

fuse.on

Die technische Hintergrundinfo von SIBA:
Know-how rund um die elektrische Sicherung

Ausgabe
1/2009

Nur vier Schritte zur passenden PV-Sicherung

Wie sich die Bemessungswerte für den
optimalen Einsatz von PV-Fuse-Links
für PV Anlagen ermitteln lassen

*Sie profitieren.
Mit Sicherheit.*

SIBA
Sicherungen | Fuses

Nur vier Schritte zur passenden Sicherung

Wie sich die Bemessungswerte für den optimalen Einsatz von PV-Fuse-Links für PV Anlagen ermitteln lassen

Von
Heinz-Ulrich Haas
Leiter Forschung und
Entwicklung
SIBA GmbH & Co KG

Nach Tausenden von installierten PV-Anlagen sollte man davon ausgehen können, dass die Ermittlung der Sicherungs-Bemessungsdaten alltäglich ist und zum Standard-Repertoire des Anlagenbauers gehört. Dass dies jedoch nicht immer der Fall ist, zeigen die Sicherungsempfehlungen der beteiligten Komponentenhersteller. Da empfiehlt der Modulhersteller einen Bemessungsstrom von 20 A, der Umrichterhersteller 16 A und der Anlagenbauer eine Sicherung mit 12 A. Während der eine die Sicherungs-Bemessungsspannung nach der Anlagen-Leerlaufspannung bei den Standard Test Conditions (STC) ausrichtet, legt der andere eine maximale Strahlung in Spanien zugrunde. Doch was ist richtig? Der vorliegende Beitrag soll jedem Anwender nachvollziehbare Kriterien liefern. Durch einfache Anpassung der Anlagen- oder Komponenten-Parameter lässt sich damit für jeden Anlagentyp die bestmögliche Sicherung auswählen.

Die hier dargestellten Berechnungen beziehen sich auf Daten verfügbarer PV-Module. Damit Grenzfälle klar werden, haben wir einige Anlagendaten entsprechend „moduliert“ – denn in der Praxis sind sie in dieser Form weniger häufig anzutreffen. Gewählt wurde eine mittlere Anlage mit einer Gesamtleistung von 40 kW bei acht parallel geschalteten Strings. Der Grund dafür: Bei kleineren Anlagen liegen die zu erwartenden Kurzschlussströme niedriger, eine Absicherung ist daher erst ab einer Anzahl von vier parallelen Strings sinnvoll.

Tabelle 1 zeigt die Daten des Moduls. Die Werte beziehen sich auf die Standard Test Conditions, die eine Bestrahlungsstärke von 1000 W/m², eine spektrale Verteilung AM (air mass) von 1,5 und eine Temperatur von 25 °C festlegen. Modul-Spannung und -Strom sind sogenannte MPP-Werte, also Werte beim „Maximum Point of Power“, die unter optimalen Bedingungen aufgenommen wurden. **Tabelle 2** fasst die tatsächlichen Anlagendaten zusammen. Weitere Daten werden in den entsprechenden Kapiteln berechnet.

Tabelle 1: Daten des verwendeten PV-Moduls

Spannung bei P _{MAX}	U _{MPP MOD} = 29,2 V
Leerlaufspannung	U _{OC MOD} = 36,4 V
MPP-Strom	I _{MPP} = 7,9 A
Kurzschlussstrom	I _{SC MOD} = 8,7 A
Temp. Koeff. der U _{OC}	0,36 %/°C
Temp. Koeff. des I _{SC}	0,065 %/°C
Max. Zellentemp.	70 °C

Tabelle 2: Anlagendaten

Anzahl der Strings	N = 8
Anzahl der Module / String	M = 22
Arrayspannung U _{MPP MOD} x M	U _{ARRAY} = 642 V
String-Leerlaufspannung U _{OC MOD} x M	U _{OC ARRAY} = 800 V
Temperatur im Anschlusskasten	60 °C
Niedrigste Umgebungstemperatur	- 25 °C
Bestrahlungsstärke	1200 W/m ²

1 Ermittlung der Sicherungs-Bemessungsspannung U_N

Für die Bemessungsspannung des Sicherungseinsatzes legen wir die String-Leerlaufspannung zugrunde. Um den tatsächlich höchsten Wert zu erhalten, muss sie auf die niedrigstmögliche Umgebungstemperatur der Module umgerechnet werden. Es gilt dann, dass die Sicherungs-Prüfspannung U_p (und nicht die Bemessungsspannung) größer sein muss als die maximale Leerlaufspannung des Strings. Ein Blick in die Datenblätter des gewünschten Sicherungseinsatzes gibt Aufschluss über die Höhe der Prüfspannung. Meist (aber nicht immer) beträgt die Sicherungs-Prüfspannung das 1,1-fache der Bemessungsspannung.

Schritt 1

Ermittlung von $U_{p\text{ MIN}}$ bei -25 °C und damit bei einer Abweichung zu den STC ($+25\text{ °C}$) von $\Delta\vartheta = 50\text{ °C}$

$$U_{p\text{ MIN}} \geq U_{OC\text{ ARRAY}} \times (1 + (\Delta\vartheta \times \text{Temp. Koeff. der } U_{OC\text{ ARRAY}}))$$

$$U_{p\text{ MIN}} \geq 800\text{ V} \times (1 + (50 \times 0,0036)) = 945\text{ V}$$

Bei einem MPP-Strom von 7,9 A und einer Leerlaufspannung von 945 V werden für den String-Schutz Ganzbereichs-Sicherungseinsätze des Typs URZ 10 x 38 mm gewählt (**Bild 1**). Für diesen Sicherungstyp weisen die Datenblätter des Herstellers eine Prüfspannung U_p von DC1000 V und eine Bemessungsspannung U_N von DC900 V auf.

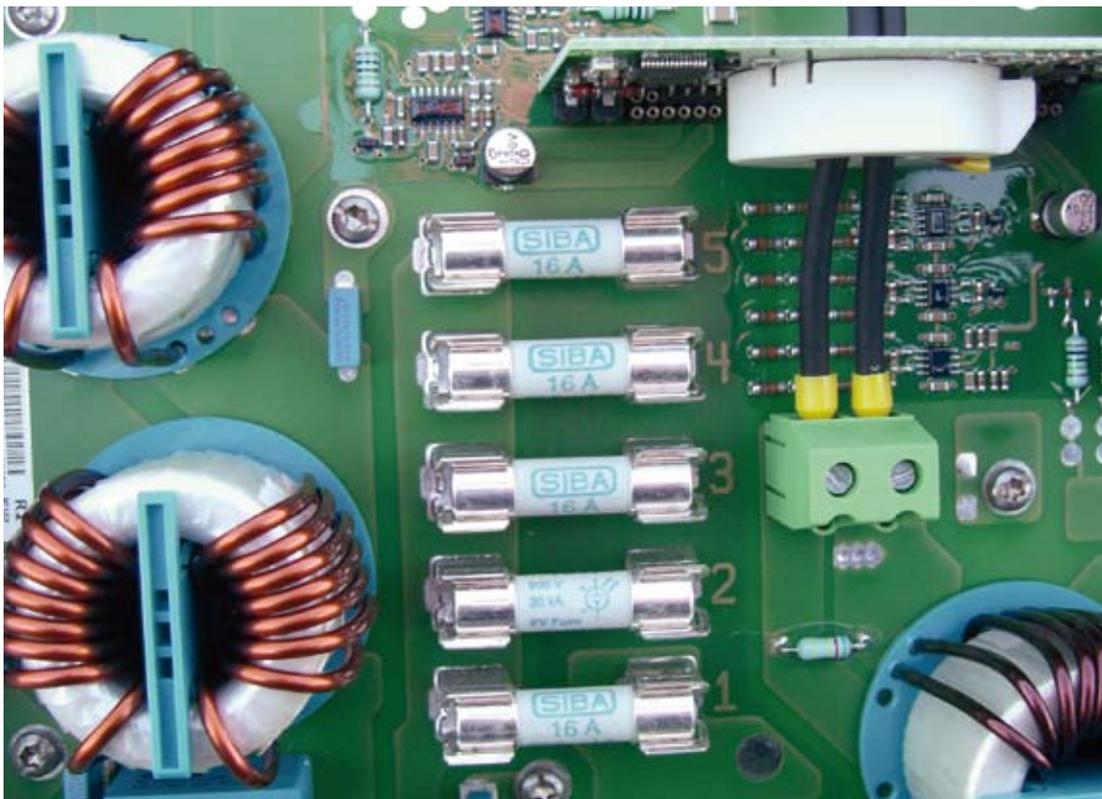


Bild 1: PV-Sicherungen aus der Typenserie URZ

Sie profitieren.
Mit Sicherheit.

2 Ermittlung des Sicherungs-Bemessungsstroms I_N

Auch für den Sicherungseinsatz gelten Standard Test Conditions (STC, sie werden nur nicht in dieser Form genannt). Für Umgebungstemperaturen ungleich 25 °C, für den Betrieb unter Wechsellast sowie für die Häufung von nebeneinander montierten Sicherungshaltern sind Derating-Faktoren zu berücksichtigen. Diese Faktoren lassen sich in den Datenblättern des Sicherungseinsatzes und des Sicherungshalters finden. **Bild 2** zeigt das typische Derating-Diagramm der Umgebungstemperatur: Hier kann man beispielsweise bei 60 °C einen Faktor von 0,84 ablesen. Der Wechsellastfaktor für Ganzbereichssicherungen unter PV-Anwendungen ist 0,9. Da die Sicherungshalter in Gruppen zu drei Sicherungen platziert werden, ist kein weiteres Derating mehr nötig.

Umgebungstemperatur von 60 °C	$K_{TH} = 0,84$
Wechsellastfaktor Ganzbereichssicherung (PV-Fuse)	$A_2 = 0,9$
Derating durch Häufung der geschl. Sicherungshalter	$K_{ZS} = 1$ (da Gruppen zu drei Sicherungen)

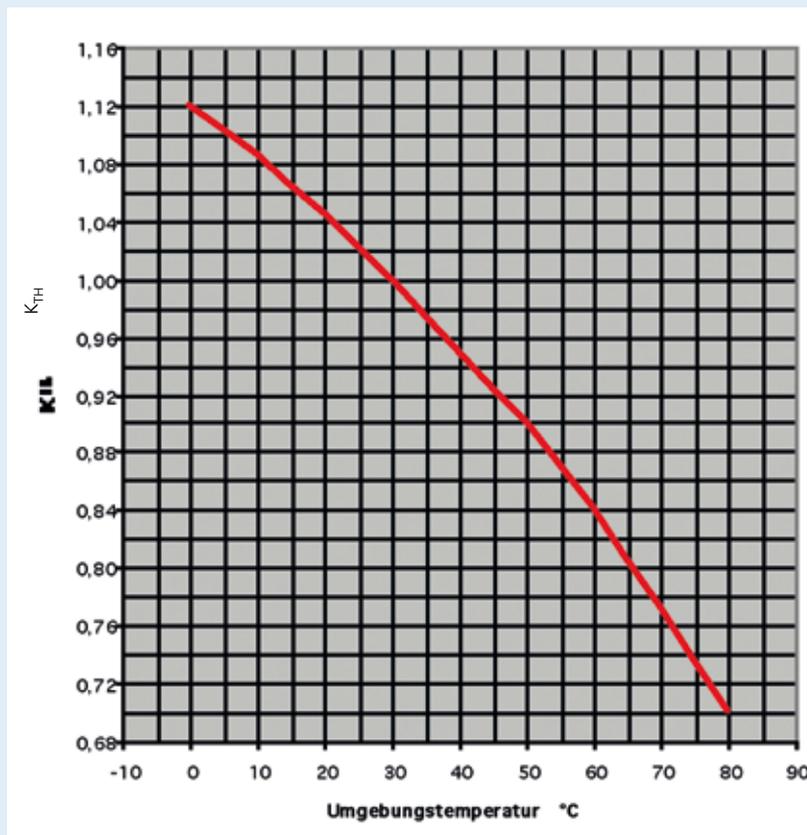


Bild 2: Temperatur-Derating

Mit dem MPP-Strom und den Reduktionsfaktoren berechnen wir den kleinsten Sicherungs-Bemessungsstrom $I_{N\text{ MIN}}$.

Schritt 2

$$\begin{aligned} I_{N\text{ MIN}}' &= I_{\text{MPP}} / K_{\text{TH}} / A2 / K_{\text{ZS}} \\ I_{N\text{ MIN}}' &= 7,9 \text{ A} / 0,84 / 0,9 / 1 = 10,5 \text{ A} \\ \text{gewählt: } I_N &= 12 \text{ A (als 1. Iterationsschritt)} \end{aligned}$$

Aus der Reihe der möglichen Bemessungsströme der Sicherungstypen wird dann der zu 10,5 A nächsthöhere Bemessungsstrom mit 12 A gewählt. Gegebenenfalls ist zu prüfen, ob dieser Bemessungsstrom die Bedingungen für einen Leitungsschutz der Stringkabel erfüllt (meist sind die Leitungen eher überdimensioniert und eine Beachtung ist nicht nötig).

3 Test und Iterationsschritte

Im nächsten Schritt müssen wir den gewählten Sicherungs Bemessungsstrom wiederum um die Derating-Werte reduzieren ($I_{N\text{ RED}}$), danach muss das Ergebnis größer als der Modul-Kurzschlussstrom $I_{\text{SC MOD}}$ sein: Schließlich sollen in den intakten Strings die Sicherungen bei einem Kurzschluss im schadhaften String nicht ansprechen.

Schritt 3.1

$$I_{N\text{ RED}} = I_N \times K_{\text{TH}} \times A2 \times K_{\text{ZS}} = 12 \text{ A} \times 0,84 \times 0,9 \times 1 = 9,1 \text{ A}$$

Berechnung des I_{SC} bei 70 °C
(und damit bei einer Abweichung zu den STC von $\Delta \vartheta = 45 \text{ °C}$)

$$\begin{aligned} I_{\text{SC}}' &= I_{\text{SC MOD}} \times (1 + (\Delta \vartheta \times \text{Temp. Koeff. des } I_{\text{SC STRING}})) \\ I_{\text{SC}}' &= I_{\text{SC MOD}} \times (1 + (45 \times 0,00065)) \\ I_{\text{SC}}' &= 9 \text{ A} \end{aligned}$$

Berücksichtigung einer max. anzunehmenden Bestrahlungsstärke

$$\begin{aligned} I_{\text{SC}} &\text{ bei } 1200 \text{ W/m}^2 \\ I_{\text{SC}} &= 9 \times 1,2 = 10,8 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Forderung: } I_{N\text{ RED}} &> I_{\text{SC}} \\ 9,1 &> 10,8 \text{ A} \end{aligned}$$

... nicht erfüllt, weiterer Iterationsschritt erforderlich!

Schritt 3.2

Auswahl des nächsthöheren Bemessungsstroms, hier: 16 A

$$I_{N\text{ RED}} = I_N \times K_{\text{TH}} \times A2 \times K_{\text{ZS}} = 16 \text{ A} \times 0,84 \times 0,9 \times 1 = 12,1 \text{ A}$$

Berechnung I_{SC} bei 70 °C
(und damit bei einer Abweichung zu den STC von $\Delta \vartheta = 45 \text{ °C}$) siehe oben

$$\begin{aligned} \text{Forderung: } I_{N\text{ RED}} &> I_{\text{SC}} \\ 12,1 \text{ A} &> 10,8 \text{ A} \end{aligned}$$

... erfüllt! Es wird ein Sicherungs-Bemessungsstrom von 16 A gewählt.

Sie profitieren.
Mit Sicherheit.

4 Optional: Ermittlung der Sicherungen-Ansprechzeit

In einem letzten Schritt prüfen wir, ob und in welcher Zeit der ausgewählte Sicherungseinsatz im Kurzschlussfall auch tatsächlich anspricht. Dazu wird der String-Kurzschlussstrom als STC- und als realer Maximalwert im Zeit/Strom-Diagramm der Sicherung (**Bild 3**) angetragen.

String-Kurzschluss-Summen-Strom $I_{SC\ STRING}'' = I_{SC\ MOD} \times (N-1)$

$I_{SC\ STRING}'' = 60,9\ A$

Schmelzeit t_s der Sicherung 16 A bei $I_{SC\ STRING}''$ ablesen (**Bild 3**)

1,5 s



$I_{SC\ STRING}$ bei 70 °C (und damit bei einer Abweichung zu den STC von $\Delta \vartheta = 45\ ^\circ C$)

$I_{SC\ STRING}' = I_{SC\ STRING}'' \times (1 + (\Delta \vartheta \times \text{Temp. Koeff. des } I_{SC\ STRING}''))$

$I_{SC\ STRING}' = I_{SC\ STRING}'' \times (1 + (45 \times 0,00065))$

$I_{SC\ STRING}' = 62,7\ A$

Berücksichtigung einer max. anzunehmenden Bestrahlungsstärke

$I_{SC\ STRING}$ bei 1200 W/m²

$I_{SC\ STRING} = 62,7 \times 1,2 = 75,2\ A$

Schmelzeit t_s der Sicherung 16 A bei $I_{SC\ STRING}$ ablesen (**Bild 3**)

0,4 s

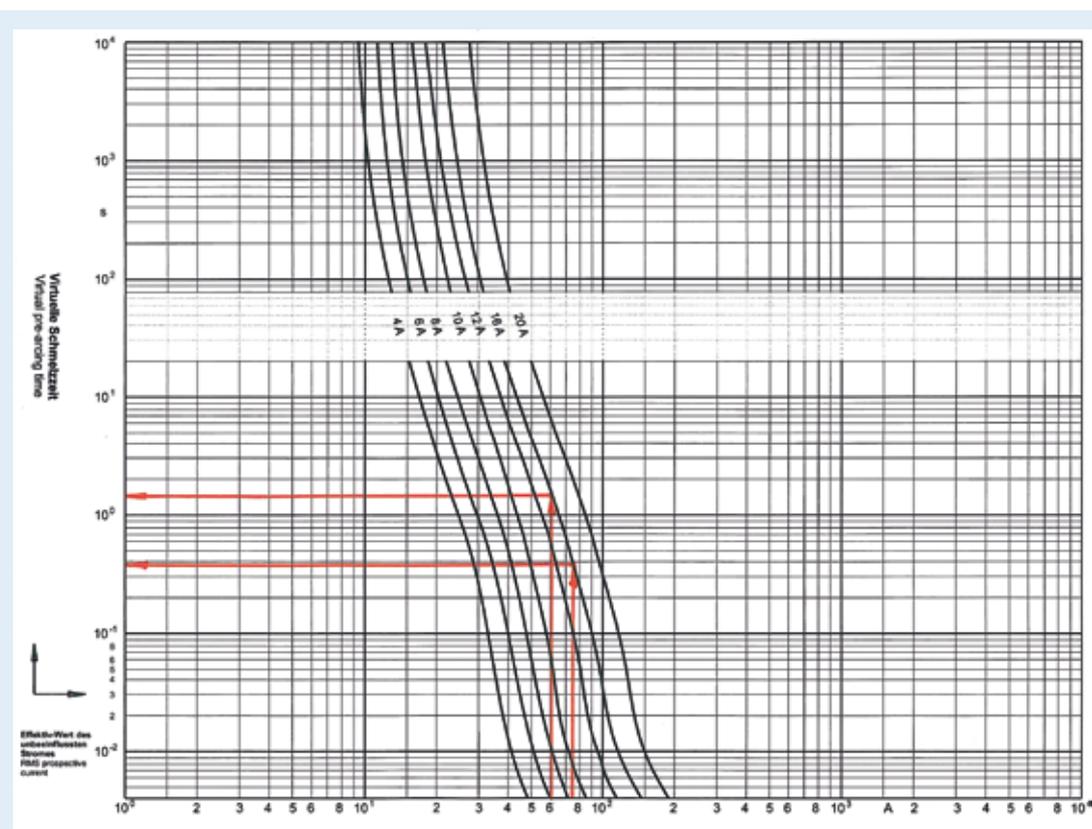


Bild 3: Zeit/Strom-Kennlinien der gewählten PV-Fuse

Ergebnis: Nur vier Schritte für genaue Bestimmung – und tragfähige Faustformeln

Die Ganzbereich-Sicherungseinsätze in der Abmessung 10 x 38 mm DC900 V mit einem Bemessungsstrom von 16 A werden einerseits den Dauerstrom von 7,9 A tragen, und sie werden bei einem maximalen Kurzschlussstrom im String von 75,2 A bei etwa 0,4 s abschalten. Sicherungs-Bemessungsströme > 16 A sind möglich, erfordern aber die erneute Berechnung nach obigem Schema.

Auf den ersten Blick erscheint die Berechnung des bestgeeigneten Sicherungseinsatzes sehr aufwendig, doch insgesamt sind alle notwendigen Informationen in nur vier Schritten beisammen. Hat man außerdem einmal für einen Anlagentyp oder für eine Region Berechnungen angestellt, lassen sich Faktoren zugrundelegen, die künftig die alltägliche Arbeit erleichtern.

So kann die Bemessungsspannung unter Beachtung einer Tiefsttemperatur von - 25°C und entsprechendem Temperaturkoeffizienten wie folgt berechnet werden:

$$U_N \text{ bzw. } U_{P \text{ SICHERUNG}} \geq U_{OC \text{ ARRAY}} \times 1,2$$

Bei der Berechnung des Bemessungsstroms kann eine Temperatur im Anschlusskasten von 60 °C und der für PV-Anlagen typische Wechsellastfaktor 0,9 sowie die maximale Bestrahlungsstärke 1200 W/m² angenommen werden:

$$I_{N \text{ Sicherung}} \geq I_{SC \text{ MOD}} \times 1,4$$

PV-Standard-Produktprogramm von SIBA (DC-Ganzbereich)

Sicherungs- bemessungsspan- nung	Sicherungs- prüfspannung	Produkt- Untergruppe	Abmessungen	Bemessungs- strom bis	Artikel z.B.	Approbationen
V	V		mm bzw. Größe	A		
400	400	GZ	6,3 x 32	8	70 065 26	-
600	600	URZ	10 x 38	30	50 225 26	 pending
1000	1000	URZ	10 x 38	20	50 215 26	 pending
900	1000	URZ	10 x 38	20	50 215 06	
1100	1100	URZ	14 x 65	25	*50 235 26	 pending
1100	1100	URZ	10/14 x 85	25	*50 238 26	 pending
1500	1500	URZ	20 x 127	25	90 081 10	-
900/1000	900/1000	URM	NH1	160	20 556 20	-
1000	1100	URM	NH1	200	20 028 20	
1000	1100	URM	NH3	400	20 031 20	 pending

* 25 A = 1000 V

SIBA erweitert sein auf PV-Anwendungen spezialisiertes Produktprogramm ständig. So arbeiten wir an höheren Spannungen bei gleichbleibenden oder sogar kleineren Abmessungen. Auch individuelle Entwicklungen für spezielle Anforderungen sind möglich. Fragen Sie uns!

Haftungsausschluss:

Die in dieser Unterlage beschriebenen Sicherungen wurden entwickelt, um als Bauteil einer Maschine oder Gesamtanlage sicherheitsrelevante Funktionen zu übernehmen. Ein sicherheitsrelevantes System enthält in der Regel Meldegeräte, Sensoren, Auswerteeinheiten und Konzepte für sichere Abschaltungen. Die Sicherstellung einer korrekten Gesamtfunktion liegt im Verantwortungsbereich des Herstellers einer Anlage oder Maschine. Die SIBA GmbH & Co. KG sowie ihre Vertriebsbüros (im Folgenden „SIBA“) sind nicht in der Lage, alle Eigenschaften einer Gesamtanlage oder Maschine, die nicht durch SIBA konzipiert wurde, zu garantieren. Wenn ein Produkt ausgewählt wurde, sollte es vom Anwender in allen vorgesehenen Applikationen geprüft werden. SIBA übernimmt auch keine Haftung für Empfehlungen, die durch die vorangegangene Beschreibung gegeben bzw. impliziert werden. Aufgrund der Beschreibung können keine, über die allgemeinen SIBA-Lieferbedingungen hinausgehenden Garantie-, Gewährleistungs- oder Haftungsansprüche abgeleitet werden.

Stand der Technik und Normung:

Technologien und technische Normen unterliegen permanenter Weiterentwicklung. Insofern kann diese Unterlage auch den zum Zeitpunkt der Drucklegung üblichen Stand der Technik widerspiegeln. Das ist bei Verwendung der Informationen und der aufgelisteten Typen aus dem Produktprogramm zu berücksichtigen.

Sie profitieren.
Mit Sicherheit.

Hauptsitz**SIBA GmbH & Co. KG**

Borker Straße 20-22
D-44534 Lünen
Postfach 1940
D-44509 Lünen
Tel.: +49-2306-7001-0
Fax: +49-2306-7001-10
info@siba.de
www.siba.de

SIBA Unit Miniature Fuses

Tel.: +49-2306-7001-90
Fax: +49-2306-7001-99
elu@siba.de

Deutschland**SIBA Vertriebsbüro Freiberg**

Untergasse 12
D-09599 Freiberg
Tel.: +49-3731-202283
Fax: +49-3731-202462
alexander.kolbe@siba.de

SIBA Vertriebsbüro Hannover

Am Hüllfeld 5
D-30952 Ronnenberg
Tel.: +49-5109-562470
Fax: +49-5109-562471
andreas.koehler@siba.de

SIBA Vertriebsbüro Rhein/Ruhr

Veilchenweg 10
D-59439 Holzwickede
Tel.: +49-2301-298680
Fax: +49-2301-298681
joerg.mattusch@siba.de

SIBA Vertriebsbüro Süd-West

Germersheimer Str. 101a
D-67360 Lingenfeld
Tel.: +49-6344-937510
Fax: +49-6344-937511
erwin.leuthner@siba.de

**International****SIBA Sicherungen- und Schalterbau-
Ges.m.b.H & Co. KG (Austria)**

Ortsstraße 18 · A-2331 Vösendorf bei Wien
Tel.: +43-01-6994053 and 6992592
Fax: +43-01-699405316 and 699259216
info.siba@aon.at
www.siba-sicherungen.at

**SIBA GmbH & Co. KG Beijing
Rep. Office (China)**

Room 207A, Building B, He Qiao Mansion No.8
Guanghua Road, Chaoyang District,
Beijing 100026
Tel.: +86-0-10-65817776
Fax: +86-0-10-65812979
siba_china@sibafuse.cn
www.sibafuse.cn

SIBA Písek s.r.o. (Czech Rep.)

U Vodárny 1506 · 397 15 Písek
Tel.: +420-382265746
Fax: +420-382265746
sibacz@iol.cz · www.siba-pojistky.cz

Ole Andersen A/S (Denmark)

SIBA Sikringer Denmark A/S
Naverland 26B · DK-2600 Glostrup
Tel.: +45-86828175 · Fax: +45-86814565
info@sikringer.dk · www.siba-sikringer.dk

SIBA Nederland B.V. (Netherlands)

van Gentstraat 16
NL-5612 KM Eindhoven
Tel.: +31-0-402467071
Fax: +31-0-402439916
info@sibafuses.nl
info@sibafuses.nl · www.siba-zekeringen.nl

SIBA Polska sp. z o.o. (Poland)

ul. Grzybowa 5G
05-092 Łomianki Dąbrowa Leśna
Tel.: +48-0-228321477
Fax: +48-0-228339118
siba@sibafuses.pl
www.siba-bezpieczniki.pl

**Moskovskoye predstavitelstvo
obshestva „SIBA GmbH & Co. KG“
(Russia)**

125445, Moskva, ul. Smolnaja, Dom 24 A,
Ofis 804
Tel.: +7-495-9871413
Fax: +7-495-9871774
info@siba-predohraniteli.ru
www.siba-predohraniteli.ru

SIBA Fuses SA PTY. LTD. (South Africa)

P.O. Box 34261 · Jeppestown 2043
Tel.: +27-0-11334-6560 / 4
Fax: +27-0-11334-7140
sibafuses@universe.co.za
www.siba-fuses.co.za

**SIBA Far East Pte. LTD.
(South East Asia)**

No. 3 Phillip Street, #12-02, Commerce Point
Singapore 048693
Tel.: +65-62239225
Fax: +65-62341428
info@sibafuse.com.sg
www.sibafuse.com.sg

SIBA LTD. (United Kingdom)

19 Duke Street
Loughborough LE11 1ED
Tel.: +44-0-1509-269719
Fax: +44-0-1509-236024
siba.uk@btconnect.com
www.sibauk.co.uk

SIBA L.L.C. (United States of America)

29 Fairfield Place
West Caldwell, NJ 07006-6206
Tel.: +1-973575-7422 (973-575-SIBA)
Fax: +1-973575-5858
info@sibafuses.com
www.sibafuses.com

**Weitere Vertriebspartner weltweit:
www.siba.de**



Sicherungen | Fuses

*Sie profitieren.
Mit Sicherheit.*

Fotos: Fronius International GmbH (Titel-
seite), ABA Elektrotechnik GmbH (Innen-
seiten), SIBA Archiv