

	DIN EN 60891 (VDE 0126-6)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 27.160

Einsprüche bis 2009-05-31

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60891:1996-10**Entwurf**

**Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen auf andere Temperaturen und Bestrahlungsstärken
(IEC 82/551/CDV:2008);
Deutsche Fassung FprEN 60891:2008**

Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of photovoltaic devices
(IEC 82/551/CDV:2008);
German version FprEN 60891:2008

Procédures pour les corrections en fonction de la température et l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques
(CEI 82/551/CDV:2008);
Version allemande FprEN 60891:2008

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-03-30 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 38 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 60891:2008 „Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen auf andere Temperaturen und Bestrahlungsstärken“ (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 82/551/CDV:2008 „Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of photovoltaic devices“ unverändert in den Entwurf FprEN 60891:2008 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 82 „Solar photovoltaic energy systems“ 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 373 „Photovoltaische Solarenergie-Systeme“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60891:1996-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das bisherige Korrekturverfahren wurde erweitert;
- b) 2 neue Korrekturfahren eingeführt;
- c) erneuertes Verfahren zur Ermittlung des Temperaturkoeffizienten;
- d) neue Verfahren zur Ermittlung des internen Serienwiderstands;
- e) neue Verfahren zur Ermittlung des Kurvenkorrekturfaktors.

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 60904-1	IEC 60904-1	DIN EN 60904-1 (VDE 0126-4-1)	VDE 0126-4-1
EN 60904-2	IEC 60904-2	DIN EN 60904-2 (VDE 0126-4-2)	VDE 0126-4-2
EN 60904-5	IEC 60904-5	DIN EN 60904-5	—
EN 60904-7	IEC 60904-7	DIN EN 60904-7	—
EN 60904-9	IEC 60904-9	DIN EN 60904-9 (VDE 0126-4-9)	VDE 0126-4-9
EN 60904-10	IEC 60904-10	DIN EN 60904-10	—

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60904-1 (VDE 0126-4-1), *Photovoltaische Einrichtungen – Teil 1: Messen der photovoltaischen Strom-/Spannungskennlinien*

DIN EN 60904-2 (VDE 0126-4-2), *Photovoltaische Einrichtungen – Teil 2: Anforderungen an Referenz-Solarelemente*

DIN EN 60904-5, *Photovoltaische Einrichtungen – Teil 5: Bestimmung der gleichwertigen Zelltemperatur von photovoltaischen (PV) Betriebsmitteln nach dem Leerlaufspannungs-Verfahren*

DIN EN 60904-7, *Photovoltaische Einrichtungen – Teil 7: Berechnung des Fehlers der spektralen Fehlanpassung, der beim Prüfen von photovoltaischen Einrichtungen entsteht*

DIN EN 60904-9 (VDE 0126-4-9), *Photovoltaische Einrichtungen – Teil 9: Leistungsanforderungen an Sonnensimulatoren*

DIN EN 60904-10, *Photovoltaische Einrichtungen – Teil 10: Messverfahren für die Linearität*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Verfahren zur Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien von photovoltaischen Bauelementen auf andere Temperaturen und Bestrahlungsstärken

ÄNDERUNGEN GEGENÜBER DER ERSTEN AUSGABE:

1. das bisherige Korrekturverfahren wurde erweitert;
2. 2 neue Korrekturfahren eingeführt;
3. erneuertes Verfahren zur Ermittlung des Temperaturkoeffizienten;
4. neue Verfahren zur Ermittlung des internen Serienwiderstands;
5. neue Verfahren zur Ermittlung des Kurvenkorrekturfaktors.

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen.....	3
3 Korrekturverfahren	3
4 Bestimmung der Temperaturkoeffizienten.....	10
5 Bestimmung des Reiheninnenwiderstandes R_S und R'_S	13
6 Bestimmung der Kennlinienkorrekturfaktoren κ und κ'	15
7 Angabe der Ergebnisse	16

Bilder

Bild 1 – Beispiele für die Korrektur der I - U -Kennlinien nach den Gleichungen (3.1) und (3.2).	8
Bild 2 – Schematische Darstellung der Beziehung von G_3 und T_3 , die bei der gleichzeitigen Korrektur von Bestrahlungsstärke und Temperatur und bei feststehenden Werten von T_1 , G_1 , T_2 , und G_2 nach den Gleichungen (3.3) und (3.4) gewählt werden darf.	9
Bild 3 – a) Schematische Darstellung für den Vorgang der Korrektur der I - U -Kennlinie für verschiedene Bereiche von Bestrahlungsstärke und Temperatur, beruhend auf drei gemessenen Kennlinien.	9
Bild 4 – Schematische Darstellung für den Vorgang der Korrektur der I - U -Kennlinie für verschiedene Bereiche von Bestrahlungsstärke und Temperatur, beruhend auf vier gemessenen Kennlinien.	10
Bild 5 – Temperaturmessstellen am Prüfling hinter den Zellen	11
Bild 6 – Bestimmung des Reiheninnenwiderstandes.....	14
Bild 7 – Bestimmung des U_{OC} -Bestrahlungsstärkekorrekturfaktors und des Reiheninnenwiderstandes	15
Bild 8 – Bestimmung des Kennlinienkorrekturfaktors	16

1 Anwendungsbereich

In dieser Norm werden Verfahren festgelegt, die bei der Umrechnung von gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien (*I-U*-Kennlinien) von photovoltaischen Bauelementen auf andere Temperaturen und Bestrahlungsstärken einzuhalten sind. Ebenso werden die Verfahren festgelegt, die zur Bestimmung der Korrekturfaktoren anzuwenden sind. Die Anforderungen für die *I-U*-Messung von photovoltaischen Bauelementen sind in IEC 60904-1 dargelegt.

ANMERKUNG 1 Die photovoltaischen Bauelemente umfassen Einzelzellen mit oder ohne Schutzabdeckung, eine Solarzellenteilbaugruppe oder ein Modul. Für jeden Bauelementetyp gilt eine andere Gruppe der bestimmenden Parameter für die *I-U*-Korrekturen. Obwohl die Temperaturkoeffizienten für ein Modul (oder eine Teilbaugruppe von Zellen) aus den Messungen an einer Einzelzelle berechnet werden dürfen, sollte beachtet werden, dass der Reiheninnenwiderstand und der Kennlinienkorrekturfaktor für ein Modul oder eine Zellenteilbaugruppe getrennt bestimmt werden sollten.

ANMERKUNG 2 Für die Bezeichnung jedes dieser Bauelemente wird die Benennung „Prüfling“ verwendet.

ANMERKUNG 3 Besondere Sorgfalt sollte hinsichtlich der Anwendung der *I-U*-Korrekturparameter angewendet werden. Diese Parameter haben Gültigkeit bei dem photovoltaischen Bauelement, bei dem sie gemessen worden sind. Innerhalb eines Fertigungsloses oder einer Typenklasse können Abweichungen auftreten.

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 60904-1, *Photovoltaic devices – Part 1: Measurements of photovoltaic current voltage characteristics*

IEC 60904-2, *Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar devices*

IEC 60904-5, *Photovoltaic devices – Part 5: Determination of equivalent cell temperature*

IEC 60904-7, *Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices*

IEC 60904-9, *Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements*

IEC 60904-10, *Photovoltaic devices – Part 10: Methods for linearity measurements*

3 Korrekturverfahren

Für die Korrektur der gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinie auf andere Bedingungen von Temperatur und Bestrahlungsstärke (z. B. STC) können drei Verfahren angewendet werden. Das erste Verfahren ist identisch mit dem Verfahren, welches in der ersten Ausgabe dieser Norm angegeben wurde, jedoch wurde die Gleichung zum besseren Verständnis umgeschrieben. Dieses Verfahren gilt für die in IEC 60904-10 definierten linearen Bauelemente über einen Bestrahlungsstärkebereich von $\pm 30\%$ des Wertes, bei dem die Messungen durchgeführt worden sind. Das zweite Verfahren ist ein alternatives algebraisches Korrekturverfahren, welches bei größeren Korrekturen der Bestrahlungsstärke ($> 20\%$) zu besseren Ergebnissen führt. Bei beiden Verfahren ist es erforderlich, dass die Korrekturparameter der PV-Elemente bekannt sind. Wenn sie nicht bekannt sind, ist es notwendig, sie vor der Durchführung der Korrektur zu bestimmen. Das dritte Verfahren ist ein Interpolationsverfahren, bei dem keine Korrekturparameter als Eingangsgrößen erforderlich sind. Es kann angewendet werden, wenn für das zu prüfende Bauelement mindestens drei Strom-Spannungs-Kennlinien aufgenommen worden sind. Diese drei Strom-Spannungs-Kennlinien überstreichen den Temperatur- und Bestrahlungsstärkebereich, für den das Korrekturverfahren anwendbar ist.

ANMERKUNG Es ist besonders darauf zu achten, dass das PV-Element entsprechend der Festlegung in IEC 60904-10 in dem untersuchten Bestrahlungsstärke- und Temperaturbereich ein lineares Verhalten aufweist.

3.1 Allgemeines

Für alle Verfahren gilt, dass die I - U -Kennlinien der PV-Elemente nach IEC 60904-1 zu messen sind.

Üblicherweise ist die Bestrahlungsstärke aus dem gemessenen Kurzschlussstrom (I_{RC}) des PV-Referenzelements nach den Festlegungen in IEC 60904-2 und dessen Kalibrierwert bei STC ($I_{RC, STC}$) zu berechnen. Durchgeführt werden sollte eine Korrektur, um die Temperatur des Referenzelements T_{RC} unter Anwendung des festgelegten relativen Temperaturkoeffizienten des Bezugsbauelementes ($1/^\circ\text{C}$) zu berücksichtigen, der für 25°C und $1\,000\text{ W/m}^2$ angegeben ist.

$$G = \frac{1\,000\text{ Wm}^{-2} \cdot I_{RC}}{I_{RC, STC}} \cdot [1 - \alpha_{RC} \cdot (T_{RC} - 25^\circ\text{C})]$$

Das PV-Referenzelement muss an den Prüfling entweder spektral angepasst sein oder es ist eine Korrektur der spektralen Fehlanpassung nach IEC 60904-7 vorzunehmen. Das Referenzelement muss über den zu untersuchenden Bereich der Bestrahlungsstärke ein lineares Verhalten für den Kurzschlussstrom nach IEC 60904-10 aufweisen.

3.2 Korrekturverfahren 1

Die gemessene Strom-Spannungs-Kennlinie ist auf die Normprüfbedingungen oder andere ausgewählte Temperatur- und Bestrahlungsstärkewerte durch Anwendung der folgenden Gleichungen zu korrigieren:

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \cdot \left(\frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha \cdot (T_2 - T_1) \quad (1.1a)$$

$$U_2 = U_1 - R_S \cdot (I_2 - I_1) - \kappa \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1) + \beta \cdot (T_2 - T_1) \quad (1.2)$$

Dabei ist

I_1, U_1	Koordinaten der Punkte auf der gemessenen Kennlinie
I_2, U_2	Koordinaten der entsprechenden Punkte auf der korrigierten Kennlinie
G_1	mit dem Referenzelement gemessene Bestrahlungsstärke
G_2	Bestrahlungsstärke bei der Standard- oder einer anderen gewünschten Bestrahlungsstärke
T_1	gemessene Temperatur des Prüflings
T_2	Standard- oder eine andere gewünschte Temperatur
I_{SC}	gemessener Kurzschlussstrom des Prüflings bei G_1 und T_1
α und β	Strom- und Spannungs-Temperaturkoeffizienten des Prüflings bei der Standard- oder Zielbestrahlungsstärke für die Korrektur und innerhalb des zu untersuchenden Temperaturbereiches
R_S	Reiheninnenwiderstand des Prüflings
κ	Kurvenkorrekturfaktor

ANMERKUNG 1 Da die Datenpunkte U_{oc1} von der Stromachse weg verschoben werden, wenn von niedrigeren zu höheren Bestrahlungsstärken gearbeitet wird, ist die umgerechnete U_{oc2} durch lineare Extrapolation aus mindestens drei Datenpunkten zu bestimmen, die in der Nähe und unterhalb U_{oc1} liegen oder die ursprüngliche I - U -Kennlinie ist ausreichend weit über U_{oc1} hinaus zu messen.

ANMERKUNG 2 Die Einheiten aller Korrekturparameter sollten einheitlich sein.

ANMERKUNG 3 Wenn der Prüfling ein Modul ist, können die I - U -Korrekturparameter der Zelle aus dem Verbindungsstromkreis abgeleitet werden. Diese Zellenparameter dürfen dazu verwendet werden, die Korrekturparameter des Moduls für weitere Modultypen zu berechnen, in denen die gleichen Zellen zum Einsatz kommen.

ANMERKUNG 4 Für kristalline Silizium-PV-Elemente ist α üblicherweise positiv und β negativ.

Die Verfahren zur Bestimmung der I - U -Korrekturparameter des Prüflings werden in den Abschnitten 4 bis 6 beschrieben.

Gleichung 1.1a ist nur für I - U -Kennlinien anwendbar, die bei Bestrahlungsstärken gemessen wurden, die während der Erfassung der gesamten I - U -Kennlinie konstant sind. Bei gepulsten Solarsimulatoren mit abnehmender Bestrahlungsstärke oder anderen Arten von Bestrahlungsstärkeschwankungen während der I - U -Messung ist Gleichung 1.1a von daher nicht anwendbar. In diesem Fall ist jede aufgenommene I - U -Kennlinie anhand einer äquivalenten I - U -Kennlinie bei konstanter Bestrahlungsstärke zu korrigieren, wodurch ein zusätzlicher Skalierungsfaktor hinsichtlich I_{SC} erforderlich wird. Aus praktischen Gründen wird dieser Skalierungsfaktor auf die Bestrahlungsstärke bezogen, die dem gemessenen I_{SC} entspricht. Bei nichtkonstanter Bestrahlungsstärke wird Gleichung 1.1a zur folgenden Umrechnungsgleichung:

$$I_2 = I_1 + \frac{G'_1}{G_{SC}} \cdot I_{SC} \cdot \left(\frac{G_2}{G'_1} - 1 \right) + \alpha \cdot (T_2 - T_1) \quad (1.1b)$$

Dabei ist G_{SC} der Wert der Bestrahlungsstärke zum Zeitpunkt der I_{SC} -Messung und G'_1 ist die Bestrahlungsstärke, die zum Zeitpunkt der Datenerfassung der einzelnen I - U -Datenpunkte gemessen wurde.

3.3 Korrekturverfahren 2

Dieses Verfahren beruht auf dem vereinfachten Ein-Dioden-Modell von PV-Elementen. Die semi-empirischen Umrechnungsgleichungen enthalten 5 I - U -Korrekturparameter, die durch Messung der I - U -Kennlinien bei unterschiedlichen Temperatur- und Bestrahlungsstärkebedingungen bestimmt werden können. Neben den Temperaturkoeffizienten für den Kurzschlussstrom (α) und die Leerlaufspannung (β) wird üblicherweise ein weiterer Temperaturkoeffizient (κ') verwendet, der für die Änderungen des Reiheninnenwiderstandes (und des Füllfaktors) in Abhängigkeit von der Temperatur steht.

Für dieses Korrekturverfahren sind die folgenden Gleichungen für Strom und Spannung festgelegt:

$$I_2 = I_1 \cdot \left(1 + \alpha_{rel} \cdot (T_2 - T_1) \right) \cdot \frac{G_2}{G_1} \quad (2.1)$$

$$U_2 = U_1 + U_{OC1} \cdot \left(\beta_{rel} \cdot (T_2 - T_1) + a \cdot \ln \left(\frac{G_2}{G_1} \right) \right) - R'_S \cdot (I_2 - I_1) - \kappa' \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.2)$$

Dabei ist

- I_1, U_1 Koordinaten der Punkte auf der gemessenen I - U -Kennlinie
- I_2, U_2 Koordinaten der entsprechenden Punkte auf der korrigierten I - U -Kennlinie
- G_1 mit dem Referenzelement gemessene Bestrahlungsstärke
- G_2 Vorgabe-Bestrahlungsstärke für die korrigierte I - U -Kennlinie
- T_1 gemessene Temperatur des Prüflings
- T_2 Vorgabe-Temperatur des Prüflings
- U_{OC1} Leerlaufspannung unter Prüfbedingungen
- α_{rel} und β_{rel} relativen Strom- und Spannungs-Temperaturkoeffizienten des Prüflings, bemessen bei 1 000 W/m². Sie werden auf den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung bei STC bezogen
- a Bestrahlungsstärke-Korrekturfaktor für die Leerlaufspannung, die mit der Thermospannung der pn-Sperrschicht der Diode D und der im Modul in Reihe geschalteten Anzahl der Zellen n_S in Verbindung steht
- R'_S Reiheninnenwiderstand des Prüflings
- κ' interpretiert als Temperaturkoeffizient des Reiheninnenwiderstandes R'_S

ANMERKUNG 1 Ein typischer Wert für den Bestrahlungsstärke-Korrekturfaktor a beträgt 0,06.

ANMERKUNG 2 Es ist darauf zu achten, dass die Zahlenwerte für R'_S für das Verfahren 2 anders als die Werte von R'_S für das Verfahren 1 sein können.

3.4 Korrekturverfahren 3

Dieses Verfahren beruht auf der linearen Interpolation oder Extrapolation zweier gemessener I - U -Kennlinien. Verwendet werden mindestens zwei I - U -Kennlinien und es sind keine Korrekturparameter oder Anpassungsparameter erforderlich. Die gemessenen Strom-Spannungs-Kennlinien müssen mit den folgenden Gleichungen auf Normprüfbedingungen oder andere ausgewählte Temperatur- und Bestrahlungsstärkewerte korrigiert werden:

$$U_3 = U_1 + a \cdot (U_2 - U_1) \quad (3.1)$$

$$I_3 = I_1 + a \cdot (I_2 - I_1) \quad (3.2)$$

Die Wertepaare von (I_1, U_1) und (I_2, U_2) sollte so gewählt werden, dass $I_2 - I_1 = I_{sc2} - I_{sc1}$ ist.

Dabei ist

I_1, U_1 Koordinaten der Punkte auf der gemessenen Kennlinie bei einer Bestrahlungsstärke G_1 und einer Temperatur T_1

I_2, U_2 Koordinaten der Punkte auf der gemessenen Kennlinie bei einer Bestrahlungsstärke G_2 und einer Temperatur T_2

I_3, U_3 Koordinaten der entsprechenden Punkte auf der korrigierten Kennlinie bei einer Bestrahlungsstärke G_3 und einer Temperatur T_3

I_{sc1}, I_{sc2} gemessene Kurzschlussströme des Prüflings

a ist eine Konstante für die Interpolation, die mit der Bestrahlungsstärke und Temperatur in folgender Beziehung steht:

$$G_3 = G_1 + a \cdot (G_2 - G_1) \quad (3.3)$$

$$T_3 = T_1 + a \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.4)$$

Dieses Verfahren sollte für die meisten PV-Technologien anwendbar sein. Die Gleichungen (4.1) bis (4.4) können für die Bestrahlungsstärkekorrektur, Temperaturkorrektur und die gleichzeitige Korrektur von Bestrahlungsstärke und Temperatur angewendet werden.

3.4.1 Korrektur der Bestrahlungsstärke und der Temperatur aus zwei gemessenen I - U -Kennlinien

Im Folgenden wird das Verfahren für die Korrektur der I - U -Kennlinie hinsichtlich der Bestrahlungsstärke und Temperatur (G_3, T_3) aus zwei I - U -Kennlinien beschrieben, die bei den Bestrahlungsstärken und Temperaturen von (G_1, T_1) und (G_2, T_2) gemessen worden sind (Bilder 1 a) und 1 b)).

- a) Messung der beiden I - U -Kennlinien bei den Bestrahlungsstärken und Temperaturen von (G_1, T_1) bzw. (G_2, T_2) . (Durchgezogene Kurvenzüge in Bild 1 a)). Aufsuchen der Werte I_{sc1} und I_{sc2} .

- b) Berechnung von a mit Gleichung (3.3) oder (3.4). Beispielsweise wenn die beiden Kennlinien aufgenommen wurden bei:

$$G_1 = 1\,000 \text{ W/m}^2 \text{ und } T_1 = 50 \text{ °C}$$

$$G_2 = 500 \text{ W/m}^2 \text{ und } T_2 = 40 \text{ °C}$$

Und wenn die interessierende Bestrahlungsstärke $G_3 = 800 \text{ W/m}^2$ beträgt,

dann werden nach Gleichung (3.3) $a = 0,4$

und nach Gleichung (3.4) $T_3 = 46 \text{ °C}$ angewendet.

- c) Auf der I - U -Kennlinie 1 wird ein Punkt (U_1, I_1) ausgewählt. Gesucht wird ein Punkt (U_2, I_2) auf der I - U -Kennlinie 2, für den die Bedingung $I_2 - I_1 = I_{sc2} - I_{sc1}$ erfüllt ist (Bild 1 b)).
- d) Mit den Gleichungen (3.1) und (3.2) werden U_3 und I_3 berechnet.
- e) Auf der I - U -Kennlinie 1 werden mehrere Wertepaare (U_1, I_1) ausgewählt, mit denen jeweils nach den Schritten c) und d) die Wertepaare (U_3, I_3) berechnet werden.
- f) Die I - U -Kennlinie 3 bei der Bestrahlungsstärke G_3 und der Temperatur T_3 wird mit den Wertepaaren (U_3, I_3) erhalten. (Gestrichelter Kurvenzug in Bild 1 b)).

Ein Beispiel für die Bestrahlungsstärkekorrektur ist in den Bildern 1 a) und 1 b) dargestellt. Für die Temperaturkorrektur wird ein Beispiel in Bild 1 c) angegeben. Bild 1 d) zeigt eine gleichzeitige Korrektur von Bestrahlungsstärke und Temperatur. Bei $0 < a < 1$ wird für das Verfahren Interpolation angewendet. Anderenfalls wird Extrapolation angewendet.

Es sollte beachtet werden, dass bei der Festlegung von G_1 , G_2 , T_1 und T_2 keine unabhängige Auswahlmöglichkeit für G_3 und T_3 besteht, weil es die Beziehungen in den Gleichungen (3.3) und (3.4) gibt (Bild 2). Wenn beispielsweise $G_1 = 1\,000 \text{ W/m}^2$, $T_1 = 20 \text{ °C}$, $G_2 = 0 \text{ W/m}^2$, $T_2 = 60 \text{ °C}$ sind und ein neuer Kurvenzug bei $G_3 = 750 \text{ W/m}^2$ gewünscht ist, wird nach Gleichung (3.3) der Wert von a zu 0,25 berechnet. Deshalb sollte nach Gleichung (3.4) $T_3 = 30 \text{ °C}$ sein.

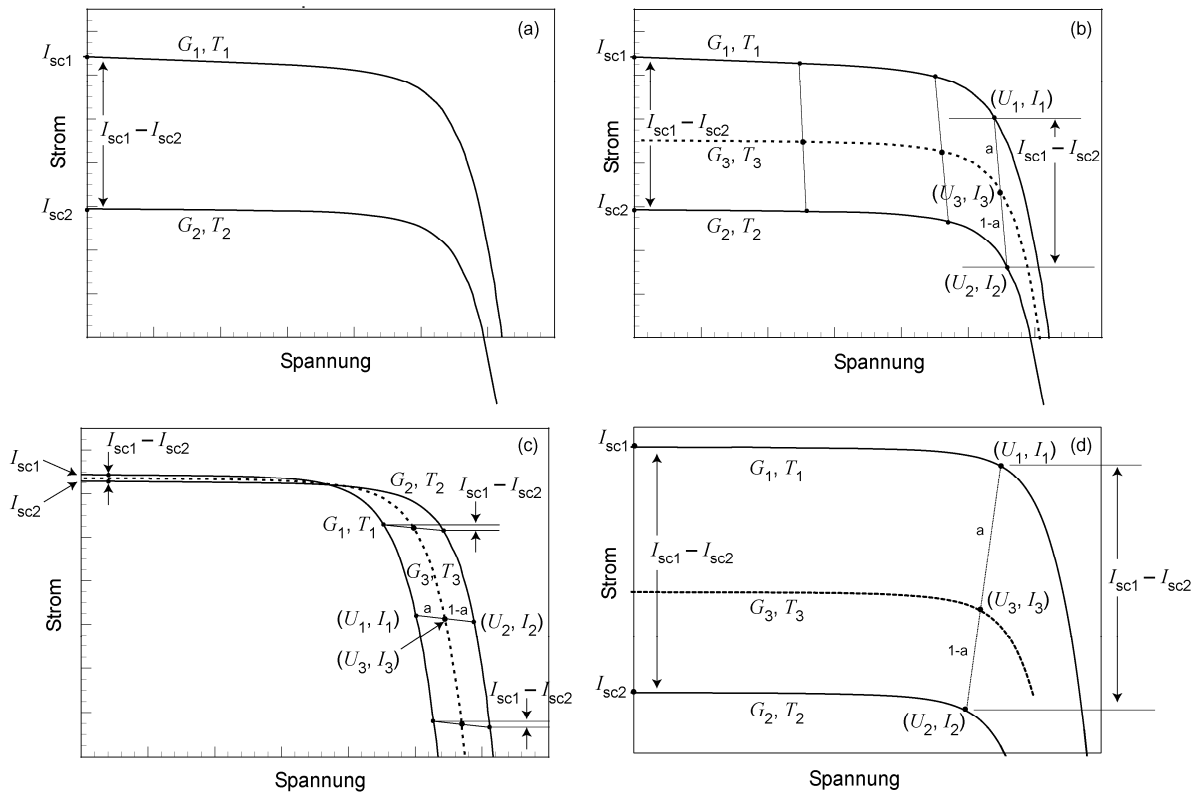


Bild 1 – Beispiele für die Korrektur der $I-U$ -Kennlinien nach den Gleichungen (3.1) und (3.2).
In a) und b) sind Korrekturen der Bestrahlungsstärke, in c) ist die Temperaturkorrektur dargestellt.
Die gleichzeitige Korrektur von Bestrahlungsstärke und Temperatur ist in d) angegeben.

ANMERKUNG 1 Die Interpolation liefert im Allgemeinen bessere Ergebnisse als die Extrapolation.

ANMERKUNG 2 Wenn $I_{sc1} \neq I_{sc2}$ und eine korrigierte $I-U$ -Kennlinie um die Leerlaufspannung gefordert ist, sollte die Kennlinie über U_{oc} hinausgehend aufgenommen werden.

ANMERKUNG 3 Wenn es keine aufgenommenen Datenpunkte gibt, die exakt der Bedingung $I_2 = I_1 + (I_{sc2} - I_{sc1})$ entsprechen, dann dürfen U_2 und I_2 aus der Interpolation der Datenpunkte in der $I-U$ -Kennlinie 2 berechnet werden.