



SO SPAREN SIE ERHEBLICHE KOSTEN IN ANLAGEN 100-750 KW

White Paper
© Fronius Deutschland GmbH
Version 05/2019 MN

Fronius behält sich alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vor. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung von Fronius reproduziert oder unter Verwendung elektrischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Es wird darauf hingewiesen, dass alle Angaben in diesem Dokument trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Autors oder von Fronius ausgeschlossen ist. Geschlechterspezifische Formulierungen beziehen sich gleichermaßen auf die weibliche und männliche Form.



INHALT

1	Einleitung.....	4
2	Begriffserklärung.....	4
2.1	Zentrales-Anlagendesign	4
2.2	Dezentrales-Anlagendesign	4
2.3	Europäischer Wirkungsgrad per Definition.....	4
3	Kostenaufstellung Fronius und Mitbewerber A, B und C	5
3.1	Tabelle 1: Kabelkosten zentral vs. dezentral / Kupferleitungen	5
3.2	Tabelle 2: Verlustleistung AC und DC im Vergleich.....	6
3.3	Tabelle 3: Kabelkosten und Verlustleistung in % über 20 Jahre.....	6
4	Anlagenskizzen	7
4.1	Anlagenskizze – Fronius Variante 1 zentral.....	7
4.1.1	Auslegung der Wechselrichter	7
4.1.2	DC-Installation	7
4.1.3	AC-Installation	7
4.2	Anlagenskizze – Fronius Variante, 2 Mitbewerber A 50 kW und B 60 kW dezentral	8
4.2.1	Auslegung der Wechselrichter	8
4.2.2	DC-Installation	8
4.2.3	AC-Installation	8
4.3	Anlagenskizze – Mitbewerber C 100 kW dezentral / zentral mix	9
4.3.1	Auslegung der Wechselrichter	9
4.3.2	DC-Installation	9
4.3.3	AC-Installation	9
5	Kritische Fragen	10
5.1	Wie ändert sich die Ertragsberechnung, wenn ein Leitungsverlust von 3% zugelassen wird?	10
5.2	Wie ändert sich die Berechnung, wenn man Aluminiumkabel verwendet?	10
5.3	Wie ändert sich die Berechnung, wenn man die Anlagenleistung verändert?.....	11
5.3.1	Anlagenleistung 120 kW.....	11
5.3.2	Anlagenleistung 500 kW.....	12
5.3.3	Anlagenleistung 750 kW.....	12
6	Fazit.....	13

1 EINLEITUNG

Mit der richtigen Auswahl von

- / Wechselrichtern und
- / Verkabelungskonzept

lassen sich mehrere tausend Euro einsparen. In diesem Whitepaper erfahren Sie, wie das geht.

Durch Erhöhen der DC-Querschnitte und dem Einsatz des Fronius DC-Connector-Kit können Sie wirtschaftlich interessant DC-Leitungen verlängern und dadurch an vergleichsweise teuren AC-Leitungen einsparen.

Im Falle einer 306,7 kWp Beispielanlage ergibt sich ein Kostenvorteil von bis zu **59,4%** für ein Anlagendesign mit Fronius Eco Geräten.

Ermöglicht wird das durch den zentralen Einsatz des Fronius Eco. An dieser Stelle können intelligent Kosten gespart werden.

Zur ganzheitlichen Betrachtung ist es essentiell, auch die Verlustleistung genau zu analysieren. Denn zu hohe Leitungsverluste summieren sich zu Kosten auf, die schnell zu einem vierstelligen Betrag anwachsen können.

Im vorliegenden Whitepaper werden beispielhaft all diese Faktoren untersucht. Der Wechselrichter Fronius Eco 25.0-3-S wird mit anderen Geräten verglichen, um Möglichkeiten für kurzfristige und langfristige Kosteneinsparungen aufzuzeigen.

2 BEGRIFFSERKLÄRUNG

2.1 Zentrales-Anlagendesign

Beim zentralen Anlagendesign werden die Stränge zuerst in einem Geräte Anschlusskasten (GAK, oder auch String-Combiner-Box genannt) gesammelt und eine Sammelleitung führt zum Wechselrichter. Der Großteil der Distanz von den PV-Modulen zum Wechselrichter wird somit mit DC-Kabeln ausgeführt. Die Distanz vom Wechselrichter zum AC-Verteiler ist gering.

2.2 Dezentrales-Anlagendesign

Beim dezentralen Anlagendesign sind die Wechselrichter in der Nähe der Module montiert. Es werden größere Distanzen mit AC-Kabeln ausgeführt. Im Vergleich zum zentralen Anlagendesign sind aufgrund der Distanz im AC-Abschnitt größere Kabelquerschnitte notwendig.

2.3 Europäischer Wirkungsgrad per Definition

Im Europäischen Wirkungsgrad werden die durchschnittlichen Häufigkeiten von geringer oder stärkerer Einstrahlung berücksichtigt.

Dazu wurden Teillastbereiche definiert. Die Teillastbereiche wurden nach ihrer durchschnittlichen Häufigkeit gewichtet.

Teillastbereich	5,00%	10,00%	20,00%	30,00%	50,00%	100,00%
Häufigkeitsfaktor	3,00%	6,00%	13,00%	10,00%	48,00%	20,00%

Es wird also beispielsweise für den Europäischen Wirkungsgrad angenommen, dass der Wechselrichter fast die Hälfte der Zeit (48%) 50% der maximalen Leistung bringt und nur ein Fünftel der Zeit volle 100%.

3 KOSTENAUFSTELLUNG FRONIUS UND MITBEWERBER A, B UND C

Die Beispielanlage weist eine Leistung von 306,7 kWp auf, ist in Deutschland installiert und dient in der weiteren Betrachtung für einen Vergleich des **dezentralen** und **zentralen** Anlagendesigns. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Anlagendesigns liegt in der Art der Verkabelung.

3.1 Tabelle 1: Kabelkosten zentral vs. dezentral / Kupferleitungen

Das Fronius Konzept bietet einen Kostenvorteil von über 10.000,- Euro.

In der Tabelle unten finden Sie die Aufschlüsselung der Kostenpositionen. Der weitere Text beschreibt, wie diese Kosten ermittelt wurden. Eine zusätzliche Einsparung von etwa 1.500,- Euro wird durch eine bessere Kabeldimensionierung erreicht (siehe nächste Seite).

	Fronius ECO 25 VAR 1 zentral	Fronius ECO 25 VAR 2 dezentral	Mitbewerber A - 50kW dezentral	Mitbewerber B – 60 kW dezentral	Mitbewerber C – 100 kW mix
DC 4 mm ²	444,00 €	444,00 €	273,00 €	227,50 €	
DC 6 mm ²	664,64 €	644,64 €	893,52 €	1.334,16 €	1.142,40 €
DC 10 mm ²					1.355,84 €
DC 16 mm ²	4.248,00 €				
AC-CU 16 mm ²	AL 159,04 €	1.509,54 €			
AC-CU 35 mm ²			1.604,40 €		
AC-CU 50 mm ²				1.778,61 €	704,40 €
AC-CU 120 mm ²					3.348,87 €
AC-CU 150 mm ²				5.157,00 €	
AC-CU 185 mm ²		12.772,00 €	12.772,00 €		
AC-CU 240 mm ²				8.435,00 €	6.747,63 €
Leistungsoptimierer					1.660,00 €
GAK	1.440,00 €				1.194,00 €
Ü-Schutz DC		948,48 €	298,80 €		
Zähler	205,00 €	205,00 €	244,10 €	210,00 €	145,47 €
Datamanager			530,38 €	429,00 €	273,14 €
3rd Party	1.373,70 €	1.373,70 €		1.373,70 €	724,69 €
AC-Unterverteilung	0 €	1.460,17 €	1.447,20 €	1.374,69 €	1.074,17 €
Ü-Schutz AC	455,22 €	1.794,88 €	1.794,88 €	1.794,88 €	1.794,88 €
Gesamt	8.830,56 €	21.152,41 €	19.858,28 €	22.114,54 €	20.165,49 €
€/kWp	28,79 €	68,96 €	64,74 €	72,10 €	65,75 €

Hinweis:

Die Leistung pro String bei Mitbewerber C beträgt 11,36 kW, was den erlaubten Wert der Leistungsoptimierer übersteigt. Es wird eine höhere Leistungsoptimiererklasse gewählt, die zu Mehrkosten führt.

Erkenntnis:

Es entsteht eine enorme Kostenersparnis bei der Kabelberechnung mit DC 16mm².

In der zentralen Anordnung der Wechselrichter wird für das Einhalten der „10m-Regel“ (VDE-AR-N 0100-443; VDE-AR-N 0100-534) ein AC-Überspannungsschutz in der Hauptverteilung installiert. Es wird keine Unterverteilung benötigt.

3.2 Tabelle 2: Verlustleistung AC und DC im Vergleich

Die Tabelle zeigt die Kosten, die dem Anlagenbetreiber durch die Wahl der Kabelquerschnitte entstehen. Die Kosten sind berechnet als entgangene Einspeisevergütung (Einspeisetarif: 8 ct/kWh).

Verlustleistung AC+DC	Fronius VAR 1 zentral	Fronius VAR 2 dezentral	Mittbewerber A - 50 kW dezentral	Mittbewerber B - 60kW dezentral	Mittbewerber C - 100 kW mix
DC-Verlustleistung %	0,87%	0,24%	0,24%	0,26%	0,76%
AC-Verlustleistung%	0,24%	1,47%	1,43%	1,28%	0,99%
DC-Ertragsverlust 20 J.	2092,63 €	574,37 €	574,37 €	630,68 €	1811,68 €
AC-Etragsverlust 20 J.	582,32 €	3.545,23 €	3.431,59 €	3.071,18 €	2.372,27 €
Gesamt AC+DC 20 J./€	2.674,95 €	4.119,60 €	4.005,96 €	3.701,86 €	4.183,95 €

Die Dimensionierung der Kabelquerschnitte bei der Betrachtung beruht auf der Vorgabe einer max. Verlustleistung von 1% für AC- und DC-Abschnitte.

Durch die geringe Verlustleistung (AC 0,24% + DC 0,87%) und unter der Betrachtung der Häufigkeit der solaren Einstrahlung (vgl. 2.3 Europäischer Wirkungsgrad per Definition) ist das Anlagendesign der Fronius Variante 1 zu bevorzugen.

In Tabelle 2 ist eine Kostendifferenz von bis zu **1.509,-Euro** zu erkennen.

Aufgrund der unterschiedlichen Systemspannung (AC 400 V, DC bis zu 1.000 V), der unterschiedlichen Leitungslängen sowie den daraus resultierenden Querschnitten ergeben sich unterschiedliche Übertragungsverluste. Je nach Projekt kommt es dadurch zu unterschiedlichen Ergebnissen in Bezug auf den Ertrag der Anlage.

3.3 Tabelle 3: Kabelkosten und Verlustleistung in % über 20 Jahre

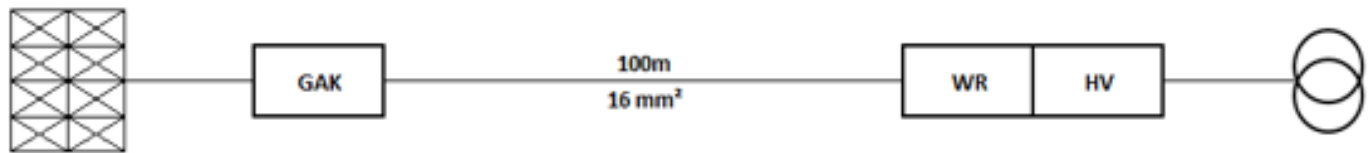
Gesamtkosten der AC- und DC-Verkabelung mit Gesamtkosten AC- und DC-Ertragsverlust durch Leitungslängen über 20 Jahre.

	Fronius VAR 1 zentral	Fronius VAR 2 dezentral	Mittbewerber A – 50 kW dezentral	Mittbewerber B – 60 kW dezentral	Mittbewerber C – 100 kW mix
Kabelkosten + Verlustleistung in % €/20J.	11.664,55 €	25.272,01 €	23.864,24 €	25.816,40 €	24.349,44 €

In dieser 306,7 kWp Anlage sparen Sie mit dem Fronius Konzept zwischen 12.199,69 Euro und 14.151,85 Euro. Es lohnt sich, genau nachzurechnen.

4 ANLAGENSKIZZEN

4.1 Anlagenskizze – Fronius Variante 1 zentral



4.1.1 Auslegung der Wechselrichter

- / 12 Stück Fronius Eco 25.0
- / Pro Wechselrichter 1 Strang à 72 Module (DC Connector Kit via GAK, 4 Stränge à 18 Module)

4.1.2 DC-Installation

- / Modulfeldkabel: Photovoltaikkabel
- / Längster String: 74 m
- / Querschnitt: 6 mm²

Pro Fronius Wechselrichter wird ein GAK benötigt. Dieser ist bestückt mit:

- / Leergehäuse + Hutschiene
- / Sicherungsklemmen
- / Reihenklemmen
- / Reihenklemmen-Abschlussdeckel

Die Auswahl des GAK ist je nach Anlagentyp unterschiedlich (IP-Klasse, Überspannungsschutz, usw.)

- / Länge des Sammel-DC-Kabels: 100m
- / Kabeltyp: Photovoltaikkabel
- / Querschnitt 16 mm²

Hinweis: Querschnittserhöhung möglich bis 35 mm² durch das Fronius DC Connector Kit

4.1.3 AC-Installation

- / Kabeltyp: Aluminium
- / Querschnitt: 5 x 16 mm²
- / Gesamtlänge: 48 m

Eine Unterverteilung ist nicht vorhanden. Der Fronius Eco wird zentral an der Hauptverteilung angeschlossen.

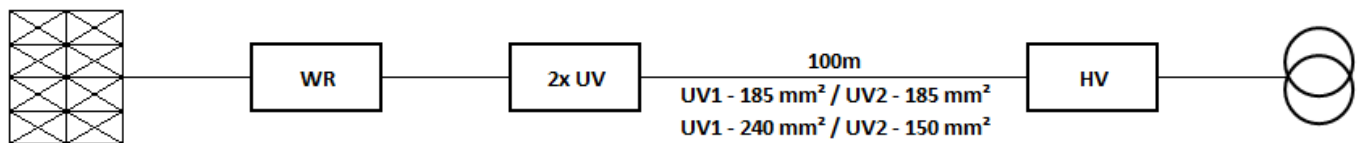
4.2 Anlagenskizze – Fronius Variante 2, Mittbewerber A 50 kW und B 60 kW dezentral

Die dezentralen Anlagendesigns unterscheiden sich bei der Fronius Variante 2, Mittbewerber A 50 kW und Mittbewerber B 60 kW nur minimal voneinander.

Aufgrund der Wechselrichteranzahl des Mittbewerber B werden Unterverteilungen unterschiedlicher Leistung benötigt:

- / UV 1: 180 kW – 3 Wechselrichter mit 60 kW
- / UV 2: 120 kW – 2 Wechselrichter mit 60 kW

Fronius Variante 2 und Mittbewerber A unterscheiden bei den Kabelquerschnitten der Unterverteilungen nicht.



4.2.1 Auslegung der Wechselrichter

Fronius Variante 2

- / 12 Stück Fronius Eco 25.0
- / Pro Wechselrichter 4 Stränge à 18 Module

Mittbewerber A

- / 6 Stück Wechselrichter à 50 kW
- / Pro Wechselrichter: 8 Stränge à 18 Module

Mittbewerber B:

- / 5 Stück Wechselrichter à 60 kW
- / Pro Wechselrichter: 9 Stränge à 18 Module + 1 Strang à 9 Module

4.2.2 DC-Installation

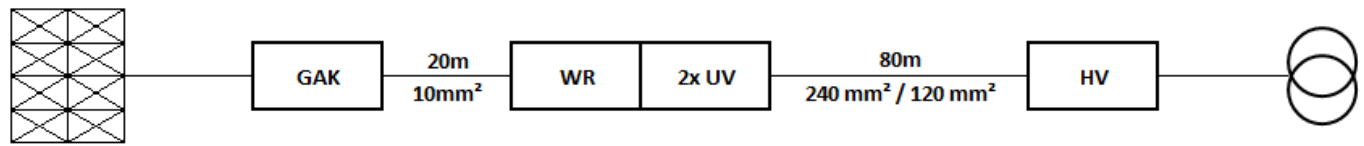
DC Installation	Fronius Eco Var. 2	Mittbewerber A 50 kW	Mittbewerber B 60 kW
Modulfeldkabel	Photovoltaikkabel	Photovoltaikkabel	Photovoltaikkabel
Querschnitt	6 mm ²	6 mm ²	6 mm ²
Längster String	74 m	102 m	111 m

Bei den Wechselrichtern der Mittbewerber A und B sind keine höheren DC Querschnitte möglich!

4.2.3 AC-Installation

AC Installation	Fronius Eco Var. 2	Mittbewerber A 50 kW	Mittbewerber B 60 kW
Kabeltyp	5 x 16mm CU	4 x 35SM/16 CU	4 x 50SM/25 CU
Querschnitt	16 mm ²	35 mm ² / 16 mm ²	50 mm ² / 25 mm ²
Unterverteilung 1	4 x 185SM/95	4 x 185SM/95	4 x 240SM/120
Unterverteilung 2	4 x 185SM/95	4 x 185Sm/95	4 x 150SM/70

4.3 Anlagenskizze – Mitbewerber C 100 kW dezentral / zentral mix



4.3.1 Auslegung der Wechselrichter

- / 3 Stück Wechselrichter à 100 kW
- / Pro Wechselrichter: 9 Stränge à 32 Module

4.3.2 DC-Installation

- / Modulfeldkabel: Photovoltaikkabel
- / Längster Modulstrang: 108 m
- / Querschnitt: 6 mm²

- / GAK: 3 Geräteanschlusskästen pro Wechselrichter
- / Kabeltyp: Photovoltaikkabel
- / Querschnitt: 10 mm²
- / Länge des Sammel-DC-Kabels: 20 m

Bei Mitbewerber C ist kein DC Querschnitt > 10 mm² möglich!

4.3.3 AC-Installation

- / Wechselrichter: 100kW
- / Kabeltyp: 4xSM50/25 CU
- / Querschnitt 50 mm²
- / Gesamtlänge: 28 m

- / Unterverteilung 1: 4x240SM/120
- / Gesamtlänge: 80 m
- / Unterverteilung 2: 4x120SM/70
- / Gesamtlänge: 80 m

5 KRITISCHE FRAGEN

5.1 Wie ändert sich die Ertragsberechnung, wenn ein Leitungsverlust von 3% zugelassen wird?

Zu geringe Kabelquerschnitte kommen den Anlagenbetreiber sehr teuer.

300 KW Einspeisevergütung (8ct/kWh)		100 KW Einspeisevergütung (8ct/kWh)	
Verlustleistung in AC+DC %	Ertragsverlust €	Verlustleistung in AC+DC %	Ertragsverlust €
1%	2.397,00 €	1%	799,00 €
2%	4.793,00 €	2%	1.597,00 €
3%	7.206,00 €	3%	2.402,00 €
4%	9.603,00 €	4%	3.203,00 €
5%	12.000,00 €	5%	4.007,00 €

Aufgrund der Verteilung der Einstrahlungshäufigkeit (vgl. 2.3 Europäischer Wirkungsgrad per Definition), führt ein Leitungsverlust von 1% zu einem Ertragsverlust von ca. 0,5%.

Es gibt keine verlustfreien Kabel. - Aber es ist ein Unterschied, ob Sie dem Anlagenbetreiber einen Ertragsverlust von 2.397,- Euro (bei Leitungsverlust 1%; 300 kW Anlage) oder von 7.206,- Euro (bei 3%) zumuten.

5.2 Wie ändert sich die Berechnung, wenn man Aluminiumkabel verwendet?

	Fronius ECO 25 Var. 1	Mitbewerber A - 50kW	Mitbewerber B - 60 kW	Mitbewerber C - 100 kW
DC 4 mm ²	444,00 €	273,00 €	227,50 €	
DC 6 mm ²	664,64 €	893,52 €	1.334,16 €	1.142,40 €
DC 10 mm ²				1.355,84 €
DC 16 mm ²	4.248,00 €			
AC-AL 16 mm ²	159,04 €			
AC-AL 35 mm ²				
AC-AL 50 mm ²		552,00 €	464,60 €	
AC-AL 95 mm ²				215,67 €
AC-AL 150 mm ²				
AC-AL 185 mm ²				
AC-AL 240 mm ²		5.847,00 €	5.847,00 €	5.847,00 €
Leistungsoptimierer				1.660,00 €
GAK	1.440,00 €			1.194,00 €
Ü-Schutz DC		298,80 €		
Zähler	205,00 €	244,10 €	210,00 €	145,47 €
Datamanager		530,38 €	429,00 €	273,14 €
3rd Party	1.373,70 €		1.373,70 €	724,69 €



AC-Unterverteilung	0 €	2.100,00 €	2.100,00 €	2.100,00 €
Ü-Schutz AC	455,22 €	1.994,88 €	1.994,88 €	1.994,88 €

Gesamt	8.989,60 €	12.733,68 €	13.980,84 €	16.653,09 €
€/kWP	29,31 €	41,52 €	45,58 €	54,29 €

Selbst beim Einsatz von AC-Aluminiumkabeln weist das Fronius-Konzept eine erhebliche Einsparung auf.

5.3 Wie ändert sich die Berechnung, wenn man die Anlagenleistung verändert?

5.3.1 Anlagenleistung 120 kW

120 kW	Fronius ECO 25 Var. 1	Mitbewerber A - 50kW	Mitbewerber B – 60 kW	Mitbewerber C – 100 kW
DC 4 mm ²	148,00 €	91,00 €	75,83 €	
DC 6 mm ²	221,55 €	297,84 €	444,72 €	380,80 €
DC 10 mm ²				451,95 €
DC 16 mm ²	1.770,00 €			
AC-AL 16 mm ²	34,08 €			
AC-AL 35 mm ²				
AC-AL 50 mm ²		184,00 €	154,87 €	
AC-AL 95 mm ²				71,89 €
AC-AL 150 mm ²				
AC-AL 185 mm ²				
AC-AL 240 mm ²		1.958,00 €	1.958,00 €	1.958,00 €
Leistungsoptimierer				553,33 €
GAK	600,00 €			398,00 €
Ü-Schutz DC		99,60 €		
Zähler	205,00 €	244,10 €	210,00 €	145,47 €
Datamanager		530,38 €	429,00 €	273,14 €
3rd Party	1.373,70 €		1.373,70 €	724,69 €

AC-Unterverteilung	0,00 €	700,00 €	700,00 €	700,00 €
Ü-Schutz AC	455,22 €	901,77 €	901,77 €	901,77 €

Gesamt	4.807,55 €	5.006,69 €	6.247,89 €	6.559,04 €
€/KWP	15,68 €	16,32 €	20,37 €	21,39 €

Auch hier: Das Fronius Konzept gewinnt.

5.3.2 Anlagenleistung 500 kW

500 kW	Fronius ECO 25 Var. 1	Mitbewerber A - 50kW	Mitbewerber B – 60 kW	Mitbewerber C – 100 kW
DC 4 mm ²	740,00 €	455,00 €	379,15 €	
DC 6 mm ²	1.107,75 €	1.489,20 €	2.223,60 €	1.904,00 €
DC 10 mm ²				
DC 16 mm ²	8.078,28 €			
AC-AL 16 mm ²	340,80 €			
AC-AL 35 mm ²				
AC-AL 50 mm ²		920,00 €	774,35 €	
AC-AL 95 mm ²				359,45 €
AC-AL 150 mm ²				
AC-AL 185 mm ²				
AC-AL 240 mm ²		10.964,80 €	10.964,80 €	10.964,80 €
Leistungsoptimierer				2.766,65 €
GAK	2.400,00 €			1.990,00 €
Ü-Schutz DC		498,00 €		
Zähler	205,00 €	244,10 €	210,00 €	145,47 €
Datamanager		530,38 €	429,00 €	273,14 €
3rd Party	1.373,70 €		1.373,70 €	724,69 €
AC-Unterverteilung	0,00 €	3.500,00 €	3.500,00 €	3.500,00 €
Ü-Schutz AC	455,22 €	2.687,97 €	2.687,97 €	2.687,97 €
Gesamt	14.700,75 €	21.289,45 €	22.542,57 €	25.316,17 €
€/KWP	47,93 €	69,41 €	73,50 €	82,54 €

5.3.3 Anlagenleistung 750 kW

750 kW	Fronius ECO 25 Var. 1	Mitbewerber A - 50kW	Mitbewerber B – 60 kW	Mitbewerber C – 100 kW
DC 4 mm ²	1.110,00 €	682,50 €	568,73 €	
DC 6 mm ²	1.661,63 €	2.233,80 €	3.335,40 €	2.856,00 €
DC 10 mm ²				
DC 16 mm ²	12.744,00 €			
AC-AL 16 mm ²	1.022,40 €			
AC-AL 35 mm ²				
AC-AL 50 mm ²		1.380,00 €	1.161,53 €	
AC-AL 95 mm ²				503,23 €
AC-AL 150 mm ²				
AC-AL 185 mm ²				
Leistungsoptimierer				4.149,98 €
GAK	3.600,00 €			2.786,00 €
Ü-Schutz DC		697,20 €		



Zähler	205,00 €	244,10 €	210,00 €	145,47 €
Datamanager		530,38 €	429,00 €	273,14 €
3rd Party	1.373,70 €		1.373,70 €	724,69 €

AC-Unterverteilung	0,00 €	5.250,00 €	5.250,00 €	5.250,00 €
Ü-Schutz AC	455,22 €	4.027,62 €	4.027,62 €	4.027,62 €

Gesamt	22.171,95 €	34.234,00 €	35.544,85 €	39.904,53 €
€/kWP	72,29 €	111,62 €	115,89 €	130,11 €

Durch die dezentrale Positionierung der Unterverteilungen an den PV-Feldern werden die AC-Leitungslängen bei größerer Anlagenleistung erhöht, ebenso wie die Verlustleistung.

6 FAZIT

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Fall des Fronius Eco eine Analyse sämtlicher Kosten und Erträge eine deutliche Kostenersparnis bringt. Die Betrachtung der Wechselrichteranschaffungskosten allein führt zu einer falschen Einschätzung der Kosten und der Rentabilität einer PV-Anlage.