiten	Anzahl	Des gleichen Designs	
Frequenz	(Hz)	Wert	
Anzahl Phasen	-	1 oder 3	
Bemessungsleistung	(MVA)	Max. Bemessungsleistung	
Bemessungsleistung der Ausgleichswicklung	(MVA)		

Tabelle B.1 (2 von 3)

Beschreibung	Maßeinheit	Angaben	Auszufüllende Spalte
Kühlsystem	-	ONAN, OFAF, ODAF, OFWF, OFAF, ONAN-ONAF AN, AF, (Trockentransformator) (oder weitere Kombinationen)	
Leistungsaufnahme des Teils des Kühlsystems, der permanent in Betrieb ist (normalerweise erste Stufe)	(kW)		
Leistungsaufnahme des Kühlsystems bei Nennlast (normalerweise volle Kühlleistung)	(kW)		
Nennspannung OS-Wicklung	(kV)		
Nennspannung MS-Wicklung	(kV)		
Schaltgruppe	-	Nach EN 60076-1:2011, Abschnitt 7	
Regelbereich	(%)		
Art des Stufenschalters	-	OLTC, DETC, Keine	
Spannungsgeregeltes System	-	HV, MV1, MV2	
Kurzschlussimpedanz in der Nennstellung	(%)		
PEI	(%)		
Leistung, bei der PEI auftritt	(MVA)	$k_{PEI} \times \text{Bemessungsleistung}$	

Tabelle B.1 (3 von 3)

Beschreibung	Maßeinheit	Angaben	Auszufüllende Spalte
Leerlaufverluste bei Nennspannung	(kW)		
Lastverluste in der Nennstellung bei Bemessungsleistung	(kW)		
Verlustkriterium	-	Festgestellter Wert für maximale Verluste oder Kapitalisierung	
Leerlaufverlustkapitalisierung	(€/W)		
Lastverlustkapitalisierung	(€/W)		
Referenztemperatur für Lastverluste	(°C)		
Kernmaterialbezeichnung nach EN-IEC			
Gewicht des Eisenkerns	(kg)		
Geräuschpegel LwA	dB(A)	Messung im Leerlauf, Nennspannung und Nennfrequenz ohne Kühlsystem	
EN-IEC Leitermaterialbezeichnung		bei mehreren Bezeichnungen bitte Format .../... benutzen	
Gewicht des Leitermaterials	(kg)	bei mehreren Bezeichnungen bitte Format .../... benutzen	
Name des Betreibers	–	Name	
Land des Betreibers	–	Name	
Hersteller		Name	
Produktionsjahr		Datum	
Gründe für eine Nichteinhaltung des PEI	–	Einschränkungen in Bezug auf Größe und Gewicht, Transport, ungewöhnliche Wicklungs- und Spannungskombinationen, Sonstige (bitte angeben)	
ANMERKUNG Eisenbahnbetrieb: stationäre Bahntransformatoren			

B.2 Anweisung zum Ausfüllen der Tabelle

Die in der Tabelle eingetragenen Daten für das Kühlsystem, Lastverluste und Kurzschlussimpedanz müssen sich auf die maximale Leistung des Transformators beziehen.

Für eine Transformatorenbank bestehend aus drei Einphasen-Transformatoren müssen sich die Daten auf einen einzigen Einphasen-Transformator beziehen.

Anhang C (informativ)

Benchmark für den PEI

C.1 Allgemeines

Zur Erstellung dieses Dokuments für mehrere Transformatoren wurden die Verlustdaten von Betreibern über die nationalen Komitees von CENELEC erfasst.

Während anerkannt ist, dass das optimale Niveau eines Transformatorwirkungsgrads in dem Bereich liegt, in dem die Mehrkosten für den Transformator sich mit den Einsparungen an Energie und anderen Kosten auf Basis des gesamten Lebenszyklus ausgleichen, ist eine derartige Analyse sehr kompliziert, da der optimale Wirkungsgrad von regionalen Kosten und dem Entgelt für die elektrische Energie und der Art des Transformatorbetriebs abhängig ist. Im Gegensatz dazu ist die Festlegung eines minimalen Wirkungsgrads eher durchführbar, da kein Optimierungsversuch durchgeführt wurde. Stattdessen wurde eine Optimierung mit Hilfe der Kapitalisierungsfaktoren erreicht, die den genauen Wirkungsgrad mit einem Wert begründen, der über der erforderlichen Untergrenze liegt.

Daten aus einem weiten Bereich der ölgefüllten Transformatoren wurden in der Studie erfasst. Die Daten repräsentieren in erste Linie die gängigsten Typen (Dreiphasen-Zweiwicklungstransformatoren ohne spezifische Einschränkungen hinsichtlich Transport oder Installation). Die Ausreißer repräsentieren Transformatoren mit besonderen Anforderungen technischer Art oder hinsichtlich Verlustkapitalisierung.

Für diesen Bericht wurde der PEI (maximale Wirkungsgrad) von einer Vielzahl von Transformatoren untersucht und bewertet. Das Ergebnis der Analyse ist, dass der maximale Wirkungsgrad, wie in der nachfolgenden Gleichung gezeigt, mit Hilfe des natürlichen Logarithmus für die Bemessungsleistung näherungsweise ausgedrückt werden kann.

$$PEI = a_{ln}(S_r) + b \quad (C.1)$$

Dieser Anhang zeigt den berechneten PEI (maximalen Wirkungsgrad) für die in Europa seit 2002 installierten Transformatoren.

C.2 Vergleichszahlen

Die folgenden Tabellen beschreiben die Daten, die während der Studie erfasst wurden.

Die erfassten Daten wurden von einigen europäischen Ländern zur Verfügung gestellt und beinhalten eine Mischung von Transformatoren, die im Rahmen von Ausschreibungen mittels kapitalisierter Verluste u. a., mit Hilfe spezifizierter Verlustniveaus laut Vorgabe in der Ausschreibung erworben worden waren. Die Verbrauchsdaten des Kühlsystems wurden nicht einheitlich zur Verfügung gestellt. Gleiches gilt für verschiedene Spannungspegel, Impedanzen usw., die sich ebenfalls unter den angebotenen Benchmarkdaten befanden.

Folglich bestehen Einschränkungen bei der Datenqualität, auf der die Analyse beruht, und somit sollte mit der Auswahl der PEI kein optimales Niveau erreicht, sondern stattdessen ein sinnvoller Mindestwert als Untergrenze für den Wirkungsgrad gewählt werden. Die Kapitalisierung kann dann zur Auswahl des optimalen Verlustpegels oberhalb dieser Untergrenze benutzt werden.

Die Daten wurden auf zwei unterschiedlichen Wegen analysiert:

- Über die Anzahl der installierten Einheiten. Dies verdeutlicht eher die praktische Implementierung von unterschiedlichen Designs, die im Netz verwendet werden, da manche Einheiten mit außerordentlich

niedrigem oder hohem Wirkungsgrad nur Nischenanwendungen sind, daher nur in kleiner Anzahl installiert sind und das Reproduzieren dieser Designs im Allgemeinen nicht wirtschaftlich wäre.

- Über das Transformatordesign. In diesem Fall wird jedes Design gleich bewertet unabhängig von der Anzahl der installierten Einheiten. Diese Methode stellt die gesamte Bandbreite von technisch ausführbaren Designs dar.

Tabelle C.1 – Vergleichszahlen nach der Anzahl von installierten Einheiten (PEI)

$S_r(\text{MVA})$	10	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	>100
Units	162	58	272	300	108	531	120	98	29	189	626
10 %	0,9968	0,9944	0,9963	0,9965	0,9967	0,9967	0,9974	0,9969	0,9977	0,9963	0,9972
25 %	0,9968	0,9959	0,9964	0,9965	0,9970	0,9967	0,9974	0,9969	0,9977	0,9967	0,9978
50 %	0,9968	0,9959	0,9964	0,9965	0,9977	0,9973	0,9977	0,9969	0,9983	0,9967	0,9983
75 %	0,9968	0,9959	0,9968	0,9969	0,9977	0,9975	0,9977	0,9977	0,9986	0,9973	0,9988
85 %	0,9968	0,9959	0,9968	0,9970	0,9977	0,9976	0,9977	0,9977	0,9986	0,9974	0,9988

BEMERKUNG: 25% der gesamten Population weisen einen Wirkungsgrad auf, der niedriger als das untere Quartil ist; 50% der Population weisen einen Wert auf, der niedriger als der Mittelwert ist und 25% weisen einen Wirkungsgrad auf, der über dem oberen Quartil liegt.

Tabelle C.2 – Vergleichszahlen nach Designs (PEI)

$S_r(\text{MVA})$	10	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	>100
Designs	14	18	32	31	47	103	31	20	10	20	96
10 %	0,9882	0,9923	0,9948	0,9951	0,9959	0,9965	0,9966	0,9967	0,9962	0,9963	0,9972
25 %	0,9913	0,9937	0,9955	0,9957	0,9967	0,9968	0,9972	0,9970	0,9978	0,9967	0,9977
50 %	0,9948	0,9955	0,9964	0,9967	0,9971	0,9974	0,9976	0,9977	0,9983	0,9970	0,9982
75 %	0,9954	0,9962	0,9969	0,9970	0,9977	0,9977	0,9979	0,9981	0,9986	0,9976	0,9985
85 %	0,9966	0,9966	0,9971	0,9972	0,9977	0,9979	0,9981	0,9984	0,9988	0,9980	0,9988

ANMERKUNG 5% der gesamten Population weisen einen Wirkungsgrad auf, der niedriger als das untere Quartil ist; 50% der Population weisen einen Wert auf, der niedriger als der Mittelwert ist und 25% weisen einen Wirkungsgrad auf, der über dem oberen Quartil liegt.

Die Hauptdaten der Trafos aus den in Bezug auf PEI erfassten Daten sind in den folgenden Graphiken dargestellt.