

## AUSLEGUNGSFLEXIBILITÄT DES WECHSELRICHTERS FRONIUS SYMO

### 1. Einleitung

Da die Anwendungsfälle, in denen der Einsatz mehrerer Maximum Power Point Tracker (MPPT) sinnvoll ist, sehr vielfältig sind, ergeben sich viele unterschiedliche Anforderungen an die technischen Eigenschaften der MPP-Tracker von Wechselrichtern mit mehreren MPPT. Im Wesentlichen lassen sich die Anwendungen wie folgt zusammenfassen:

- / Symmetrischer Generator mit unterschiedlichen Ausrichtungen (Neigung, Orientierung)
- / Unsymmetrischer Generator mit unterschiedlichen Ausrichtungen (Neigung, Orientierung)
- / Teilverschattung am Generator
- / Optimale Planungsflexibilität (Möglichkeit nahezu jede sinnvolle Modulanzahl anzuschliessen, Möglichkeit alle Stränge parallel zu schalten,...)

Nachfolgend wird untersucht welche Auswirkungen diese Anwendungen auf die technischen Anforderungen des Wechselrichters haben und wie die Fronius Symo Serie diesen Anforderungen gerecht wird.

### 2. Technische Anforderungen

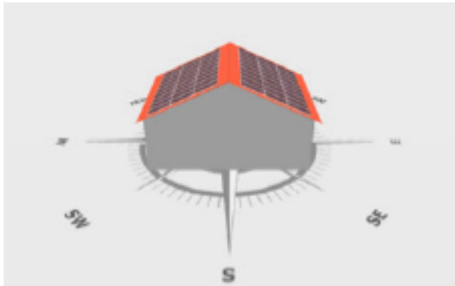
#### 2.1. Symmetrischer Generator mit unterschiedlichen Ausrichtungen

Wenn der PV-Generator mehr als eine Neigung und/ oder Orientierung aufweist, empfiehlt es sich, die Teilgeneratoren an unabhängige MPP-Tracker anzuschliessen. Verschiedene Untersuchungen [1] [2] haben zwar gezeigt, dass unter gewissen Voraussetzungen auch solche Anlagen an einen MPP-Tracker angeschlossen werden können, dennoch steigt die Flexibilität bei Verwendung eines zweiten MPPT. Ost/ West Anlagen oder ähnliche werden meistens so gebaut, dass sich die Leistung der beiden Teilgeneratoren ungefähr gleich aufteilt. Die sich für den Wechselrichter ergebende Anforderung wäre daher, möglichst zwei gleichwertige MPPT im Bezug auf Strom- und Spannungscharakteristik zu haben. Konkret heisst das, dass die beiden MPPT je circa 50-60% der AC-Nennleistung ( $P_{ac,nenn}$ ) des Wechselrichters umsetzen müssen.

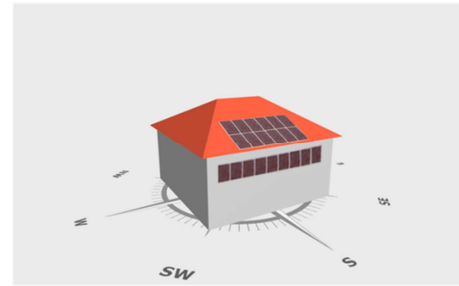
Weiters ist es sehr sinnvoll, wenn die maximale DC-Spannung ( $U_{dc,max}$ ) des Wechselrichters möglichst hoch ist, um die Anlage mit möglichst wenig Strängen (optimal wäre ein Strang pro MPPT) bauen zu können.

Anwendungsbeispiele:

/ Generator mit unterschiedlichen Orientierungen  
(z.B. Ost/ West)



/ Generator mit unterschiedlichen Neigungen (z.B. Dach/ Fassade)



Anforderungen:

	Anforderung an MPPT 1	Anforderung an MPPT 2
$P_{dc}$ in % von $P_{ac,nenn}$	50-60 %	50 %
$U_{dc,max}$	Möglichst hoch (z.B 1000 V)	Möglichst hoch (z.B 1000 V)

*Tabelle 1: Anforderung an die beiden MPPT um optimale Auslegbarkeit bei unterschiedlichen Modulausrichtungen zu ermöglichen.*

## 2.2. Generator mit Teilverschattung, unsymmetrischer Generator mit unterschiedlicher Ausrichtung

Speziell bei PV-Anlagen auf Gebäuden lassen sich kleinere Verschattungen oft kaum vermeiden, weshalb auch hier gerne Wechselrichter mit mehreren MPPT verwendet werden. Wird die Anlage mit nur einem Strang geplant (typischerweise möglich bei Anlagen bis circa 5 kWp), ist es nicht unbedingt nötig die verschatteten Module von den unverschatteten zu trennen, wie in [3] gezeigt wurde. Sobald der PV-Generator jedoch aus mehr als einem Strang besteht (typischerweise ab 5 kWp), empfiehlt es sich den verschatteten und den unverschatteten Teil der Anlage auf zwei unabhängigen MPPT zu betreiben. Meistens verhält es sich dabei so, dass nur ein kleinerer Anlagenteil von der Verschattung (z.B. durch Kamin, Baum,...) betroffen ist. Das heißt einer der beiden MPPT sollte in diesem Fall in der Lage sein, nahezu die gesamte PV-Leistung verarbeiten zu können. Der zweite Tracker hingegen, muss nur auf die Leistung der verschatteten Module ausgelegt sein. Weiters relevant ist die Höhe der minimalen DC-Spannung des Wechselrichters ( $U_{dc,min}$ ). Fällt diese gering aus so ist es möglich den verschatteten Strang auch sehr kurz (also mit wenigen Modulen) zu planen. Ausserdem kann die Spannung der Module im Verschattungsfall unter die minimale MPP-Spannung ( $U_{mpp,min}$ ) laut Datenblatt sinken. Der Wechselrichter sollte daher auch unterhalb der  $U_{mpp,min}$  noch weiterarbeiten können.

Ähnliche Anforderungen ergeben sich auch, wenn eine Anlage mit unterschiedlichen Ausrichtungen nicht in zwei gleich große Teilgeneratoren aufgeteilt werden kann oder soll. Das passiert zum Beispiel wenn unterschiedlich große Dachhälften zur Verfügung stehen, oder ein Teil der Anlage am Dach- und ein kleinerer Teil beispielsweise auf einem Wintergarten montiert wird. In diesen Fällen ist es ebenfalls nötig an einen MPPT

nahezu die gesamte PV-Leistung anzuschließen, wohingegen der zweite MPPT nur einen kleinen Teil der Modulleistung verarbeiten muss (ähnlich wie im Verschattungsfall).

Anwendungsbeispiele:

/ Generator mit Teilverschattung



/ Generator mit kleiner Nebenanlage



Anforderungen:

	Anforderung an MPPT 1	Anforderung an MPPT 2
$P_{dc}$ in % von $P_{ac,nenn}$	80-90 %	10-20 %
$U_{dc}$	$U_{dc,max}$ : Möglichst hoch (z.B. 1000 V)	$U_{dc,min}$ : Möglichst niedrig (z.B. 150 V)

Tabelle 2: Anforderung an die beiden MPPT um optimale Auslegbarkeit bei Teilverschattungen und unsymmetrischem Generator zu ermöglichen.

### 2.3. Optimale Planungsflexibilität

Auch wenn ein Generator nur eine Modulausrichtung und keine Verschattungen aufweist, kann der Einsatz von Wechselrichtern mit mehreren MPPT sinnvoll sein. So lassen sich damit Anlagen mit nahezu jeder beliebigen Modulanzahl verschalten, wodurch das Dach optimal ausgenutzt werden kann. Das gilt aber nur dann, wenn der Wechselrichter in der Lage ist sogenannte „Restmodule“ anzuschließen. Um das zu ermöglichen, gilt ähnlich wie bei den teilverschatteten Anlagen, dass einer der beiden Tracker in der Lage sein sollte, nahezu die gesamte Leistung des Generators zu verarbeiten.

Vor allem bei größeren Anlagen kann es sinnvoll sein eine DC-Sammelbox zu verwenden und diese mit nur einer DC-Hauptleitung mit dem Wechselrichter zu verbinden. Das heißt man verzichtet in diesem Fall auf die Multitrackerfunktion. Eine solche Vorgehensweise ist jedoch nur möglich, wenn der Wechselrichter in der Lage ist, beide MPPT parallel zu betreiben oder anders gesagt, aus einem Wechselrichter mit mehreren MPPT einen Singletracker-Wechselrichter zu machen.

	Anforderung an MPPT 1	Anforderung an MPPT 2
$P_{dc}$ in % von $P_{ac,nenn}$	100 % bzw. parallelschaltbar mit MPPT2	10-20 %
$U_{dc}$	$U_{dc,max}$ : Möglichst hoch (z.B. 1000 V)	$U_{dc,min}$ : Möglichst niedrig (z.B. 150 V)

Tabelle 3: Anforderung an die beiden MPPT um optimale Planungsflexibilität zu ermöglichen.

## 2.4. Zusammenfassung

Aus den drei unterschiedlichen Anwendungsbeispielen ergeben sich für den optimalen Wechselrichter mit mehreren MPPT folgende Anforderungen.

	Anforderung an MPPT 1	Anforderung an MPPT 2
<b>P<sub>dc</sub> in % von P<sub>ac,nenn</sub></b>	100 % bzw. parallelschaltbar mit MPPT2	50 %
<b>U<sub>dc,min</sub></b>	Keine Anforderung	Möglichst niedrig (z.B. 150 V)
<b>U<sub>dc,max</sub></b>	Möglichst hoch (z.B. 1000 V)	Möglichst hoch (z.B. 1000 V)

Tabella 4: Anforderung an die beiden MPPT für ein optimales Gesamtsystem.

## 3. Der Wechselrichter Fronius Symo im Vergleich

Die Fronius Symo Serie ist von 3 bis 20 kW mit zwei MPPT ausgestattet. Der Eingangsspannungsbereich und die Strombelastbarkeit der beiden MPPT sind so gewählt, dass sowohl symmetrische (typische Ost/West Anlagen) als auch asymmetrische (verschattete Anlagen, kleine Nebenanlagen) Anlagen sehr flexibel realisiert werden können. Die minimale Eingangsspannung liegt bei 150 beziehungsweise 200 V und die maximale Eingangsspannung beträgt 1.000 V. In Summe sind damit die oben beschriebenen Anforderungen sehr gut erfüllt.

Ein Vergleich der Fronius Symo Serie mit anderen, am Markt befindlichen Wechselrichtern mit mehreren MPPT ist im folgenden Diagramm dargestellt. Die Balken im Diagramm stellen dabei dar, welche Anlagen mit dem jeweiligen Wechselrichter realisiert werden können. Diese reichen von stark asymmetrischen Anlagen, mit einem Leistungsverhältnis der beiden Teilgeneratoren von 10/ 90 (links), bis hin zu symmetrischen Anlagen mit einem Leistungsverhältnis von 50/ 50 (rechts). Der Fronius Symo 5.0 kommt zum Beispiel mit einem Leistungsverhältnis von 30/ 70 noch sehr gut zurecht. Man erkennt, dass im Leistungsbereich bis circa zehn kW die meisten Geräte mit symmetrischen Verschaltungen sehr gut umgehen können, wohingegen unsymmetrische Verschaltungen teilweise schwierig bis unmöglich sind. Bei Wechselrichtern über zehn kW sind meist unsymmetrische Verschaltungen möglich. Die Fronius Symo Serie schafft jedoch über den gesamten Leistungsbereich symmetrische Verschaltungen, bis hin zu relativ stark unsymmetrischen Systemen.

Anmerkung: Alle Berechnungen wurden mit typischen 240W Modulen mit 6“ Zellen durchgeführt.

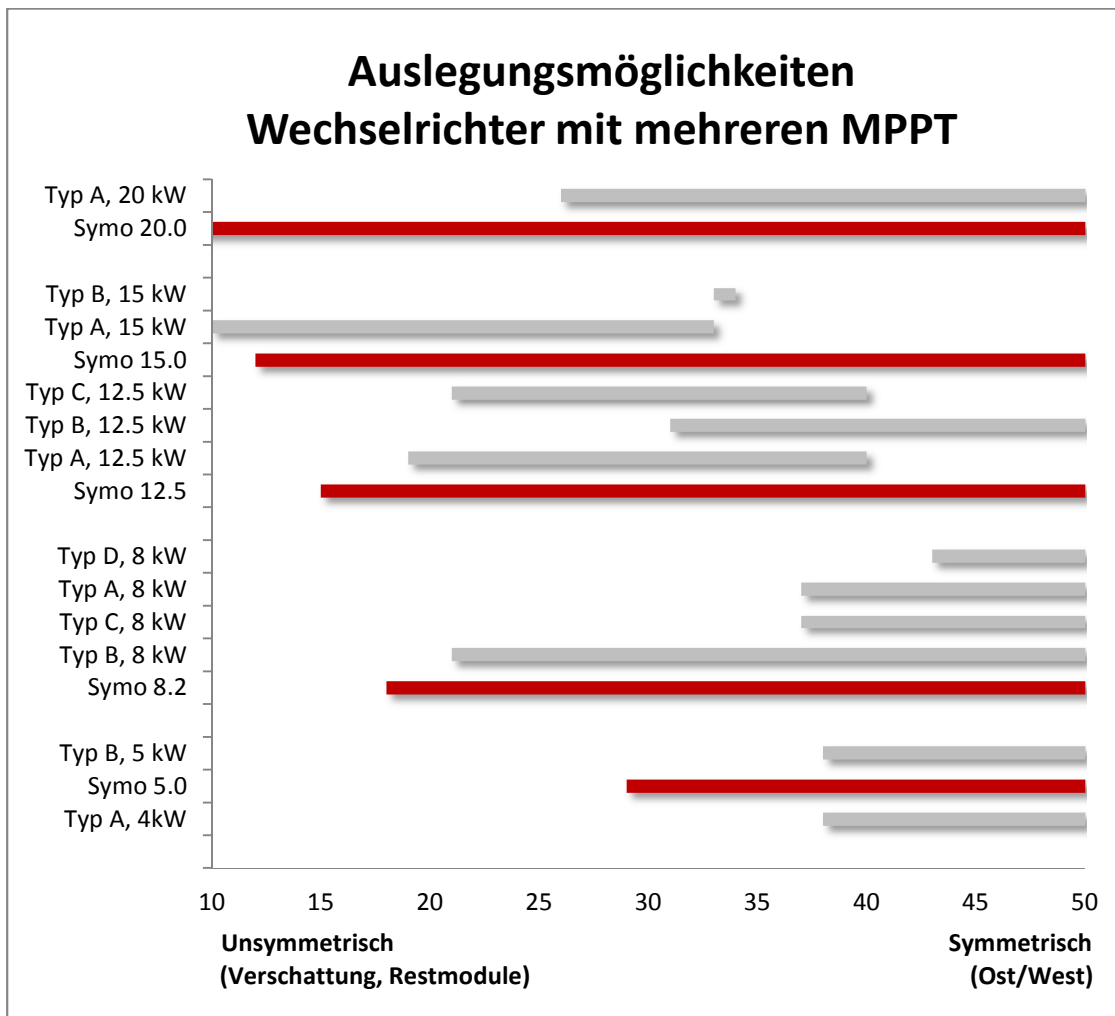


Diagramm 1: Auslegungsvergleich Fronius Symo mit marktüblichen Wechselrichtern

#### 4. Verhalten im Verschattungsfall

Wie in Kapitel 2 gezeigt, sind die technischen Eigenschaften der beiden MPPT eines Wechselrichters wesentlich für die optimale Auslegbarkeit des Wechselrichters in verschatteten Anlagen. Zusätzlich stellt sich jedoch auch noch die Frage, wie gut der Wechselrichter beziehungsweise der jeweilige MPPT in der Lage ist, den optimalen Arbeitspunkt der Module im Verschattungsfall zu finden. Wie in [3] gezeigt, kann es in verschatteten Anlagen relativ leicht zu einer P (U) Kennlinie (Leistung vs. Spannung) kommen, welche ein globales und ein lokales Maximum aufweist (siehe Diagramm 2). Je nach Ausprägung dieser beiden Maxima und dem konkreten MPP-Tracking-Verhalten des Wechselrichters, kann es dazu führen, dass der Wechselrichter im lokalen Maximum der Generatorkennlinie „hängenbleibt“ und somit nicht den maximalen Ertrag aus den Modulen herausholt. Um das zu verhindern, hat der Fronius Symo ein neuartiges Tracking-Verfahren integriert, mit dem er in der Lage ist das globale Maximum sicher zu finden. Dadurch ist der Fronius Symo in verschatteten Anlagen nicht nur optimal dimensionierbar, sondern hilft auch im Betrieb die Verluste durch Verschattungen zu minimieren.

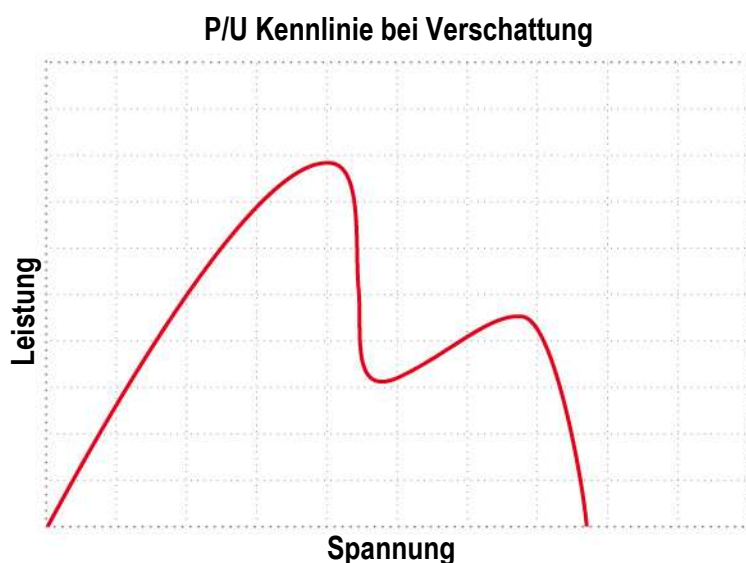


Diagramm 2: Verschattete Generatorkennlinie mit globalem und lokalem Maximum.

## 5. Zusammenfassung

Die vielfältigen Anwendungen in der Photovoltaik stellen teils widersprüchliche Anforderungen an die MPP-Tracker Eigenschaften von Wechselrichtern. Typische Ost/ West Anlagen benötigen Wechselrichter mit symmetrischer Leistungsaufteilung zwischen den beiden MPPT und hohen Eingangsspannungen. Im Gegensatz dazu, sind für verschattete Anlagen oder kleine Teilgeneratoren, Wechselrichter mit asymmetrischer Leistungsaufteilung zwischen den beiden MPPT und kleine Eingangsspannungen nötig.

Der Fronius Symo vereint diese beiden Anforderungen in optimaler Weise und ermöglicht so die universelle Einsetzbarkeit. Das optimierte MPP-Tracking bei Verschattung schafft zudem eine optimale Energieausbeute bei verschatteten Anlagen.

## 6. Anhang: Auslegungsbeispiele

Die folgenden Tabellen geben einen kurzen Überblick über die flexiblen Auslegungsmöglichkeiten ausgewählter Modelle der Fronius Symo Serie. Bei den Beispielen wurde ein typisches PV-Modul mit 6" Zellen und einer Leistung von 240 Wp verwendet.

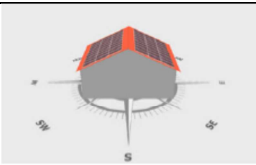
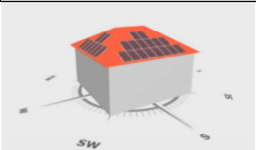
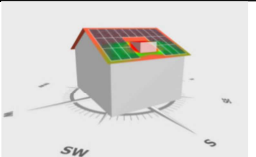
Anwendung: Anschluss von 46 Modulen an Fronius Symo 10.0	Gewünschte Modulanzahl auf...		Symmetrie- grad	Anschlussmöglichkeit		
	MPPT1	MPPT2			MPPT 1	MPPT 2
	23	23	hoch	✓	1x23	1x23
	24	22	hoch	✓	2x12	1x22
	25	21	hoch	✗	---	---
	26	20	mittel	✓	2x13	1x20
	27	19	mittel	✓	3x9	1x19
	28	18	mittel	✓	2x14	1x18
	29	17	mittel	✗	---	---
	30	16	mittel	✓	2x15	1x16
	31	15	gering	✗	---	---
	32	14	gering	✓	2x16	1x14
	33	13	gering	✓	3x11	1x13
	34	12	gering	✓	2x17	1x12
	35	11	gering	✗	---	---
	36	10	gering	✓	2x18	1x10

Tabelle 5: Dieses Auslegungsbeispiel zeigt zehn verschiedene Auslegungsmöglichkeiten (mit unterschiedlichen Symmetriegraden) beim Einsatz des Fronius Symo 10.0 mit 46 PV-Modulen.

Anwendung: Anschluss von 23 Modulen an Fronius Symo 5.0	Gewünschte Modulanzahl auf...		Symmetrie- grad	Anschlussmöglichkeit		
	MPPT1	MPPT2			MPPT 1	MPPT 2
	12	11	hoch	✓	1x12	1x11
	13	10	mittel	✓	1x13	1x10
	14	9	mittel	✓	1x14	1x9
	15	8	gering	✓	1x15	1x8
	16	7	gering	✓	1x16	1x7

Tabelle 6: Dieses Auslegungsbeispiel zeigt fünf verschiedene Auslegungsmöglichkeiten (mit unterschiedlichen Symmetriegraden) beim Einsatz des Fronius Symo 5.0 mit 23 PV-Modulen.



GRENZEN VERSCHIEBEN

## 7. Referenzen

- [1]... Efficient East-West orientated PV Systems with one MPP-Tracker, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Spain, 2010
- [2]... Auslegung von PV-Anlagen im Polystring-Betrieb –Eigenverbrauchsoptimierung vs. Mismatch-Verlust, 27. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2012
- [3]... Monostring vs. Polystring, Technical Analysis Fronius