

Ertrag, Performance, Wirtschaftlichkeit – Parametervariationen zu diesen Größen in der Anlagenoptimierung kleiner und mittlerer PV-Anlagen

Björn Hemmann

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Franken e.V.
Landgrabenstraße 94, D-90443 Nürnberg, Tel.: 0911 / 376 516 -30
www.dgs-franken.de, hemmann@dgs-franken.de

1 Zielsetzung und Motivation

Da bei einer PV-Anlage mit steigender Performance der Ertrag steigt, wurden in der Vergangenheit zahlreiche äußerst sinnvolle Bestrebungen gestartet, Anlagen mit optimierter Performance zu planen. Für Anlagenbetreiber ist neben einem guten Ertrag vor allem die Wirtschaftlichkeit der Investition eine zweite wichtige Größe. Ist bei fester Generator-Nennleistung P_{PV} ein Wechselrichter mit viel zu kleiner Leistung (P_{WR}) installiert, so bedeutet dies nennenswerte Ertragseinbußen und damit Verluste bei den Einnahmen durch Leistungsbegrenzung. Bei zunehmend größerem P_{WR} (und festem P_{PV}) sind (abhängig von Orientierung, Neigung, Einbausituation, Vor-Ort-Gegebenheiten, Modul- und Wechselrichtertyp) zunächst geringere und schließlich keine Ertragseinbußen durch Leistungsbegrenzung zu beobachten. Trotz des Ansatzes, dass Wechselrichter mit zunehmendem P_{WR} höhere Investitionskosten bedeuten, ist eine zunehmend verbesserte Wirtschaftlichkeit darstellbar. Schließlich steigen bei zu großen Werten für P_{WR} die Investitionskosten durch die anteilig höheren Kosten des Wechselrichters, der Ertrag kann aber nicht weiter relevant gesteigert werden. Die Wirtschaftlichkeit verschlechtert sich nach Durchschreiten eines Maximums wieder. Es soll der Frage nachgegangen werden, bei welchem Auslegungsverhältnis P_{PV} zu $P_{WR-DC-max}$ ein technisches Optimum im Sinne von maximalem Ertrag vorliegt, und bei welchem Auslegungsverhältnis ein wirtschaftliches Optimum im Sinne von maximalem Kapitalwert vorliegt. Auch soll untersucht werden, in wie weit die beiden Optima deckungsgleich sind.

2 Das Auslegungsverhältnis

Bei den Parametervariationen zu den Größen Ertrag, Performance und Wirtschaftlichkeit, also der Suche nach der optimalen Auslegung einer netzgekoppelten PV-Anlage, spielt das Auslegungsverhältnis eine zentrale Rolle: Die Festlegung wie viele Module eines gewählten Modultyps auf einen ausgewählten Wechselrichter unter konkreten Bedingungen verschaltet werden, führt zum so genannten Auslegungsverhältnis. Also einer Relation von Modulleistung zur Wechselrichterleistung.[1]

Was unter dieser Relation der „Generatorleistung“ zur „Wechselrichterleistung“ zu verstehen ist, und was als Ober- bzw. Untergrenze sinnvoll ist, darüber ist sich die Fachwelt keineswegs einig, siehe Abbildung 1.

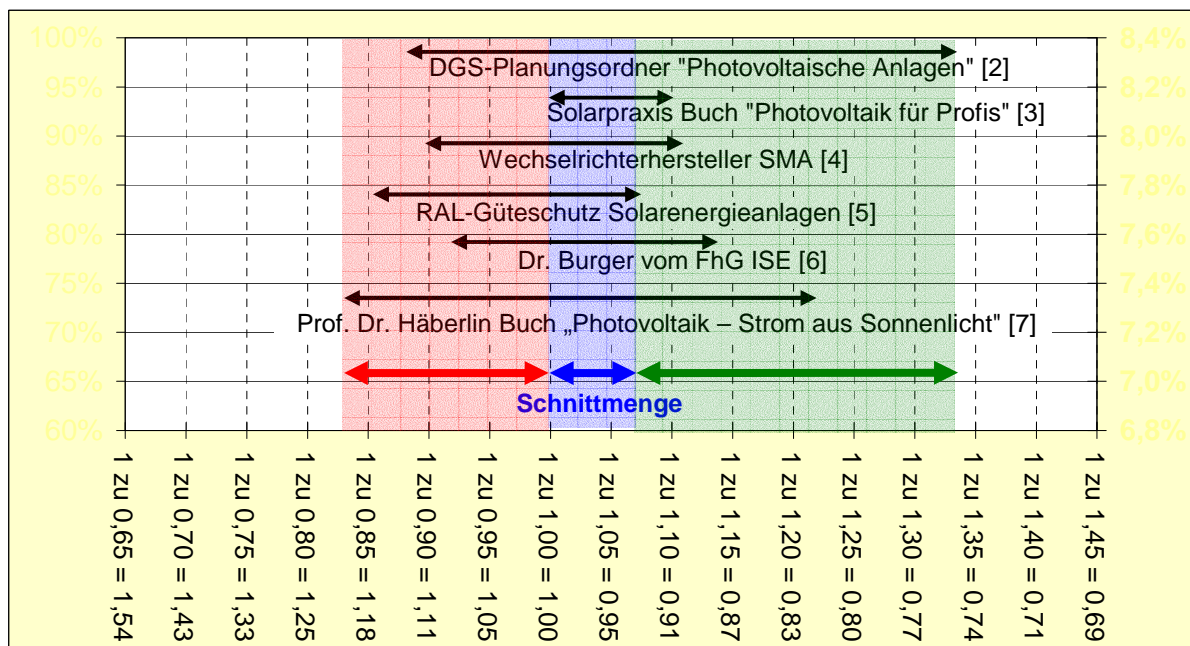


Abbildung 1: Verschiedene Auffassungen über die Ober- und Untergrenze des Auslegungsverhältnisses in der Branche. Jeweils umgerechnet auf den Quotienten P_{PV} zu $P_{WR-DC-max}$.

Bei dem Vergleich aller Festlegungen kommt man zu folgender Bandbreite:

$$75\% \text{ bis } 93\% \leq P_{PV} / P_{WR-DC-max} \leq 100\% \text{ bis } 123\%$$

$$\text{bzw. } (1 \text{ zu } 1,33) \text{ bis } (1 \text{ zu } 1,08) \leq P_{PV} / P_{WR-DC-max} \leq (1 \text{ zu } 1,0) \text{ bis } (1 \text{ zu } 0,81)$$

Im Folgenden wird unter dem Auslegungsverhältnis der Quotient aus P_{PV} und $P_{WR-DC-max}$ verstanden. Erstens um die Überlastkapazität zu berücksichtigen, zweitens um die beiden aneinander anzupassenden Größen direkt miteinander zu vergleichen und drittens um den Wirkungsgrad des Wechselrichters aus dem Quotienten heraus zu halten.

3 Anlagenoptimierung bei konstanter Ausrichtung (Süd) und Neigung (30°)

Eine Solaranlage kann prinzipiell in jeder beliebigen Größe konzipiert werden. Dennoch ergeben sich je nach Topologie Änderungen innerhalb des Systems. Wie z.B. aus den Daten des Solarenergie-Fördervereins Deutschland e.V. (SFV), pv-ertraege.de ersichtlich, sind zahlenmäßig die meisten Anlagen im Bereich der kleinen und mittleren Anlagen registriert (2 – 5 kW und 5 – 10 kW). Deswegen sollen die Parametervariationen zum Auslegungsverhältnis bei einer 5 kW Anlage untersucht werden. Aufgrund des modularen Aufbaus von PV-Anlagen sind die Aussagen bis zu einer Anlagengröße von etwa 30 kW übertragbar. Bei größeren Anlagen sind die Berechnungen individuell an die Wahl des/der Wechselrichter anzupassen.

Tabelle 1: Beispielanlage, an der die Berechnungen vorgenommen wurden

Technisch Eingabedaten der Anlage	Wirtschaftliche Eingabedaten der Anlage
<ul style="list-style-type: none"> Simulation mit PVscout (1.9) [8] und PV*Sol 3.0 (R7) [9] Installationsort Nürnberg, Wetterdatensatz Nürnberg, DWD 1981 – 2000 Ausrichtung Süd, Neigung 30° Anlagennennleistung 5,06 kW Module: polykristalline Beispiel-Module Wechselrichter: eta-euro: 96,2%, transformatorlos, $P_{WR-DC-max}$ variiert in Stufen von 3,16 bis 7,38kW. Lediglich die Leistungswerte wurden für die Berechnung variiert. Alle anderen Kenngrößen des Wechselrichters (Spannungen, Ströme, MPP-Anpassung, ...) sind bei jeder $P_{WR-DC-max}$ Leistungsstufe unverändert. 	<ul style="list-style-type: none"> Berechnungen mit PV-Profit 2.2.6 [10] Spezifischer Jahresertrag aus technischer Simulation der Anlage – variiert über die P_{WR} Leistungsstufen Inbetriebnahme März 2010, EEG-Vergütung, keine Eigenstromnutzung Investitionskosten 3.000 Euro pro kW bei $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,05) = 0,95$ Bei den jeweiligen Leistungsstufen sind die Investitionskosten des Wechselrichters immer passend zur Stufe mit 500 Euro pro kW $P_{WR-AC-nenn}$ angesetzt Berücksichtigung von Betriebskosten Betrachtung vor Steuern Finanzierung ohne Fremdkapital Kalkulationszinsfuß 6%

Abbildung 2 zeigt, dass sich das technische Optimum (normierter spez. Jahresertrag) bei $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,15)$ nicht mit dem wirtschaftlichen (normierter Kapitalwert, IRR) deckt. Dies liegt bei $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,0)$. Da der Verlauf des spezifischen Jahresertrages ein flaches Plateau ausbildet kann ein Bereich erkannt werden, der sowohl technisch als auch wirtschaftlich optimiert ist. Er liegt innerhalb der Grenzen: $(1,0 \text{ zu } 1,10) \leq P_{PV} / P_{WR-DC-max} \leq (1,0 \text{ zu } 0,90)$.

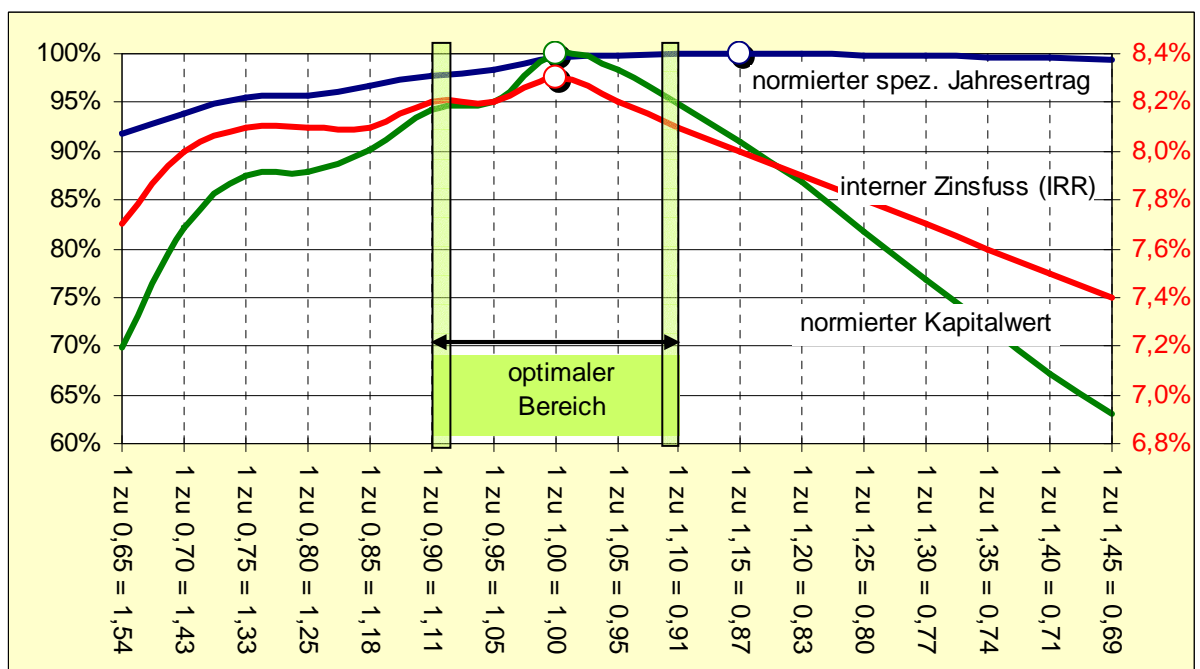


Abbildung 2: Technische und wirtschaftliche Zielparameter der Anlagenoptimierung über dem Auslegungsverhältnis P_{PV} zu $P_{WR-DC-max}$

4 Auswirkung des Auslegungsverhältnisses auf die Wirtschaftlichkeit

Für die meisten Anlagenbetreiber ist neben einem guten Ertrag vor allem die Wirtschaftlichkeit der Investition in die Anlage eine wichtige Größe. Die Zusammenhänge liegen auf der Hand: Die Nennleistung P_{PV} des Solargenerators sei durch die Anzahl der gewählten Module und die Installationsfläche fest vorgegeben. Ein deutlich unterdimensionierter Wechselrichter bedeutet nennenswerte Ertragseinbußen durch Leistungsbegrenzung. Verbunden mit dem Ertragverlust sind Einbußen bei den Einnahmen. Dazu kommt, dass häufiger überlastete elektrische und elektronische Bauteile schneller altern. Die Lebenserwartung der Wechselrichter sinkt, die Reparaturkosten steigen.

Ein nicht mehr unterdimensionierter, aber immer noch kleiner Wechselrichter bedeutet etwas geringere, aber immer noch deutliche Ertragseinbußen durch Leistungsbegrenzung. Wieder verbunden mit geringeren, aber eben deutlichen Einbußen bei den Einnahmen. Bei der nächst größeren Leistungsstufe des Wechselrichters sind die vermeidbaren Ertragsverluste im kleinen Prozentbereich immer noch vorhanden. Der Wechselrichter kostet jetzt in der Anschaffung noch etwas mehr als in den Leistungsstufen davor. Die nächst größere Stufe der Wechselrichterleistung geht nicht mehr, oder nur noch selten, in die Leistungsbegrenzung. Trotz teurerer Anschaffung führt sie kaum noch zu höherem Ertrag bzw. höheren Einnahmen. Wenn man die Wechselrichterleistung überdimensioniert, erhöhen sich die Investitionskosten, ohne mit einer weiteren Ertragssteigerung verbunden zu sein. Die Wirtschaftlichkeit verschlechtert sich dadurch wieder. Das Optimum des wirtschaftlich besten Auslegungsverhältnisses ist überschritten.

5 Anlagenoptimierung bei verschiedenen Ausrichtungen und Neigungen

Beginnend mit unterdimensionierten Wechselrichtern steigt der spezifische Jahresertrag und bildet in jeder Kurve ab ca. $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,0)$ ein flaches Plateau. Weitere Steigerungen bei P_{WR} bringen kaum noch weitere Ertragssteigerungen. Das Maximum wird abhängig von Ausrichtung und Neigung im relativ engen Bereich zwischen $(1,0 \text{ zu } 1,15) \leq P_{PV} / P_{WR-DC-max} \leq (1,0 \text{ zu } 1,0)$ erreicht.

Bei einem unterdimensionierten Wechselrichter machen sich die Einbußen im Kapitalwert ebenso deutlich bemerkbar, wie bei Überdimensionierung. Der maximale Kapitalwert liegt bei in allen Berechnungen bei $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,0)$.

Das Ergebnis überrascht insofern, als sich das Maximum im Kapitalwert immer bei einem Auslegungsverhältnis von $(1,0 \text{ zu } 1,0)$ bei allen Variationen über Ausrichtung und Neigung einstellt.

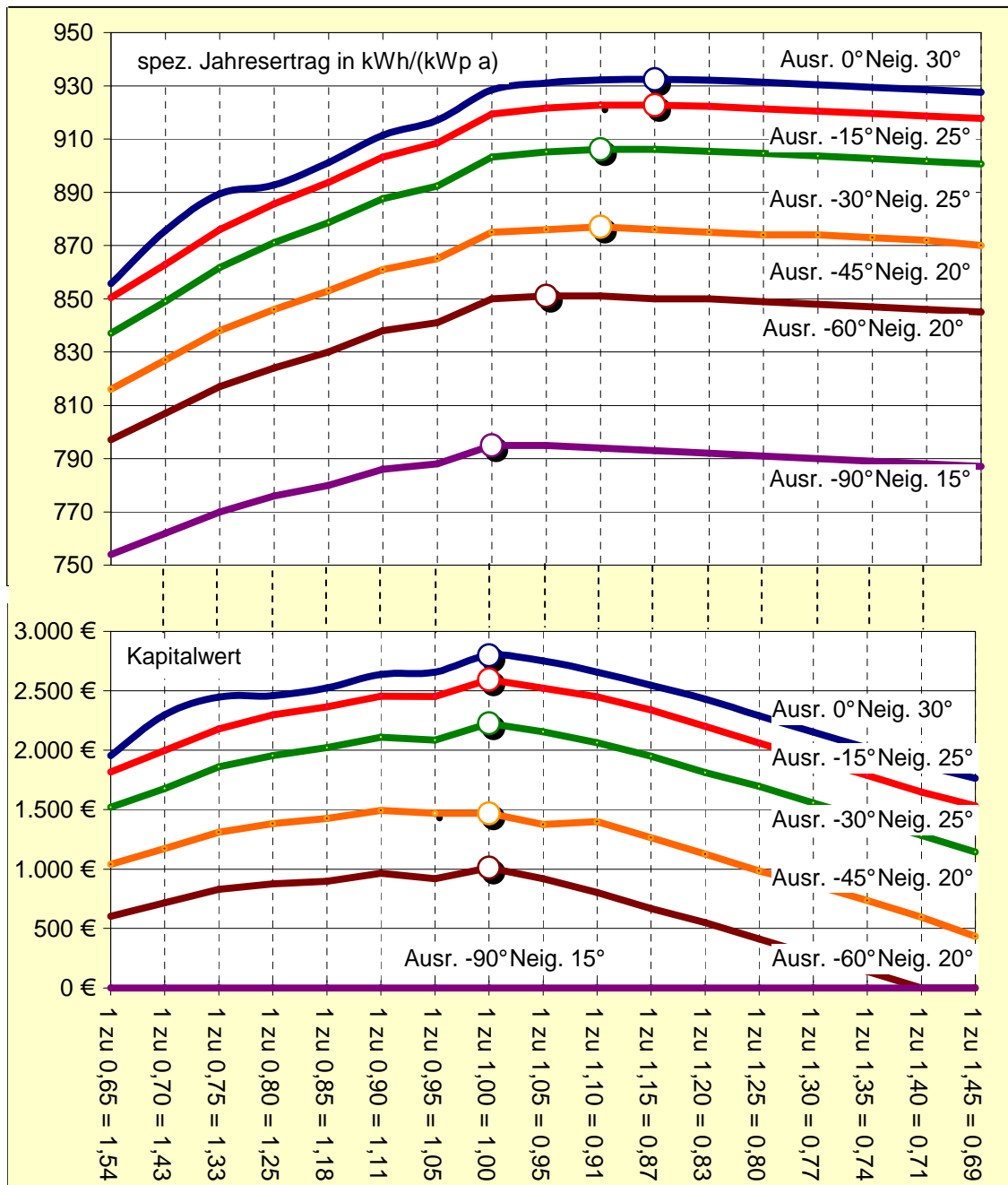


Abbildung 3: Die obere Grafik zeigt den spezifischen Jahresertrag über dem Auslegungsverhältnis P_{PV} zu $P_{WR-DC-max}$ bei verschiedenen Ausrichtungen und Neigungen. In der unteren Grafik ist der Kapitalwert über dem Auslegungsverhältnis P_{PV} zu $P_{WR-DC-max}$ bei verschiedenen Ausrichtungen und Neigungen zu sehen.

Tabelle 2: Auslegungsverhältnis P_{PV} zu $P_{WR-DC-max}$ für technisches und wirtschaftliches Optimum bei verschiedenen Ausrichtungen und Neigungen

Ausrichtung und Neigung	Auslegungsverhältnis für technisches Optimum	Auslegungsverhältnis für wirtschaftliches Optimum	Auslegungsverhältnis = (1,0 zu 1,0): Ertragseinbußen bei Abweichung vom technischen Optimum
Ausr. 0° Neig. 30°	1 zu 1,15 = 0,87	1 zu 1,0 = 1,0	0,43%
Ausr. -15° Neig. 25°	1 zu 1,10 = 0,91	1 zu 1,0 = 1,0	0,36%
Ausr. -30° Neig. 25°	1 zu 1,10 = 0,91	1 zu 1,0 = 1,0	0,32%
Ausr. -45° Neig. 20°	1 zu 1,10 = 0,91	1 zu 1,0 = 1,0	0,23%
Ausr. -60° Neig. 20°	1 zu 1,05 = 0,95	1 zu 1,0 = 1,0	0,12%
Ausr. -90° Neig. 15°	1 zu 1,00 = 1,00	1 zu 1,0 = 1,0	0,00%

6 Ausblick und Zusammenfassung

Bei Anlagen, die deutlich aus der Südausrichtung abweichen, setzt man bisher Wechselrichter mit kleinerer Leistung ein. Zieht man wirtschaftliche Gesichtspunkte hinzu, erzielt man einen maximalen Kapitalwert auch bei starker Abweichung aus der Südausrichtung bei einem Auslegungsverhältnis von $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,0)$. In weiterführenden Arbeiten wird untersucht werden, ob sich dieses Ergebnis bestätigt oder ob es durch die eingesetzten Berechnungsprogramme oder die getroffenen Annahmen bei den konstant gehaltenen Eingabeparametern bedingt ist.

Bei Anlagen mit guten Standortdaten deckt sich das technische Optimum beim Auslegungsverhältnis $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,15)$ nicht mit dem wirtschaftlichen bei $P_{PV} / P_{WR-DC-max} = (1,0 \text{ zu } 1,0)$. Eine technisch, wie wirtschaftlich optimierte Anlage sollte über einen sehr weiten Bereich von Ausrichtung und Neigung ein P_{PV} zu $P_{WR-DC-max}$ zwischen $(1,0 \text{ zu } 1,10)$ und $(1,0 \text{ zu } 0,90)$ aufweisen. In diesem Bereich sind die technischen und wirtschaftlichen Abweichungen vom Optimum in einem niedrigen Bereich (Ertragseinbußen < 2,50%, Kapitalwert < 5,75%, Interner Zinsfuß (IRR) < 1,25%).

7 Quellenverzeichnis

- [1] Hemmann Björn, Zehner Mike: Anlagenauslegung: Die geglückte Beziehung, Sonne Wind & Wärme, Ausgabe 8/2009
- [2] Haselhuhn Ralf, Hemmerle Claudia: Photovoltaische Anlagen, Berlin, 2009
- [3] Antony Falk, Dürschner Christian, Remmers Karl-Heinz: Photovoltaik für Profis, Berlin, 2009
- [4] SMA Solar Technology AG SMA: Sunny Design V1.46, www.sma.de, 2008
- [5] Gütegemeinschaft Solarenergieanlagen e.V., Gütesicherung RAL-GZ 966 P2, Karlsruhe, 2008
- [6] Burger Bruno: Auslegung und Dimensionierung von Wechselrichter für netzgekoppelte PV-Anlagen, Staffelstein 20. PV-Symposium, 2005
- [7] Häberlin Heinrich: Photovoltaik, CH-Aarau, 2007
- [8] Solarschmiede GmbH: PVscout 1.9, München, 2010
- [9] Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH: PV*Sol 3.0 (R7), Berlin, 2010
- [10] Dietrich Sylvio: PV-Profit 2.2.6, Erlangen, 2010