

Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen aus kristallinem Silizium auf andere Temperaturen und Einstrahlungen  
(IEC 891:1987 + A1:1992)  
Deutsche Fassung EN 60891:1994

**DIN**  
**EN 60891**

Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm **IEC 891**

ICS 31.260

Deskriptoren: Bauelement, Photovoltaik, Umrechnung, Verfahren

Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices (IEC 891:1987 + A1:1992); German version EN 60891:1994

Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au Silizium cristallin (CEI 891:1987 + A1:1992); Version allemande EN 60891:1994

**Die Europäische Norm EN 60891:1994 hat den Status einer Deutschen Norm.**

### Beginn der Gültigkeit

Die EN 60891:1994 wurde am 1994-03-08 angenommen.

### Nationales Vorwort

Diese Norm enthält die Deutsche Fassung EN 60891:1994-09.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 373 "Photovoltaische Solar-Energie-Systeme" der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) zuständig. Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben.

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.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm
Normen der Reihe HD 245	Normen der Reihe IEC 27	Normen der Reihe DIN 1304
EN 60904-3:1993	IEC 904-3:1989	DIN EN 60904-3:1995-04

### Nationaler Anhang NA (informativ)

#### Literaturhinweise

Normen der Reihe  
DIN 1304

Formelzeichen

DIN EN 60904-3

Photovoltaische Einrichtungen – Teil 3: Meßgrundsätze für terrestrische photovoltaische (PV) Einrichtungen mit Angaben über die spektrale Strahlungsverteilung (IEC 904-3:1989); Deutsche Fassung EN 60904-3:1993

Fortsetzung 5 Seiten EN

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)



DK 621.383 : 621.317.08

Deskriptoren: Photovoltaische Bauelemente, kristallines Silizium, Korrektur der Einstrahlung, Strom-Spannungs-Kennlinien, Korrektur der Temperatur

### **Deutsche Fassung**

#### **Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen aus kristallinem Silizium auf andere Temperaturen und Einstrahlungen (IEC 891:1987 + A1:1992)**

Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices (IEC 891:1987 + A1:1992)

Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au Silicium cristallin (CEI 891:1987 + A1:1992)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1994-08-03 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

Das CENELEC-Fragebogenverfahren zur unveränderten Annahme der Internationalen Norm IEC 891:1987 und deren Änderung 1:1992 ergab, daß für die Annahme als Europäische Norm keine gemeinsamen Abänderungen notwendig waren. Das Referenzdokument wurde danach den CENELEC-Mitgliedern zur formellen Abstimmung vorgelegt und von CENELEC am 8. März 1994 als EN 60891 genehmigt.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muß (dop): 1995-03-15
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 1995-03-15

Anhänge, die als "normativ" bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

In dieser Norm ist Anhang ZA normativ.

## Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 891:1987 und deren Änderung 1:1992 wurde von CENELEC als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich .....	2
2 Korrekturverfahren .....	2
3 Bestimmung der Temperaturkoeffizienten .....	3
4 Bestimmung des Serieninnenwiderstandes .....	4
5 Bestimmung des Kennlinienkorrekturfaktors .....	4
Bild 1 .....	5
Anhang ZA (normativ) Andere in dieser Norm zitierte internationale Publikationen mit den Verweisungen auf die entsprechenden europäischen Publikationen .....	5

## Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen aus kristallinem Silizium auf andere Temperaturen und Einstrahlungen

Die Norm enthält Verfahren, die zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen aus kristallinem Silizium auf andere Temperaturen und Einstrahlungen, befolgt werden sollten.

### 1 Anwendungsbereich

Die Norm beschreibt die Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien, auf andere Temperaturen und Bestrahlungsstärken von photovoltaischen Bauelementen aus kristallinem Silizium. Sie enthält Verfahren für die Bestimmung von Temperaturkoeffizienten, des Serieninnenwiderstandes und des Kennlinienkorrekturfaktors. Die Verfahren gelten über einen Bestrahlungsstärkebereich von  $\pm 30\%$  des Wertes, bei dem die Messungen durchgeführt wurden.

ANMERKUNG 1: Die Verfahren sind auf lineare Bauelemente begrenzt.

ANMERKUNG 2: Die photovoltaischen Bauelemente umfassen eine einzelne Solarzelle, eine Solarzellenteilbaugruppe oder ein ebenes Modul. Für jeden Bauelementtyp gilt eine unterschiedliche Wertegruppe. Obwohl die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten für ein Modul (oder eine Teilbaugruppe von Zellen) aus den Messungen für die einzelne Zelle berechnet werden darf, sollte beachtet werden, daß der Serieninnenwiderstand und der Kennlinienkorrekturfaktor für ein Modul oder eine

Teilbaugruppe von Zellen getrennt bestimmt werden sollten.

ANMERKUNG 3: Die Benennung "Prüfling" wird zur Bezeichnung jedes dieser Bauelemente verwendet.

### 2 Korrekturverfahren

Die gemessene Strom-Spannungs-Kennlinie muß mit Anwendung der folgenden Gleichungen auf die Standardbezugsbedingungen oder andere ausgewählte Temperatur- und Bestrahlungsstärkewerte umgerechnet werden:

$$I_2 = I_1 + I_{sc} \left[ \frac{I_{SR}}{I_{MR}} \right] + \alpha (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$U_2 = U_1 - R_s (I_2 - I_1) - KI_2 (T_2 - T_1) + \beta (T_2 - T_1)$$

Dabei sind:

$I_1, U_1$  die Koordinaten der Punkte auf der gemessenen Kennlinie;

$I_2, U_2$  die Koordinaten der entsprechenden Punkte auf der korrigierten Kennlinie;

$I_{SC}$	der gemessene Kurzschlußstrom des Prüflings;
$I_{MR}$	der gemessene Kurzschlußstrom des Referenzbauelementes,
$I_{SR}$	während der Messung von $I_{MR}$ soweit wie nötig auf die Temperatur des Referenzbauelementes korrigiert; ist der Kurzschlußstrom des Referenzbauelementes bei Standardbezugs- oder einer anderen gewünschten Bestrahlungsstärke,
$T_1$	die gemessene Temperatur des Prüflings;
$T_2$	die Standardbezugs- oder andere gewünschte Temperatur;
$\alpha$ und $\beta$	die Temperaturkoeffizienten von Strom und Spannung für den Prüfling für die Standardbezugs- oder eine andere gewünschte Bestrahlungsstärke und innerhalb des interessierenden Temperaturbereiches ( $\beta$ ist negativ);
$R_S$	der Serieninnenwiderstand des Prüflings;
$K$	der Kennlinienkorrekturfaktor.

ANMERKUNG 1: Die Einheiten aller Parameter der obigen Gleichungen sollten miteinander übereinstimmen.

ANMERKUNG 2: Es gelten die allgemeinen Empfehlungen nach IEC 27: Buchstabensymbole für den Gebrauch in der Elektrotechnik, außer wo diese Publikation abweichende Empfehlungen gibt, die dann befolgt werden sollten.

ANMERKUNG 3: In IEC 27 wird  $U$  nur als Reserve-symbole empfohlen. In dieser Norm wird der Buchstabe  $U$  als ein alternatives Hauptsymbol für die Spannung und abgeleitete Größen empfohlen, weil viele Länder ihn für photovoltaische Bauelemente und allgemein in der Elektronik verwenden.

ANMERKUNG 4: Falls die Temperatur,  $T_R$ , des Referenzbauelementes während einer Messung mehr als  $2^\circ\text{C}$  von der Temperatur abweicht, auf die es kalibriert wurde, sollte  $I_{SR}$  wie folgt temperaturkorrigiert werden:

$$I_{SR} = I_{SR0} \alpha_R (T_R - T_0) \quad (2)$$

Dabei ist:

$I_{SR0}$  der Kurzschlußstrom des Referenzbauelementes bei der Temperatur, bei der es kalibriert wurde;

$\alpha_R$  der Strom-Temperaturkoeffizient des Referenzbauelementes.

ANMERKUNG 5:  $\alpha$  und  $\beta$  sind Temperaturkoeffizienten des Prüflings. Wenn der Prüfling mit einer Diode in Serienschaltung bestückt ist, sollten die Spannungs- und Temperaturumrechnung ohne diese Diode vorgenommen werden. Falls die Diode nicht zugänglich ist, sollte ihre Kennlinie über der Temperatur mit angegeben werden.

### 3 Bestimmung der Temperaturkoeffizienten

Die Temperaturkoeffizienten von Strom ( $\alpha$ ) und Spannung ( $\beta$ ) ändern sich mit der Bestrahlungsstärke und in einem geringeren Ausmaß mit der Temperatur.

Die Koeffizienten werden am besten in künstlichem Sonnenlicht gemessen, wie es in IEC 904-3 (EN 60904-3) festgelegt ist, wobei mindestens zwei repräsentative Solarzellen mit der gleichen Fläche und Anordnung wie im Prüfling verwendet werden.

ANMERKUNG 1: Jede Fehlanpassung zwischen den Zellen in einem Modul könnte die Genauigkeit der Umrechnung nachteilig beeinflussen, die an der Strom-Spannungs-Kennlinie des Moduls durchgeführt wurden.

ANMERKUNG 2: Die Verwendung eines gepulsten Sonnenlichtsimulators ist zu bevorzugen, da dieser geringe zusätzliche Wärme erzeugt, die die Zelle während der Messung beeinflussen könnte.

Das Verfahren besteht in folgendem:

**3.1** Es ist ein geeigneter Temperaturfühler an der Prüfzelle zu befestigen, so daß die Temperatur mit einer Meßunsicherheit von  $0,5^\circ\text{C}$  gemessen werden kann.

**3.2** Die Prüfzelle ist mit gutem Wärmekontakt auf einem temperaturgesteuerten Block zu montieren und der befestigte Fühler zur Erzeugung des Steuersignals zu verwenden.

**3.3** Die Prüfzelle ist so nahe wie möglich an einer geeigneten Referenzsolarzelle zu befestigen, wobei ihre aktiven Oberflächen in der Prüfebene liegen. Die Senkrechten auf die Prüfzelle und die Bezugssolarzelle müssen innerhalb von  $5^\circ$  parallel zur Mittellinie des Strahls verlaufen.

**3.4** Die Bestrahlungsstärke in der Prüfebene ist so einzustellen, daß die Bezugssolarzelle (bei  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ) ihren kalibrierten Kurzschlußstrom bei dem gewünschten Bestrahlungswert erzeugt.

**3.5** An der auf oder nahe der minimalen interessierenden Temperatur stabilisierten Prüfzelle wird deren Kurzschlußstrom ( $I_{SC}$ ) und Leerlaufspannung ( $U_{OC}$ ) gemessen.

ANMERKUNG: Bei einer Temperatur unterhalb der Umgebungstemperatur können Vorsichtsmaßnahmen erforderlich sein, um Kondensation auf den aktiven Oberflächen der Prüfzelle und der Bezugssolarzelle zu verhindern. Diese Vorsichtsmaßnahmen könnten realisiert werden, indem trockener gasförmiger Stickstoff über die aktiven Oberflächen geleitet wird oder die Zellen in einer Vakuumprüfkammer eingeschlossen werden.

**3.6** Die Prüfzelle ist auf eine Temperatur von etwa  $10^\circ\text{C}$  über dem vorhergehenden Wert zu stabilisieren und die Messungen von  $I_{SC}$  und  $U_{OC}$  sind zu wiederholen. Dieses Verfahren ist in Schritten von etwa  $10^\circ\text{C}$  bis zur maximalen interessierenden Temperatur zu wiederholen.

**3.7** Die Schritte nach 3.1 bis 3.6 sind mit jeder anderen Prüfzelle zu wiederholen.

**3.8** Die Werte von  $I_{SC}$  und  $U_{OC}$  sind als Funktion der Temperatur aufzutragen und es ist eine glatte Kurve nach der Methode des kleinsten quadratischen Fehlers für jede Datengruppe zu konstruieren.

**3.9** Aus den Steigungen der Strom- und Spannungskurven sind an einem Punkt in der Mitte zwischen der interessierenden minimalen und maximalen Temperatur die Temperaturkoeffizienten  $\alpha_C$  und  $\beta_C$  für die einzelnen Zellen zu berechnen.

**3.10** Für ein Modul oder eine andere Zellenbaugruppe werden die Temperaturkoeffizienten folgendermaßen berechnet:

$$\begin{aligned} \alpha &= n_p \cdot \alpha_c \\ \beta &= n_s \cdot \beta_c \end{aligned} \quad (3)$$

Dabei ist  $n_p$  die Anzahl der parallelgeschalteten und  $n_s$  die der in Serie geschalteten Zellen.

#### 4 Bestimmung des Serieninnenwiderstandes

$R_S$  kann in künstlichem Sonnenlicht nach folgendem Verfahren bestimmt werden (siehe Bild 1):

**4.1** Die Strom-Spannungs-Kennlinie des Prüflings ist bei Raumtemperatur und bei zwei verschiedenen Bestrahlungsstärken (die Größe braucht nicht bekannt zu sein) aufzuzeichnen. Während der beiden Messungen darf die Temperatur der Zelle um nicht mehr als  $2^\circ\text{C}$  abweichen.

**4.2** Es ist ein Punkt P auf der oberen Kennlinie bei einer Spannung auszuwählen, die etwas höher als  $U_{pmax}$  ist. Es ist  $I$ , die Differenz zwischen dem Strom in diesem Punkt und  $I_{SC1}$  zu bestimmen.

**4.3** Es ist der Punkt Q auf der unteren Kennlinie zu ermitteln, bei dem der Strom gleich  $I_{SC2} - \Delta I$  ist.

**4.4** Es ist die Spannungsdifferenz  $U$  zwischen den Punkten P und Q zu bestimmen.

**4.5**  $R_{S1}$  ist zu berechnen nach:

$$R_{S1} = \frac{\Delta U}{I_{SC1} - I_{SC2}} \quad (4)$$

Dabei sind  $I_{SC1}$  und  $I_{SC2}$  die beiden Kurzschlußströme.

**4.6** Die Schritte in 4.3 bis 4.5 sind zu wiederholen, wobei zusammen mit jeder der beiden ersten Kennlinien eine Kennlinie zu verwenden ist, die bei einem dritten Wert der Bestrahlungsstärke und derselben Temperatur der Zelle aufgenommen wurde, um die  $R_{S2}$ - und  $R_{S3}$ -Werte zu bestimmen.

$R_S$  ist der Mittelwert der drei berechneten Werte  $R_{S1}$ ,  $R_{S2}$  und  $R_{S3}$ .

#### 5 Bestimmung des Kennlinienkorrekturfaktors

$K$  kann bei künstlichem Sonnenlicht nach folgendem Verfahren bestimmt werden:

**5.1** Es ist die Strom-Spannungs-Kennlinie des Prüflings bei einer Bestrahlungsstärke innerhalb von  $\pm 30\%$  des aus-

gewählten Wertes und bei drei verschiedenen Temperaturen ( $T_3$ ,  $T_4$  und  $T_5$ ) über einen interessierenden Bereich von mindestens  $30^\circ\text{C}$  aufzunehmen.

ANMERKUNG: Wenn die Kennlinien eines Moduls gemessen werden, sollten Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden (beispielsweise, indem der Modul in einer temperaturgeregelten Prüfkammer mit durchsichtigem Fenster angeordnet wird), um die Gleichförmigkeit der Temperatur der Zellen innerhalb von  $2^\circ\text{C}$  des vorgesehenen Wertes sicherzustellen.

**5.2** Unter Verwendung eines angenommenen Wertes von  $K$  (er sei  $1,25 \cdot 10^{-3} \Omega/^\circ\text{C}$ , was für eine Zelle aus kristallinem Silizium typisch ist) ist die bei einer Temperatur  $T_3$  gemessene Kennlinie durch die Anwendung der folgenden Gleichungen auf die Temperatur  $T_4$  umzurechnen:

$$\begin{aligned} I_4 &= I_3 + \alpha (T_4 - T_3) \\ U_4 &= U_3 - KI_4 (T_4 - T_3) + \beta (T_4 - T_3) \end{aligned} \quad (5)$$

Dabei sind:

$I_3, U_3$  die Koordinaten der Punkte auf der Strom-Spannungs-Kennlinie bei  $T_3$ ;

$I_4, U_4$  die Koordinaten der entsprechenden Punkte auf der Kennlinie bei  $T_4$ .

**5.3** Wenn die umgerechnete Kennlinie bei  $T_4$  nicht mit der gewünschten Genauigkeit mit der durch Messung erhaltenen zusammenfällt, ist der Schritt nach 5.2 zu wiederholen, indem verschiedene Werte für  $K$  eingesetzt werden, bis die umgerechnete Kennlinie bei  $T_4$  und die gemessene Kennlinie übereinstimmen.

**5.4** Nachdem der genaue Wert für  $K$  bestimmt wurde, sind die Kennlinien bei  $T_3$  und  $T_4$  nacheinander auf die Temperatur  $T_5$  umzurechnen. Falls die umgerechneten und entsprechenden gemessenen Kennlinien nicht übereinstimmen, ist das Umrechnen mit einem leicht abweichenden Wert von  $K$  zu wiederholen, bis der Wert für eine genaue Anpassung in jedem Fall ermittelt wurde.

**5.5** Es ist der Mittelwert der so ermittelten drei Werte für  $K$  zu verwenden.



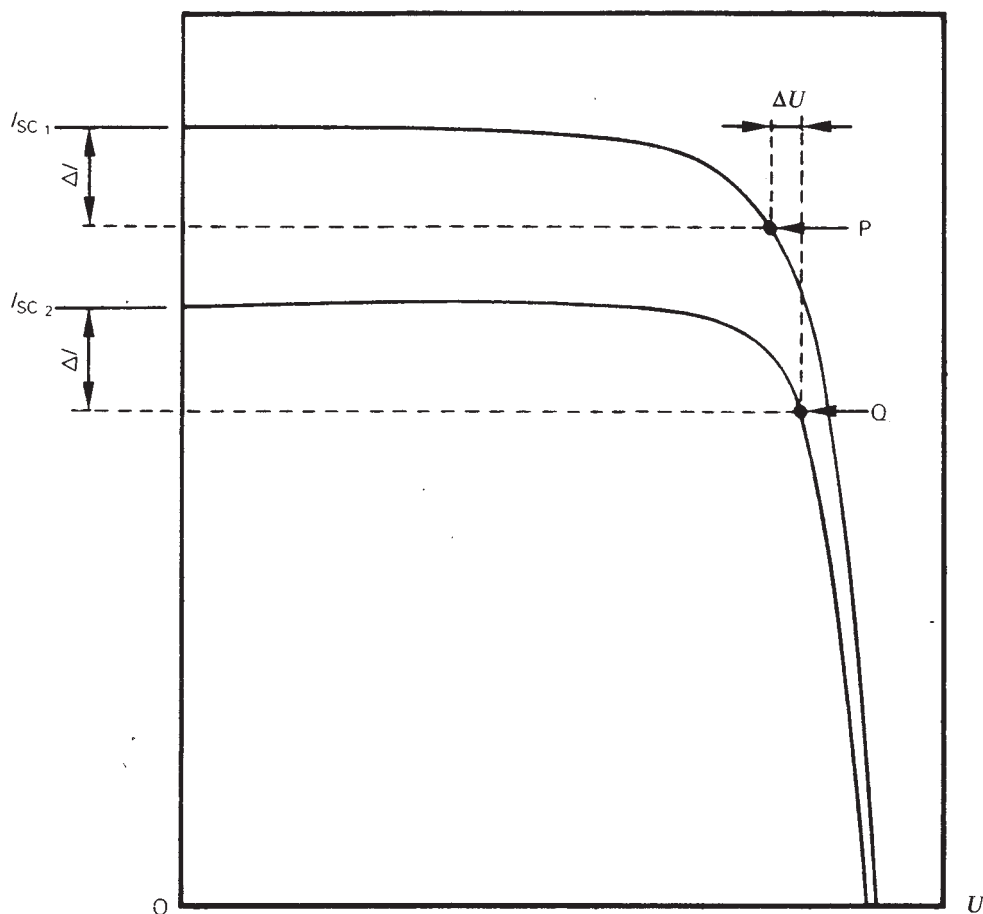


Bild 1: Bestimmung von  $R_s$

## Anhang ZA (normativ)

### Andere in dieser Norm zitierte internationale Publikationen mit den Verweisungen auf die entsprechenden europäischen Publikationen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikation zu dieser Europäischen Norm nur, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschl. Änderungen).

ANMERKUNG: Wenn internationale Publikationen durch gemeinsame Abänderungen von CENELEC geändert wurden, durch (mod) angegeben, gelten die entsprechenden EN/HD.

Publikation	Jahr	Titel	EN/HD	Jahr
IEC 27	Reihe	Letter symbols to be used in electrical technology	HD 245	Reihe
IEC 904-3	1989	Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data	EN 60904-3	1993