



Swissolar Webinar

«Hagelschäden und Kompatibilität von PV-Modulen»

Neues Merkblatt

«Definition des Kompatibilitätsbereiches von
PV-Modulen mit unterschiedlichem Strom im MPP»

21. Juni 2022; Tamás Szacsvay

www.reech.ch

Inhalt

Thema

- Motivation für dieses Webinarthema
- Hintergrundinformationen zum Merkblatt
- Grundsätzliches zur Kompatibilität von PV-Modulen
- Angaben aus Literatur
- Veranschaulichung im Merkblatt beschriebener Situationen & weitere Beispiele
- Empfehlungen



Motivation für dieses Webinar

- Zahlreiche Hagelschäden im Sommer in der Schweiz 2021
- ... leider auch an PV-Modulen

Schwierigkeit:

- Ursprüngliche Module meistens nicht mehr verfügbar
- Als Ersatz erhältliche Module weisen andere Spezifikationen auf

Fragestellung Merkblatt:

Kann bzw. unter welchen Bedingungen soll man Ersatzmodule zur Ergänzung der beschädigten Anlage verwenden?

- Charakterisierung der Schäden -> nächster Beitrag



Quelle: Luzerner Zeitung

Hintergrundinformationen zum Merkblatt

- Erste Version vor 10 Jahren entstanden, um Kunden von 3S eine einfache Beurteilung zu ermöglichen, welche Module (Generationen) von 3S miteinander seriell verschaltet werden dürfen
 - Abschätzung maximaler Mismatchverluste aufgrund gemessener Modulkennlinien
 - Keine umfassende wissenschaftliche Berechnung mit Simulation
 - Herstellerempfehlung -> eher konservativ
 - Anpassung und Veröffentlichung durch Swissolar
 - Update in Arbeit (2022)
-
- Die Verwendung von Einzelmoduloptimierern ist nicht Gegenstand dieses Merkblatts

Grundsätzliches zur Kompatibilität von PV-Modulen

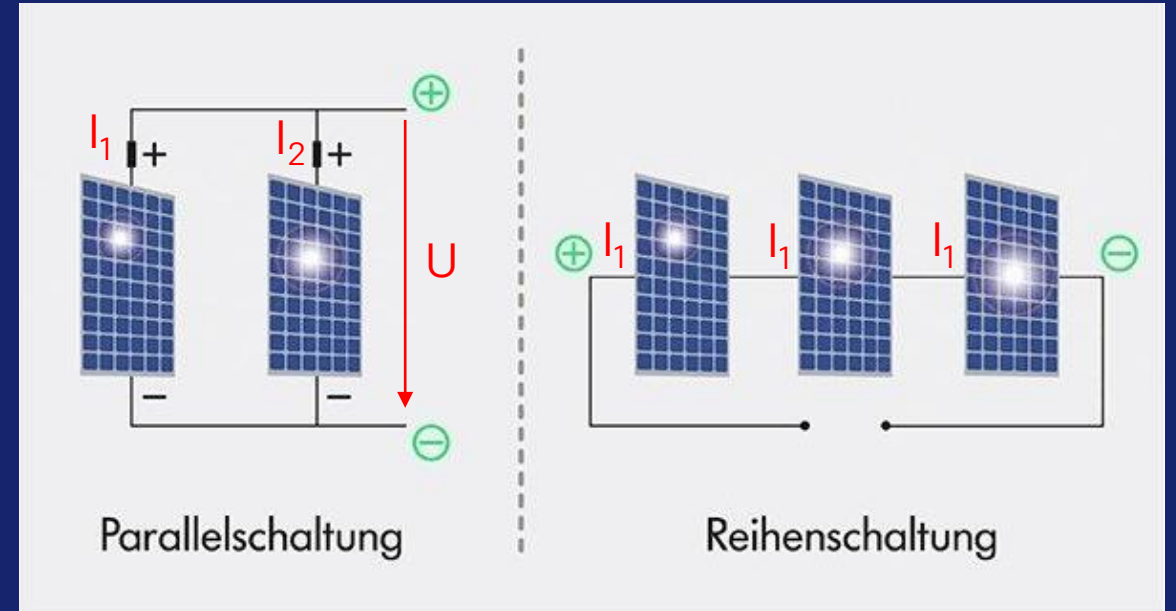
Unterschied Serie- und Parallelverschaltung in Bezug auf Mismatch

Parallelverschaltung:

- Die Spannung der parallel verschalteten Stränge ist gleich. Die einzelnen Stränge sollten daher dieselbe Spannung aufweisen («dieselbe Anzahl Zellen»).
- Strangleistung kann variieren.

Serieverschaltung (Hauptthema dieses Vortrags):

- Durch alle Module eines Strangs liest derselbe Strom -> Module sollten über denselben I_{mpp} -Strom verfügen («selber Zelltyp»).
- Modulleistung kann variieren.



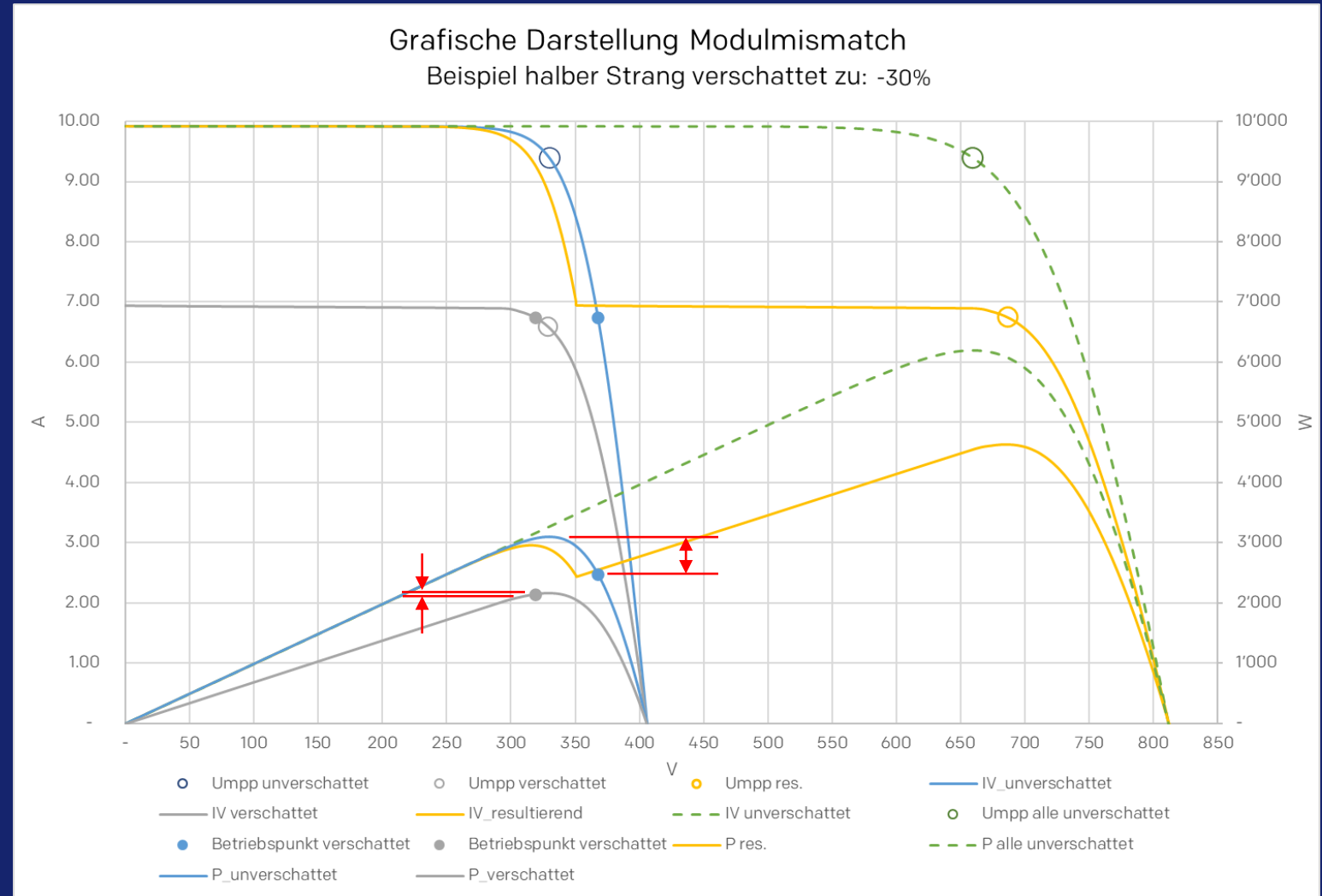
Veranschaulichung Mismatch bei Serieschaltung

Beispiel:

Hälfte der 20 identischen Module
eines Strangs mit 30% tieferem
Strom («verschattet»)

Angaben zum Modul:

- P_{mpp} 320W (Etikette)
- $I_{mpp} = 94.7\%$ von I_{sc}



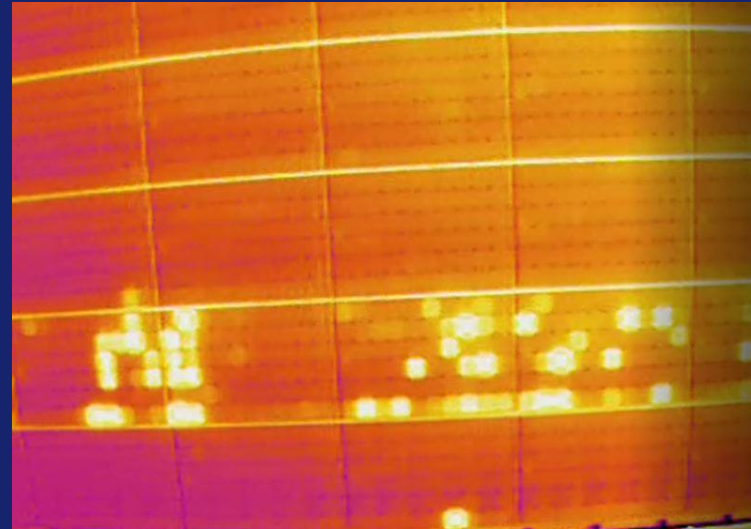
Mögliche Ursachen für Mismatch im Feld

- Verschmutzung
- Partielle Verschattung
- Hagelschaden/Glasbruch
- Ungleiche Modul/-Zellenströme
- Ungleiche Strangspannungen bei Parallelverschaltung
- Ungleiche Temperaturen (eher bei Parallelverschaltung)
- Inhomogene Moduldegradation
- Zellbrüche mit inaktiven Bereichen
- Ausrichtungsabweichung der Module
- Inhomogene Einstrahlung (z.B. aufgrund Reflexion)
- Bifaziale Module mit unterschiedlicher Rückseiteneinstrahlung
-



Mögliche Auswirkungen

- Schwächere Module im oder nahe Kurzschluss
 - Vorzeitige Moduldegradation
 - Ertragsverlust
-
- Bei Bypassdiodenausfall werden Hotspots und Durchschläge wahrscheinlicher



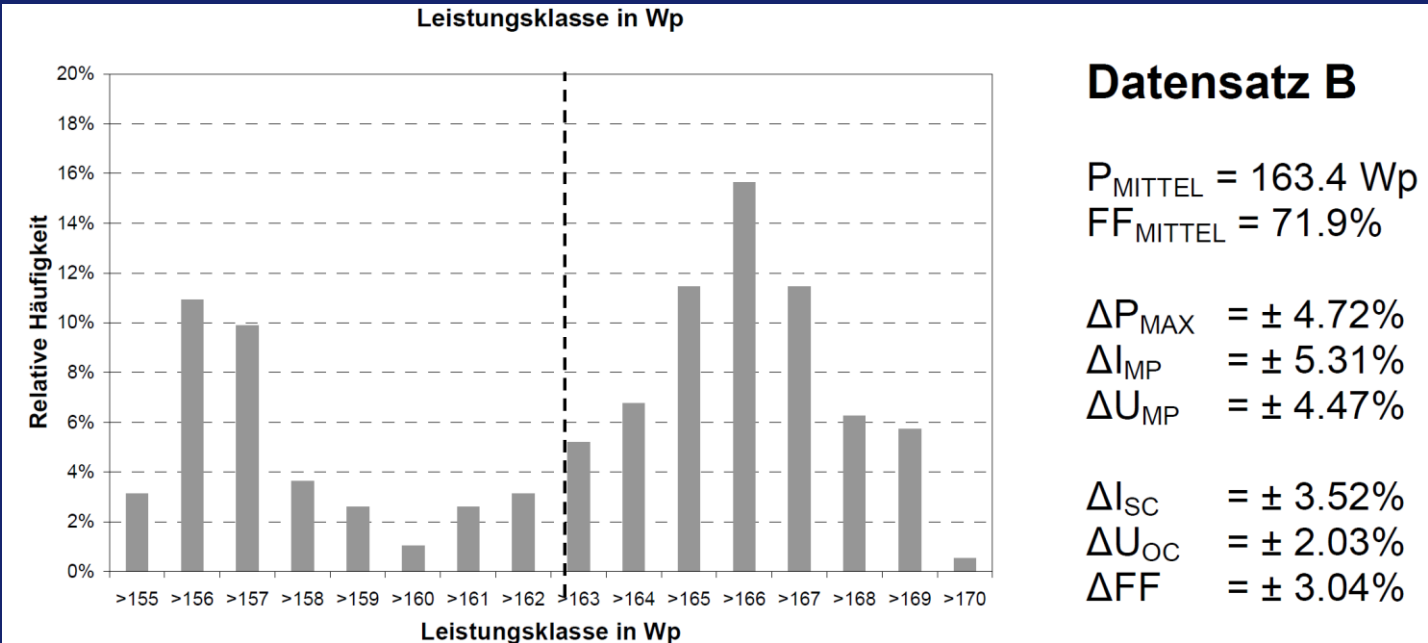
Angaben aus Literatur zu Mismatch (Fokus Ertragsverlust)

- Thema ist eher Sortierung, nicht explizit Modulersatz.
- Berechnete Werte, im Feld messtechnisch kaum zu erfassen.
- Ergebnisse lassen erwarten, dass es recht viel Abweichung im Modulstrom braucht, bis der Mismatch hohe Werte annimmt.

Beispiel Studie von Werner Herrmann, TÜV Rheinland 2005

Berechnung von Mismatchverlusten aufgrund von Kennlinien-Datensätzen (ein Fabrikat).

Mögliche Verteilung bei Modulersatz:



Daten- satz	Module pro Strang	Stränge parallel	Gesamt Teil- systeme	Leistungsmissmatch in % für verschiedene Sortiermethoden			
				Imp	Pmax	Isc	zufällig
A	8	1	14	-0,111	-0,386	-0,425	-0,488
	16	1	7	-0,132	-0,444	-0,464	-0,533
	16	7	1	-0,338	-0,503	-0,603	-0,565
B	8	1	24	-0,055	-0,184	-0,184	-0,486
	16	1	12	-0,067	-0,203	-0,203	-0,537
	16	12	1	-0,154	-0,325	-0,313	-0,545
C	8	1	14	-0,020	-0,058	-0,080	-0,154
	16	1	7	-0,031	-0,064	-0,090	-0,165
	16	7	1	-0,336	-0,611	-0,307	-0,219

Überraschend tiefe Mismatchverluste, aber:

- Berechnete Werte -> keine Messtoleranzen berücksichtigt (üblicherweise min. $\pm 3\%$)
- Keine Degradation, Verschmutzung und unterschiedliche Modultemperaturen berücksichtigt
- **Etwas höhere Verluste für Teillast sowie für Parallelverschaltung**
- Keine wesentlichen Abweichungen in der Kennliniencharakteristik berücksichtigt wie im Fall von Ersatzmodulen wahrscheinlich
- Eher geringe Abweichungen (keine Ersatzmodule), potentielle Kurzschlussituationen in schwächeren Modulen nicht betrachtet
- Messwerte sind nicht nur mit Toleranzen behaftet, sondern erfahrungsgemäss leider auch nicht immer plausibel:

Beispiel Statistik (gemäss Hersteller) zu Kennwerten von 1282 Modulen aus derselben Charge und Leistungsklasse (305W -0/+5%):

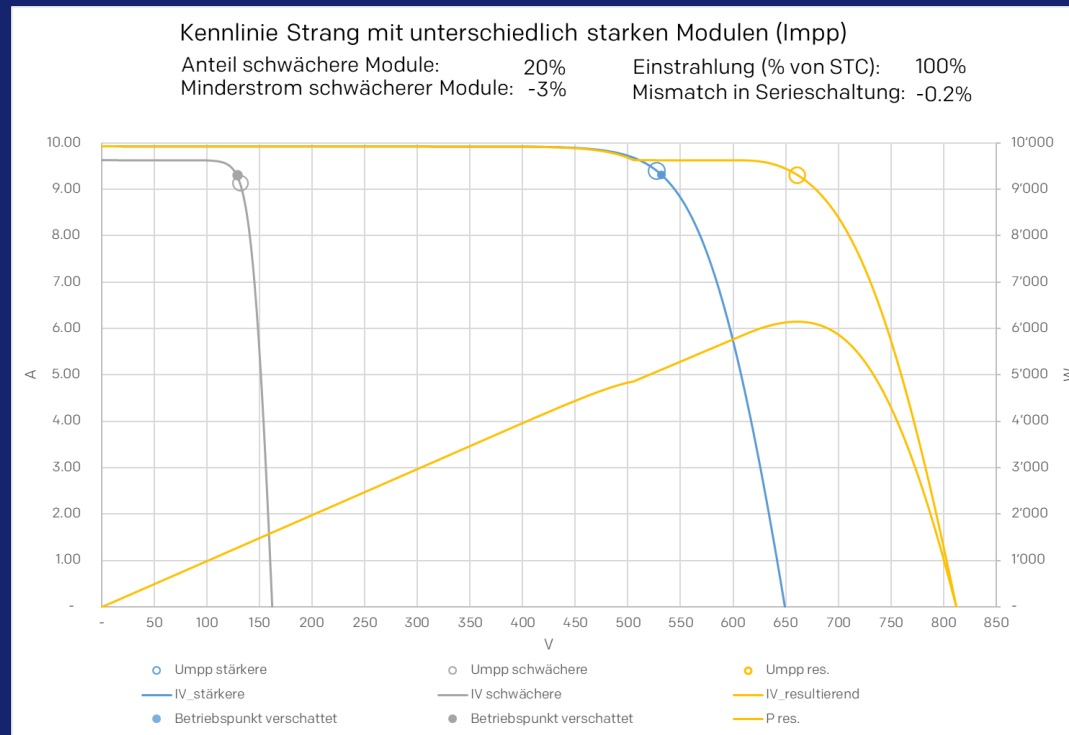
Statistik				
Symbol	Minimum	Maximum	Durchschnitt	Summe
Pmax	305.31	334.32	319.02	408'981.60

-> In der Praxis sind die tatsächlichen Werte nie genau bekannt. Es ist bei Modulersatz mit höheren Abweichungen zu rechnen, insbesondere, wenn die Module aus unterschiedlichen Chargen oder von unterschiedlichen Herstellern stammen.

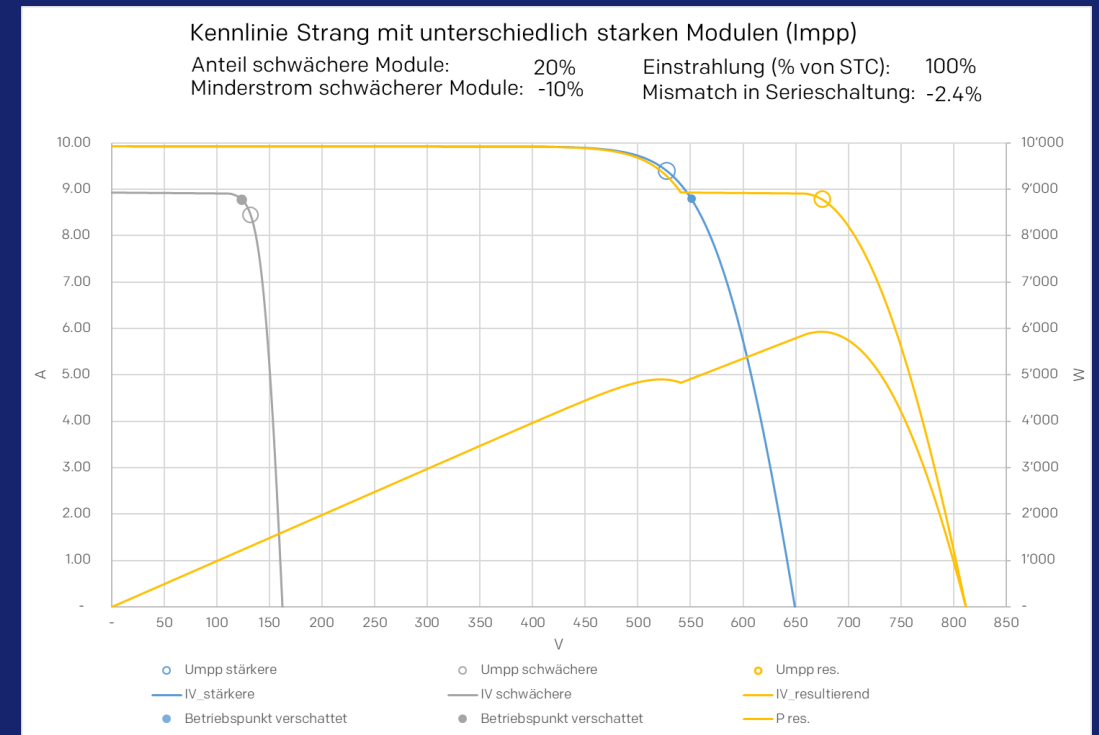
Veranschaulichung im Merkblatt beschriebener Situationen (3 Fälle) & weitere Beispiele

Zu Fall 1 Integration einzelner Module (max. 20%) mit geringfügig tieferem I_{mpp} in einen Strang aus Modulen mit höherem I_{mpp}

Berechnung jeweils mit identischen Modulen (keine Streuung!), schwächere Module mit weniger Einstrahlung berücksichtigt

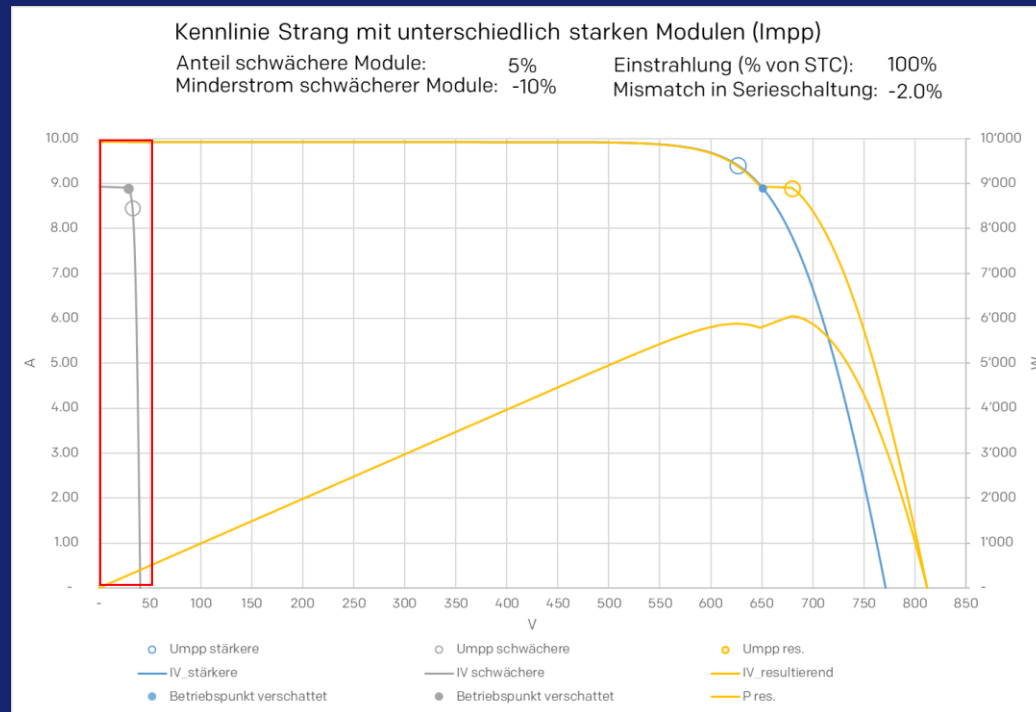


20% um 3% schwächere Module

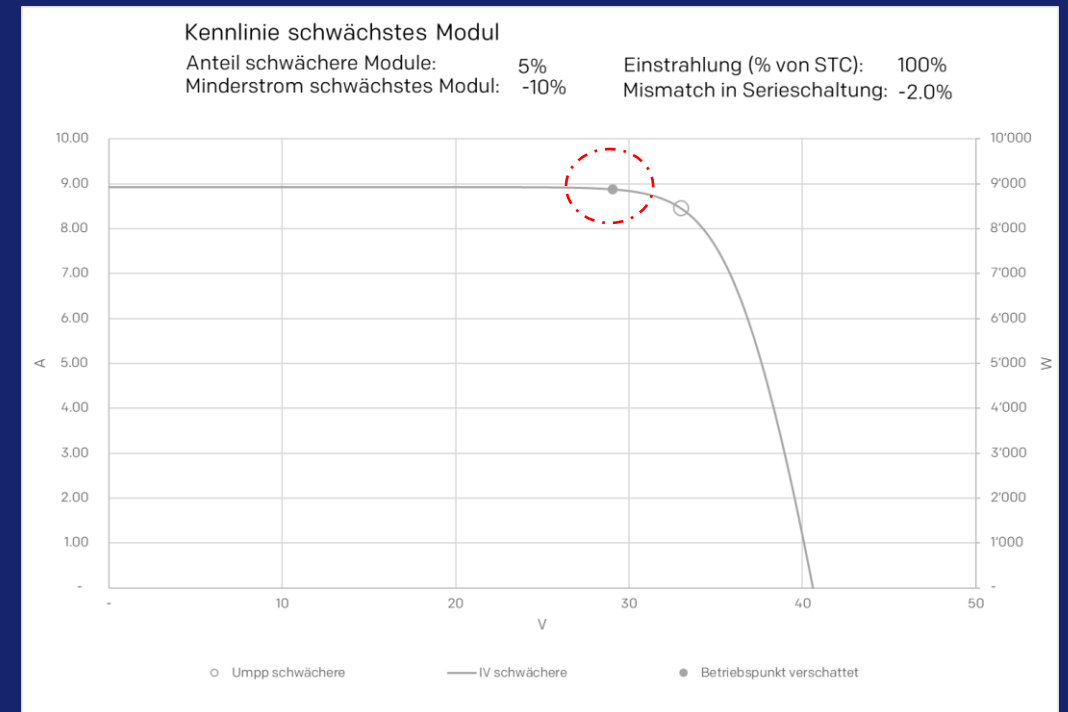


Beispiel mit 20% um 10% schwächeren Modulen

Zu Fall 1 Integration eines Moduls mit tieferem I_{mpp} (-10%) in einen Strang aus Modulen mit höherem I_{mpp}



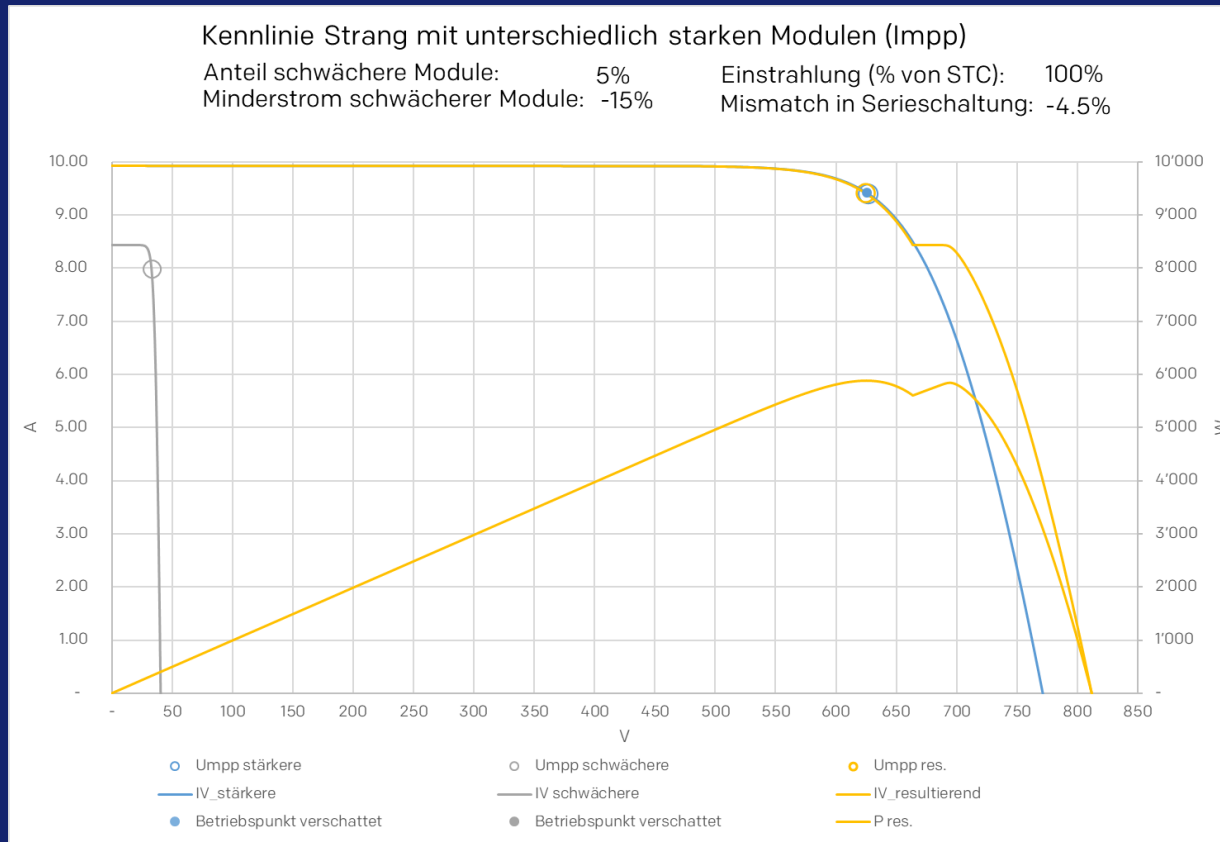
Strang mit einem um 10% schwächeren Modul -> vermeiden



Ausschnitt Kennlinie schwächstes Modul -> Betriebsstrom sehr nahe am Kurzschlussstrom; nicht empfehlenswert

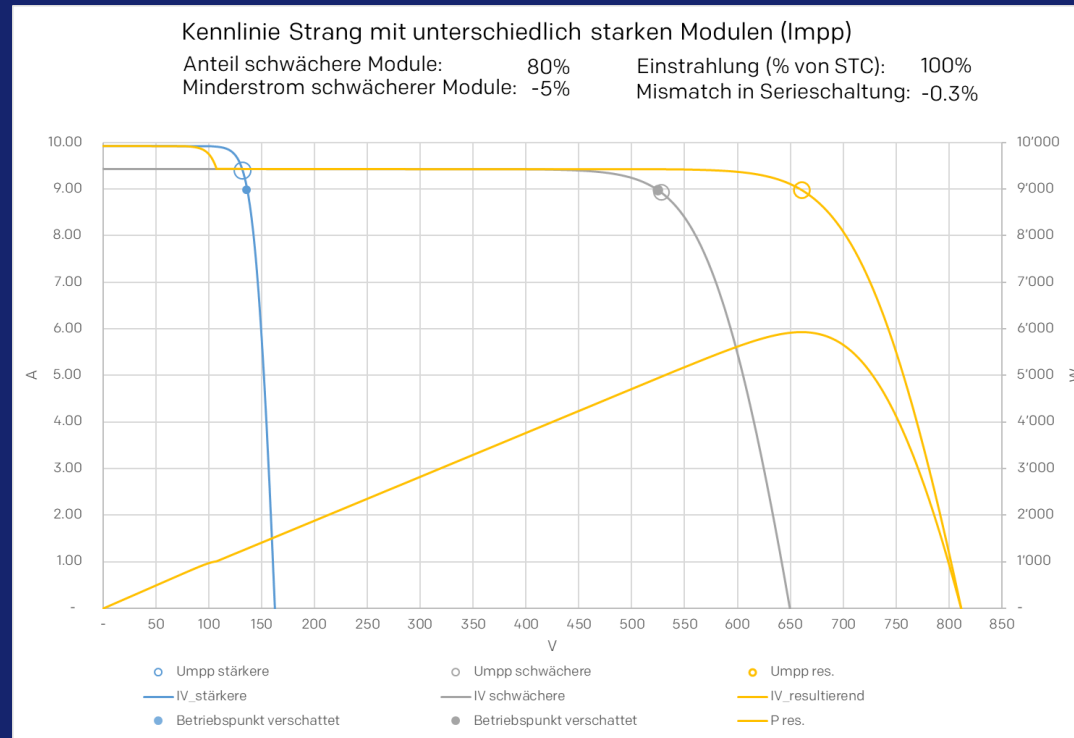
-> Bessere Situation, je mehr (gleich)schwächere Module im Strang sind.

Zu Fall 1 Integration eines Moduls mit tieferem I_{mpp} (-15%) in einen Strang aus Modulen mit höherem I_{mpp}

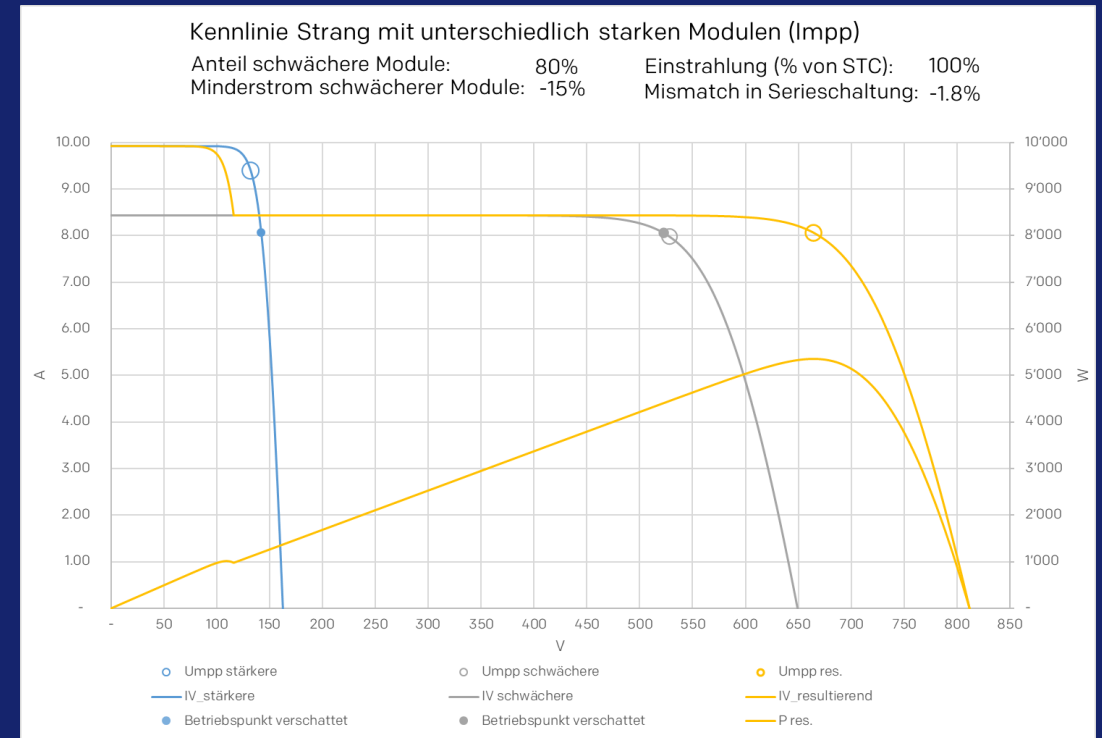


Strang mit einem um 15% schwächeren Modul ->
Kurzschlussbetrieb, vermeiden

Zu Fall 2 Integration einzelner Module mit geringfügig höherem I_{mpp} in einen Strang aus Modulen mit tieferem I_{mpp}



Strang mit 80% um 5% schwächeren Modulen - unkritisch

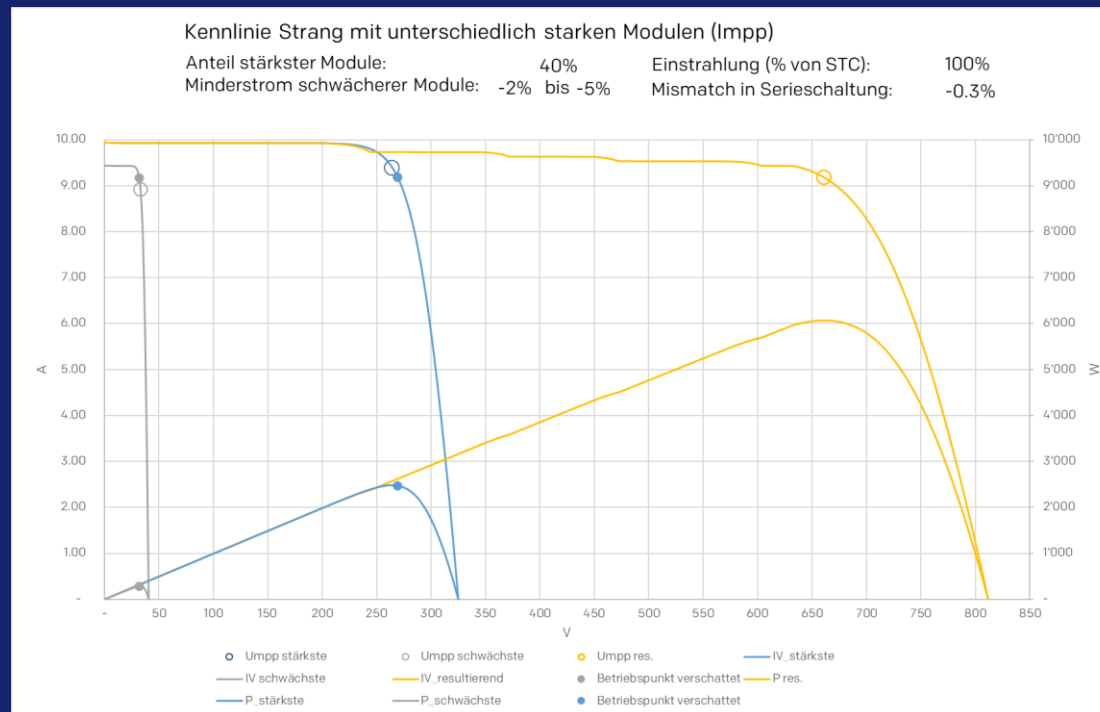


Strang mit 80% um 15% schwächeren Modulen -> mit effektiven Daten prüfen

Zu Fall 3 Beliebige Durchmischung

Beispiel Strang mit 20 Modulen unterschiedlicher Stärke ->

relevant ist das schwächste Modul und die Differenz zu den nächstschwächsten Modulen

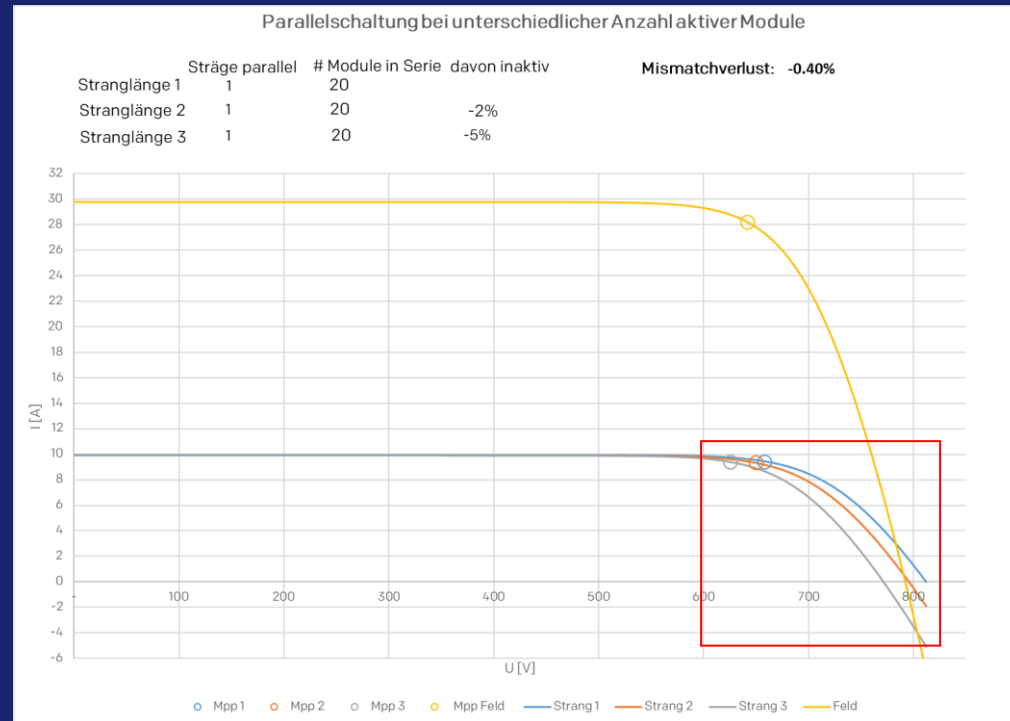


Weiteres Beispiel mit schwächstem Modul
mit 10% weniger Strom im I_{mpp} im
Anhang

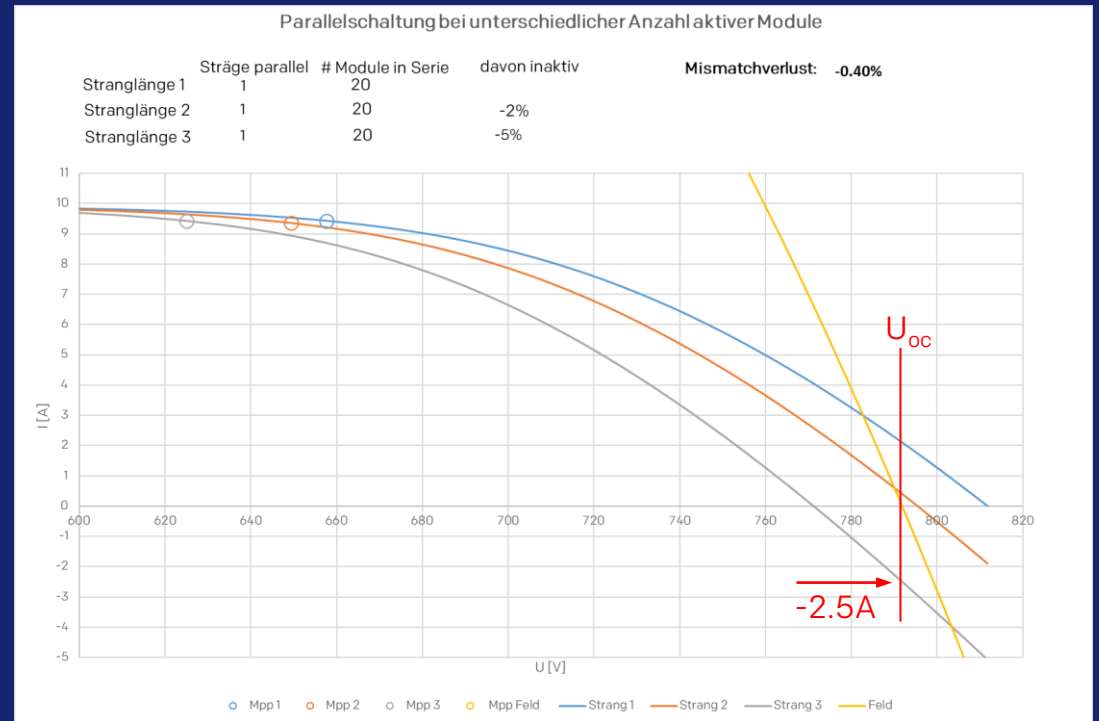
Schwächstes Modul mit 5% weniger Strom im I_{mpp} -> machbar

Parallelschaltung

(Berechnung mit identischen, aber teils inaktiven Modulen)



Einer von drei Strängen mit 5% weniger Spannung, einer mit 1% weniger: kritisch im Leerlauf aufgrund Rückstrom, im Betrieb problemlos



Ausschnitt in Nähe U_{oc}

Weitere Beispiele sind im Anhang zu finden

Allgemeine Empfehlungen

Primäre Empfehlung

- Verschalten von unterschiedlichen Modulen im selben Strang möglichst vermeiden.
- Prüfen von Anlagen, die Ersatzmodule enthalten, mittels Kennlinienmessung und Thermografie.
- Stichprobenmässige, präzise Kennlinienmessung der Bestandesmodule zur Erfassung des Ist-Zustandes.

Alternative gemäss Merkblatt Swissolar

- Es sollen keine Module miteinander in Serie verschaltet werden, die laut Herstellerangaben mehr als 3% im Impp Strom voneinander abweichen. Im Zweifelsfall oder bei mehrjährigen Modulen sollten Kennlinienmessungen durchgeführt werden. Merklich verschmutzte Module sind zu reinigen.
- Integration von wenigen stärkeren Modulen in einen Strang aus schwächeren Modulen ist weniger kritisch als umgekehrt.

Parallelverschaltung

- Bei Parallelschaltung sollte die Differenz in der Strangspannung (U_{oc}) möglichst unter 3% liegen. Mismatchverluste sind bei dieser Differenz marginal. Es können jedoch gefährliche Rückströme im Leerlauf des Feldes auftreten!

Hinweis

Eine objektspezifische Beurteilung sollte immer vorgenommen werden. In einigen Fällen dürften sich daraus weniger konservative Kriterien ergeben, als sie aus diesen allgemeinen Empfehlungen resultieren.

Rechtlicher Hinweis (analog Merkblatt)

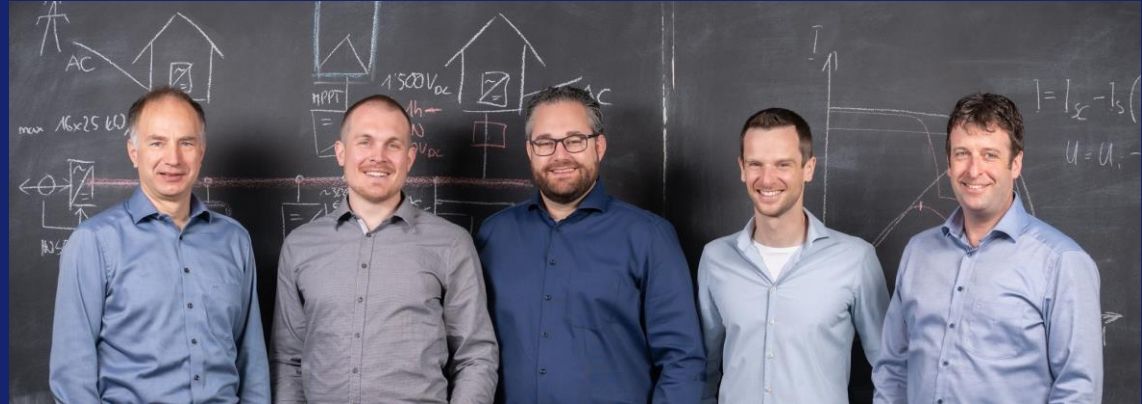
Der vorliegende Webinarbeitrag liefert allgemeine Hinweise zur Kompatibilität unterschiedlicher Modultypen, und ersetzt nicht die objektspezifische Betrachtung.

Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität seiner Inhalte wird keine Gewähr geleistet. Insbesondere entbindet er nicht davon, die einschlägigen und aktuellen Empfehlungen, Normen und Vorschriften zu konsultieren und zu befolgen. Er dient ausschliesslich zu Veranschaulichungszwecken.

Eine Haftung für Schäden, die aus dem Konsultieren bzw. Befolgen dieses Webinarbeitrags entstehen, wird ausdrücklich abgelehnt.

Unser Tätigkeitsgebiet





Fragen und Anregungen



info@reech.ch



reech.ch



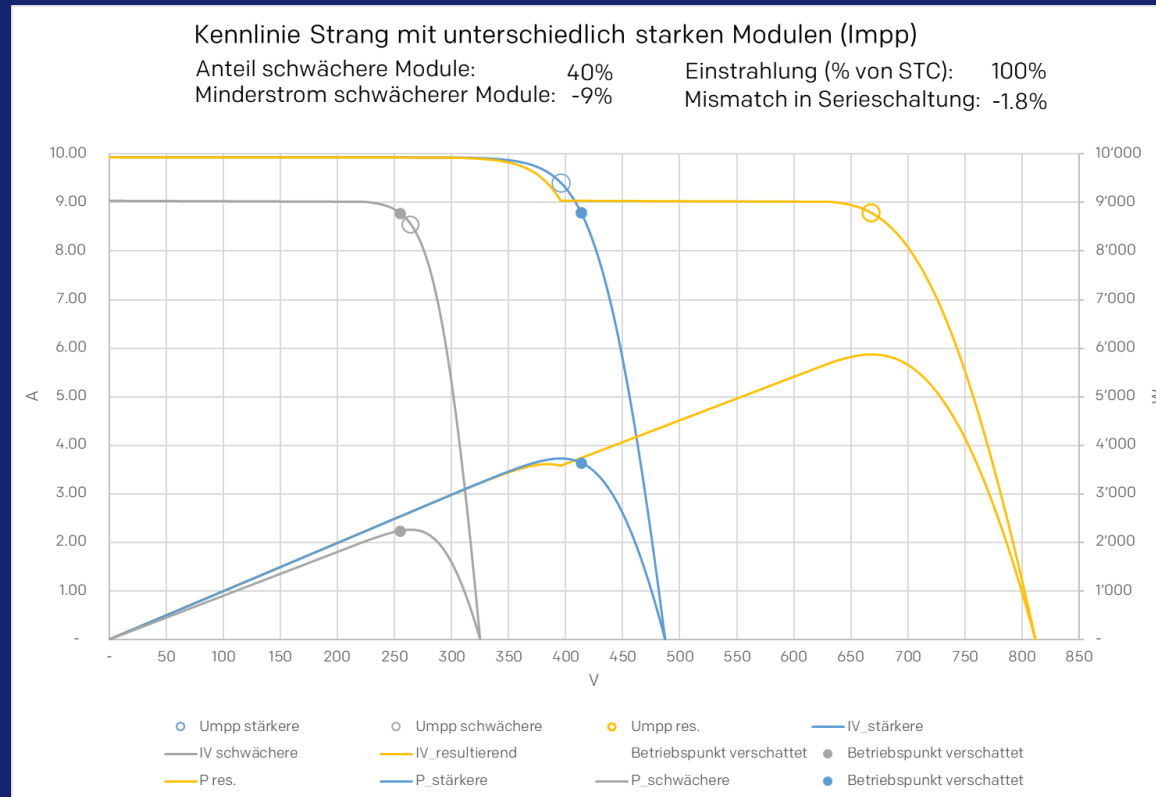
**Bahnhofstr. 11,
CH-7302 Landquart**

Tamás Szacsvay
Geschäftsführender Partner
+41 81 325 34 11
tamas.szacsvay@reech.ch

Anhang

Weitere als Beispiel berechnete Kennlinien

Zu Fall 1 Integration weniger Module mit geringfügig tieferem I_{mpp} in einen Strang aus Modulen mit höherem I_{mpp}

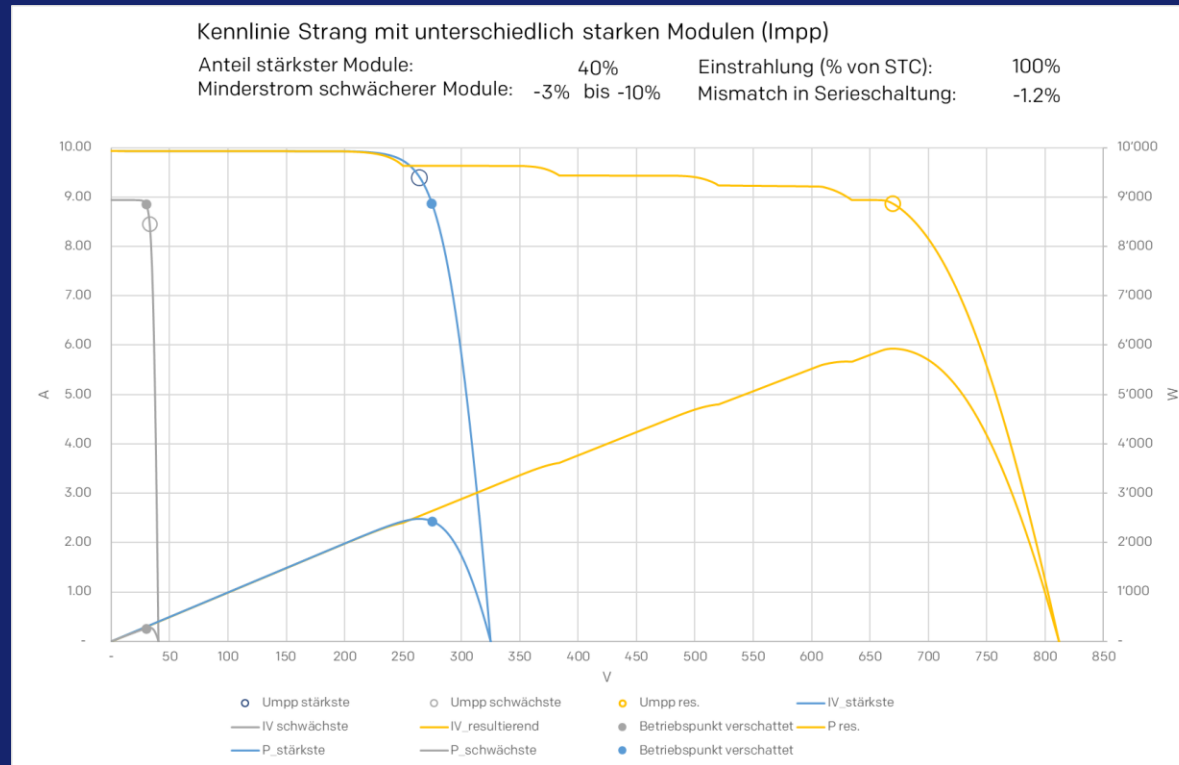


40% um 9% schwächere Module

Zu Fall 3 Beliebige Durchmischung

Beispiel Strang mit 20 Modulen unterschiedlicher Stärke ->

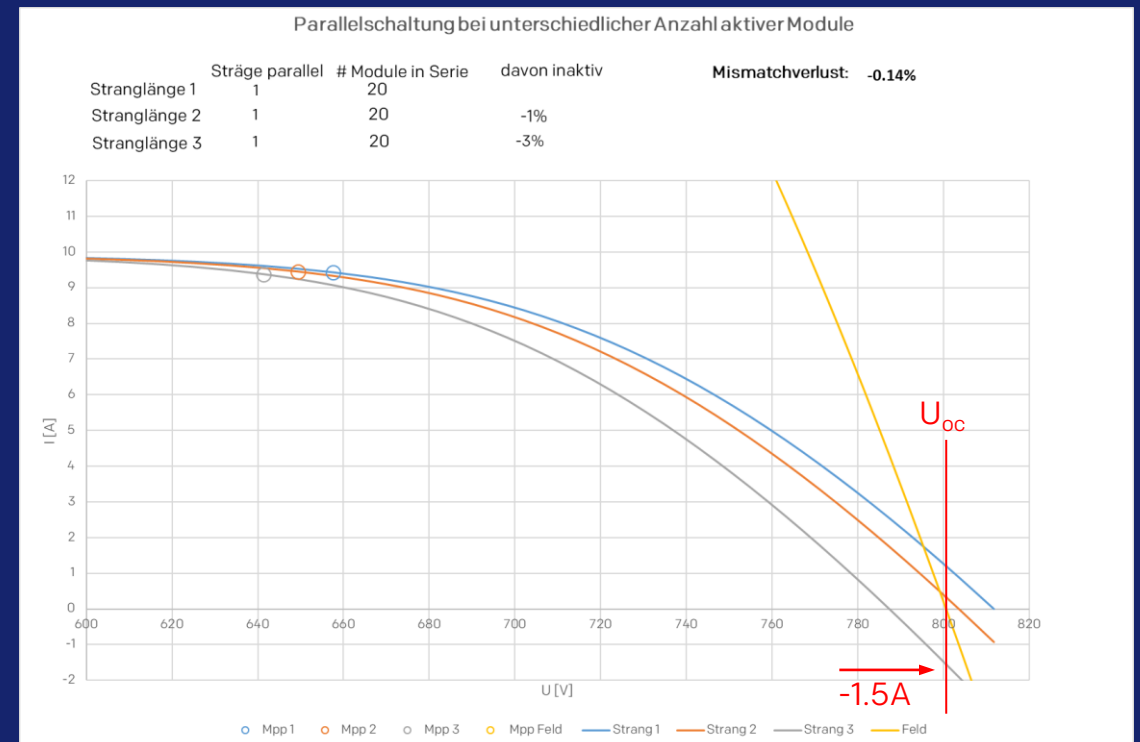
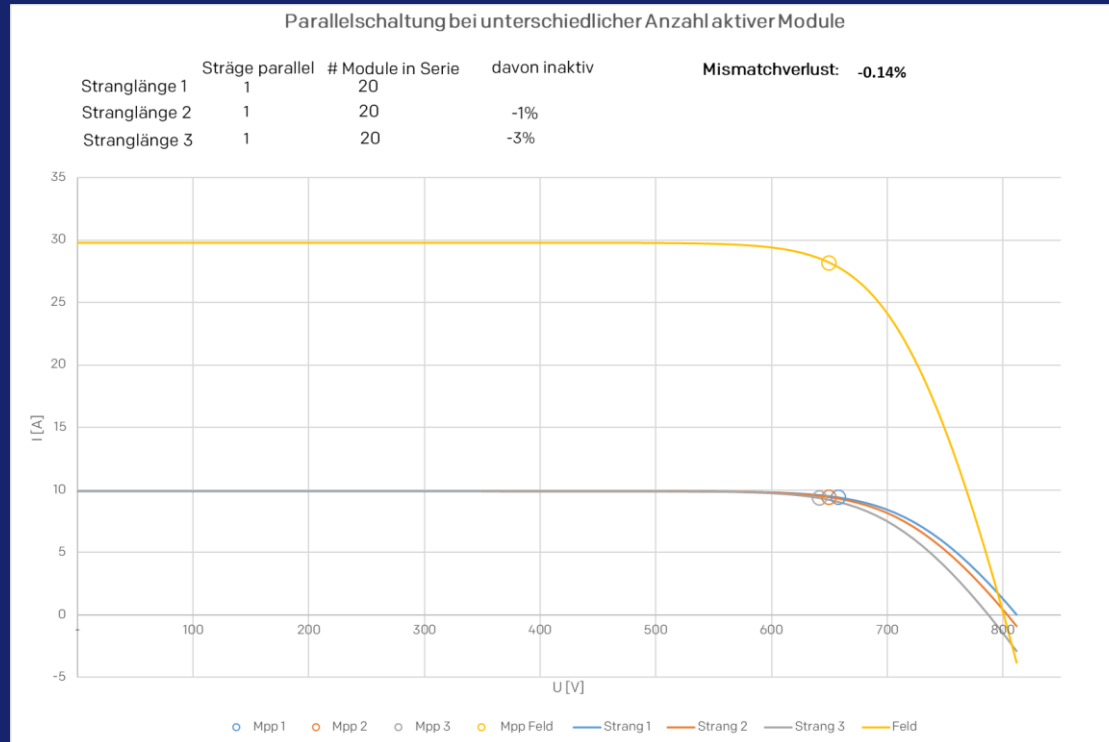
relevant ist das schwächste Modul und die Differenz zu den nächstschwächsten Modulen



Schwächstes Modul mit 10% weniger Strom im I_{mpp} ->
nicht empfehlenswert

Parallelschaltung, weitere Beispiele

(Berechnung mit identischen, aber teils inaktiven Modulen)



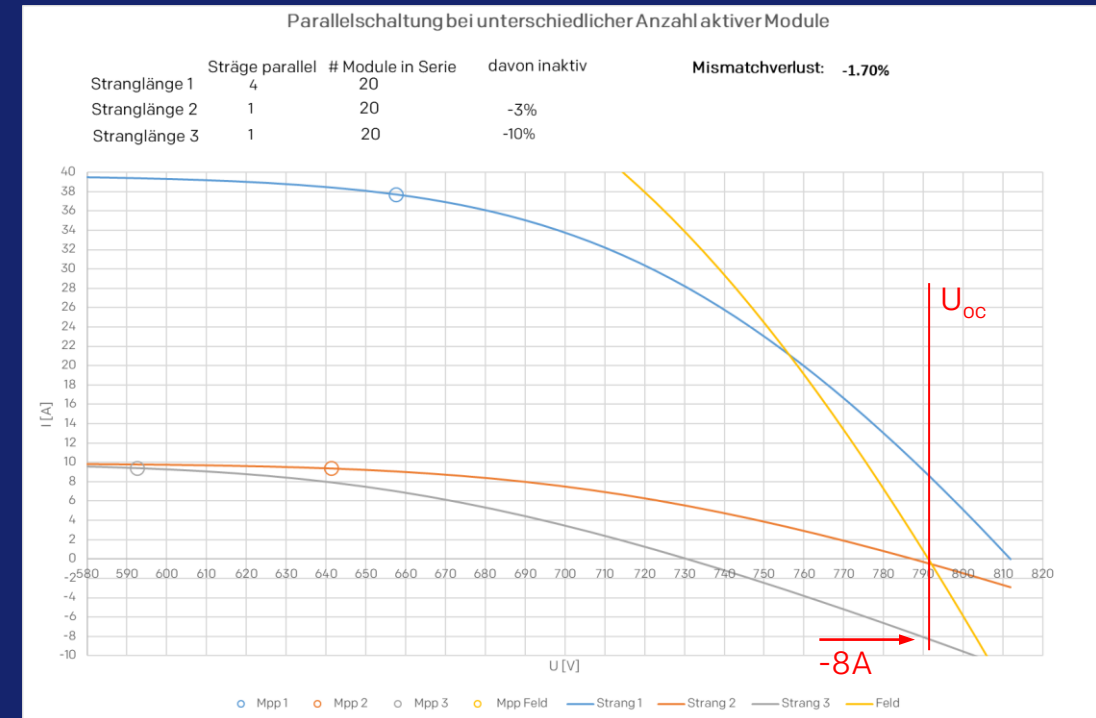
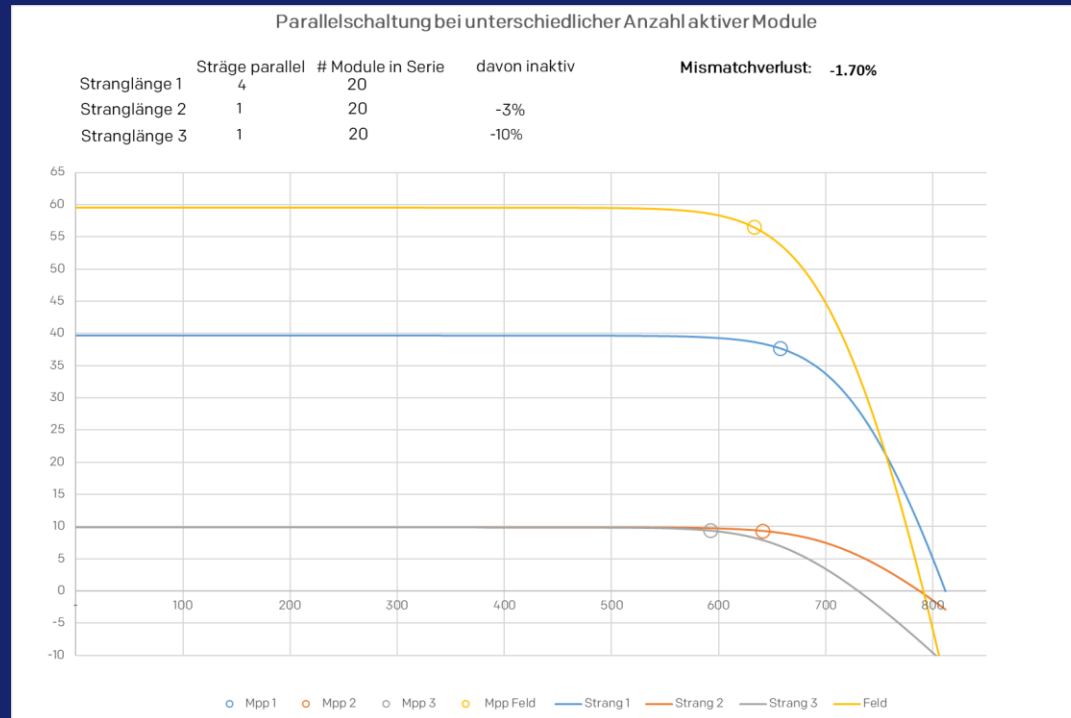
- Einer von drei Strängen mit 3% weniger U_{oc} :
- Mismatch 0.15%, Rückstrom schwächster Strang -1.5A

Ausschnitt in Nähe U_{oc}

Parallelschaltung, weiteres Beispiel mit 6 parallel geschalteten Strängen

(Berechnung mit identischen, aber teils inaktiven Modulen)

Ausschnitt in Nähe U_{oc}



Einer von sechs Strängen mit 3%, einer mit 10% weniger U_{oc} : Mismatch 1.7%, Rückstrom schwächster Strang ca. -8A

Im Normalbetrieb Betrieb nur Mismatchverlust, im Leerlauf gefährlicher Rückstrom (insb. beim Öffnen von Kontakten/Steckverbindern).