




KORREKTE STRINGAUSLEGUNG MIT OPTIMIERERN

Lars Huber, Fachspezialist Photovoltaik
Helion Energy AG, Zuchwil

Solar-Update 2022 | 17. November 2022



1



Übersicht

01 Einleitung

02 Beispiele

03 Hinweise

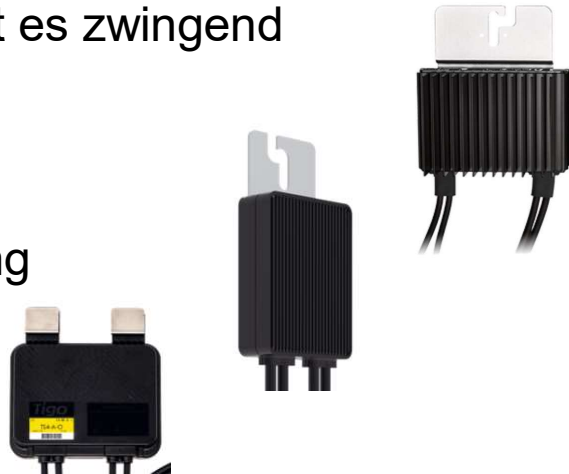
04 Zusatzinformation
(nicht Teil der Präsentation)

2

Keynote

Auch mit Optimierer braucht es zwingend eine technische Auslegung!

Stichwort: Spannungshaltung



Thematik wird leider in der Praxis nur selten beachtet !

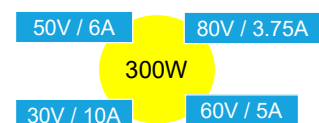
3

Hauptzweck von Optimierer

- Negative Auswirkungen im String aufgrund unterschiedlicher Produktionsleistungen bei Modulen minimieren oder gar aufheben
- Ursachen: unterschiedliche Ausrichtungen, Verschattung, Schnee, partielle Verschmutzung
→ tiefere Einstrahlung führt zu tieferen Strom im String (Spannung nicht beeinflusst)
- Funktionsweise Optimierer: String von strom- in spannungsgesteuert umwandeln
→ Strom im String maximal halten
- **ACHTUNG:** wenn geforderte Systemspannung nicht erreicht, dann wird Strom begrenzt, trotz Optimierer

I ↘
U →
P ↘

Beispiel DC/DC Wandler



4

Helion

Unterschiede Optimierer

Hersteller	Buck	Burst	Bypass	Max. U-Ausgang Optimierer	Geforderte Stringspannung
SolarEdge	✓	✓	✗	60V (P401, S440, ...) 80V (P505, P850, ...)	750V konstant (alle Modelle) Ausnahme 850V konstant (nur SE30K)
Huawei	✓	✗	✓	$U_{ModulMPP}$ (abhängig Temperatur)	abhängig Wechselrichter Min U_{MPP}
Tigo	✓	✗	?	$U_{ModulMPP}$ (abhängig Temperatur)	abhängig Wechselrichter Min U_{MPP}

Betriebs-Modi

- Buck: Spannungsabsenkung ($U_{OptimiererOUT} \leq U_{ModulMPP}$)
- Burst: Spannungsanhebung ($U_{OptimiererOUT} \geq U_{ModulMPP}$)
- Bypass: Elektronik wird weggeschaltet wenn keine Optimierung benötigt wird (schont die Lebensdauer)

5

Helion

Energieverhältnis Ost-West (Oktober)

- Optimierer mit max. 60V Ausgangsspannung
- Festspannung von 750V
- 1 String mit 24 Optimierer
- Mindestanzahl gefordert gemäss Datenblatt: 16 Stück

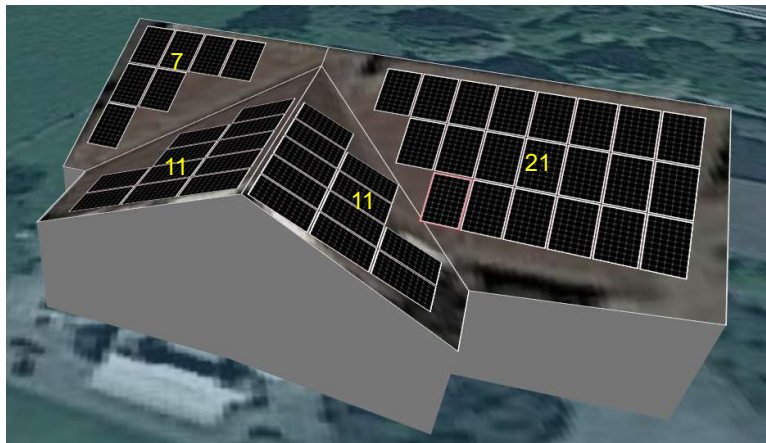
Situation am Morgen (Oktober)

#OP Total	#OP Ost	#OP West	P Ost [W]	P West [W]	I [A]	
24	12	12	250	25	> 4.2	Ost nicht beeinflusst
24	11	13	217	25	3.6	Begrenzung startet -13%
24	10	14	140	25	2.3	-44%
24	9	15	107	25	1.8	-57%
24	8	16	89	25	1.5	-64%
24	7	17	77	25	1.3	-69%

6

Beispiel 1 (Ausrichtungen): Ausgangslage

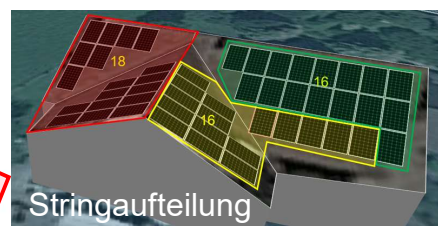
- Süd: 28 Stk (7+21)
- Ost: 11 Stk
- West: 11 Stk
- Vorschlag von Auslegetool «Auto-String-Funktion»
übernommen → verschiedene Ausrichtungen im String
- 3 Strings
- Optimierer: 60V
- Erforderliche Stringspannung: 750V



7

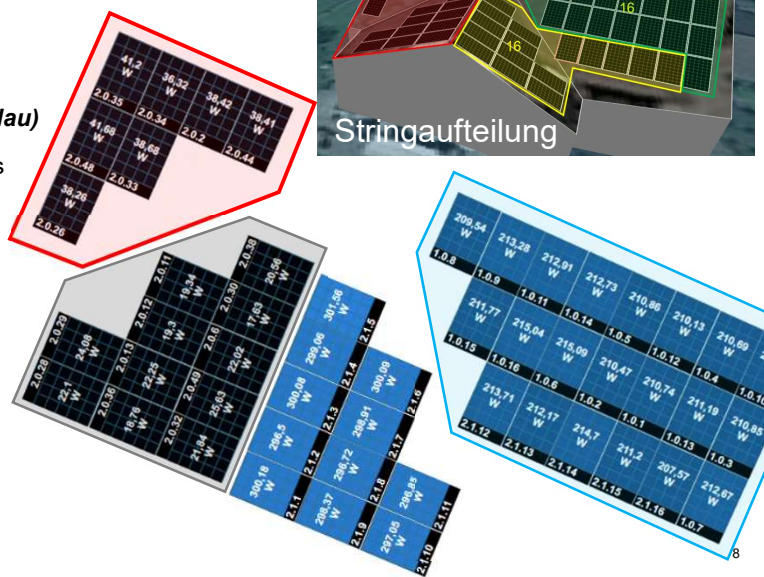
Beispiel 1 (Ausrichtungen): Problematik

- Zeitpunkt: 10:00 Uhr / 2. Mai 22
- **Problem Süd: 40 W (rot) statt 210 W (blau)**
- Süd: aufgeteilt auf 2 verschiedene Strings
- West von 18er String nur **20W (grau)**
- Systemspannung nicht lieferbar
→ Strombegrenzung



Berechnung Situation:

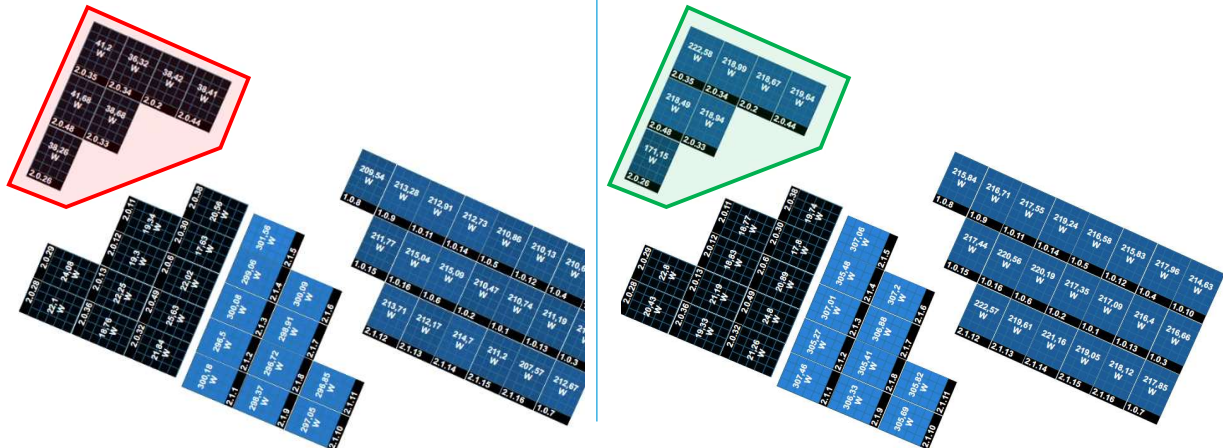
- 750V vom System benötigt
- $7 \text{ MOD}_{\text{Süd}} \cdot 60\text{V} = 420\text{V} \rightarrow 330\text{V Restspannung}$
→ durch West-Module zu liefern (MOD_{West})
- $330\text{V} / 11 \text{ MOD}_{\text{West}} = 30\text{V}$
- $20\text{W} / 30\text{V} = 0.66\text{A}$
- $\text{MOD}_{\text{Süd}}: 60\text{V} \cdot 0.66\text{A} = 40\text{W}!$



8

Helion

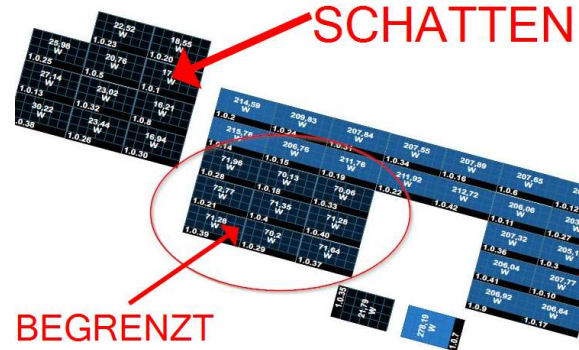
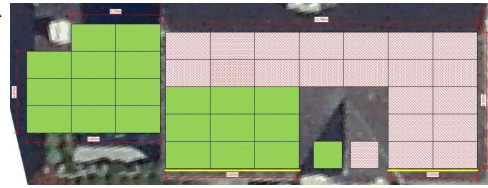
P = 220 W



-

Beispiel 2 (Verschattung): Problematik

- Zeitpunkt: 11:00 Uhr / März 22
- **Problem Süd: 71 W statt 210 W**
- Süd: aufgeteilt auf 2 verschiedene Strings
- Süd auf zurück versetztem Dach westlich nur **21W (grau)**
- Systemspannung nicht lieferbar → Strombegrenzung



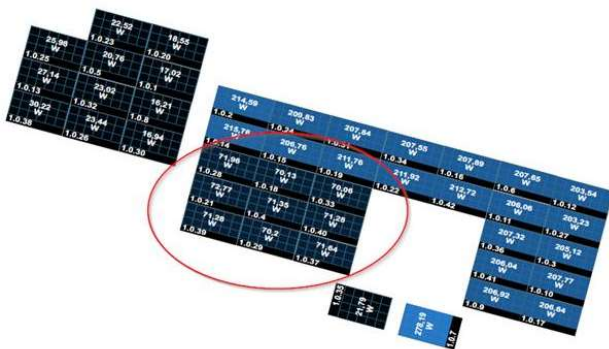
Berechnung Situation:

- 750V vom System benötigt
- $9 \text{ MOD}_{\text{ok}} * 60\text{V} = 540\text{V} \rightarrow 210\text{V}$ müssen durch verschattete Module geliefert werden (MOD_{bad})
- $210\text{V} / 12 \text{ MOD}_{\text{bad}} = 17.5\text{V}$
- $21\text{W} / 17.5\text{V} = 1.2\text{A}$
- $\text{MOD}_{\text{gut}}: 60\text{V} * 1.2\text{A} = 72\text{W}$

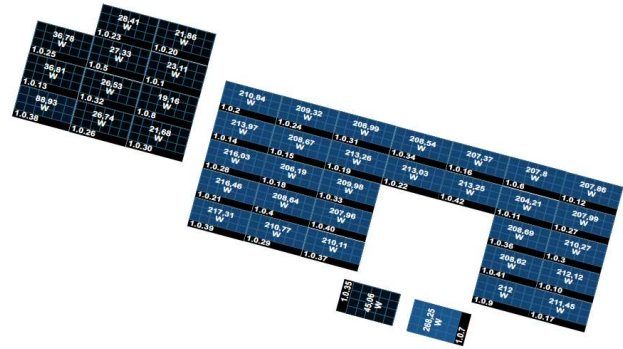
11

Beispiel 2 (Verschattung): Korrektur

Vorher: 02.05.2022
Hauptfläche nach String unterschiedlich
P = 71 W

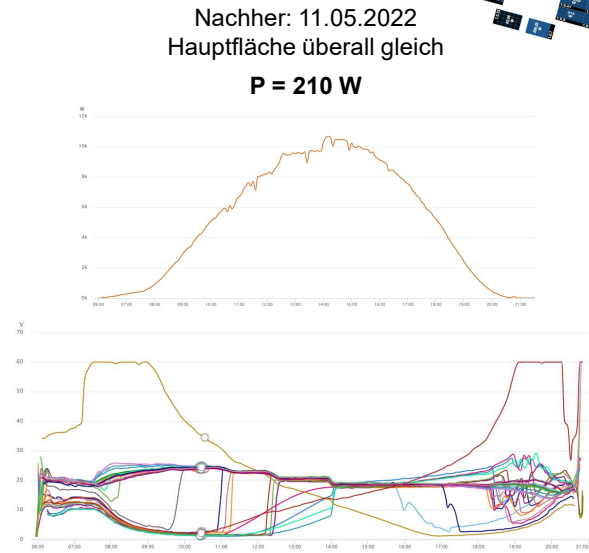
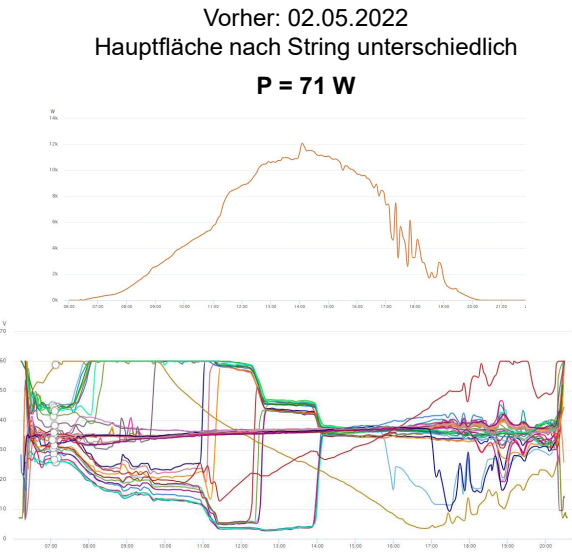


Nachher: 11.05.2022
Hauptfläche überall gleich
P = 210 W



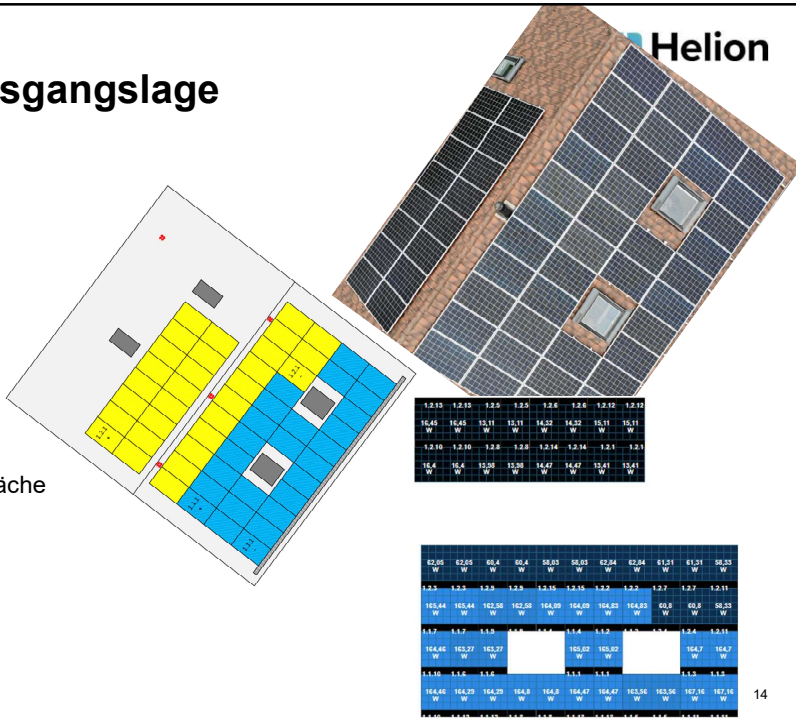
12

Beispiel 2 (Verschattung): Korrektur



Beispiel 3 (Schnee): Ausgangslage

- Doppelloptimierer
- SüdOst: 40 Module / 20 OP
- NordWest: 16 Module / 8 OP
- SüdOst auf 2 Strings verteilt wegen Mindestanzahl von NordWest Seite
- Produktionsunterschied auf SüdOst-Fläche deutlich sichtbar



Helion

Beispiel 3 (Schnee): Problematik

- 26 Module / 13 OP
 - 17 Module schneefrei (9 OP)
 - 9 Module schneebedeckt (4 OP)
-
- Keine Produktion obwohl 17 Module schneefrei sind ☹️



Berechnung Situation:

- 750V vom System benötigt
- $9 \text{ OP} \cdot 80\text{V} = 720\text{V} \rightarrow 30\text{V}$ fehlend
- String OFF !

106.42	106.42	101.85	101.85	101.89	101.89	108.97	108.97	103.43	103.43	105.03
W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
1.2.3	1.2.3	1.2.9	1.2.9	1.2.15	1.2.15	1.2.2	1.2.2	1.2.7	1.2.7	1.2.11
1	1	1.49	1.49	1.26	1.26	W	W	107.68	107.68	105.03
W	W	W	W	W	W			W	W	W
1.1.7	1.1.7	1.1.9	1.1.9	1.1.4	1.1.4	1.1.2	1.1.2	1.2.4	1.2.4	1.2.11
0	1.29	1.29								
W	W	W				W	W		W	W
1.1.10	1.1.6	1.1.6				1.1.1	1.1.1		1.1.3	1.1.3
0	1.14	1.14	1.74	1.74						
W	W	W	W	W		W	W	W	W	W
1.1.10	1.1.12	1.1.12	1.1.8	1.1.8	1.1.13	1.1.13	1.1.5	1.1.5	1.1.11	1.1.11

15

Helion

Beispiel 3 (Schnee): Korrektur

- NordWest mit Einzeloptimierer in 1 String (16 OP)
- SüdOst mit allen Doppeloptimierer in 1 String (20 OP)

1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.1.4	1.1.5	1.1.6	1.1.7	1.1.8
14.52	14.45	14.81	15.16	13.86	15.08	15.36	15
W	W	W	W	W	W	W	W
1.1.16	1.1.15	1.1.14	1.1.13	1.1.12	1.1.11	1.1.10	1.1.9
15	14.76	15.48	15.62	14.59	14.86	15.41	14.77
W	W	W	W	W	W	W	W

200.23	200.23	198.29	198.29	197.96	197.96	204.84	204.84	204.23	204.23	197.05
W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
1.2.1	1.2.1	1.2.2	1.2.2	1.2.3	1.2.3	1.2.4	1.2.4	1.2.5	1.2.5	1.2.6
200.27	200.27	197.31	197.31	200.69	200.69	200.12	200.12	203.92	203.92	197.05
W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
1.2.11	1.2.11	1.2.10	1.2.10	1.2.9	1.2.9	1.2.8	1.2.8	1.2.7	1.2.7	1.2.6
199.62	198.51	198.51				203.76	203.76			200.06
W	W	W				W	W			W
1.2.12	1.2.13	1.2.13				1.2.16	1.2.16			1.2.20
199.62	201.41	201.41	201.08	201.08	200.39	200.39	200.77	200.77	200.78	200.78
W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
1.2.12	1.2.14	1.2.14	1.2.15	1.2.15	1.2.17	1.2.17	1.2.18	1.2.18	1.2.19	1.2.19

16

Beispiel 4: Erkennung versteckt!

- Gesamte Fläche nur in 1 String → Erkennung nicht offensichtlich
- Erkennung über Gesamtproduktion mit Geraden oder Einbuchtungen
- Erkennung von Spannungshaltungsproblem über Optimiererspannungen
- String GELB (19 Stk): über Produktionsbeschränkung nicht erkennbar, aber in Optimiererspannungen
- String BLAU: gut

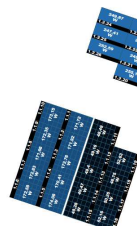
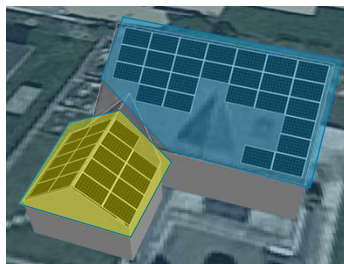
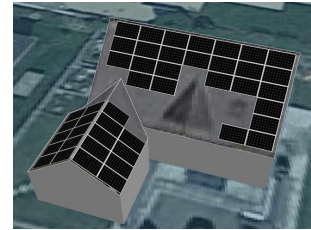
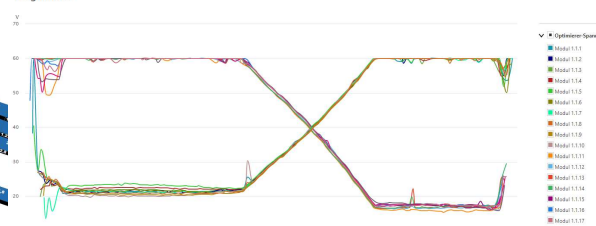


Diagramm 1



17

Hinweise: generell



- Auslegetools von Herstellern bieten wenig bis gar keinen Support für Spannungshaltungs-Thematik bei Optimierern
- Optimierer-Mindestanzahl (Herstellerangabe) ist bei unterschiedlichen Ausrichtungen oftmals viel zu wenig
- Zusatzflächen «dürfen» beeinträchtigt sein. Hauptfläche sollte nicht durch Zusatzfläche gebremst werden
- Peak-Shaving durch Überdimensionierung ist ok (Überfluss). Produktionsbeschränkung wegen Spannungshaltungsproblem passiert in Randzeiten und Winterhalbjahr → inakzeptabel.

18

Hinweise: Vorsicht

- Buck-Mode Optimierer: können die Stringspannung massiv senken
- Lange SolarEdge Strings: max. Stringkapazität schnell überschritten (Systemspannung * I_{OptOut})
- Doppelloptimierer in unterschiedlichen Ausrichtungen sehr anfällig für Produktionsbegrenzung
 - Mindestanzahl pro Ausrichtung/Fläche kann nicht erreicht werden (Spannungshaltung)
 - Maximale Stringkapazität zu schnell überschritten (Peak-Shaving)
- Wechselrichter haben verschiedene MPP-Spannungsbereiche (siehe FullLoad-MPP-Voltage)
- Dauerhaft an Spannungsobergrenze kann zu einer schnelleren Alterung führen

19

THANK YOU

Helion Energy AG

Lars Huber
Fachspezialist PV
lars.huber@helion.ch
Tel. +41 79 922 80 26

Allmendweg 8
CH-4528 Zuchwil
[helion.ch](https://www.helion.ch)



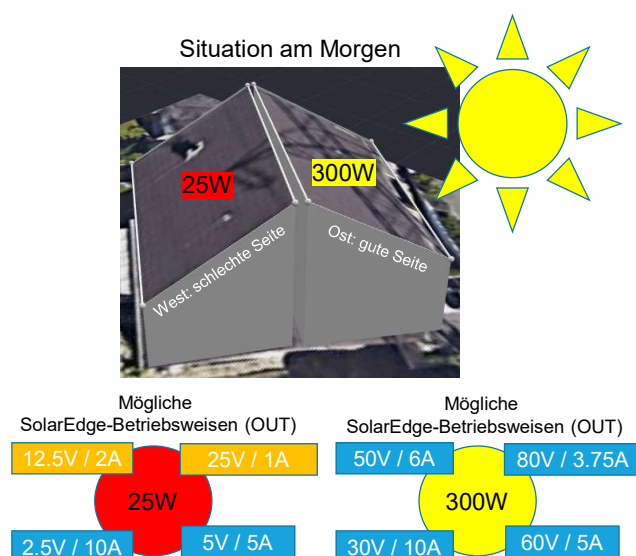
Bei technischen Fragen: info@swissolar.ch

20

ZUSATZINFORMATIONEN

21

Zusammenhänge im String: P – U – I




OHNE Optimierer

- Spannungen bei allen Modulen gleich
- Unterschiedliche Modulleistung stellt möglichen Strom ein
- Strom im String muss überall gleich sein
- Schwächstes Glied bestimmt Leistung aller anderen (Bypass-Diode kann verbessern)

MIT Optimierer (SolarEdge)

- Stringspannung immer 750V (*Ausnahme SE30K=850V*)
- **Strom innerhalb des Strings überall gleich**
- Unterschiedliche Modulleistung wird mit unterschiedlichen Spannungen abgebildet (durch Optimierer)
- «Theoretisch» gibt es mit Optimierer keine Strombegrenzung bei anderen Modulen, sofern benötigte Spannung erreicht werden kann !!!

22




«SolarEdge»-Regeln: Mindestanzahl OP im String

Typ OP	Output U / I	Alle WR-Modelle (ausser SE30K) Festspannung 750V					SE30K Festspannung 850V				
# Ausrichtungen im String		1	2	3	4	max. P im String	1	2	3	4	max. P im String
S440	60V / 15A	16*	24 (12) 40 (11)	35 (11) 50 (10) (60%)	44 (11) 45 (10)	11.25	18*	28 (14) 36 (13)	39 (13) 50 (12)	45 (12)	12.75
P505	80V / 15A	14*	18 (9)	27 (9) 35 (8)	32 (8) 45 (7)	11.25	15*	22 (11) 23 (10)	30 (10) 42 (9) (81%)	40 (10) 40 (9) 50 (8) (68%)	12.75
P850 (nur mit Genehmigung)	80V / 18A	14*	18 (9)	27 (9) 35 (8) 27x2x375 =20.2 kWp (67%)	32 (8) 45 (7)	13.50	15*	22 (11) 23 (10) 23x2x375 =17.2 kWp (88%)	30 (10) 42 (9) 30x2x375 =22.5 kWp (68%)	40 (10) 40 (9) 50 (8)	15.30

- Erklärung: 24 (12) → Mindestanzahl total (Mindestanzahl pro Fläche)
- * → Mindestanzahl gefordert durch SolarEdge
- ACHTUNG: Stringkapazität max. P beachten wenn viele Module → mögliche Dimensionierung abhängig von Ausrichtungen
- Bei Doppeloptimierer sind doppelte Anzahl Module → Stringkapazität
- Beispiel Auswirkungen zu wenige pro Fläche: S440 2F : 24 (12) = 40 (11)

23



«Huawei & Tigo»-Regeln: Mindestanzahl OP im String

Referenzmodul «Jinko Tiger N-Type 60TR 375V»: $V_{oc}=41.60V$ / $I_{sc}=11.53A$ / $V_{mpp}= 34.63V$ / $I_{mpp}= 10.83A$
Spannungsminimum wegen Temperaturerhöhung: **30V** (~73°C Zelltemperatur) (Alternativ 32V: ~52°C Zelltemperatur)

Typ OP	Output U / I	Wechselrichter V _{mpp_min}															
		140V				160V				200V				250V			
# Ausrichtungen im String		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Huawei SUN2000-450W- P2	U _{mod} / 15A	5 ¹	10 (5) 14 (4)	15 (5) 14 (4)	16 (4) 21 (3)	6 ¹	10 (5) 21 (4)	15 (5) 20 (4)	20 (5) 21 (4)	7 ¹	14 (7) 16 (6)	18 (6) 21 (5)	21 (5)	9 ¹	16 (8) 21 (7)	21 (7)	x
Tigo TS4-A-O 700W	U _{mod} / 15A			12 (4)					19 (4)		14 (6)						

- Erklärung: 10 (5) → Mindestanzahl total (Mindestanzahl pro Fläche)
- ¹ Mindestanzahl gefordert durch Mindestspannung des MPP und ist als absolutes Minimum ohne Spannungsreserven zu verstehen

24