



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

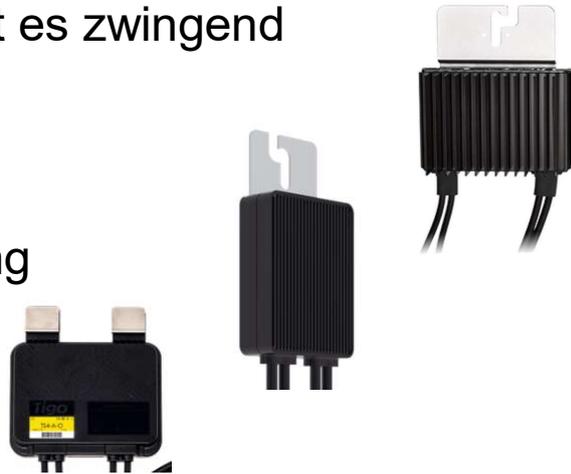
- 04** Zusatzinformation
(nicht Teil der Präsentation)

2

Keynote

Auch mit Optimierer braucht es zwingend eine technische Auslegung!

Stichwort: Spannungshaltung



Thematik wird leider in der Praxis nur selten beachtet !

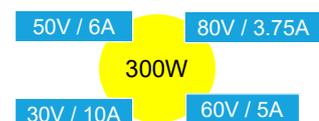
3

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

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}

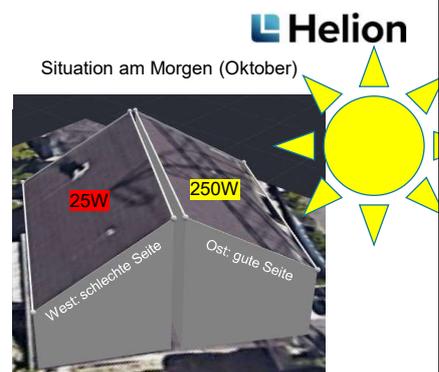
Betriebs-Modi

- 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

Energieverhältnis Ost-West (Oktober)

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

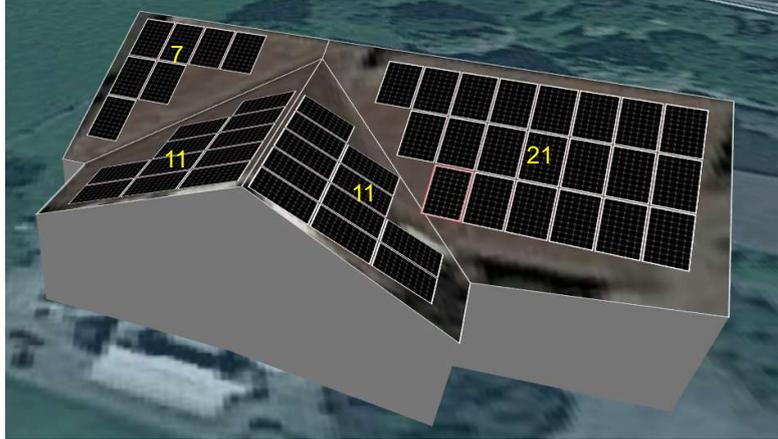


#OP Total	#OP Ost	#OP West	P Ost [W]	P West [W]	I [A]	
24	12	12	250	25	> 4.2	Ost nicht beeinflusst
24	11	13	217	25	3.6	Begrenzung startet -13%
24	10	14	140	25	2.3	-44%
24	9	15	107	25	1.8	-57%
24	8	16	89	25	1.5	-64%
24	7	17	77	25	1.3	-69%

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 Stringspegelspannung: 750V



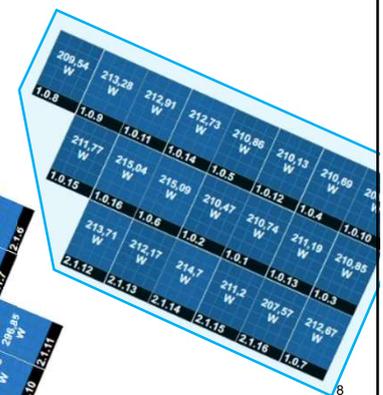
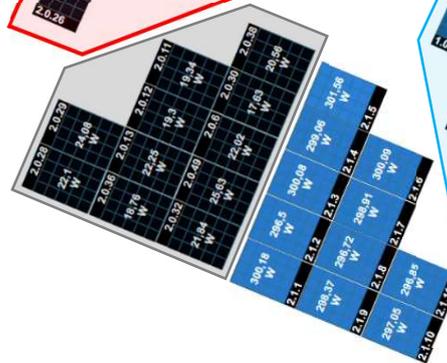
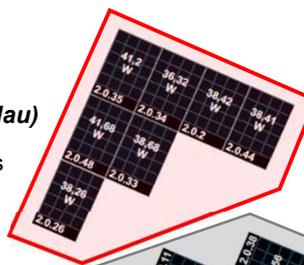
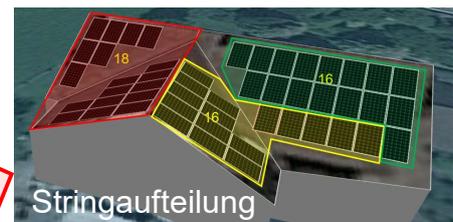
7

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

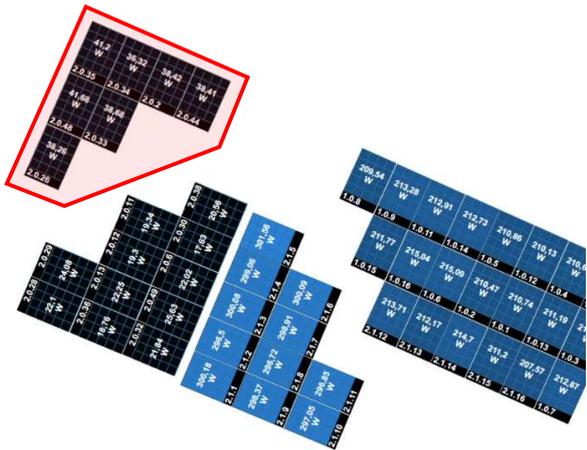


8

Beispiel 1 (Ausrichtungen): Korrektur

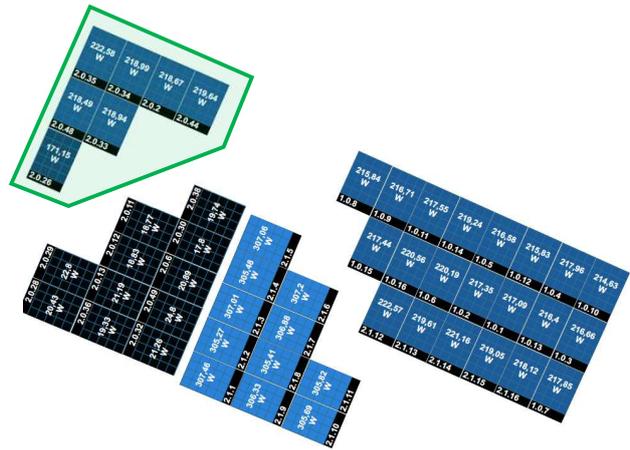
Vorher: 05.03.2022 / 10:00

P = 40 W



Nachher: 10.03.2022 / 10:00

P = 220 W



Beispiel 2 (Verschattung): Ausgangslage

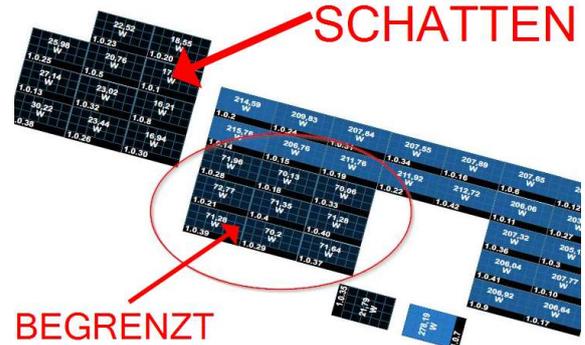
- Süd: 40 Stk (11+29)
- Ost: 1 Stk
- West: 1 Stk
- Vorschlag von Auslegetool «Auto-String-Funktion» übernommen → verschiedene Ausrichtungen und Schattenwürfe im String
- 2 Strings
- Optimierer: 60V
- Erforderliche Stringspannung: 750V



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

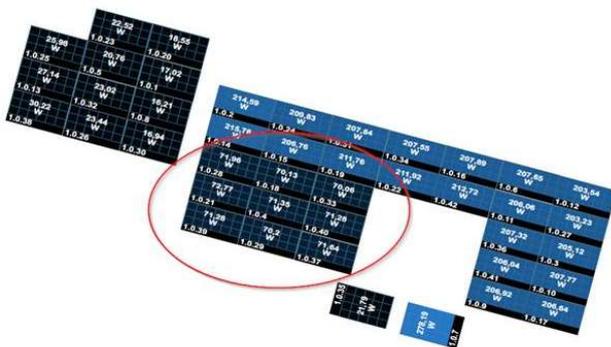


Berechnung Situation:

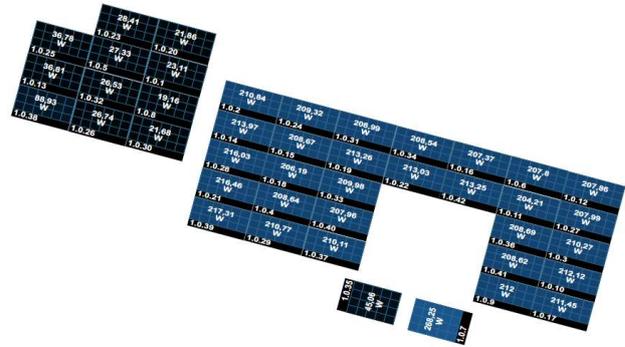
- 750V vom System benötigt
- $9 \text{ MOD}_{\text{ok}} * 60\text{V} = 540\text{V} \rightarrow 210\text{V}$ müssen durch verschattete Module geliefert werden (MOD_{bad})
- $210\text{V} / 12 \text{ MOD}_{\text{bad}} = 17.5\text{V}$
- $21\text{W} / 17.5\text{V} = 1.2\text{A}$
- $\text{MOD}_{\text{gut}}: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

Beispiel 2 (Verschattung): Korrektur

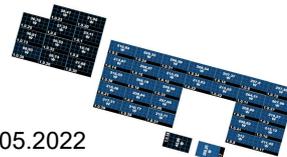
Vorher: 02.05.2022
Hauptfläche nach String unterschiedlich
P = 71 W



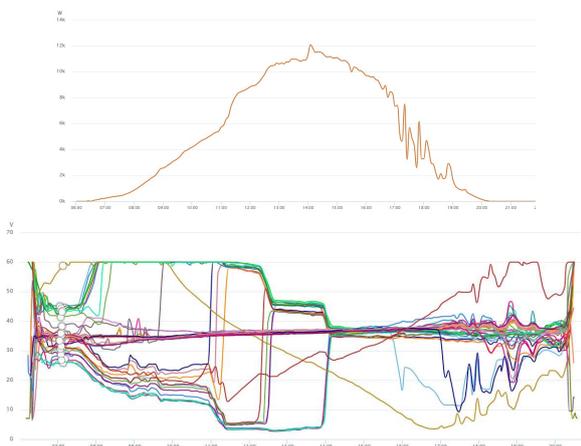
Nachher: 11.05.2022
Hauptfläche überall gleich
P = 210 W



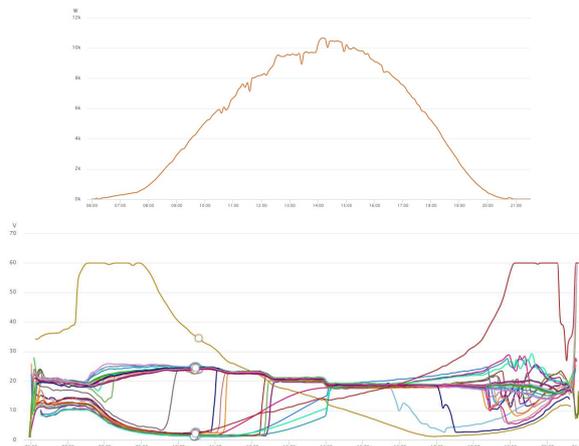
Beispiel 2 (Verschattung): Korrektur



Vorher: 02.05.2022
Hauptfläche nach String unterschiedlich
P = 71 W

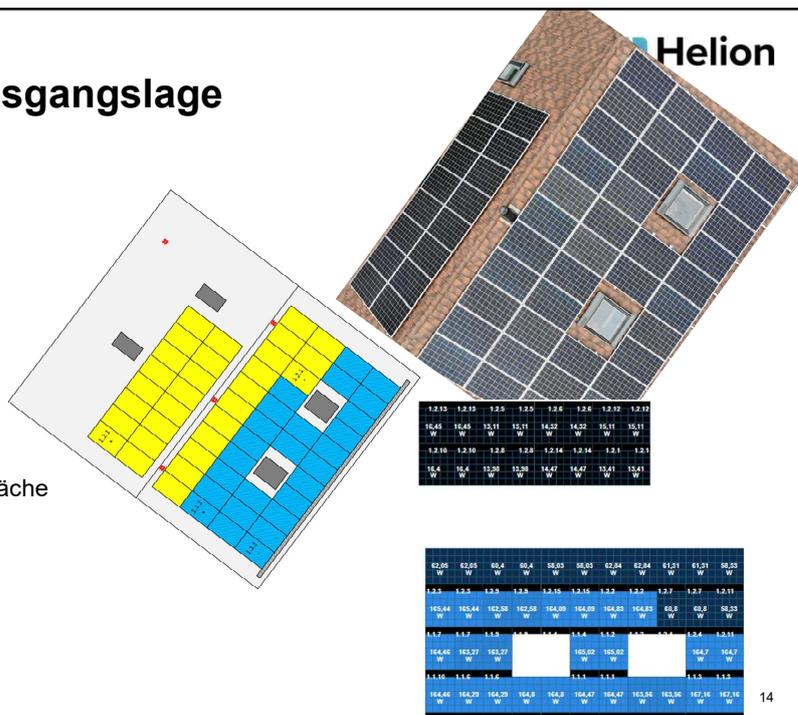


Nachher: 11.05.2022
Hauptfläche überall gleich
P = 210 W



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





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
- $9 \text{ OP} * 80\text{V} = 720\text{V} \rightarrow 30\text{V}$ fehlend
- **String OFF !**

106,42 W	106,42 W	101,35 W	101,35 W	101,39 W	101,39 W	108,97 W	108,97 W	103,43 W	103,43 W	105,03 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 W	1,49 W	1,26 W	1,26 W	W	W	107,68 W	107,68 W	105,03 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 W	1,29 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 W	1,14 W	1,74 W	1,74 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



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 W	14,45 W	14,81 W	15,16 W	13,86 W	15,08 W	15,36 W	15 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 W	14,76 W	15,48 W	15,62 W	14,59 W	14,86 W	15,41 W	14,77 W

200,23 W	200,23 W	198,29 W	198,29 W	197,96 W	197,96 W	204,84 W	204,84 W	204,23 W	204,23 W	197,05 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 W	200,27 W	197,31 W	197,31 W	200,69 W	200,69 W	200,12 W	200,12 W	203,92 W	203,92 W	197,05 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 W	198,51 W	198,51 W				203,76 W	203,76 W			200,06 W
1.2.12	1.2.13	1.2.13				1.2.16	1.2.16			1.2.20
199,62 W	201,41 W	201,41 W	201,08 W	201,08 W	200,39 W	200,39 W	200,77 W	200,77 W	200,78 W	200,78 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

Helion

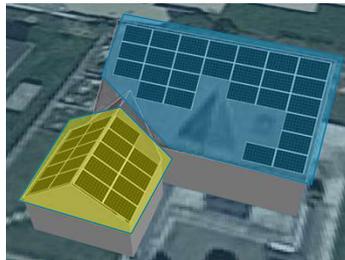
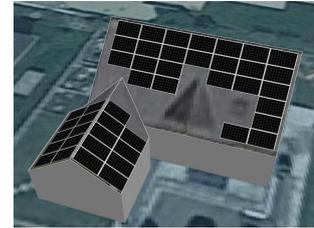
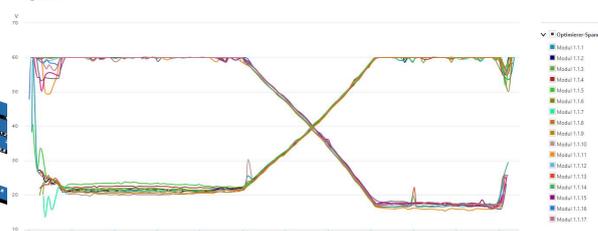


Diagramm 1



17

Hinweise: generell

Helion

- 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})
- Doppeloptimierer 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



Bei technischen Fragen: info@swissolar.ch

20

ZUSATZINFORMATIONEN

21

Zusammenhänge im String: P – U – I

Situation am Morgen

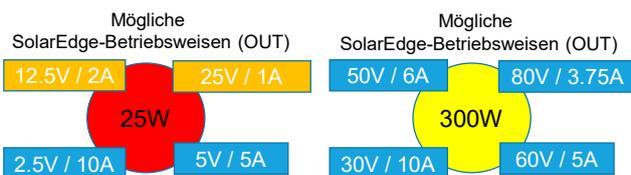


OHNE Optimierer

- 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				
		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 <i>(nur mit Genehmigung)</i>	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)	30 (10) 42 (9) 23x2x375 =17.2 kWp (88%)	40 (10) 40 (9) 50 (8) (68%)	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)



«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) 12 (4)	16 (4) 21 (3)	6 ¹	10 (5) 21 (4)	15 (5) 20 (4)	20 (5) 21 (4) 19 (4)	7 ¹	14 (7) 16 (6) 14 (6)	18 (6) 21 (5)	21 (5)	9 ¹	16 (8) 21 (7)	21 (7)	x
Tigo TS4-A-O 700W	$U_{mod} / 15A$																

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