solar micron
engineering the sunpower

Smart-Power-ICs für Solarmodule

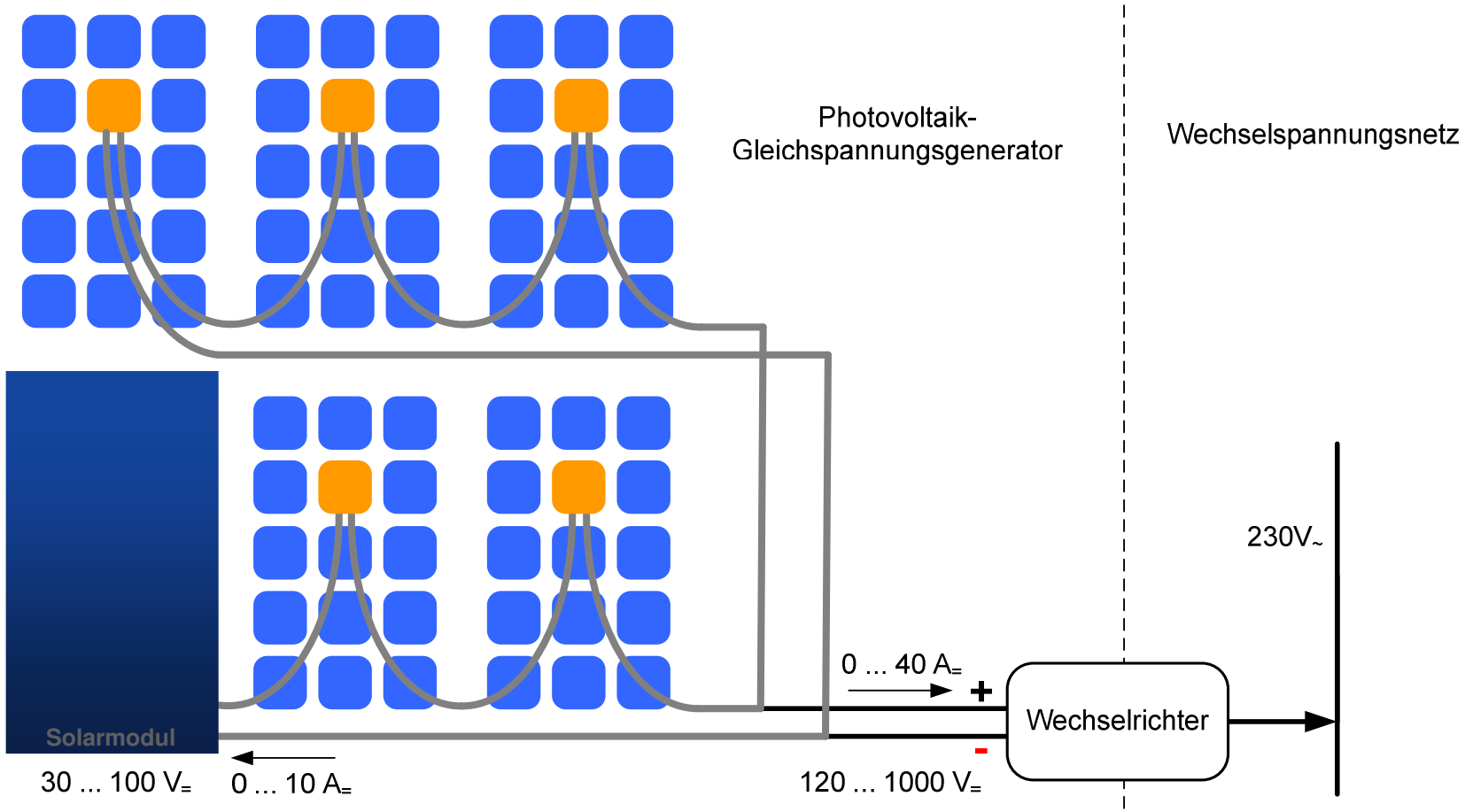
Marco Götz DMOS GmbH, Bereich SolarMicron

Gliederung

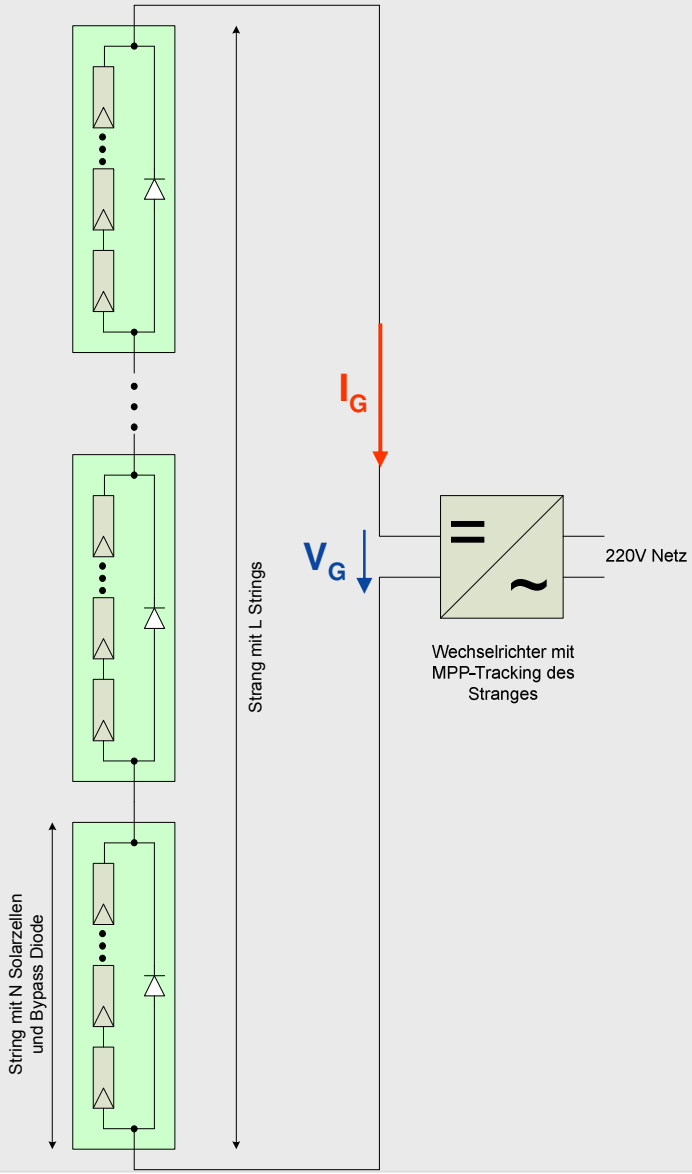
solarmicron
engineering the sunpower

- Netzgekoppelte PV-Anlagen
- Faktoren der Technologieentwicklung
- Warum Elektronik am Solarmodul ?
- Hochintegration mit Smart-Power ICs
- Was darf das kosten ?
- Zuverlässigkeit

Netzgekoppelte PV - Anlagen

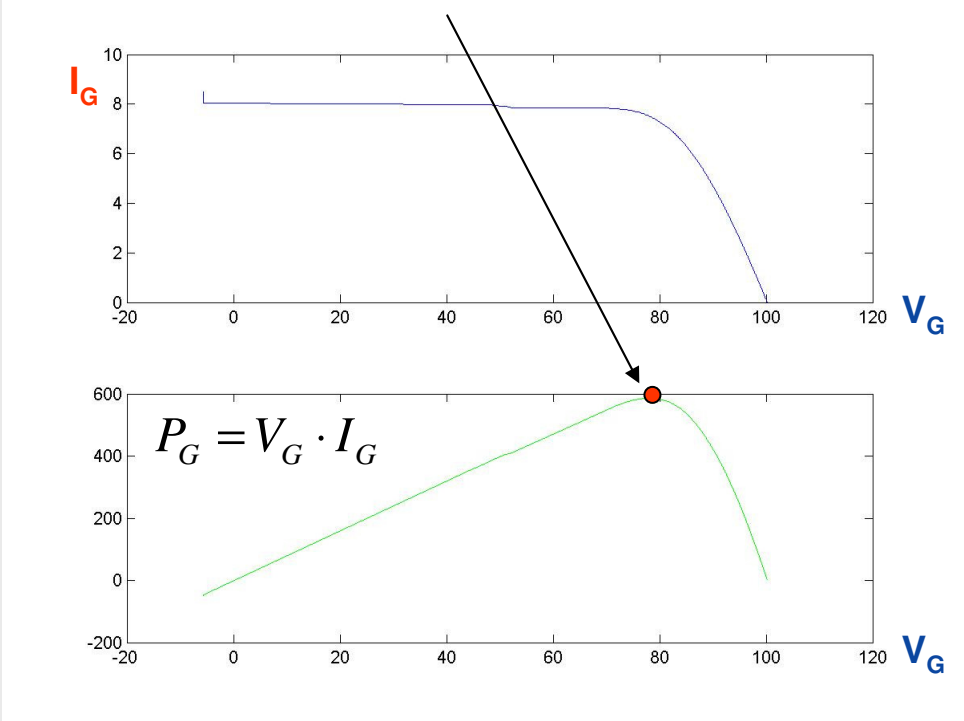


PV-Anlage



Elektrisches Verhalten

Regelung des Wechselrichters auf max. Leistungsabgabe des PV-Generators (MPP Tracking).



solar micron
engineering the sunpower

Netzgekoppelte PV-Anlagen

Faktoren der Technologieentwicklung

Warum Elektronik am Solarmodul ?

Hochintegration mit Smart-Power ICs

Was darf das kosten ?

Zuverlässigkeit

Faktoren der Technologieentwicklung

solarmicron
engineering the sunpower

→ Faktoren sind (energie)-***ertragswirtschaftlich*** motiviert

Langlebigkeit

↑ 20-30 Jahre Laufzeit
↑ Ausfallraten im ppm Bereich
↓ geringe Degradation

Ertragssteigerung

↑ Wandlungswirkungsgrad
↓ Verluste

↓ *Kosten*

Herstellung
Installation
Betrieb

Betriebsicherheit

↓ Gefährdungspotential HVDC
↑ Installation-, Wartungssicherheit

Technologieoptimierung

- Solarzellen Wirkungsgrad
- 8-Zoll kristalline Zellen
- Abdünnung Solarzellen
- Transparente Leitbahnen (DS)
- Füllfaktor Solarmodule
- Rückseitenkontaktierung
- Stringlötkontakte
- Modulrahmenreduktion
- Anschlußdosen-Verkleinerung

- Wirkungsgrad WR
- Einsatz Silizium Carbid Halbleiter
- MPP Tracking Genauigkeit
- Synchronisationsschlupf
- Schaltverluste verringern
- Transformatorlose WR

solar micron
engineering the sunpower

Netzgekoppelte PV-Anlagen

Faktoren der Technologieentwicklung

Warum Elektronik am Solarmodul ?

Hochintegration mit Smart-Power ICs

Was darf das kosten ?

Zuverlässigkeit

Warum Elektronik am Solarmodul ?

solar micron
engineering the sunpower

PV Generatoren bestehen aus einen Netzwerk von einzelnen Solarzellen (vermaschte Netze)

Steuerung auf Netzwerkebene = Steuerung des Leistungsflusses für jede Zelle / jedes Modul

Modulelektronik ermöglicht:

→ Monitoring der Zell- oder Modulparameter (Spannung, Strom, Temperatur)

→ individuelle Leistungsanpassung pro Solarzelle / Modul

→ Regelung der Leistungsabgabe pro Solarzelle / Modul

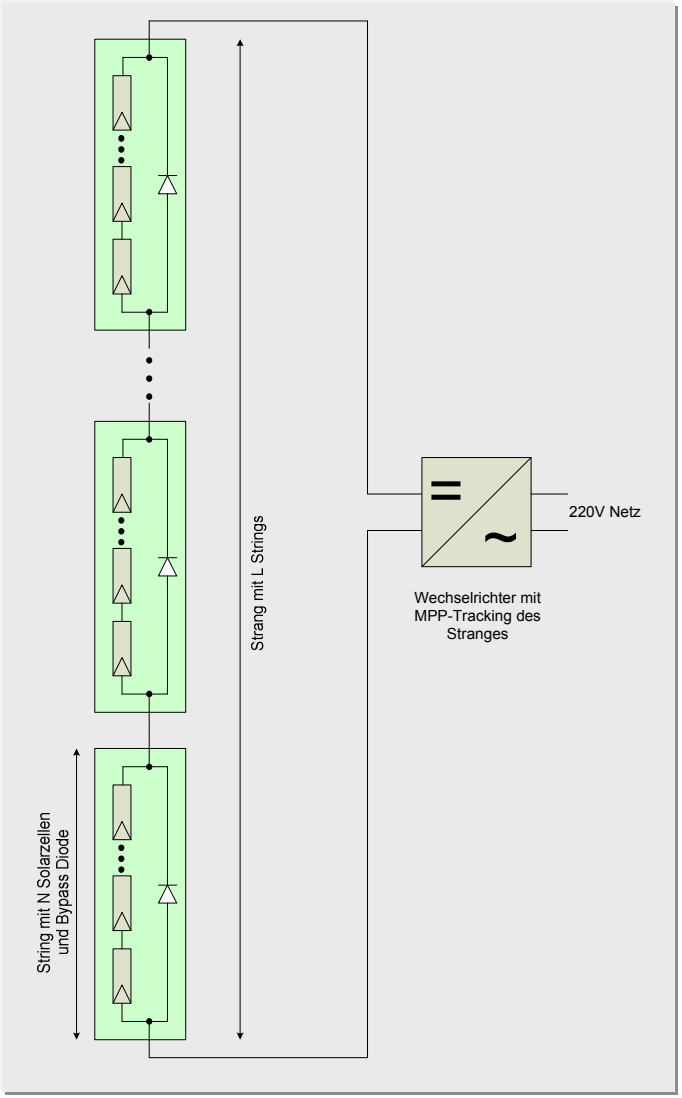
Nutzen: Neue Eigenschaften der Betriebssicherheit und systemische Ertragsoptimierung

Beispiel: Abschattungskompensation

solar micron
engineering the sunpower

Kalifornien: Holzhäuser und Abschattung durch Bäume

Beispiel: Abschattungskompensation



PV Generatoren sind hierarchisch aufgebaut:

- ein String besteht aus N Solarzellen und einer Bypass-Diode
- ein Strang besteht aus L Strings
- jeder Strang wird durch einen Wechselrichter ans Netz gekoppelt

Ziel ist eine möglichst hohe Nennspannung eines Stranges und ein möglichst kleiner Strom um Leitungsverluste (Nennstrom) und Wandlungsverluste (Nennspannung) zu minimieren.

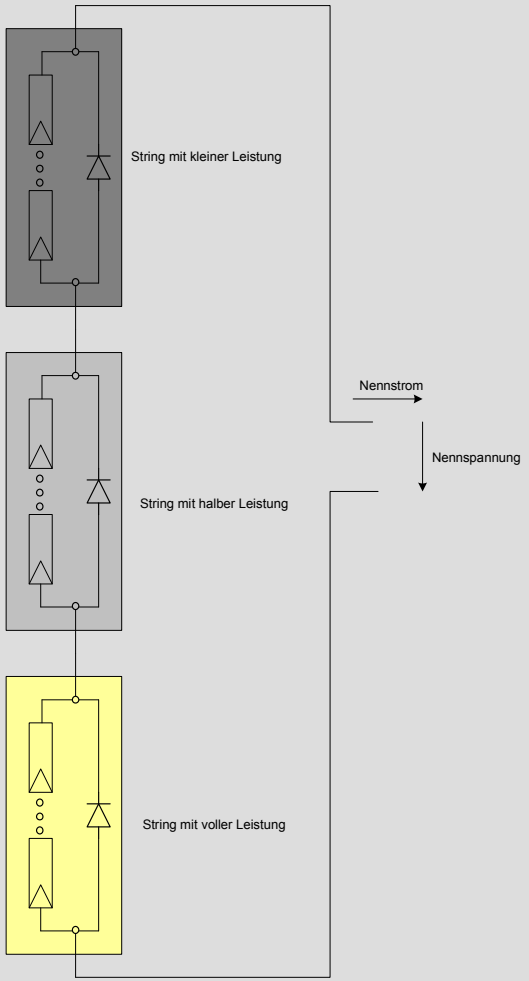
Deshalb werden in einem Strang viele Zellen in Reihe geschaltet (typ. bis zu 600 Solarzellen).

Die Bypass-Diode schützt abgeschattet Zellen vor der thermischen Zerstörung durch Rückspeisung.

Der ***Wechselrichter passt die Leistungsabgabe des gesamten Stranges*** auf Maximum an.

Er kann *Fehlanpassungen innerhalb des Stranges* nicht beseitigen.

Beispiel: Abschattungskompensation



Eine ***Strangfehlanpassung*** liegt vor wenn
die ***Strings unterschiedliche Leistungsabgabe*** besitzen.

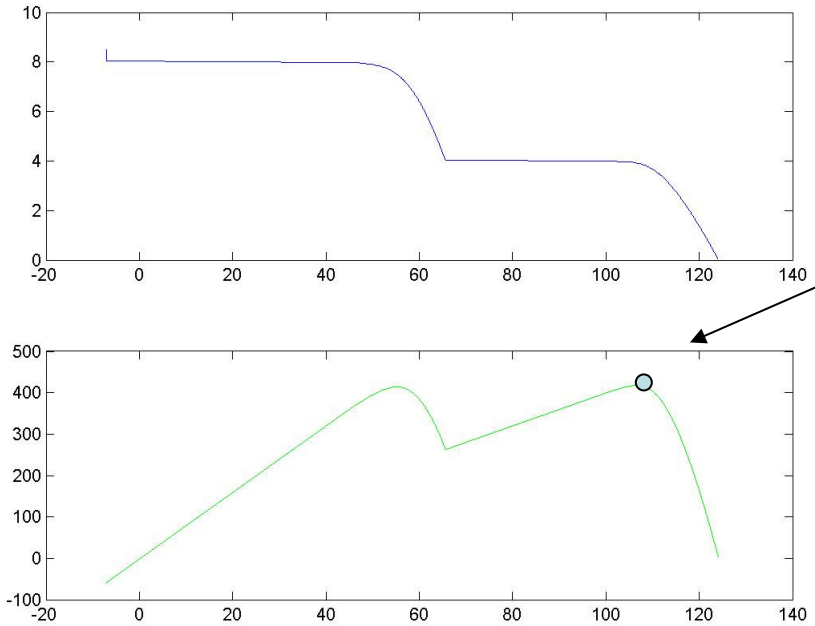
Ursachen dafür können sein
- Fertigungstoleranzen
- individuelle Alterung
- unterschiedliche Stringtemperatur
- Abschattung
- Verkabelung

Teilweise Abschattung dürfte hierfür die maßgebliche Ursache sein.

Der Wechselrichter kann nur die maximale Leistungsabgabe des Stranges bewirken. Diese wird aber empfindlich vom leistungs-schwächsten String bestimmt.

Die Summe der Stringleistungen ist größer als die maximale Leistung des Strangs die vom Wechselrichter entnommen wird.

Beispiel: Abschattungskompensation

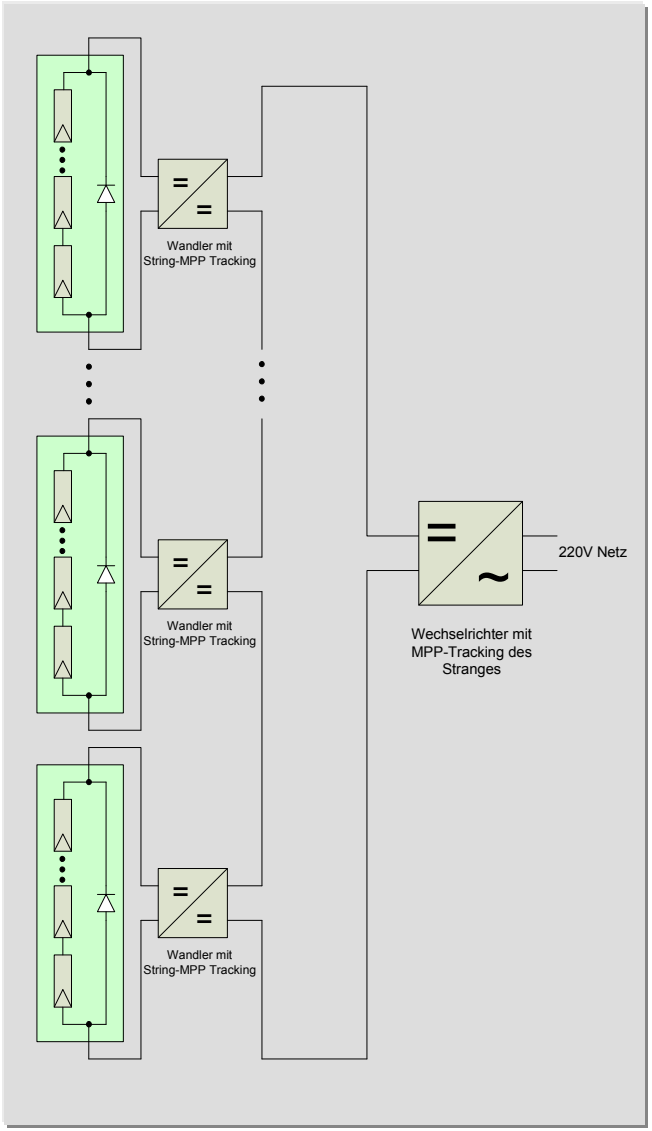


In diesen Punkt regelt der Wechselrichter die Leistungsabgabe ein.

In diesem Beispiel arbeiten vier Strings bei halber Leistungsabgabe. Dies kann durch Verschattung auftreten. Der Punkt maximaler Leistungsabgabe (MPP) entspricht bei weitem nicht der Summe aller maximalen Stringleistungen (MAX). Damit treten **Verluste von 23%** auf. Die vier Strings im Strang passen nicht zu den anderen sechs.

Example		String1	String2	String3	String4	String5	String6	String7	String8	String9	String10	Mean	Max	MPP	Loss	possible Gain compared to Peak Power in %
10	Current	8,00	4,00	4,00	4,00	4,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	6,40		3,91		
	Voltage	9,06	9,45	9,45	9,45	9,45	9,06	9,06	9,06	9,06	9,06	9,16		106,65		
	Power	72,50	37,80	37,80	37,80	37,80	72,50	72,50	72,50	72,50	72,50	58,62	586,00	417,00	28,84	***23,31***

Beispiel: Abschattungskompensation



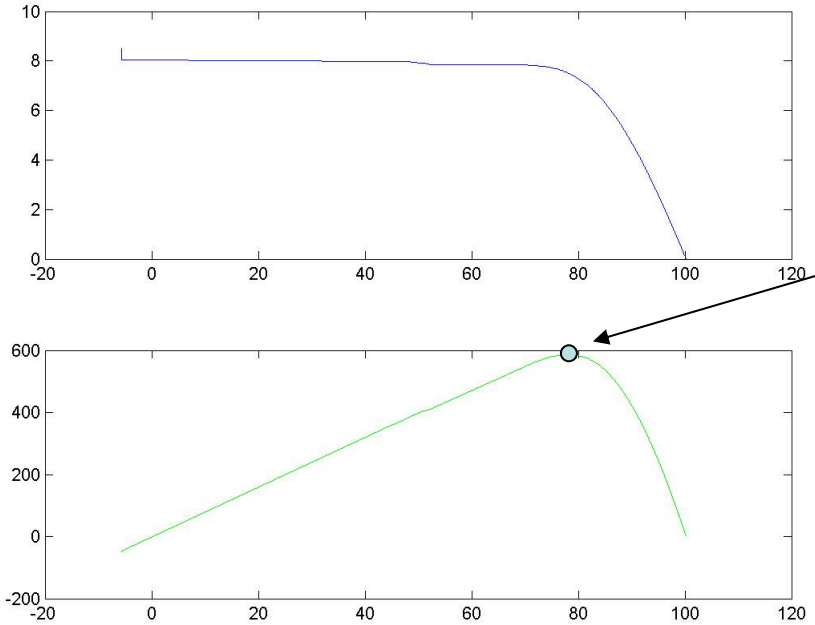
Die Lösung besteht in der individuellen Anpassung der Strings innerhalb Eines PV-Stranges.

Die Anpassung geschieht durch eine Wandler mit String MPP-Tracking.

Sinkt zum Beispiel die Leistung eines Strings dann passt der Wandler den Ausgangsstrom des Strings an die anderen Strings an (durch erhöhen des Stromes und Absenken der Spannung), bei gleichzeitiger maximaler String Leistungsabgabe.

Die Summe der Stringleistungen ist dann nahezu gleich (Wirkungsgrad des MPP-Wandlers) *der maximale Leistung des Strangs* die vom Wechselrichter entnommen wird.

Beispiel: Abschattungskompensation



In diesen Punkt regelt der Wechselrichter die Leistungsabgabe ein.

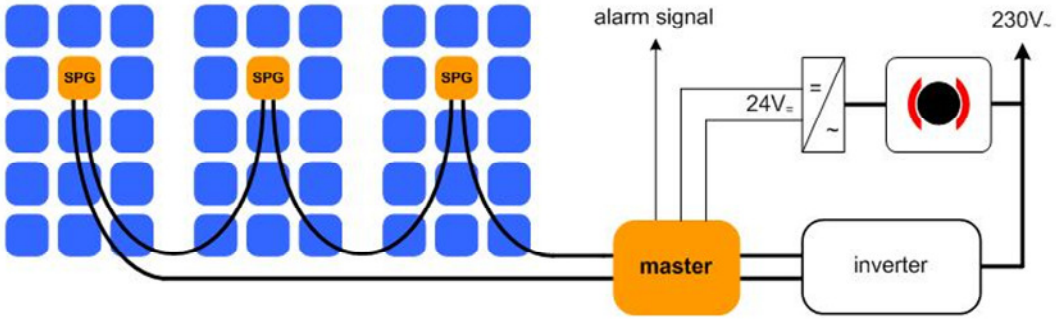
In diesem Beispiel arbeiten vier Strings bei halber Leistungsabgabe. Dies kann durch Verschattung auftreten. Für diese Strings sorgt der MPP-Tracker für eine Erhöhung des Stromes und somit können im Strang am MPP 7.5A fließen, obwohl Die vier schwachen Strings nur 4A Kurzschlußstrom aufbringen. Allerdings sinkt die Nennspannung jetzt auf 78.1V. (Dies wird im Wechselrichter zu leicht steigenden Verlusten führen). Der Punkt maximaler Leistungsabgabe (MPP) entspricht jetzt aber nahezu der Summe aller maximalen Stringleistungen (MAX).
Damit reduzieren sich die Verluste von 23% auf 0.03%.

Example		String1	String2	String3	String4	String5	String6	String7	String8	String9	String10	Mean	Max	MPP	Loss	possible Gain compared to Peak Power in %
10+pvc	Current	8,00	4,00	4,00	4,00	4,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	6,40		7,50		
	Voltage	9,06	9,45	9,45	9,45	9,45	9,06	9,06	9,06	9,06	9,06	9,16		78,13		
	Power	72,50	37,80	37,80	37,80	37,80	72,50	72,50	72,50	72,50	72,50	58,62	586,20	586,00	0,03	***0,03***
	Converter	1,00	0,51	0,51	0,51	0,51	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00					

Beispiel: Abschaltung im Gefährdungsfall

solar micron
engineering the sunpower

Modulabschaltung (0V) durch Leistungselektronik

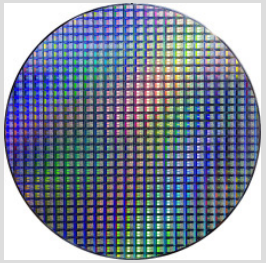
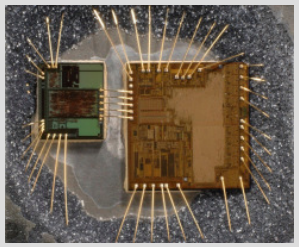
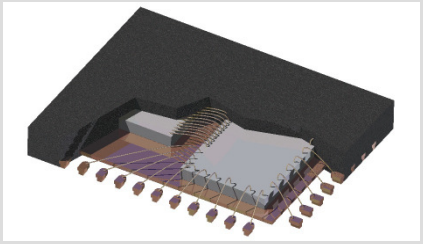
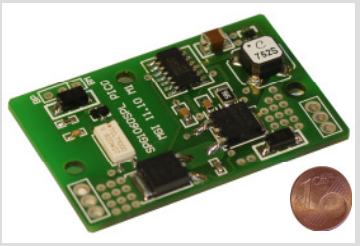


solar micron
engineering the sunpower

- Netzgekoppelte PV-Anlagen
- Faktoren der Technologieentwicklung
- Warum Elektronik am Solarmodul ?
- Hochintegration mit Smart-Power ICs
- Was darf das kosten ?
- Zuverlässigkeit

Hochintegration mit Smart-Power ICs

solarmicron
engineering the sunpower

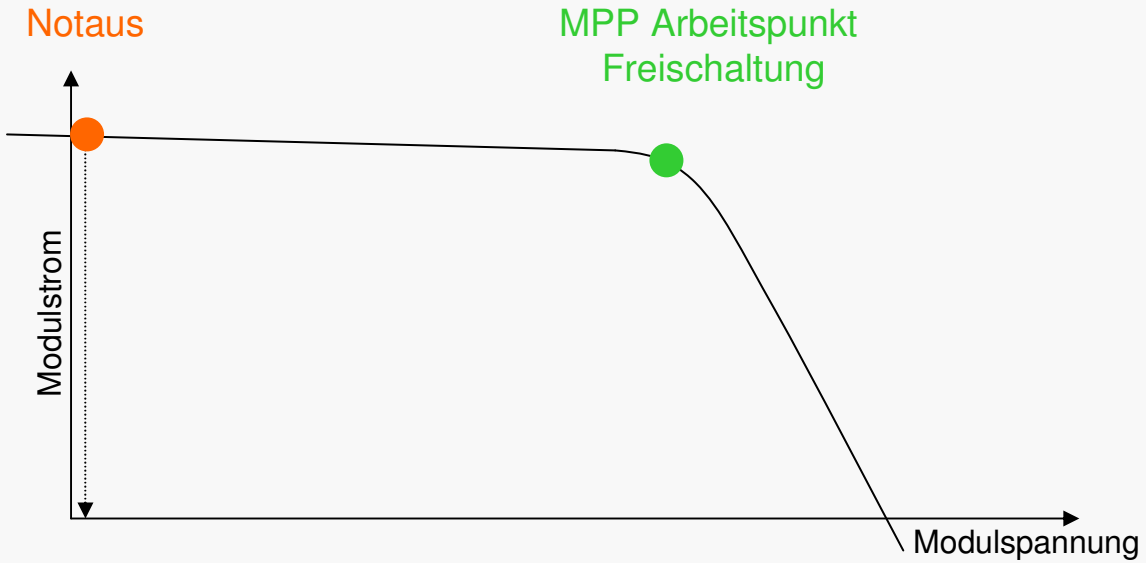





- Miniaturisierung → geringer Bauraum in Anschlußdosen
- Minimierung der Anzahl der Elektronik Komponenten
- Zuverlässigkeit → strukturiertes Silizium ist hochzuverlässig (SOA)
- Reduktion der Produktionskosten

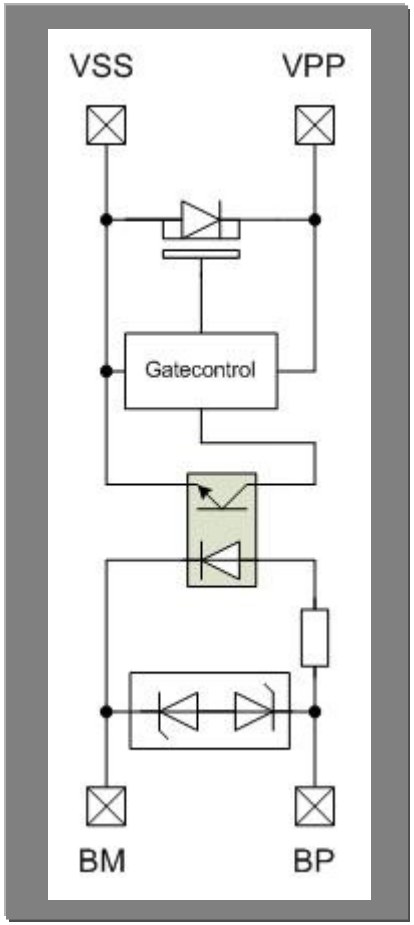
→ hohe Stückzahlen erforderlich (im Bereich Mio-Stück pro Jahr)I

Beispiel: IC für Abschaltung

solar micron
engineering the sunpower



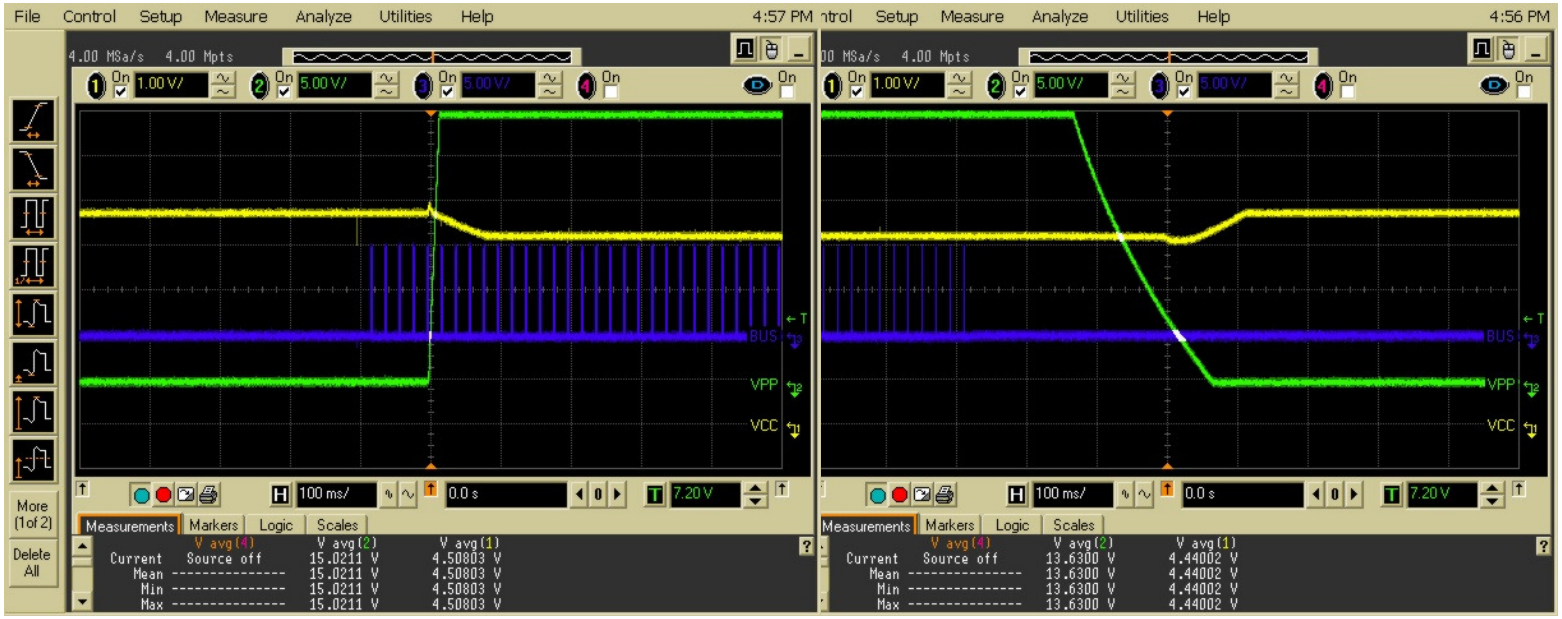
~ 150 mV : kleine ungefährliche Modulrestspannung
~ 1.5 W : geringe Schalterverlustleistung



Beispiel: IC für Abschaltung

solar micron
engineering the sunpower

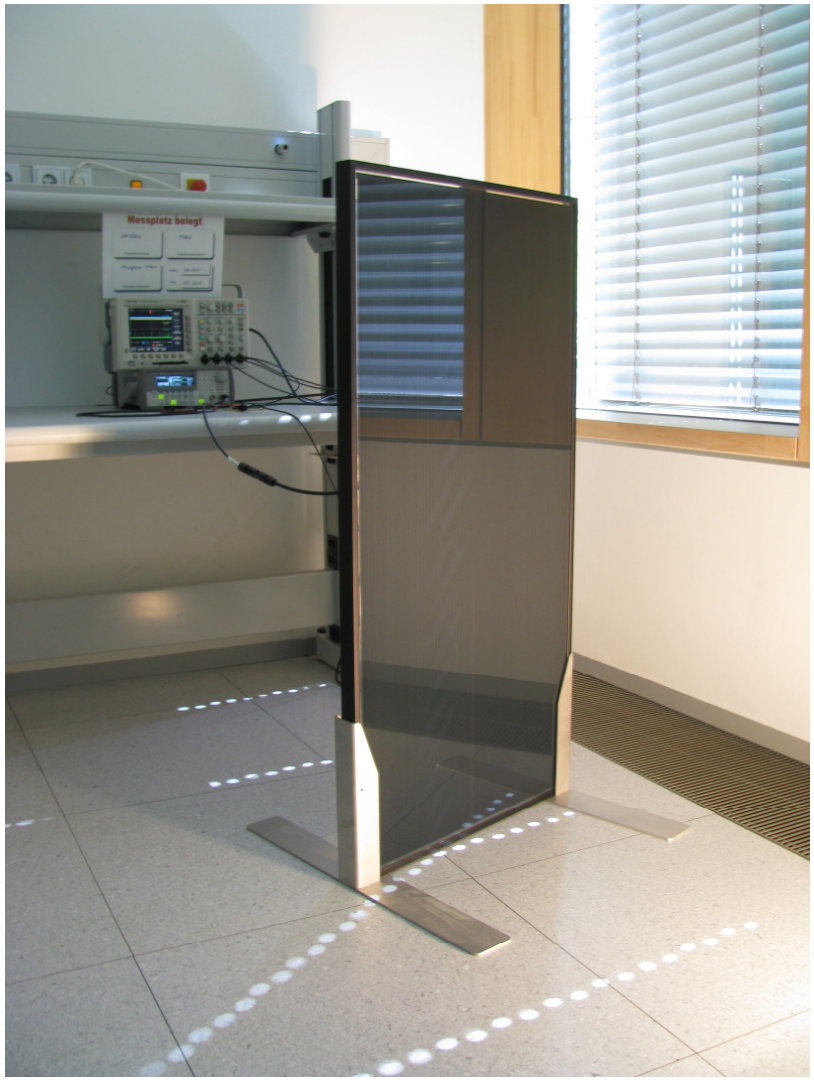
Notaus → Freischaltung → Notaus

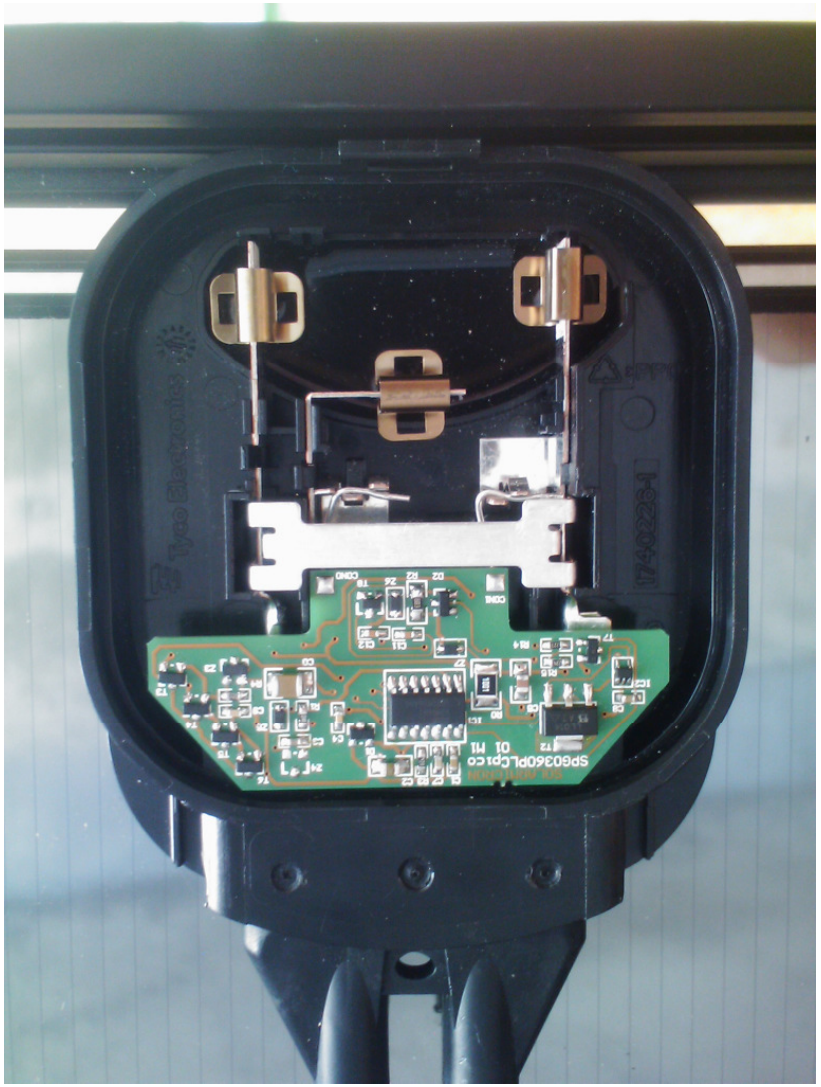


- Modulspannung : im Notaus 150mV
- Freischaltesignal : stromsparendes, robustes FS-Signal
- Versorgungsspannung : im Notaus 4.6V

Beispiel: IC für Abschaltung

solar micron
engineering the sunpower





solar micron
engineering the sunpower

- Netzgekoppelte PV-Anlagen
- Faktoren der Technologieentwicklung
- Warum Elektronik am Solarmodul ?
- Hochintegration mit Smart-Power ICs
- Was darf das kosten ?
- Zuverlässigkeit

Was darf das kosten ?

solar micron
engineering the sunpower

Sonnenstunden pro Jahr	2000	2000	1500	2000	1500	1500		1500	1800
Sonnenstunden pro Monat	166,67	166,67	125,00	166,67	125,00	125,00		125,00	150,00
Einspeisetarif kWh/Cent	50	50	50	50	50	25		25	25
Kosten PVconverter Cent/W	100	50	40	20	20	20		10	10
Anpassungsverluste in %	10	10	10	10	10	10		5	13
Ertragsgewinn in Cent pro Monat pro W	0,833	0,833	0,625	0,833	0,625	0,313		0,156	0,488
Break-Even in Monaten	120	60	64	24	32	64		64	20,5
Break-Even in Jahren	10,0	5,0	5,3	2,0	2,7	5,3		5,3	1,7
Ertragsgewinn Golden-End (20 Jahre Gesamtlaufzeit) in € pro W	1,00	1,50	1,10	1,80	1,30	0,55		0,28	1,07

Modellrechnung – Bestimmung der Investitionskosten für MPP Tracking

Sonnenstunden	: 1500
Einspeisevergütung	: 25 €Cent / kWh
Ertragssteigerung	: 10%
Break-Even	: 3 Jahre

Zulässige Investkosten : 10 €Cent / Wp (240Watt Modul → 24€)

solar micron
engineering the sunpower

- Netzgekoppelte PV-Anlagen
- Faktoren der Technologieentwicklung
- Warum Elektronik am Solarmodul ?
- Hochintegration mit Smart-Power ICs
- Was darf das kosten ?
- Zuverlässigkeit

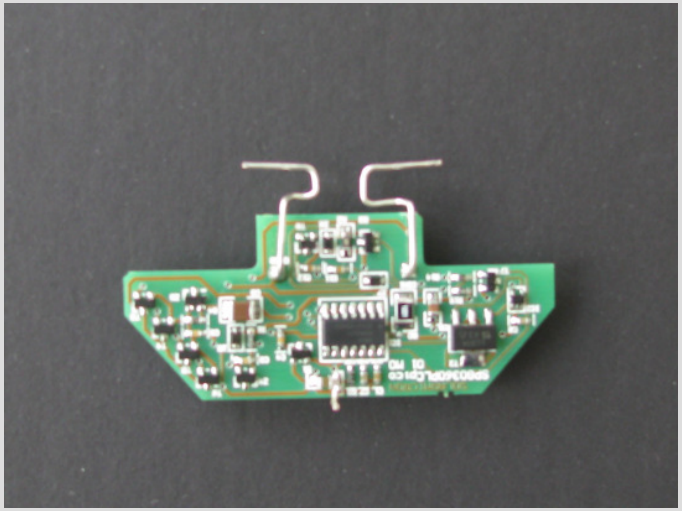
Zuverlässigkeit

solar micron
engineering the sunpower

Heute

einfache Funktion
erprobte Zuverlässigkeit

Zukunft

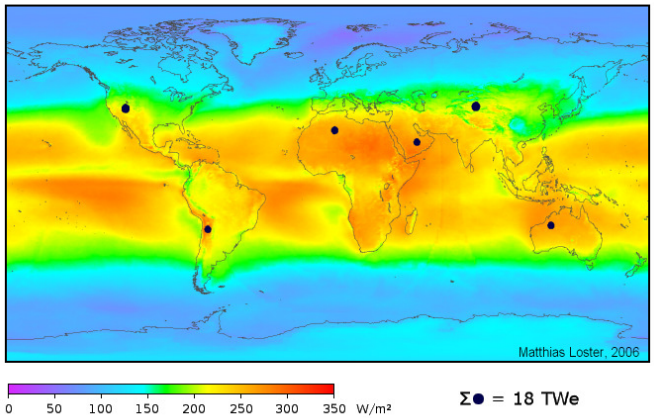


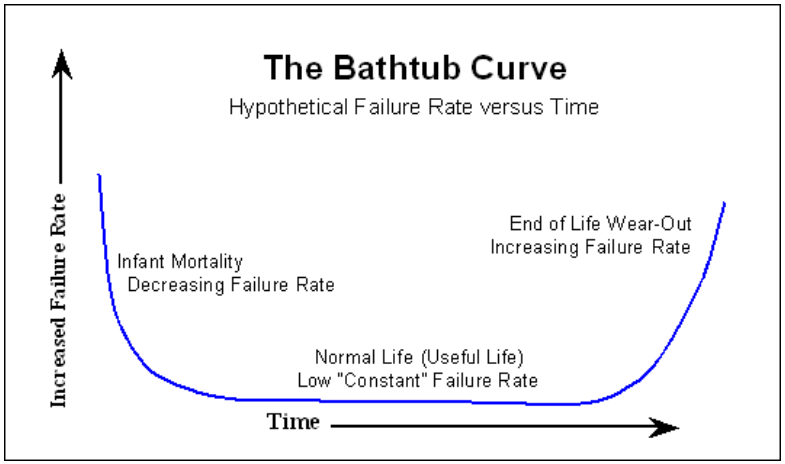
komplexe Funktion
Zuverlässigkeit ?

Zuverlässigkeit - Anforderungen

solar micron
engineering the sunpower

Laufzeit	: 25 Jahre (200 000 h)
Sonnenstunden	: 1000 – 3000 pro Jahr (25 000 – 30 000 h)
Temperaturbereich	: -40°C bis 105°C (in der Anschlußdose)
ISO Koordination	: 1000 V (1500 V)
VG Grad	: II (zeitweise Betauung)
Bemessungsstrom / -spannung	: 20 A / 120 V
EMC	: 6 kV Surge Pulse
Ausfallrate	: im ppm Bereich





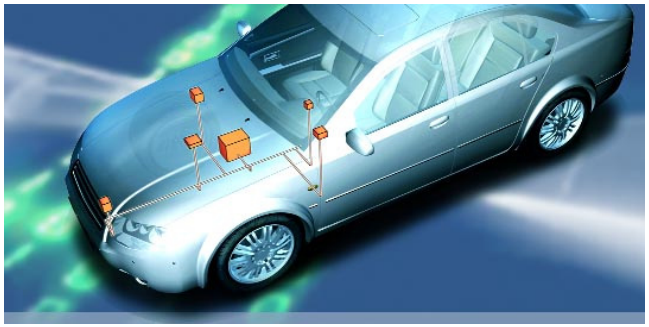
Zuverlässigkeit - Standards

solarmicron
engineering the sunpower

Keine Normung für Modulelektronik bisher !

Aber wir können auf anderen Industriebereichen aufsetzen

Automotive
Rauhe Umwelteinflüße / extrem geringe Ausfallrate



Telekommunikation
Lange Betriebszeiten (Vermittlung)

PV Modulelektronik : AEC-Q100/200/300 + 25 Jahre Betriebsdauer

Zuverlässigkeit - Feldtests

Firmen Teststand

Module : Solarwatt 240 Watt
WR : SMA SB 1200
Monitoring : SM Technology

4000 Betriebsstunden bisher

Stress/Alterung

HTOL 150℃ im DMOS Lab

solar micron
engineering the sunpower

Zusammenfassung

- Optimierung von PV-Anlagen durch Smart-Power Management möglich
- Halbleitertechnologien verfügbar und erprobt (More than Moore TECs)
- Standards fehlen (Systemnormen und Qualitätsanforderungen)
- Risiko Investment nötig (→ US)

solar micron
engineering the sunpower

www.solarmicron.com