

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
**zhaw** School of Engineering

## Effizienzvergleich PV-String-Inverter versus dezentrale PV-Modulelektronik

Franz Baumgartner  
Leiter Studiengang Energie- und Umwelttechnik

Co-Autoren:  
S. Richter, C. Meier, F. Carigiet, C. Allenspach  
ZHAW SoE Winterthur

Zürcher Fachhochschule

1

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
**zhaw** School of Engineering

## Inhalt

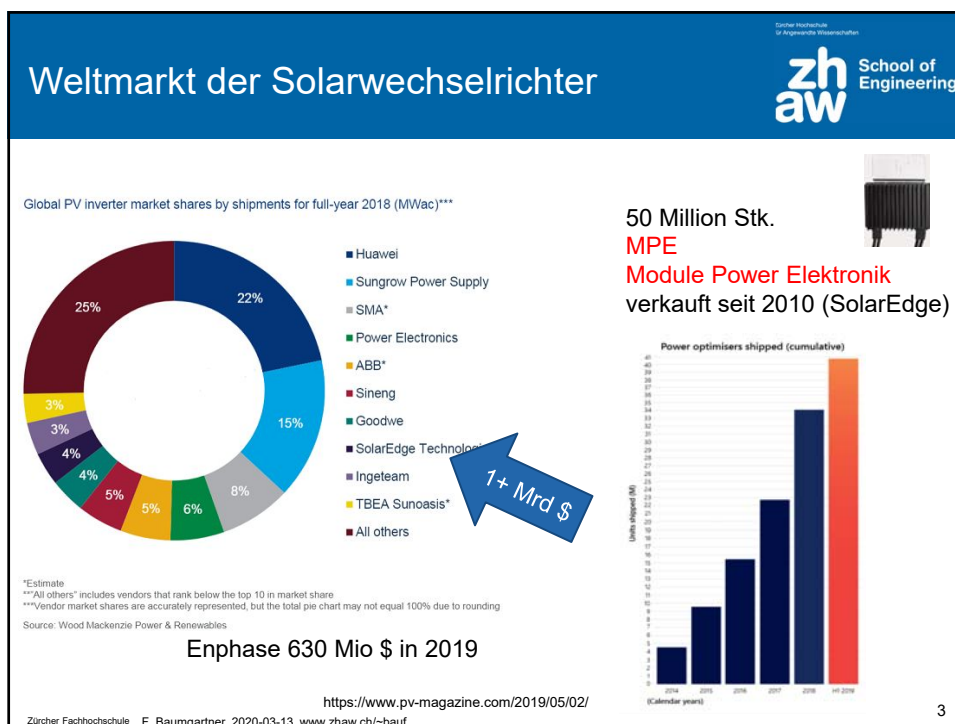
1. Marktzuwachs – dezentrale Modulelektronik
2. Leistungsminderung bei Abschattung - Basics
3. Messung im Labor
4. Facts: LEICHTE Verschattung
5. Facts: MASSIVE Verschattung
6. Fazit:
 

Dezentral hat nicht immer Effizienzvorteile  
 Jahresnennbetriebsstunden  
 Andere Vorteile

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, [www.zhaw.ch/~bauf](http://www.zhaw.ch/~bauf)

2

2



3

## Was sagt die Fachliteratur/Fachexpertise?

zhaw School of Engineering

### Leistung von PV-Topologien bei Abschattung

solar~~edge~~

DATUM: JULI 2013

46 "Das SolarEdge-System lieferte in allen Tests einen höheren Energieertrag als das Strangwechselrichtersystem. Im Jahresdurchschnitt gewann das SolarEdge-System 24,8 % der durch Verschattung verloren gegangenen Energie zurück, während das Mikro-Inverter-System nur 23,2 % zurückgewann", sagt Matt Donovan, PV Evolution Labs.

ODER

Achim Woyte et. al. Solar Energy 74 (2003) 217–233, (University Leuven, IMEC, Belgium)

Significant differences regarding shadow tolerance of different inverter types or over proportional losses with long module strings could not be confirmed for the system under examination. The negative impact of partial shadowing on the array performance should not be underestimated, but it affects modular systems as well as central inverter systems.

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

4

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
**zhaw** School of Engineering
 

## Inhalt

1. Marktzuwachs – dezentrale Modulelektronik
2. Leistungsminderung bei Abschattung Modul

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf
5

5

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
**zhaw** School of Engineering
 

## Standard Modul 300W – kein Schatten

cr-Silicon Standard Module, 60 cells, 6 inc

Datasheet	Voc [V]	38.9
	Isc [A]	9.88
	Imp [A]	9.38
	Ump [V]	32.0
constants	Pn [W]	300.2
	ut [V]	0.026
	n*ut [V]	0.026
	Is [A]	1.46E-10
	Rs_cell [Ohm]	0.006
	U_shunt_diode [V]	0.7

No Shading

P [W]

U [V]

—●— Pmod [W]

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf
6

6

## Geringe Verschattung in der Praxis




Vogelkot auf 6" Wafer  
 Grösse 1Fr bis 5 Fr Münze  
 2% bis 4 % Zellfläche

1.8%



3.4%



20%

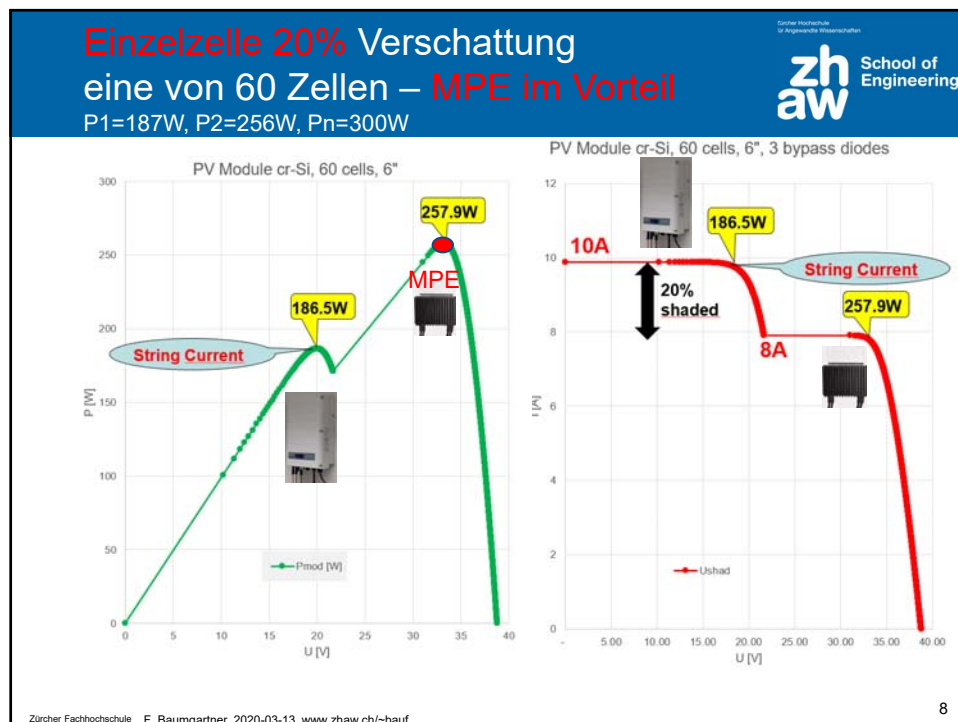


Refences: PV Shading  
 Yield loss categories string  
 I < 2% / II < 5% / III > 5%  
 G. Bettenwort et al.  
 EUPVSEC 2010

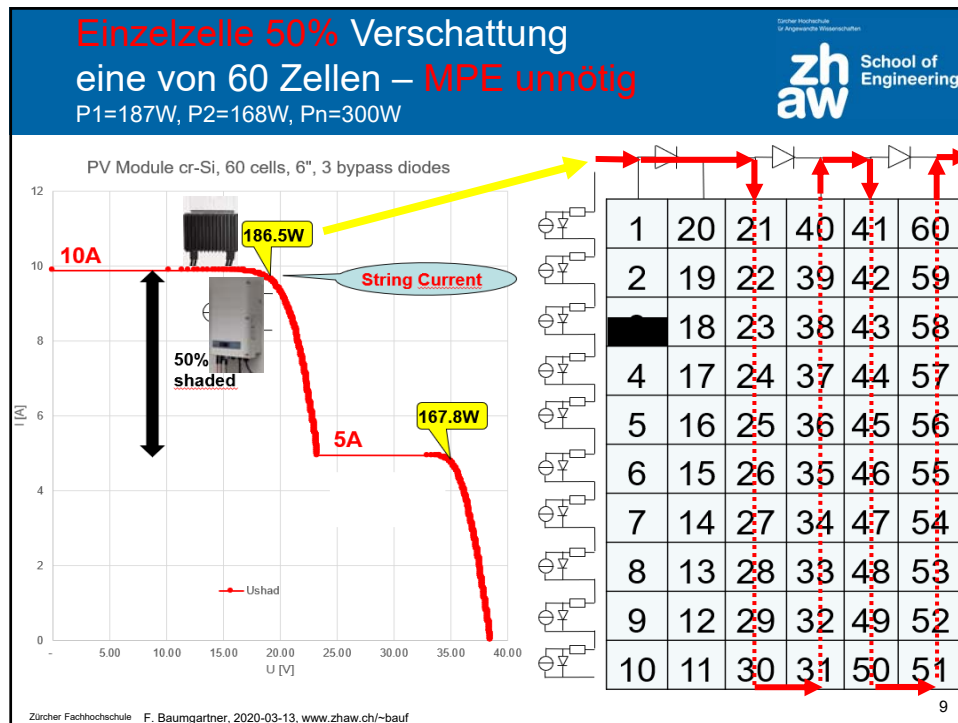
Cat I  
 10 Moduleš

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

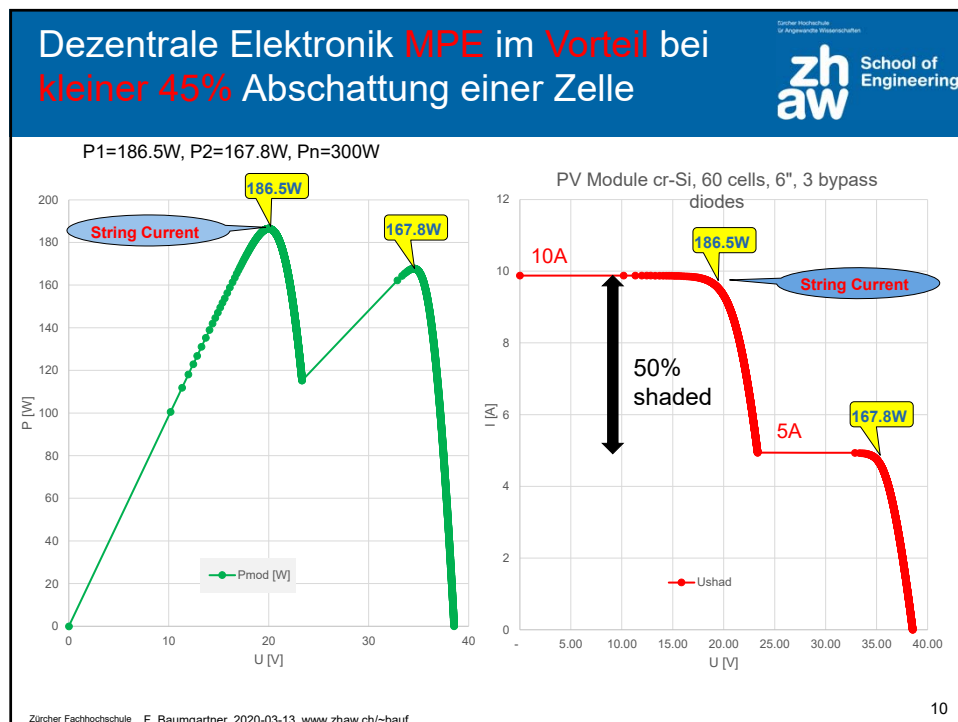
7



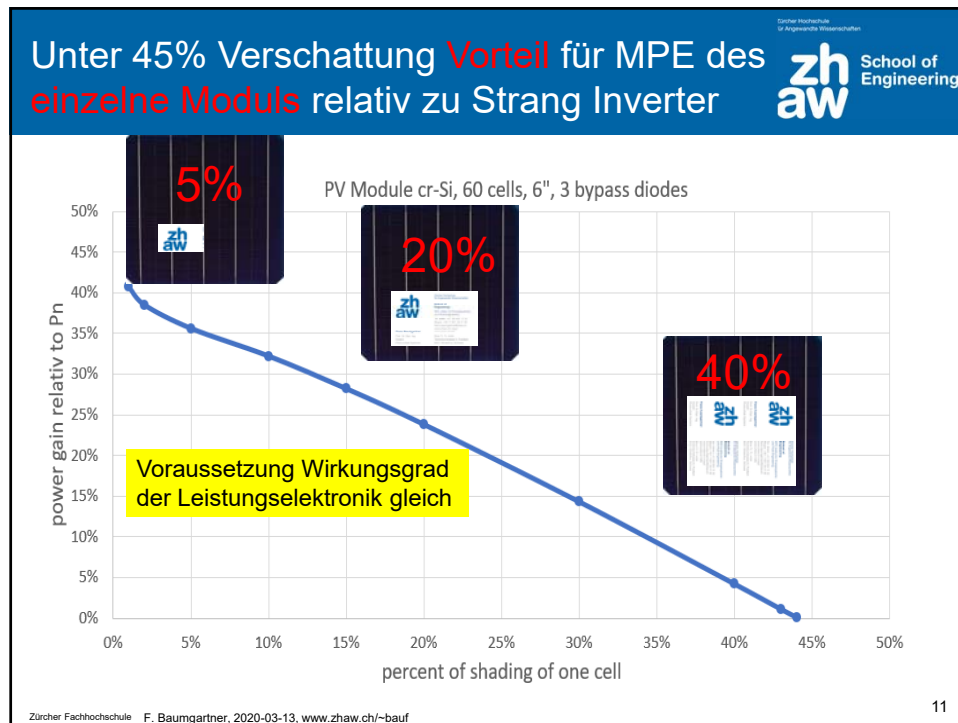
8



9



10



11

Inhalt

zhaw School of Engineering

1. Marktzuwachs – dezentrale Modulelektronik
2. Leistungsminderung bei Abschattung Modul
3. **Messung im Labor**




Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

12

## Wirkungsgradvergleich – Erwartungen

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
**zhaw** School of Engineering

Basis Datenblatt: gewichtete EURO Wirkungsgrad der Wechselrichter

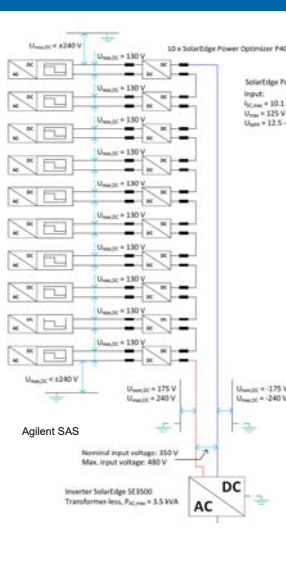
Modul Power Elektronik (Solaredge HD 6kW neuste Technologie)	String Inverter
<p style="text-align: center;"><b>DC/DC Wandler      98.8%</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>DC/AC Inverter      99.0%</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Gesamt      97.8%</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>DC/AC</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>98%</b></p>

Zürcher Fachhochschule    F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf


13

## Laboraufbau – ZHAW Winterthur School of Engineering, IEFE REELab


Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
**zhaw** School of Engineering



$U_{MPP1} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP2} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP3} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP4} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP5} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP6} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP7} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP8} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP9} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP10} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP11} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP12} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP13} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP14} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP15} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP16} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP17} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP18} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP19} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP20} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP21} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP22} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP23} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP24} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP25} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP26} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP27} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP28} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP29} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP30} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP31} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP32} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP33} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP34} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP35} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP36} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP37} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP38} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP39} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP40} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP41} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP42} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP43} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP44} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP45} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP46} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP47} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP48} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP49} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP50} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP51} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP52} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP53} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP54} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP55} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP56} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP57} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP58} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP59} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP60} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP61} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP62} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP63} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP64} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP65} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP66} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP67} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP68} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP69} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP70} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP71} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP72} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP73} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP74} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP75} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP76} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP77} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP78} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP79} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP80} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP81} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP82} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP83} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP84} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP85} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP86} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP87} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP88} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP89} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP90} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP91} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP92} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP93} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP94} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP95} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP96} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP97} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP98} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP99} = 4240\text{ V}$   
 $U_{MPP100} = 4240\text{ V}$

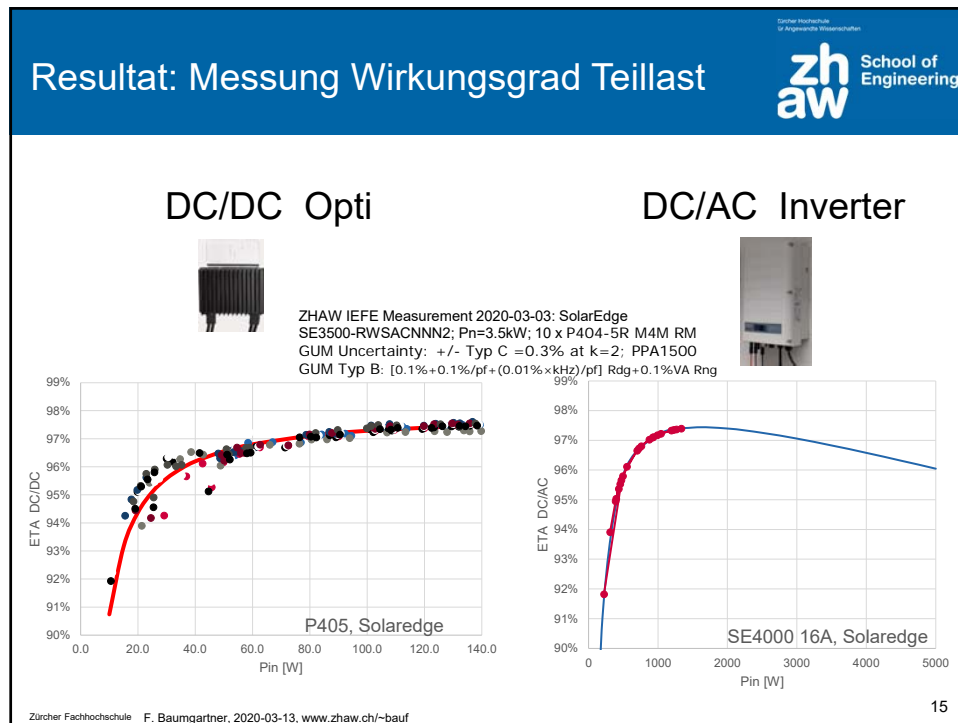


SolarEdge Power Optimizer F405  
 Input:  
 $I_{Cmax} = 10.1\text{ A}$   
 $U_{MPP} = 125\text{ V}$   
 $U_{max} = 125 - 105\text{ V}$

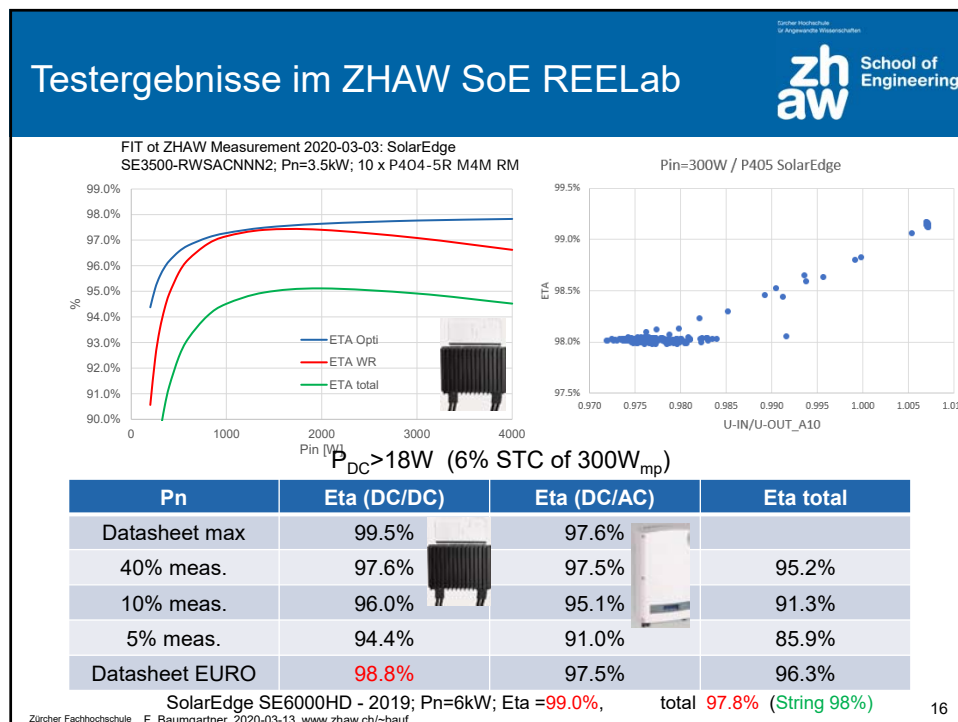


Zürcher Fachhochschule    F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

14




15



16



## Wirkungsgradvergleich von MPE vor einem Jahrzehnt – Effizienzen DC/DC ca. 98%



**Table 1 Overview of Power Optimizers and Micro Inverter products: Overview of performance related information provided by the manufacturers in the datasheets (non exhaustive list).**

Product Category <sup>*</sup>	Manufacturer and Model	Performance figures according to datasheet		Datasheet information acc. to EN 50524
		Conversion efficiency	MPPT efficiency	
Products available on the market today				
DC.UP.S	Solar Edge PB250-AOB [9]	Maximum 98.6 % European CEC 97.8/97.7%	No information	No
DC.DN.S	TIGO Energy MM-ES [10]	No information	No information	No
DC.UP.S	ST Microelectronics SPV1020 [11]	"Up to 98% efficiency"	No information	N/A (only chipset, no final product)
DC.UD.S	SolarMagic SM3320 [12]	99.5% ("Panel Mode Efficiency") No other specs.	MPPT efficiency 99.5%	No
DC.UP.P	Tigo Energy MM-EP	No information	No information	No
DC.UP.P	EIQ Energy vBoost 250 [13]	97% to 98% (peak)	No information	No
AC.LV.P	Enphase M210-84-240-S12 [15]	Peak 96.0% CEC 95.5%	"Nominal MPP Tracking" 99.6%	No

**MODULE INTEGRATED POWER CONVERTERS –  
A COMPARISON OF STATE-OF-THE-ART CONCEPTS AND PERFORMANCE TEST RESULTS**

R. Bründlinger<sup>1</sup>, N. Henze<sup>2</sup>, G. Lauss<sup>1</sup>, Jie Liu<sup>2</sup>


<sup>1</sup>Austrian Institute of Technology, ÖFPZ Arsenal, Giefinggasse 2, A-1210 Vienna, Austria  
<sup>2</sup>Fraunhofer IWES, Königstor 59, 34119 Kassel, Germany

25th EUPVSEC Valencia, 2011

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

17

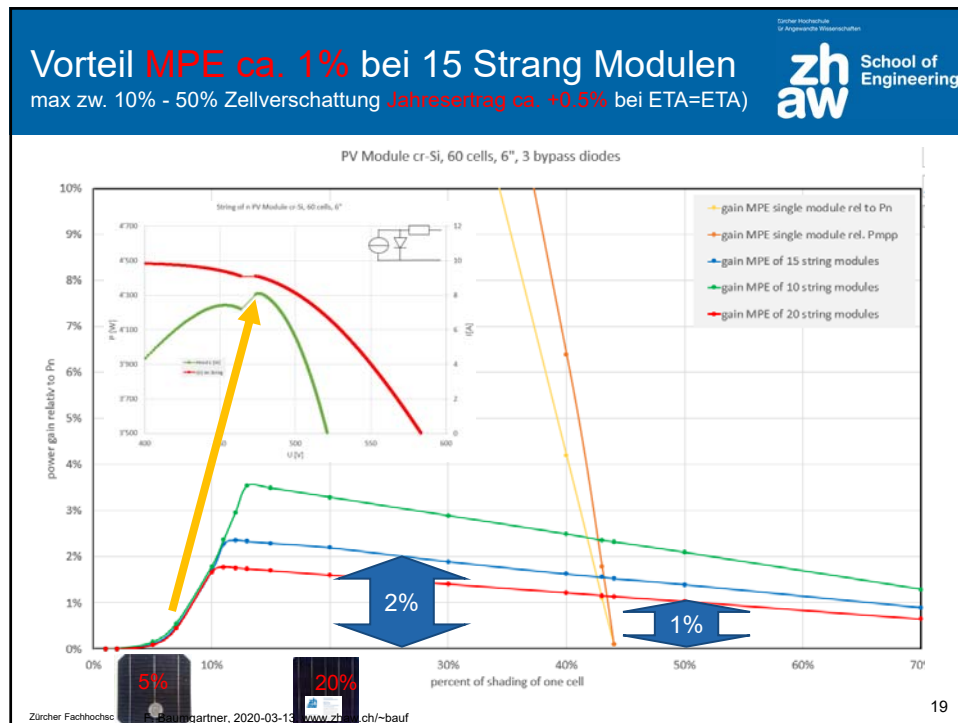
## Inhalt



1. Marktzuwachs – dezentrale Modulelektronik
2. Leistungsminderung bei Abschattung - Basics
3. Messung im Labor
4. **Facts: LEICHTE Verschattung**

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

18



19

**Inhalt**

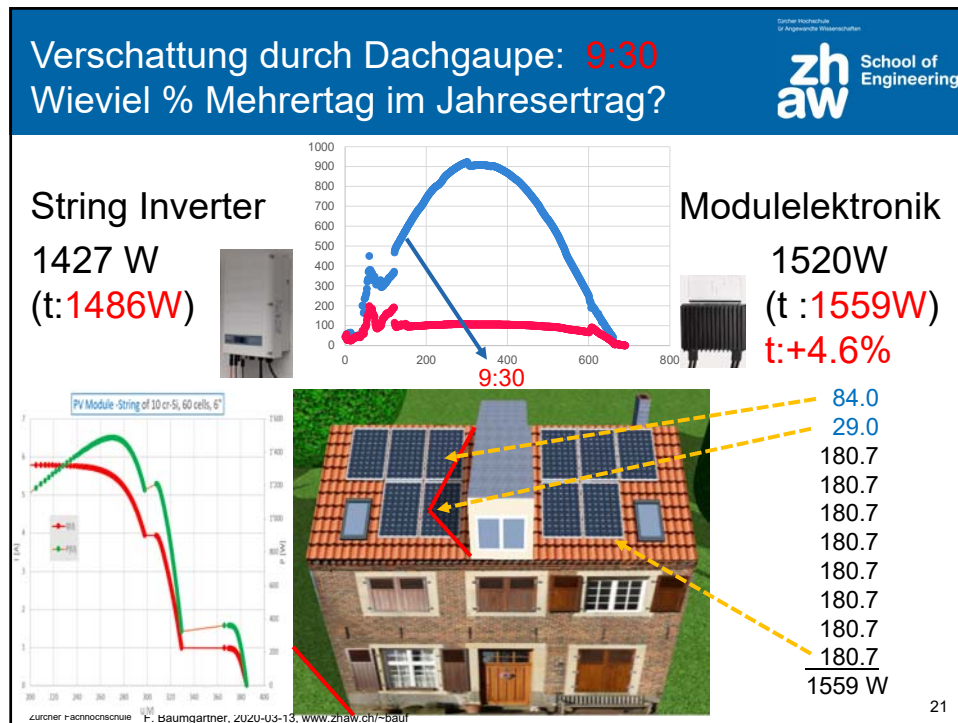
zhaw School of Engineering

1. Marktzuwachs – dezentrale Modulelektronik
2. Leistungsminderung bei Abschattung - Basics
3. Messung im Labor
4. Facts: LEICHTE Verschattung
5. Facts: MASSIVE Verschattung

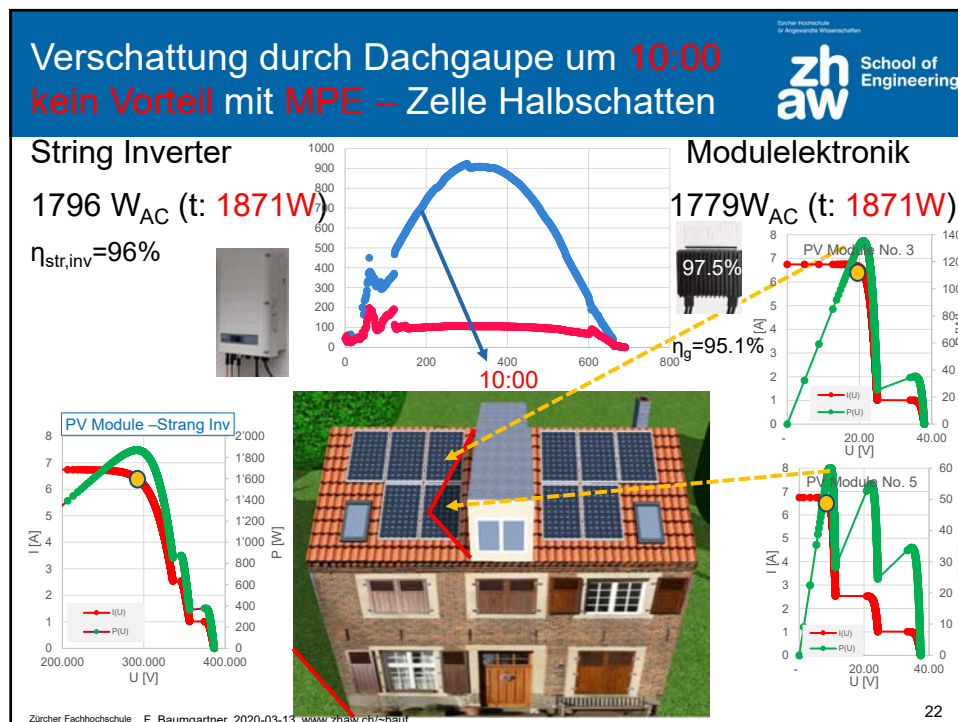
20

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

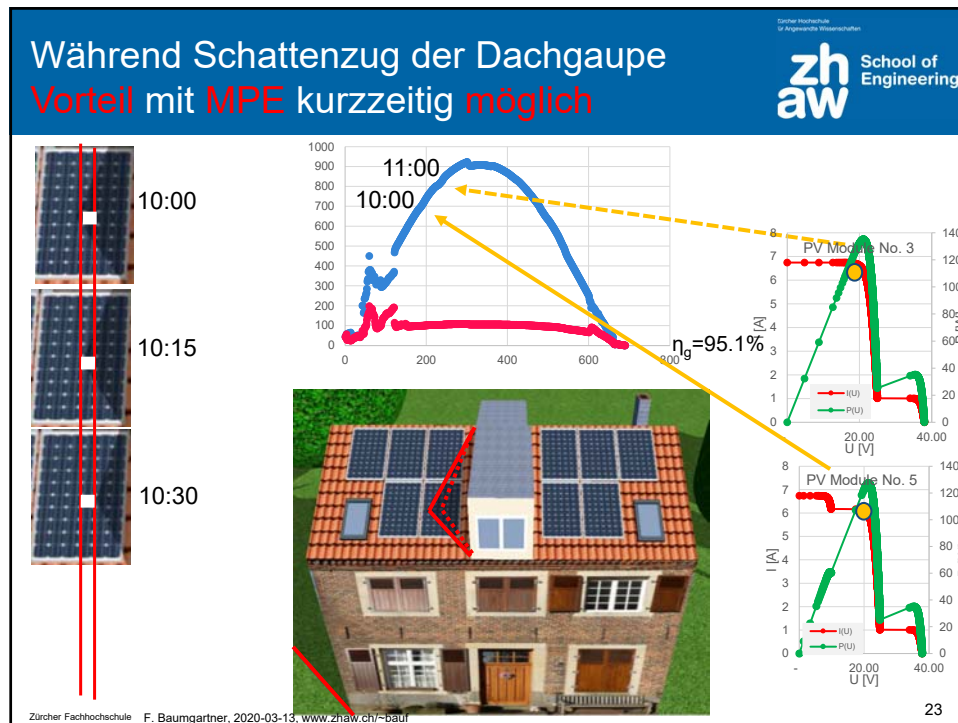
20



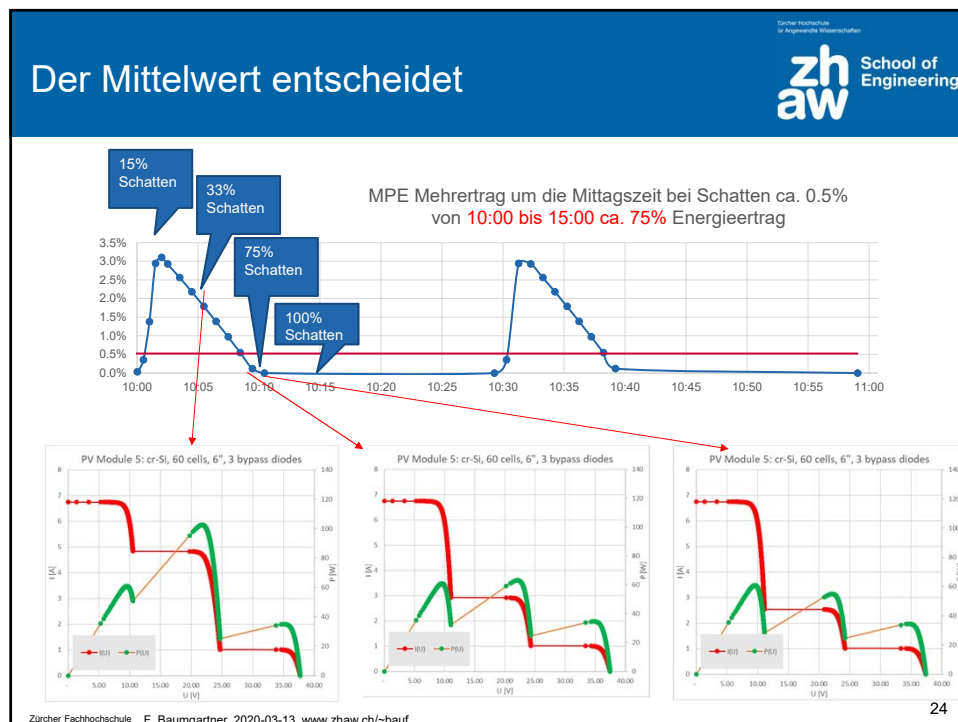
21



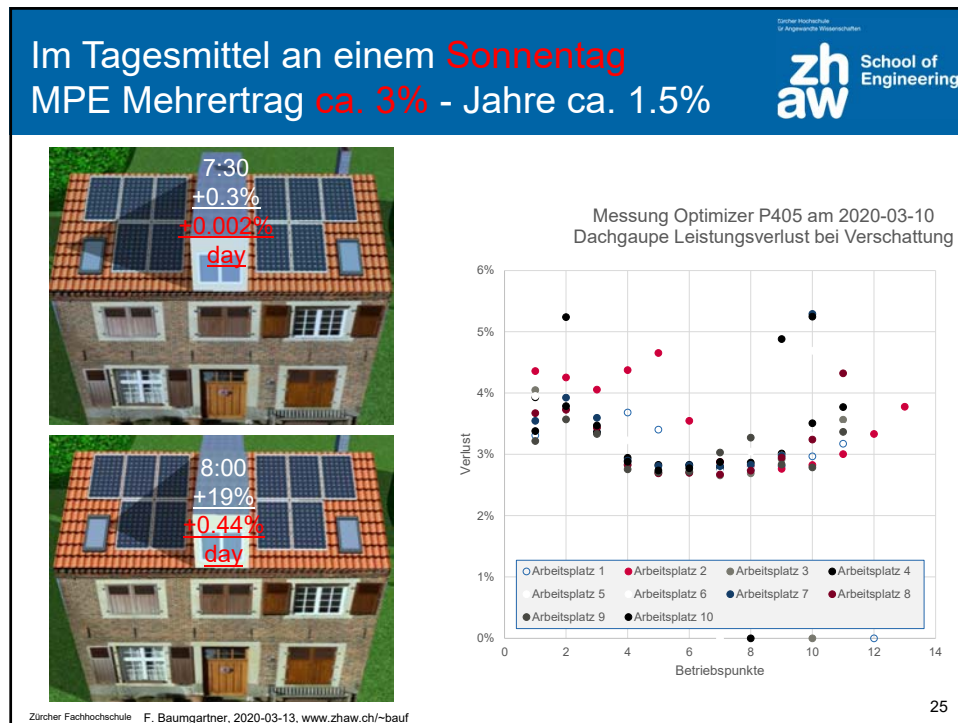
22



23



24



25

Inhalt

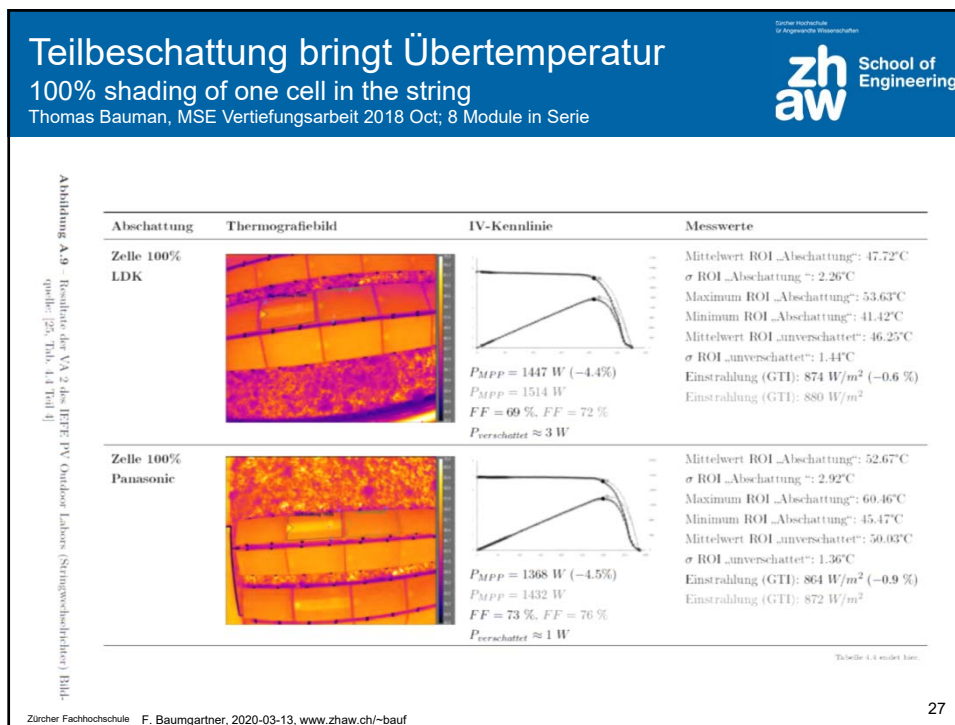
zhaw School of Engineering

1. Marktzuwachs – dezentrale Modulelektronik
2. Leistungsminderung bei Abschattung - Basics
3. Messung im Labor
4. Facts: KEINE Verschattung
5. Facts: LEICHTE Verschattung
6. Facts: MASSIVE Verschattung
7. **Fazit:**  
Dezentral hat nicht immer Effizienzvorteile  
Jahresnennbetriebsstunden  
Andere Vorteile

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

26

26



27

## Was sagt die Fachliteratur/Fachexpertise?

**zhaw** School of Engineering

### Leistung von PV-Topologien bei Abschattung

**solar edge**

DATUM: JULI 2013

<sup>46</sup>Das SolarEdge-System lieferte in allen Tests einen höheren Energieertrag als das Strangwechselrichtersystem. Im Jahresdurchschnitt gewann das SolarEdge-System 24,8 % der durch Verschattung verloren gegangenen Energie zurück, während das Mikro-Inverter-System nur 23,2 % zurückgewann<sup>49</sup>, sagt Matt Donovan, PV Evolution Labs.

**OPVEL** ADVANCING SOLAR  
**NREL** NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY

---

### ODER

Achim Woyte et. al. Solar Energy 74 (2003) 217–233, (Uni Leuven, IMEC)


Significant differences regarding shadow tolerance of different inverter types or over proportional losses with long module strings **could not be confirmed** for the system under examination. The **negative impact** of partial **shadowing** on the array performance should **not be underestimated**, but **it affects modular systems as well as central inverter systems**.

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

28



Fazit für Modul Power Elektronik




Effizienzgewinne von MPE gegenüber String Inverter

1. Für nicht verschattete Objekte **bringt MPE nichts**
2. Für **leichte Verschattung** eine Zelle Moduls ca. **+1%**
3. Für **schwere Verschattung** Gaupe ca. **+1.5 bis 5% Jahresertrag/kW sinkt**, Planung **weniger Modulen**
4. Vorteil **geringe thermische** Belastung, **+1V max**
5. Die Webdarstellung pro Modul bleibt ein Renner!
6. String Inverter bleiben bei guten Solardächer No 1
7. PV **Simulationstools ungeeignet** für 1Minuten **MPE**
8. Empfehlung: Dem Endkunden nicht **Schattenplätze** als **Goldgruben** verkaufen!!

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

29

29



Danke für die Aufmerksamkeit

[www.zhaw.ch/~bauf](http://www.zhaw.ch/~bauf)

Download EXCEL Simulation String Shading

[Franz.baumgartner@zhaw.ch](mailto:Franz.baumgartner@zhaw.ch)

Zürcher Fachhochschule F. Baumgartner, 2020-03-13, www.zhaw.ch/~bauf

30

30